

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

*ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΚΑΙ
ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ*

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΓΕΩΡΓΙΟΥ Σ. ΚΑΣΤΑΝΙΩΤΗ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2011

РАНЕКЪТЪМО РЕПАА

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Διδακτορική Διατριβή

“Υποστήριξη τεχνολογιών διανομής και παράδοσης διαδικτυακού περιεχομένου”

Γεωργίου Σ. Καστανιώτη

ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων:

Γεώργιος Τσιχριντζής
Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς

Μέλη:

Χρήστος Δουληγέρης
Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς

Θεμιστοκλής Παναγιωτόπουλος
Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Γεώργιος Τσιχριντζής
Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς

Χρήστος Δουληγέρης
Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς

Θεμιστοκλής Παναγιωτόπουλος
Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς

Δημήτριος Δεσπότης
Καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς

Ιωάννης Αναγνωστόπουλος
Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου
Στερεάς Ελλάδος

Άγγελος Μιχάλας
Επίκουρος Καθηγητής ΤΕΙ Δυτικής
Μακεδονίας

Δημήτριος Βέργαδης
Λέκτορας Πανεπιστημίου Πειραιώς

Copyright ©

Γεώργιος Καστανιώτης, 2011.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναγράφεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται στο συγγραφέα.

*“Αφιερωμένο στη μνήμη
της μητέρας μου, Μαρίας”*

Γ. Σ. Καστανιώτης

«Η έγκριση της Διατριβής υπό του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλοί αποδοχή των γνώμων του συγγραφέως»

ПАМЕТНО ТЕПАА

Ευχαριστίες

Από την πλευρά μου θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στο Τμήμα Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πειραιώς για την τιμή που μου έκαναν για την επιπόνηση της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής.

Ειδικότερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή, κ. Τσιχριντζή Γεώργιο που μου έδωσε την ευκαιρία και με ενέταξε στην ομάδα του, ώστε να ειπονήσω την εν λόγω διατριβή, καθώς και για την ουσιαστική υποστήριξή του. Ιδιαίτερος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς τον Καθηγητή, κ. Δουληγέρη Χρήστο, μέλος της τριμελούς επιτροπής, ο οποίος υπήρξε ο αποκλειστικός συνοδοιπόρος, ο απόλυτος μέντορας και ένας άψογος συνεργάτης όλα αυτά τα χρόνια της ερευνητικής προσπάθειας, που οδήγησε στη συγγραφή του παρόντος. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή, κ. Παναγιωτόπουλο Θεμιστοκλή, μέλος της τριμελούς επιτροπής, για την υποστήριξή του και τις εύστοχες παρατηρήσεις του, και τον Καθηγητή, κ. Δεσπότη Δημήτριο για την καθοριστική του συμβολή και τις παρατηρήσεις του πάνω σε θέματα περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων.

Επιπλέον, οφείλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τους Διδάκτορες του τμήματος πληροφορικής, κκ. Μαραγκό Ηλία και Ζάχαρη Νικόλαο για την άψογη συνεργασία που είχαμε, τη συμπαράστασή τους, αλλά και την πραγματική φιλία με την οποία με τιμούν. Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω την πολύ καλή φίλη Εύη Δημητρίου για τις διορθώσεις τυπογραφικών λαθών των κειμένων. Ξεχωριστή μνεία πρέπει να κάνω προς τους συναδέλφους, συναγωνιστές και φίλους, υποψήφιους διδάκτορες, μεταπτυχιακούς φοιτητές και διδάκτορες του τμήματος Πληροφορικής, του Πανεπιστημίου Πειραιώς, για όλα αυτά τα ευχάριστα και δημιουργικά χρόνια που περάσαμε μαζί. Τους εύχομαι υγεία, κάθε ευτυχία και καλή σταδιοδρομία.

Τέλος, θα ήταν αδιανόητο να παραλείψω τους γονείς μου, στους οποίους οφείλω τα πάντα, τον αδερφό μου και την υπόλοιπη οικογένειά μου. Τους ευχαριστώ για την αγάπη, τη συμπαράσταση και την υπομονή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Γεώργιος Σ. Καστανιώτης
Πειραιάς, 10 Ιανουαρίου 2011

РАНЕКЪМЪО РЕПАА

Abstract

The subject of this dissertation is the support of technologies for Internet content distribution and delivery, by contributing to the following topics of the corresponding research: the characterization and the modeling of the modern application-specific Internet activity, the simulation and the evaluation of the web caching object replacement strategies, the analysis of Internet content pre-loading systems and the introduction of a new proposal to improve their prediction accuracy.

Our exhaustive study on the characterization and the modeling of today's Internet activity revealed a great diversity of models for describing its key characteristics. Thus, we have designed and implemented SYNTHIA, a broad, upgraded and flexible platform for the generation of synthetic loads of Internet application-specific activity. On the one hand, SYNTHIA is able to support the whole scientific knowledge that has been acquired in the field, until now. On the other hand, SYNTHIA incorporates the proper specifications for supporting any model that may arise in the future.

Then, we recommend the methodology of data envelopment analysis (DEA) for the evaluation of the efficiency of the web caching object replacement strategies. DEA enables us to detect and isolate the truly efficient strategies, which demonstrate both high performance and low operational cost, at the same time.

Finally, we are conducting an analysis on the potentiality to utilize the intelligent agents that assist the users in the seeking for information, in order to support content pre-loading systems. Under this analysis, a case study takes place, where we recommend the upgrading of an intelligent assistant of the kind – known as WebNaut – with the integration of an agent for caching and pre-loading in its architecture.

РАНЕЕ НЕ ПЕРПА

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσης διδακτορικής διατριβής είναι η υποστήριξη των τεχνολογιών διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου, συνεισφέροντας στις ακόλουθες θεματικές ενότητες της έρευνας: το χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της σύγχρονης διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής, την προσομοίωση και την αξιολόγηση των στρατηγικών αντικατάστασης αντικειμένων σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού, την ανάλυση των συστημάτων προ-εγκατάστασης διαδικτυακού περιεχομένου και την εισήγηση μιας νέας πρότασης για τη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων, που αφορούν στην προ-εγκατάσταση του περιεχομένου.

Η εξαντλητική έρευνά μας πάνω στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της σύγχρονης διαδικτυακής δραστηριότητας κατέληξε στην ύπαρξη μιας μεγάλης ποικιλίας μοντέλων για την περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών της. Έτσι, σχεδιάσαμε και υλοποιήσαμε τη SYNTHIA, μια γενικευμένη, αναβαθμίσιμη και ευέλικτη πλατφόρμα για την παραγωγή τεχνητών διαδικτυακών φόρτων επιπέδου εφαρμογής που, αφενός είναι ικανή να καλύψει το σύνολο της αποκτημένης μέχρι σήμερα γνώσης και, αφετέρου διαθέτει τις προδιαγραφές για να υποστηρίξει οποιοδήποτε μοντέλο προικύψει στο μέλλον.

Στη συνέχεια, προτείνουμε τη μεθοδολογία της περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων (ΠΑΔ) για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των στρατηγικών αντικατάστασης αντικειμένων σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού. Με την ΠΑΔ επιτυγχάνουμε τον εντοπισμό των πραγματικά αποδοτικών στρατηγικών, που παρουσιάζουν υψηλές επιδόσεις και χαμηλό κόστος λειτουργίας.

Τέλος, πραγματοποιούμε μια έρευνα πάνω σε συστήματα προ-εγκατάστασης περιεχομένου και στη δυνατότητα υποστήριξής τους, με την αξιοποίηση των δυνατοτήτων των ευφών πρακτόρων υποβοήθησης του χρήστη στην αναζήτηση πληροφοριών. Στα πλαίσια της έρευνας αυτής, πραγματοποιούμε μια περιπτωσιολογική μελέτη, όπου προτείνουμε την αναβάθμιση ενός τέτοιου συστήματος ευφών πρακτόρων – που είναι γνωστό ως WebNaut – με την ενσωμάτωση ενός πράκτορα ενδιάμεσης αποθήκευσης και προ-εγκατάστασης στην αρχιτεκτονική του.

РАНЕЕ НЕ ПЕРПА

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	vii
Abstract.....	ix
Περίληψη.....	xi
Περιεχόμενα.....	xiii

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

1.1	Εισαγωγή.....	19
1.2	Παρουσίαση Προβλήματος & Ανάλυση Μεθοδολογίας Αντιμετώπισης.....	23
1.3	Αντικείμενο της Διδακτορικής Διατριβής.....	26
1.4	Δομή της Διδακτορικής Διατριβής.....	27
1.5	Συνεισφορά στην Ερευνητική Περιοχή.....	30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Χαρακτηρισμός & Μοντελοποίηση της Σύγχρονης Διαδικτυακής Δραστηριότητας σε Επίπεδο Εφαρμογής

2.1	Εισαγωγή.....	31
2.2	Παρακολούθηση & Καταγραφή της Διαδικτυακής Δραστηριότητας.....	35
2.2.1	Παρακολούθηση & Καταγραφή από την Πλευρά του Πελάτη.....	35
2.2.1.1	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της Μεθοδολογίας.....	37
2.2.2	Αξιοποίηση των Ημερολογίων των Εξυπηρετητών.....	38
2.2.2.1	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της Μεθοδολογίας.....	40
2.2.3	Παρακολούθηση & Καταγραφή σε Δικτυακούς Κόμβους και σε Πραγματικό Χρόνο.....	41
2.2.3.1	Εμπορικά Προϊόντα Παρακολούθησης και Καταγραφής.....	43
2.2.3.2	Προϊόντα Παρακολούθησης και Καταγραφής Ανοιχτού Κώδικα.....	44
2.2.3.3	Ακαδημαϊκές Εφαρμογές Παρακολούθησης και Καταγραφής.....	45
2.2.3.4	Πρωτόκολλα και Πρότυπα RFC.....	47
2.2.3.5	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της Μεθοδολογίας.....	49
2.3	Στατιστική & Κατανομές.....	51
2.3.1	Κατανομές.....	51
2.3.1.1	Κανονική Κατανομή.....	51
2.3.1.2	Λογαριθμοκανονική Κατανομή.....	52
2.3.1.3	Κατανομή Poisson.....	52
2.3.1.4	Εκθετική Κατανομή.....	52
2.3.1.5	Υπερεκθετική Κατανομή.....	53
2.3.1.6	Κατανομή Pareto.....	53
2.3.1.7	Κατανομή Weibull.....	53
2.3.1.8	Κατανομή Γάμμα.....	54

2.3.1.9	Κατανομή t.....	54
2.3.1.10	Οικογένεια Κατανομών Zipf.....	55
2.3.2	Κατανομές Ενισχυμένων & Μακρών Άκρων.....	55
2.3.3	Αναζήτηση Αντιπροσωπευτικών Κατανομών για τα Δεδομένα.....	58
2.3.3.1	Μεθοδολογίες για τον Υπολογισμό των Τιμών των Παραμέτρων των Κατανομών.....	58
2.3.3.2	Μεθοδολογίες για τον Έλεγχο Καλής Προσαρμογής (Goodness-of-Fit Tests).....	60
2.4	Χαρακτηρισμός & Μοντελοποίηση σε Επίπεδο Εφαρμογής, ως Κομμάτι της Έρευνας πάνω στις Τεχνολογίες Διανομής & Παράδοσης του Διαδικτυακού Περιεχομένου.....	63
2.5	Η Εφαρμογή του Παγκοσμίου Ιστού.....	67
2.5.1	Χαρακτηρισμός & Μοντελοποίηση της Δραστηριότητας του Παγκοσμίου Ιστού.....	68
2.5.1.1	Ανάλυση Δημοτικότητας.....	68
2.5.1.2	Μέγεθος Αντικειμένων / Αποφορτώσεων.....	71
2.5.1.3	Ηλικία / Γήρανση / Μεταβολές Αντικειμένων.....	73
2.5.1.4	Χρονική Τοπικότητα.....	74
2.5.1.5	Χωρική Τοπικότητα.....	76
2.5.1.6	Λοιπά Χαρακτηριστικά Παραδοσιακού Παγκοσμίου Ιστού.....	76
2.5.1.7	Χαρακτηριστικά Παγκοσμίου Ιστού Δεύτερης Γενιάς (Web 2.0).....	78
2.5.1.8	Ανάλυση των Επικεφαλίδων στα Μηνύματα HTTP.....	79
2.6	Οι Δικτυακές Εφαρμογές Πολυμέσων.....	80
2.6.1	Δικτυακές Εφαρμογές Αποθηκευμένων Πολυμέσων.....	81
2.6.2	Χαρακτηρισμός της Δραστηριότητας των Σύγχρονων Δικτυακών Εφαρμογών Αποθηκευμένων Πολυμέσων: Μακροσκοπική Ανάλυση.....	89
2.6.2.1	Ανάλυση Δημοτικότητας.....	89
2.6.2.2	Χρονική Τοπικότητα.....	92
2.6.2.3	Χρονική Διάρκεια, Κωδικοποίηση και Μέγεθος Πολυμεσικών Αντικειμένων.....	94
2.6.2.4	Μέγεθος και Χρονική Διάρκεια Συνόδου.....	95
2.6.2.5	Ρυθμός Εμφάνισης Νέων Συνόδων.....	96
2.6.2.6	Ρυθμός Άφιξης Χρηστών.....	98
2.6.2.7	Λοιπά Χαρακτηριστικά Πολυμεσικών Δικτυακών Τόπων Ψευδο-Ροής.....	98
2.6.3	Χαρακτηρισμός της Δραστηριότητας των Σύγχρονων Δικτυακών Εφαρμογών Αποθηκευμένων Πολυμέσων: Μικροσκοπική Ανάλυση.....	99
2.6.3.1	Ανάλυση του Είδους και της Φύσης των Αλληλεπιδράσεων.....	99
2.6.3.2	Ανάλυση Αλμάτων στο Πολυμεσικό Αντικείμενο.....	100
2.6.3.3	Ανάλυση Αιτημάτων Αλληλεπίδρασης.....	101
2.6.3.4	Ανάλυση Ενεργών Χρονικών Διαστημάτων.....	101
2.6.3.5	Ανάλυση Νεκρών/Ανενεργών Χρονικών Διαστημάτων.....	101
2.6.4	Δικτυακές Εφαρμογές Πολυμέσων Ζωντανής Μετάδοσης.....	102
2.6.4.1	Η Ιδιαιτερότητα των Δικτυακών Εφαρμογών Πολυμέσων Ζωντανής Μετάδοσης.....	103
2.6.5	Χαρακτηρισμός της Δραστηριότητας των Δικτυακών Εφαρμογών Πολυμέσων Ζωντανής Μετάδοσης.....	104
2.6.5.1	Η Έρευνα των Van der Merwe et al.....	104
2.6.5.2	Η Έρευνα των Veloso et al.....	105
2.6.5.3	Η Έρευνα των Sripanidkulchai et al.....	106
2.7	Οι Εφαρμογές Ομότιμων Δικτύων.....	107
2.7.1	Εφαρμογές Ομότιμων Δικτύων για Ανταλλαγή αρχείων.....	109
2.7.1.1	Napster.....	109
2.7.1.2	Gnutella και Gnutella2.....	109
2.7.1.3	FastTrack / Kazaa.....	109
2.7.1.4	eDonkey.....	110

2.7.1.5	BitTorrent.....	110
2.7.2	Χαρακτηρισμός της Δραστηριότητας στις Εφαρμογές Ομότιμων Δικτύων για Ανταλλαγή Αρχείων.....	112
2.7.2.1	Ανάλυση Δημοτικότητας.....	112
2.7.2.2	Μέγεθος Αντικειμένων.....	113
2.7.2.3	Ανάλυση Συνόδων.....	114
2.7.2.4	Ανάλυση σε Επίπεδο Ομότιμων Μηχανών.....	116
2.7.2.5	Λοιπά Χαρακτηριστικά.....	118
2.7.3	Εφαρμογές Ομότιμων Δικτύων στη Μεταφορά Πολυμέσων.....	119
2.8	Άλλες Εφαρμογές.....	121
2.8.1	Χαρακτηρισμός & Μοντελοποίηση των Διαδικτυακών Παιχνιδιών.....	121
2.8.1.1	Η Εργασία των Henderson και Bhatti.....	121
2.8.1.2	Η Εργασία των Kwok και Yeung.....	121
2.8.1.3	Η Εργασία των Sinha et al.....	122
2.8.1.4	Η Εργασία των Chambers et al.....	122
2.8.1.5	Η Εργασία των Zhuang et al.....	123
2.9	Συμπεράσματα.....	124

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

SYNTHIA: Μια Ολοκληρωμένη Πλατφόρμα για τη Σύνθεση Διαδικτυακής Δραστηριότητας σε Επίπεδο Εφαρμογής

3.1	Εισαγωγή.....	127
3.2	Μηχανές Παραγωγής Τεχνητού Διαδικτυακού Φόρτου.....	129
3.3	Προσδιορισμός & Χάραξη Νέων Προδιαγραφών.....	132
3.4	Η Πλατφόρμα SYNTHIA.....	133
3.5	Η Αρχιτεκτονική της SYNTHIA.....	134
3.6	Το Γραφικό Περιβάλλον της SYNTHIA.....	137
3.7	Στατιστική Τεκμηρίωση της Ορθής Λειτουργίας της SYNTHIA.....	142
3.7.1	Πείραμα 1: Κατανομή Pareto.....	144
3.7.2	Πείραμα 2: Κατανομή Γάμμα.....	148
3.7.3	Πείραμα 3: Κατανομή Weibull.....	151
3.7.4	Πείραμα 4: Εκθετική Κατανομή.....	154
3.7.5	Πείραμα 5: Λογαριθμοκανονική Κατανομή.....	157
3.8	Συμπεράσματα.....	160

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Προσομοίωση Εφαρμογών Ενδιάμεσης Αποθήκευσης στον Παγκόσμιο Ιστό – Περιπτωσιολογική Μελέτη: Η Αναβάθμιση του Προσομοιωτή Εφαρμογών Ενδιάμεσης Αποθήκευσης του Wisconsin

4.1	Εισαγωγή.....	163
4.2	Ανάλυση της Λειτουργίας της Ενδιάμεσης Αποθήκευσης.....	165
4.3	Προσομοιωτές Εφαρμογών Ενδιάμεσης Αποθήκευσης στον Παγκόσμιο Ιστό.....	169

4.4	Η Αναβαθμισμένη Έκδοση του Προσομοιωτή Εφαρμογών Ενδιάμεσης Αποθήκευσης στον Παγκόσμιο Ιστό του Wisconsin	172
4.4.1	Κίνητρα, Προδιαγραφές και Σύγκριση με την Αρχική Έκδοση	172
4.4.2	Επισκόπηση της Λειτουργίας του Προσομοιωτή του Wisconsin	173
4.4.2.1	Δομή του Αρχείου Εισόδου.....	173
4.4.2.2	Δομή του Αρχείου Εξόδου.....	175
4.4.3	Αρχιτεκτονική του Πυρήνα της Αναβαθμισμένης Έκδοσης του Προσομοιωτή του Wisconsin	176
4.4.3.1	Ο Μονάδα Κεντρικού Ελέγχου.....	177
4.4.3.2	Η Αποθήκη Ιχνών Πλοήγησης.....	177
4.4.3.3	Μηχανή Παραγωγής Τυχαίων Αριθμών	177
4.4.3.4	Ο Πίνακας Αναζήτησης.....	177
4.4.3.5	Η Ουρά Προτεραιότητας Αποκρίσεων	178
4.4.3.6	Διαχείριση της Μνήμης της Εφαρμογής Ενδιάμεσης Αποθήκευσης – Δομές Δεδομένων.....	179
4.4.4	Η Διαδραστική Διεπαφή Χρήστη	181
4.4.5	Υποστηριζόμενες Στρατηγικές Αντικατάστασης Περιεχομένου Παγκοσμίου Ιστού	184
4.4.5.1	Στρατηγικές Αντικατάστασης βάσει Χρονικής Τοπικότητας	184
4.4.5.2	Στρατηγικές Αντικατάστασης βάσει Δημοτικότητας.....	190
4.4.5.3	Στρατηγικές Αντικατάστασης βάσει Χρονικής Τοπικότητας και Δημοτικότητας	192
4.4.5.4	Συναρτησιακές Στρατηγικές Αντικατάστασης.....	194
4.4.5.5	Στρατηγικές Τυχαίας Αντικατάστασης	199
4.5	Πειράματα Αξιολόγησης της Λειτουργίας του Αναβαθμισμένου Προσομοιωτή του Wisconsin.....	201
4.5.1	Πείραμα 1: Αξιολόγηση του Μηχανισμού Προθέρμανσης	201
4.5.1.1	Πείραμα 1 – Επανάληψη 1	202
4.5.1.2	Πείραμα 1 – Επανάληψη 2	205
4.5.2	Πείραμα 2: Αξιολόγηση του Μηχανισμού του Κάτω Υδατοσήμου.....	209
4.5.2.1	Πείραμα 2 – Επανάληψη 1	210
4.5.2.2	Πείραμα 2 – Επανάληψη 2	214
4.5.2.3	Πείραμα 2 – Επανάληψη 3	216
4.6	Συμπεράσματα	219

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Αξιολόγηση των Στρατηγικών Αντικατάστασης Περιεχομένου του Παγκοσμίου Ιστού με Χρήση της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων

5.1	Εισαγωγή	221
5.2	Η Μεθοδολογία της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων	226
5.2.1	Περιγραφή του Μοντέλου ΠΑΔ για την Αξιολόγηση των Στρατηγικών.....	230
5.3	Οργάνωση Πειραμάτων Αξιολόγησης των Στρατηγικών Αντικατάστασης	234
5.3.1	Αρχεία Εισόδου Προσομοίωσης με Ίχνη Δραστηριότητας Παγκοσμίου Ιστού..	235
5.3.1.1	Δραστηριότητα του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου στη Βοστώνη	235
5.3.1.2	Δραστηριότητα από Πληρεξούσιους Εξυπηρετητές Παγκοσμίου Ιστού της Digital.....	238

5.3.1.3	Δραστηριότητα του Πανεπιστημίου Berkeley.....	240
5.3.1.4	Δραστηριότητα Παγκοσμίου Ιστού από τους Πληρεξούσιους του Δικτύου NLNR	243
5.3.2	Αντιμετώπιση των Παραμετροποιημένων Στρατηγικών.....	245
5.3.2.1	PART-LRU	247
5.3.2.2	A-AGING	248
5.3.2.3	SLRU.....	249
5.3.2.4	M-METRIC.....	249
5.3.2.5	GD*.....	250
5.3.2.6	gGDSF.....	251
5.3.2.7	MIX.....	251
5.3.2.8	RAND-MIX.....	252
5.3.2.9	LUV.....	252
5.4	Εκτέλεση & Αποτελέσματα Πειραμάτων ΠΑΔ.....	253
5.4.1	Τεχνική 1: Ομαδοποίηση των Στρατηγικών κατά Μέγεθος Μνήμης Ενδιάμεσης Αποθήκευσης.....	253
5.4.1.1	Αρχικό Μοντέλο ΠΑΔ – Αρχεία Ιχνών BOSTON, DIGITAL και BERKELEY	254
5.4.1.2	Βελτιωμένο Μοντέλο ΠΑΔ – Αρχεία Ιχνών UC, NY και SD.....	258
5.4.1.3	Ανάλυση Αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα Τεχνικής 1.....	269
5.4.2	Τεχνική 2: Γενικευμένο Μοντέλο ΠΑΔ για την Αξιολόγηση των Στρατηγικών... ..	275
5.4.2.1	Αρχεία Ιχνών BOSTON, DIGITAL και BERKELEY	276
5.4.2.2	Αρχεία Ιχνών UC, NY και SD.....	281
5.4.2.3	Ανάλυση Αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα Τεχνικής 2.....	287
5.5	Μελλοντική Έρευνα – Περαιτέρω Αναβάθμιση του Μοντέλου ΠΑΔ.....	288
5.5.1	Εκτίμηση της Χρονικής Πολυπλοκότητας των Στρατηγικών	290
5.5.2	Εκτίμηση της Χωρικής Πολυπλοκότητας των Στρατηγικών	294
5.6	Συμπεράσματα.....	297

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Αξιοποίηση των Ευφρών Πρακτόρων σε Τεχνολογίες Προ-Εγκατάστασης Περιεχομένου

6.1	Εισαγωγή.....	301
6.2	Ταξινόμηση των ΣΠΕΠ	304
6.3	Δομή & Αρχιτεκτονικές ΣΠΕΠ.....	305
6.4	Εφαρμογές/Πράκτορες Πρόβλεψης για την Υποστήριξη των ΣΠΕΠ	309
6.4.1	Τεχνικές Πρόβλεψης Βασισμένες στο Ιστορικό των Προσπελάσεων	310
6.4.1.1	Γράφοι Εξάρτησης.....	310
6.4.1.2	Πρόβλεψη Τμηματικής Αντιστοιχίας.....	313
6.4.2	Τεχνικές Πρόβλεψης Βασισμένες στο Περιεχόμενο των Διαδικτυακών Αντικειμένων	321
6.4.2.1	Πράκτορες Υποβοήθησης του Χρήστη στην Αναζήτηση Περιεχομένου βάσει του Προφίλ.....	323
6.4.2.2	Πράκτορες Πρόβλεψης βάσει του Προφίλ του Χρήστη για Προ-Εγκατάσταση	325
6.5	Περιπτωσιολογική Μελέτη: Αξιοποίηση των Μηχανών Αναζήτησης για την Υποστήριξη των ΣΠΕΠ.....	329

6.5.1	Το Σύστημα WebNaut	330
6.5.1.1	Η Αρχιτεκτονική του Συστήματος WebNaut.....	330
6.5.1.2	Λειτουργία του Συστήματος WebNaut	332
6.5.2	Αναβάθμιση της Λειτουργίας του WebNaut με την Υποστήριξη Συστήματος Ενδιάμεσης Αποθήκευσης Διαδικτυακών Αντικειμένων	333
6.5.2.1	Ενδιάμεση Αποθήκευση Διαδικτυακών Αντικειμένων που Προτείνονται από τον ΠΕ.....	334
6.5.2.2	Παρουσίαση της Λειτουργίας ενός Έξυπνου Συστήματος Ενδιάμεσης Αποθήκευσης για την Υποστήριξη της Λειτουργίας του WebNaut	335
6.5.3	Αξιοποίηση της Λειτουργίας του WebNaut για Προ-Εγκατάσταση βάσει των Υπερ- συνδέσεων.....	337
6.5.4	Υλοποίηση Πράκτορα Ενδιάμεσης Αποθήκευσης & Προ-εγκατάστασης υπό τον WebNaut	339
6.6	Συμπεράσματα	340

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Ανασκόπηση, Συμπεράσματα & Μελλοντική Έρευνα

7.1	Συμπεράσματα Διδακτορικής Διατριβής	343
7.2	Μελλοντική Έρευνα.....	349

Παράρτημα Α: Μορφοκλασματική Ομοιότητα.....	353
Παράρτημα Β: Πίνακες Αποδοτικότητας	355
Βιβλιογραφία.....	395

Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

Από τη νηπιακή του ηλικία, ο παγκόσμιος ιστός (World Wide Web, ή WWW, ή απλώς Web) γνώρισε τεράστια δημοτικότητα, εξαιτίας της μεγάλης ευκολίας στην κωδικοποίηση, παρουσίαση και προσπέλαση της πληροφορίας. Αυτή η ευρεία αποδοχή του παγκοσμίου ιστού, τόσο από την πλευρά του απλού χρήστη (Web User), όσο και από την πλευρά του παρόχου του περιεχομένου (Web Content Provider), ως το απόλυτο πληροφοριακό σύστημα, υπήρξε η κινητήριος δύναμη της επέκτασης και εξάπλωσης του Διαδικτύου. Το Διαδίκτυο (Internet) έπαψε να είναι η αποκλειστικότητα των ολίγων, κυρίως των πανεπιστημιακών ιδρυμάτων και των κρατικών υπηρεσιών. Σε σύντομο χρονικό διάστημα μετατράπηκε σε ένα δίκτυο παγκόσμιας εμβέλειας, στο οποίο ο καθένας μπορούσε να έχει πρόσβαση, διαμέσου των διαθέσιμων τηλεπικοινωνιακών υποδομών – δηλαδή, των οικιακών τηλεφωνικών καλωδιώσεων ή του συστήματος καλωδιακής τηλεόρασης.

Η απότομη αυτή επιτυχία και άνθιση του παγκοσμίου ιστού δεν υπήρξε άμοιρη προβλημάτων. Σε γενικές γραμμές, η προβληματική κατάσταση που παρατηρήθηκε στα πρώιμα στάδια του παγκοσμίου ιστού επηρέαζε όλους τους συμμετέχοντες στην αλυσίδα της δικτύωσης και πληροφόρησης και μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

- Καταρχήν, οι τελικοί χρήστες και αποδέκτες των πληροφοριών βίωναν υψηλές καθυστερήσεις εξαιτίας των φτωχών υποδομών. Η αποφόρτωση (Downloading) ακόμα και των απλούστερων ιστοσελίδων κειμένου μπορούσε να γίνει πολύ βασανιστική με τη χρήση της απλής τηλεφωνικής γραμμής. Η κατάσταση ήταν ακόμα τραγικότερη, αν αναλογιστεί κανείς τα φαινόμενα συμφόρησης, λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων στα δίκτυα υποδομής της εποχής, την αυξημένη πολυπλοκότητα των ιστοσελίδων με την παρουσία πρόσθετου πολυμεσικού περιεχομένου (εικόνα, ήχος, βίντεο, κ.λπ.), αλλά και

τις περιορισμένες δυνατότητες των πρώτων εκδόσεων του πρωτοκόλλου μεταφοράς υπερκειμένου (Hyper Text Transfer Protocol, ή απλώς HTTP).

- Οι πάροχοι των υπηρεσιών του Διαδικτύου (Internet Service Providers, ή απλώς ISPs) πλήρωναν το εύρος ζώνης σε εξαιρετικά υψηλές τιμές, κυρίως λόγω της υστέρησης σε τεχνολογικό επίπεδο συγκριτικά με τη σημερινή εποχή. Για παράδειγμα, η τεχνολογία των οπτικών ινών ωρίμασε την τελευταία πενταετία, τουλάχιστον όσον αφορά στην ελληνική πραγματικότητα. Αυτός ήταν ένας καθοριστικός παράγοντας για τις περιορισμένες δυνατότητες των δικτύων πρόσβασης.
- Από την πλευρά των παρόχων των πληροφοριών, η αυξημένη δημοτικότητα και ζήτηση κάποιων ιστοσελίδων οδήγησε στην κατακόρυφη αύξηση του φόρτου στους αντίστοιχους εξυπηρετητές του παγκοσμίου ιστού (Web Servers). Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα οι εξυπηρετητές με τον υψηλό φόρτο εργασίας να μη μπορούν να ανταποκριθούν στις περιόδους αιχμής και, τελικώς, να κατακλύζονται και να καταρρέουν υπό το βάρος της αυξημένης ζήτησης.

Ήδη από τα πρώτα στάδια της ανάπτυξης του παγκοσμίου ιστού, ευφρείς τεχνολογίες διανομής και παράδοσης του περιεχομένου (Web Content Delivery / Distribution) αποτέλεσαν την αιχμή του δόρατος για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι τεχνολογίες αυτές χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: τις αντιδραστικές (Reactive) και τις προ-ενεργητικές (Proactive). Οι τεχνολογίες της πρώτης κατηγορίας παρακολουθούν και προσπαθούν να εξυπηρετήσουν άμεσα τα αιτήματα του χρήστη, την ώρα που αυτά πραγματοποιούνται. Στην περίπτωση τους, η διανομή και παράδοση του περιεχομένου έρχεται ως αντίδραση στη δραστηριότητα και την πλοήγηση του χρήστη. Σε αυτές ανήκει, κυρίως, η ενδιάμεση αποθήκευση (Caching) του διαδικτυακού περιεχομένου. Οι προ-ενεργητικές τεχνολογίες στηρίζονται στην πρόβλεψη της ζήτησης του διαδικτυακού περιεχομένου, το οποίο μεταφέρεται κοντά στο χρήστη, προτού αυτός το αιτηθεί. Τέτοιες τεχνολογίες είναι η αντιγραφή ολόκληρων δικτυακών τόπων (Site Mirroring) και η προ-εγκατάσταση του περιεχομένου σε συστήματα ενδιάμεσης αποθήκευσης, η οποία διακρίνεται σε προ-ανάκτηση (Pre-fetching) και προώθηση (Pre-pushing). Στη σημερινή εποχή, η προώθηση πραγματοποιείται αποκλειστικά μέσω εξειδικευμένων δικτύων διανομής του περιεχομένου (Content Distribution Networks, ή απλά CDNs). Η δυνατότητα ανάπτυξης των τεχνολογιών διανομής και παράδοσης του

περιεχομένου σε οποιοδήποτε σημείο του Διαδικτύου βοήθησε σημαντικά στη συστηματική διανομή του περιεχομένου και, γενικότερα, στην καλύτερη κλιμάκωση (scaling) του παγκοσμίου ιστού και των λοιπών υπηρεσιών.

Στη σημερινή εποχή, τα δίκτυα των παρόχων έχουν βελτιώσει κατά πολύ τη χωρητικότητά τους και αυτό οφείλεται στην αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών, κυρίως, των οπτικών ινών. Το εύρος ζώνης είναι, πλέον, ένα φθηνότερο αγαθό – τουλάχιστον, όσον αφορά στον τελικό καταναλωτή – και αυτό οφείλεται στις στρατηγικές επενδύσεις σε εθνικό και διεθνές επίπεδο. Το σύνθημα για γρήγορη και φθηνή πρόσβαση του τελικού χρήστη στο Διαδίκτυο αποτελεί την πεμπουσία της σημερινής εποχής της πληροφορίας. Η προηγμένη κοινωνία της πληροφορίας αποτελεί πλέον μια απτή πραγματικότητα. Στον τελικό χρήστη προσφέρεται μια ευρεία γκάμα από προτάσεις για ταχύτερη και πιο οικονομική πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Τέτοιες προτάσεις είναι:

- Η ψηφιακή γραμμή συνδρομητή (Digital Subscriber Line, ή απλώς DSL) στις διάφορες μορφές της (A-DSL, S-DSL, H-DSL κλπ.).
- Οι τεχνολογίες τοπικών δικτύων, κυρίως, οι τεχνολογίες Ethernet που συνεχώς εξελίσσονται.
- Οι τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης, κυρίως, του τύπου Wi-Fi.

Κάποιος θα περίμενε ότι αυτή η συνεχόμενη προσφορά σε εύρος ζώνης θα καθιστούσε τις τεχνολογίες διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου μια άχρηστη και δευτερευούσης σημασίας πρακτική. Όμως, η αλήθεια είναι ότι τα πράγματα ακολουθούν την αντίθετη πορεία. Όχι μόνο η χρήση των εξειδικευμένων διατάξεων για ενδιάμεση αποθήκευση αντικειμένων δεν έχει εγκαταλειφθεί, αλλά όσο περνάει ο καιρός, αυτές γίνονται όλο και περισσότερο απαραίτητες. Η ανάπτυξη εξειδικευμένων δικτύων διανομής του περιεχομένου κοντά στο τελικό χρήστη γίνεται με αλματώδεις ρυθμούς.

Η ουσία των πραγμάτων είναι ότι προκαλείται μια αύξηση των απαιτήσεων σε εύρος ζώνης – γενικά, σε πόρους – ως συνέπεια των επενδύσεων στον τομέα αυτό, με αποτέλεσμα οι πόροι ποτέ να μην επαρκούν. Πρόκειται για την έκφραση ενός φαύλου κύκλου καταναλωτισμού στις τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών (ΤΠΕ), όπου η προσφορά πυροδοτεί συνεχώς τη ζήτηση. Τα δεδομένα, τα οποία διακινούνται στο

Διαδίκτυο, εμφανίζονται μεγαλύτερα σε τάξη μεγέθους πληροφορίας από ό,τι στο παρελθόν. Επιπλέον, νέοι χρήστες συνεχίζουν να προστίθενται συμβάλλοντας στην αύξηση της ζήτησης. Κατά συνέπεια, οι πάροχοι υπηρεσιών Διαδικτύου έρχονται σε δύσκολη θέση, αφού καλούνται να επενδύσουν σε πόρους, προτού καν αποσβέσουν τις προηγούμενες επενδύσεις. Είναι επόμενο, λοιπόν, όχι μόνο να μην εγκαταλείπουν, αλλά να καταφεύγουν όλο και περισσότερο στη φθηνότερη και δοκιμασμένη λύση έξυπνων τεχνικών διανομής του περιεχομένου.

Μια αναλυτικότερη προσέγγιση σε επίπεδο εφαρμογής μαρτυρά την καταπόνηση των υποδομών και τη σπατάλη των πόρων, λόγω των αυξανόμενων αναγκών από τις αναβαθμισμένες υπηρεσίες του Διαδικτύου:

Η γιγάντωση του παγκοσμίου ιστού αποτελεί ένα αδιαμφισβήτητο γεγονός. Ο παγκόσμιος ιστός έχει, ήδη, ξεπεράσει κατά πολύ σε δημοτικότητα τις κλασικές υπηρεσίες Διαδικτύου – μεταφορά αρχείων (FTP), ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (E-Mail), κλπ. – σε τέτοιο βαθμό, ώστε όλα τα προγράμματα πλοήγησης στον ιστό να υποστηρίζουν πλέον τις περισσότερες από αυτές, με τέτοιο τρόπο, ώστε να δίνεται η εντύπωση ότι αποτελούν τμήμα του.

Οι εφαρμογές ομότιμων δικτύων (Peer-to-Peer ή P2P Networks) για την ανταλλαγή αρχείων έχουν ανθίσει σε τέτοιο βαθμό, ώστε οι πάροχοι διαδικτυακών υπηρεσιών να καταφεύγουν σε ακραίες λύσεις για τον περιορισμό των σπαταλώμενων πόρων. Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας λύσης είναι η διαμόρφωση κυκλοφοριακού (Traffic Shaping). Επιπροσθέτως, το θετικό κλίμα από τη βελτίωση των υποδομών του Διαδικτύου οδήγησε στην αξιοποίησή του ως ένα εναλλακτικό μέσο για τη μετάδοση τηλεοπτικού υλικού σε πραγματικό χρόνο (Real-Time Content). Επιπλέον, δόθηκε το έναυσμα στις εταιρείες στο χώρο των ηλεκτρονικών παιχνιδιών να το μετατρέψουν σε μια μεγάλη και διαδραστική παιχνιδο-μηχανή, ικανή να σαγηνεύσει εκατομμύρια χρήστες. Όλες αυτές οι υπηρεσίες είναι ιδιαίτερα απαιτητικές σε δικτυακούς πόρους, εξαιτίας της φύσεως και της δημοτικότητάς τους. Πρόκειται για τους βασικότερους υπαίτιους της συμφόρησης του Διαδικτύου σήμερα, οι οποίοι καθιστούν την ανάπτυξη καινοτόμων μεθοδολογιών διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου πιο επιτακτική από ό,τι στο παρελθόν.

Το πρόβλημα επιδεινώνεται περισσότερο, αν αναλογιστεί κανείς ότι για το σημερινό χρήστη ο παγκόσμιος ιστός είναι, πλέον, ένα σύγχρονο περιβάλλον έκφρασης της κοινωνικότητάς του, μέσα από το οποίο αναζητά άτομα με ίδιους προβληματισμούς και

παρόμοια ενδιαφέροντα και επιδιώξεις. Αυτή η νέα τάση θέλει τον κάθε χρήστη περισσότερο ενεργητικό στη δημιουργία και διαμόρφωση του περιεχομένου, από ό,τι στο παρελθόν. Κάτι τέτοιο οδηγεί στην κατακόρυφη αύξηση του κυκλοφοριακού που σχετίζεται τόσο με την επιφόρτωση (Uploading), όσο και με την αποφόρτωση των αντικειμένων του ιστού και συνεπάγεται επιπρόσθετη επιβάρυνση σε πόρους.

Η σημερινή κατάσταση δικαιώνει απόλυτα τον Davison, που είχε προβλέψει στη διατριβή του [Dav02], ότι η έρευνα και η ανάπτυξη σε τεχνολογίες ενδιάμεσης αποθήκευσης περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού δεν είναι εφήμερη, αλλά έχει παρόν και θα απασχολεί στο μέλλον. Τα επιχειρήματα που πρόβαλε για να υποστηρίξει την πρόβλεψή του αυτή συνοψίζονται ως εξής: Το εύρος ζώνης πάντα θα αποτελεί ένα κόστος, ιδιαίτερα για τους παρόχους των διαδικτυακών υπηρεσιών. Η ζήτηση για εύρος ζώνης πάντα θα έχει αυξητικές τάσεις. Πάντα θα υπάρχει άνιση κατανομή του εύρους ζώνης, είτε εξαιτίας των φυσικών περιορισμών (π.χ. η ταχύτητα του φωτός και οι περιβαλλοντικές συνθήκες), είτε εξαιτίας των οικονομικών περιορισμών. Επομένως, θα υπάρχουν πάντα καθυστερήσεις που θα είναι αισθητές στους τελικούς χρήστες. Οι καθυστερήσεις είναι ακόμα πιο έντονες, αν αναλογιστεί κανείς ότι τα μηνύματα, πολλές φορές, χρειάζεται να ταξιδέψουν διαμέσου διακομιστών ασφάλειας και προστασίας (Firewalls) και ιδεατών ιδιωτικών δικτύων (Virtual Private Network ή VPNs). Επιπλέον, όσο και να αυξηθεί το εύρος ζώνης και βελτιωθούν οι υπολογιστικές δυνατότητες των μηχανών, τα φαινόμενα απότομης αύξησης των αιτημάτων προς εξυπηρέτηση (Hot Spots) θα απειλούν πάντα την ομαλή λειτουργία των εξυπηρετητών του παγκοσμίου ιστού.

1.2 Παρουσίαση Προβλήματος & Ανάλυση Μεθοδολογίας Αντιμετώπισης

Η αντιμετώπιση των φαινομένων της σπατάλης εύρους ζώνης και διαδικτυακών πόρων, της καταπόνησης των συστημάτων εξυπηρέτησης λόγω καταστάσεων κατακόρυφης αύξησης του φόρτου, και των εν δυνάμει καθυστερήσεων, που μπορεί να βιώσει ο τελικός χρήστης, είναι ένα διαχρονικό πρόβλημα, που απασχολεί όλους όσους εμπλέκονται στον αγώνα για την ομαλή λειτουργία του Διαδικτύου. Οι βασικές προτάσεις για την επίλυσή του είναι δύο: η συνεχής και σχεδιασμένη, με διαχρονικές προοπτικές, αλλά πολυδάπανη αναβάθμιση των διαδικτυακών υποδομών και η εκμετάλλευση ευφυών τεχνολογιών για την καλύτερη διανομή και παράδοση του περιεχομένου.

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή επιφορτίζεται με την έρευνα πάνω σε τεχνολογίες διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου, κυρίως, σε συστήματα ενδιάμεσης αποθήκευσης και προ-εγκατάστασης. Το πεδίο των μεθοδολογιών για έρευνα και αξιολόγηση των τεχνολογιών πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο είναι ιδιαίτερα ευρύ. Ο Davison [Dav99] κατηγοριοποίησε τις μεθοδολογίες αυτές με βάση τα ακόλουθα δύο κριτήρια:

- Τη φύση και τα χαρακτηριστικά του συστήματος, πάνω στο οποίο αναπτύσσονται και αξιολογούνται οι τεχνολογίες.
- Την πηγή προέλευσης του διαδικτυακού φόρτου που χρησιμοποιείται κατά την αξιολόγηση των τεχνολογιών.

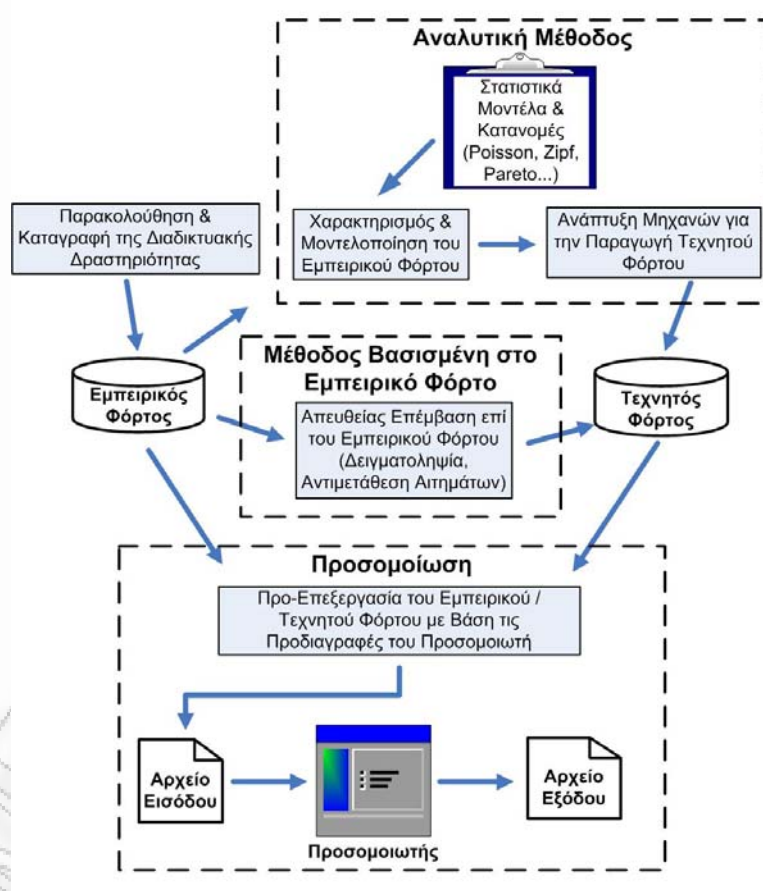
Έτσι, ο Davison [Dav99, Dav02b] κατέληξε σε εννέα μεθοδολογίες που παρουσιάζονται στον πίνακα 1.1. Στη συνέχεια, παρουσίασε και ανέλυσε τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεθοδολογιών αυτών.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ / ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	ΠΗΓΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ		
	Τεχνητός Φόρτος	Εμπειρικός (Πραγματικός) Φόρτος / Καταγεγραμμένος	Πραγματικός Φόρτος / Τρέχον
Προσομοίωση Συστημάτων / Δικτύων	A1	A2	A3
Πραγματικά Συστήματα / Απομονωμένα Δίκτυα	B1	B2	B3
Πραγματικά Συστήματα / Πραγματικά Δίκτυα	Γ1	Γ2	Γ3

Πίνακας 1.1. Πεδίο μεθοδολογιών έρευνας πάνω στις τεχνολογίες διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου [Dav99, Dav02b]

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή ασχολείται με τις – κατά Davison – μεθοδολογίες έρευνας A1 και A2 του πίνακα 1.1. Δηλαδή, κατά κύριο λόγο, η παρούσα διατριβή καταπιάνεται με την προσομοίωση που στηρίζεται σε τεχνητούς ή εμπειρικούς, καταγεγραμμένους διαδικτυακούς φόρτους. Στο σχήμα 1.1 δίνεται μια συνολική εικόνα των μεθοδολογιών A1 και A2, η οποία περιγράφει τα διάφορα στάδια και την αλληλεξάρτησή τους.

Αναλυτικότερα, η κυριότερη και πιο συνηθισμένη τεχνική για την υποστήριξη της έρευνας πάνω στα συστήματα διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου είναι η προσομοίωση. Για την προσομοίωση χρησιμοποιούνται αρχεία εισόδου που αντιπροσωπεύουν το φόρτο εργασίας (Workload) του προσομοιωμένου συστήματος, κατάλληλα επεξεργασμένα με βάση τις προδιαγραφές του προσομοιωτή. Ο προσομοιωτής παράγει κατάλληλα διαμορφωμένα αρχεία εξόδου, τα οποία περιέχουν όλα τα απαραίτητα μετρικά επίδοσης του προσομοιωμένου συστήματος.



Σχήμα 1.1. Τα στάδια της έρευνας πάνω σε τεχνολογίες διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου, η οποία στηρίζεται στην προσομοίωση

Τα αρχεία εισόδου της προσομοίωσης αποτελούν προϊόντα είτε του εμπειρικού φόρτου, που καταγράφεται στα κομβικά σημεία του Διαδικτύου, είτε τεχνητά κατασκευασμένου διαδικτυακού φόρτου. Οι Barford και Crovella [Barf98] αναφέρουν δύο τρόπους για την κατασκευή του τεχνητού φόρτου: την απευθείας επέμβαση επί του εμπειρικού φόρτου και την αναλυτική μέθοδο. Η πρώτη μέθοδος βασίζεται σε απλές

τεχνικές, όπως είναι η δειγματοληψία και η αντιμετάθεση, οι οποίες εν δυνάμει μπορούν να αλλοιώσουν τα χαρακτηριστικά του φόρτου σε τέτοιο βαθμό, ώστε να πάψει να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Αντίθετα, η αναλυτική μέθοδος στηρίζεται στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση, δηλαδή, απομονώνει τα βασικά χαρακτηριστικά του εμπειρικού φόρτου και προσπαθεί να αναπτύξει αντιπροσωπευτικά στατιστικά μοντέλα για καθένα από αυτά. Στη συνέχεια, τα μοντέλα αυτά κωδικοποιούνται σε κατάλληλες μηχανές για την παραγωγή του τεχνητού φόρτου.

1.3 Αντικείμενο της Διδακτορικής Διατριβής

Αντικείμενο της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής αποτελεί:

- Η οργάνωση της υπάρχουσας γνώσης πάνω στο χαρακτηρισμό της σύγχρονης διαδικτυακής δραστηριότητας και η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, ώστε να επιτευχθεί μια ενιαία αντιμετώπιση στο θέμα της μοντελοποίησης, καθώς και η ανίχνευση τυχόν κενών με ταυτόχρονη χάραξη νέων κατευθύνσεων προς τη μελέτη νέων και ανεξερεύνητων πτυχών της διαδικτυακής δραστηριότητας
- Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση μιας ολοκληρωμένης πλατφόρμας για την παραγωγή τεχνητής διαδικτυακής δραστηριότητας, η οποία να είναι σε θέση να υποστηρίξει άμεσα όλα τα μοντέλα που παρατηρούνται πάνω σε πραγματικούς διαδικτυακούς φόρτους κυκλοφοριακού, ενώ ταυτόχρονα να παρέχει συμβατότητα και να αναβαθμίζει τις κυριότερες υπάρχουσες μηχανές.
- Ο επανασχεδιασμός και η αναβάθμιση ενός προσομοιωτή για την έρευνα πάνω σε στρατηγικές αντικατάστασης σε εφαρμογές ανταποδοτικής, ενδιάμεσης αποθήκευσης περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού. Ο αναβαθμισμένος προσομοιωτής θα είναι σε θέση να ανταποκριθεί με επιτυχία σε όλες τις προκλήσεις που προέρχονται από τους σύγχρονους διαδικτυακούς φόρτους και να προσεγγίζει με περισσότερη λεπτομέρεια τη λειτουργία των πραγματικών συστημάτων.
- Η αναζήτηση και ανεύρεση των αποδοτικότερων στρατηγικών αντικατάστασης αντικειμένων σε μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού. Οι στρατηγικές αυτές εμφανίζουν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα στα κυριότερα μετρικά επίδοσης, μειώνοντας ταυτόχρονα το κόστος για την υποστήριξή τους και

προτείνονται ως η ιδανικότερη λύση για πραγματικά συστήματα ενδιάμεσης αποθήκευσης.

- Η παρουσίαση μεθοδολογίας για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των στρατηγικών αντικατάστασης αντικειμένων σε μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού. Πρόκειται για τη μεθοδολογία της περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων (Data Envelopment Analysis, DEA). Σημειώνεται ότι είναι η πρώτη φορά που αυτή η μεθοδολογία χρησιμοποιείται για αξιολόγηση μονάδων, που δεν ανήκουν στον κλάδο της επιχειρησιακής έρευνας.
- Η παρουσίαση μιας νέας λύσης στο πρόβλημα της προ-εγκατάστασης περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού, με την αξιοποίηση των προφίλ που παράγονται από τους ευφυείς πράκτορες υποβοήθησης των χρηστών στην αναζήτηση περιεχομένου.

1.4 Δομή της Διδακτορικής Διατριβής

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή αποτελείται από τα παρακάτω κεφάλαια:

Στο **Κεφάλαιο 1**, *Εισαγωγή*, παρουσιάζουμε το πρόβλημα και τη μεθοδολογία αντιμετώπισης που ακολουθείται, και επικεντρώνουμε στο αντικείμενο, τους στόχους και τη συνεισφορά στην ερευνητική περιοχή της Διδακτορικής Διατριβής.

Στο **Κεφάλαιο 2**, *Χαρακτηρισμός & Μοντελοποίηση της Σύγχρονης Διαδικτυακής Δραστηριότητας σε Επίπεδο Εφαρμογής*, πραγματοποιούμε μια διεξοδική και αναλυτική μελέτη σχετικά με τη φύση και τα χαρακτηριστικά της διαδικτυακής δραστηριότητας, που παράγεται από τις σημερινές υπηρεσίες και εφαρμογές του Διαδικτύου. Πρόκειται για μια συγκεντρωτική, βιβλιογραφική έρευνα που αποτελεί το επιστέγασμα όλων των προσπαθειών για χαρακτηρισμό και μοντελοποίηση της σύγχρονης διαδικτυακής δραστηριότητας έως και σήμερα. Παρουσιάζονται οι διαφορετικές μεθοδολογίες άντλησης του πραγματικού φόρτου με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους και παρέχεται η απαραίτητη γνώση, ώστε να αποκτήσει ο μελλοντικός ερευνητής το κατάλληλο υπόβαθρο πάνω στα θέματα στατιστικής, που σχετίζονται με το χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση. Επιπλέον, εκθέτονται οι κυριότερες παρατηρήσεις πάνω στο χαρακτηρισμό της διαδικτυακής δραστηριότητας, στις οποίες οδήγησε η έρευνα, μέχρι σήμερα. Τέλος, παρουσιάζονται τα προτεινόμενα μοντέλα για την παραγωγή της τεχνητής διαδικτυακής δραστηριότητας.

Στο **Κεφάλαιο 3**, *SYNTHIA: Μια Ολοκληρωμένη Πλατφόρμα για τη Σύνθεση Διαδικτυακής Δραστηριότητας σε Επίπεδο Εφαρμογής*, παρουσιάζουμε την αρχιτεκτονική του συστήματος SYNTHIA (SYNTHESIS of Internet Activity) και περιγράφουμε όλες τις λεπτομέρειες σχετικά με το σχεδιασμό και τη λειτουργία του. Η SYNTHIA αποτελεί μια γενικευμένη πλατφόρμα ανάπτυξης μηχανών παραγωγής τεχνητής διαδικτυακής δραστηριότητας, η οποία σχετίζεται με διάφορες υπηρεσίες και εφαρμογές του Διαδικτύου. Παρέχει συμβατότητα με άλλες υπάρχουσες μηχανές παραγωγής τεχνητού διαδικτυακού φόρτου, ενώ εξαιτίας της ολοκληρωμένης στατιστικής βιβλιοθήκης της είναι σε θέση να αναβαθμίσει τις δυνατότητές τους. Προς το παρόν, στη SYNTHIA έχουν ενσωματωθεί οι αναβαθμισμένες εκδόσεις δύο μηχανών παραγωγής τεχνητής διαδικτυακής δραστηριότητας. Πρόκειται για τη μηχανή ProwGen, που παράγει τεχνητούς φόρτους παγκοσμίου ιστού και τη μηχανή Gismo 1.0, που παράγει δραστηριότητα δικτυακών εφαρμογών αποθηκευμένων πολυμέσων.

Στο **Κεφάλαιο 4**, *Προσομοίωση Εφαρμογών Ενδιάμεσης Αποθήκευσης στον Παγκόσμιο Ιστό – Περιπτωσιολογική Μελέτη: Η Αναβάθμιση του Προσομοιωτή Εφαρμογών Ενδιάμεσης Αποθήκευσης του Wisconsin*, παρουσιάζονται και κατηγοριοποιούνται όλα τα πακέτα προσομοίωσης, που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς στη μελέτη συστημάτων και εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης στον παγκόσμιο ιστό. Επιπλέον, αναλύεται διεξοδικά η αρχιτεκτονική μιας βελτιωμένης έκδοσης του προσομοιωτή του Wisconsin, για στρατηγικές αντικατάστασης αντικειμένων σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού, ο οποίος αξιολογείται στην έρευνα για την αναζήτηση των αποδοτικότερων αλγορίθμων, που αναλύεται παρακάτω.

Στο **Κεφάλαιο 5**, *Αξιολόγηση των Στρατηγικών Αντικατάστασης Περιεχομένου του Παγκοσμίου Ιστού με Χρήση της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων*, πραγματοποιείται μια έρευνα για την ανεύρεση των στρατηγικών αντικατάστασης αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού, που παρουσιάζουν καλές επιδόσεις με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Η πολυ-δοκιμασμένη και επιτυχημένη από την επιχειρησιακή έρευνα μεθοδολογία της περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων αξιοποιείται για την ανάλυση της αποδοτικότητας των στρατηγικών, ως συμπληρωματικό εργαλείο της προσομοίωσης, η οποία αποτελεί την αποκλειστική μεθοδολογία για έρευνα πάνω στο αντικείμενο.

Στο **Κεφάλαιο 6**, *Αξιοποίηση των Ευφρών Πρακτόρων σε Τεχνολογίες Προ-Εγκατάστασης Περιεχομένου*, αναλύουμε την έννοια της προ-εγκατάστασης (Pre-Loading) και των δύο

βασικών μορφών της, που είναι η προ-ανάκτηση (Pre-Fetching) και η προώθηση (Pre-Pushing). Παρουσιάζουμε την ταξινόμηση των διαφόρων μεθοδολογιών, που έχουν προταθεί κατά καιρούς, αναλύουμε τα συστατικά στοιχεία που απαρτίζουν τα συστήματα προ-εγκατάστασης περιεχομένου (ΣΠΕΠ) και περιγράφουμε τις βασικές αρχιτεκτονικές, στις οποίες αυτά είναι δομημένα. Στην έρευνά μας, δίνουμε ιδιαίτερη έμφαση στις δύο κύριες κατηγορίες τεχνικών πρόβλεψης που αξιοποιούν τα ΣΠΕΠ: την πρόβλεψη βάσει του ιστορικού των προσπελάσεων και την πρόβλεψη βάσει του περιεχομένου των διαδικτυακών αντικειμένων. Στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου, ενισχύουμε την έρευνα πάνω στις τεχνικές πρόβλεψης βάσει του περιεχομένου των διαδικτυακών αντικειμένων, προτείνοντας την αξιοποίηση των δυνατοτήτων που προσφέρουν οι ευφυείς πράκτορες υποβοήθησης του χρήστη στην αναζήτηση περιεχομένου. Συγκεκριμένα, πραγματοποιούμε μια περιπτωσιολογική μελέτη σχετικά με τη δυνατότητα αναβάθμισης ενός τέτοιου ευφυούς συστήματος, του WebNaut, με την ενσωμάτωση ενός πράκτορα ενδιάμεσης αποθήκευσης και προ-εγκατάστασης στην αρχιτεκτονική του. Πιστεύουμε ότι η ενεργητική συμμετοχή του χρήστη στη διαμόρφωση του προφίλ των ενδιαφερόντων του – που προσφέρεται, μέσω της ανάδρασης, από ευφυή συστήματα αναζήτησης περιεχομένου, όπως το WebNaut – μπορεί να παίζει καθοριστικό ρόλο στην πρόβλεψη και προ-εγκατάσταση των διαδικτυακών αντικειμένων.

Στο **Κεφάλαιο 7**, *Ανασκόπηση, Συμπεράσματα & Μελλοντική Έρευνα*, ανακεφαλαιώνουμε και παραθέτουμε τα συμπεράσματα που εξάγονται από την παρούσα Διδακτορική Διατριβή και χαράζουμε τους νέους ορίζοντες της έρευνάς μας.

Στο **Παράρτημα Α**, *Μορφοκλασματική Ομοιότητα*, δίνουμε μια σύντομη περιγραφή και ανάλυση στο στατιστικό φαινόμενο της μορφοκλασματικής ομοιότητας (Self-Similarity), το οποίο χαρακτηρίζει την αστάθεια στη διαδικτυακή δραστηριότητα και τα ξεσπάσματα – δηλαδή, τις απότομες μεταβολές – που αυτή παρουσιάζει.

Στο **Παράρτημα Β**, *Πίνακες Αποδοτικότητας*, παρουσιάζουμε τους αναλυτικούς πίνακες αποδοτικότητας, που αφορούν τα πειράματα ΠΑΔ, τα οποία πραγματοποιήθηκαν κατά την έρευνα του πέμπτου κεφαλαίου πάνω στην αναζήτηση των πραγματικά αποδοτικών στρατηγικών αντικατάστασης περιεχομένου σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού. Πρόκειται για τους πίνακες αποδοτικότητας, όπως ακριβώς προέκυψαν από το λογισμικό EMS (Efficiency Measurement System) [Barr04].

Όλη η βιβλιογραφική κάλυψη, με τις δημοσιεύσεις, τα βιβλία και το ερευνητικό υπόβαθρο εμφανίζονται στο τέλος της παρούσας διατριβής.

1.5 Συνεισφορά στην Ερευνητική Περιοχή

Οι πρωτότυπες λύσεις που παρουσιάζονται στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή και αποτελούν τη συνεισφορά της στην επιστήμη είναι οι ακόλουθες:

- Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση μιας ολοκληρωμένης πλατφόρμας για την παραγωγή τεχνητής διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής. Το σύστημα SYNTHIA είναι δομημένο πάνω στις αδυναμίες παρόμοιων συστημάτων του παρελθόντος, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους προκάτοχους του.
- Η ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη τελική αξιολόγηση των στρατηγικών αντικατάστασης σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού. Είναι η πρώτη φορά που η πολυ-δοκιμασμένη, από την επιχειρησιακή έρευνα, μεθοδολογία της περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων αξιοποιείται στην αξιολόγηση αλγορίθμων.
- Η έρευνα πάνω στη δυνατότητα αξιοποίησης των μηχανών αναζήτησης και των ευφών συστημάτων υποβοήθησης στην πλοήγηση στον παγκόσμιο ιστό από εφαρμογές προ-εγκατάστασης περιεχομένου.

Επιπλέον, η οργάνωση και ανάλυση της βιβλιογραφίας πάνω στο χαρακτηρισμό της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής προσφέρει μια ολοκληρωμένη εικόνα πάνω στο αντικείμενο. Αυτή η δουλειά μας αποτελεί έναν κομβικό σταθμό και μπορεί να πυροδοτήσει μελλοντικές έρευνες, φωτίζοντας τα κενά και τις ελλείψεις στη βιβλιογραφία.

Τέλος, με την αναβάθμισή του, ο προσομοιωτής του Wisconsin μπορεί να αποτελέσει μια σημαντική επιλογή για την υποστήριξη της όποιας έρευνας πάνω σε στρατηγικές αντικατάστασης περιεχομένου του ιστού. Ο προσομοιωτής διαθέτει την πλέον ενημερωμένη βάση με στρατηγικές αντικατάστασης από οποιοδήποτε άλλο εργαλείο προσομοίωσης που κυκλοφορεί.

Κεφάλαιο 2

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ & ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

2.1 Εισαγωγή

Από την εποχή της δημιουργίας του, ο παγκόσμιος ιστός έχει εξελιχθεί σε ένα δημόσιο πληροφοριακό σύστημα, που αποτελεί το συνδετικό κρίκο για μια σειρά από νέες και απαιτητικές – σε πόρους – υπηρεσίες. Παραδείγματα τέτοιων υπηρεσιών είναι οι υπηρεσίες ομότιμων δικτύων (Peer-to-Peer Networks, P2P) για ανταλλαγή αρχείων, οι δικτυακές εφαρμογές πολυμέσων (Multimedia Networking Applications) και τα διαδικτυακά παιχνίδια, που παρουσιάζουν συνεχώς αυξανόμενη δημοτικότητα. Η δεκαετία του 2000 αποτελεί ένα ορόσημο στην εξέλιξη του παγκοσμίου ιστού, από την αρχική μορφή του – που είναι γνωστή ως “πρώτη έκδοση του παγκοσμίου ιστού (Web 1.0)”, όπου οι πληροφορίες δημιουργούνται από τους λίγους και απευθύνονται στους πολλούς – στη σύγχρονη μορφή του – που είναι γνωστή ως “δεύτερη έκδοση του παγκοσμίου ιστού (Web 2.0)”, όπου ο καθένας μπορεί να δημιουργήσει πληροφορίες, οι οποίες να απευθύνονται προς όλο τον κόσμο. Η κοινωνική δικτύωση (Social Networking) είναι η κινητήριος δύναμη αυτής της εξέλιξης και ως εκ τούτου συνιστά έναν εν δυνάμει παράγοντα που επηρεάζει τη διαμόρφωση της σημερινής διαδικτυακής δραστηριότητας.

Η προσχώρηση και ολοκλήρωση νέων υπηρεσιών στο άρμα του παγκοσμίου ιστού, καθώς και η ίδια η εξέλιξή του καθιστούν την παρακολούθηση και την καταγραφή, το χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση και την πειραματική αναπαραγωγή της διαδικτυακής δραστηριότητας πιο απαραίτητες και επιτακτικές από ποτέ. Ο απώτερος στόχος είναι η διαφύλαξη της αξιοπιστίας του σημερινού Διαδικτύου και η εξασφάλιση της σταθερής και υγιούς λειτουργίας του στο μέλλον. Συγκεκριμένα, η παρακολούθηση και καταγραφή της διαδικτυακής δραστηριότητας οδηγούν στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση των βασικών χαρακτηριστικών της. Στο στάδιο αυτό μπορούν να εξαχθούν σημαντικές

πληροφορίες για την αναβάθμιση ή τη βελτίωση της λειτουργίας των δικτυακών υποδομών και των εξειδικευμένων τεχνολογιών διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου.

Επιπλέον, τα μοντέλα που παράγονται από το στάδιο του χαρακτηρισμού και της μοντελοποίησης μπορούν να αξιοποιηθούν στη συνθετική αναπαραγωγή της παρατηρούμενης δραστηριότητας, και, κυρίως, διαφόρων παραλλαγών αυτής. Οι παραγόμενοι συνθετικοί φόρτοι (Workloads), σε συνδυασμό με την ευρέως αποδεκτή μεθοδολογία της προσομοίωσης, σχηματίζουν ένα χρήσιμο εργαλείο για την έρευνα προς τη βελτίωση και αναβάθμιση των δικτυακών εγκαταστάσεων και των υποδομών του Διαδικτύου, καθώς και την ανάπτυξη εξειδικευμένων και καινοτόμων τεχνολογιών διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου.

Μια λεπτομερέστερη ανάλυση της χρησιμότητας της παρακολούθησης και της καταγραφής, του χαρακτηρισμού και της μοντελοποίησης της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής μπορεί να μας οδηγήσει σε όλους τους τομείς της έρευνας πάνω στις αντιδραστικές και προ-ενεργητικές τεχνολογίες διανομής και παράδοσης του περιεχομένου. Διαχρονικά, έχουν αποκομιστεί σημαντικά οφέλη στις παρακάτω ερευνητικές περιοχές:

- Στην έρευνα πάνω σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης περιεχομένου σε επίπεδο εφαρμογής – κυρίως στον παγκόσμιο ιστό [Abd97, Arl99a, Bres99, Shi02, Pall03, Kha05, Bent06, Gonz07], στα ομότιμα δίκτυα [Leib02, Leib03, Bust03, Gumm03, Andr04a, Plis06, Sal06, Stut07], και τις δικτυακές εφαρμογές πολυμέσων πραγματικής ροής [Ches01, Cost04a] και ψευδο-ροής [Chen07, Cha07, Gill07, Zink08, Zink09].
- Στην έρευνα πάνω σε εξειδικευμένες τεχνικές που αποσκοπούν στην εξοικονόμηση πόρων και τη βελτίωση των επιδόσεων του Διαδικτύου – όπως είναι οι τεχνολογίες επιλεκτικής εκπομπής (Multicast Delivery) και συγχώνευσης των πολυμεσικών ροών (Stream Merging) [Alm01, Ches01, Eag01] στην περίπτωση των δικτυακών εφαρμογών πολυμέσων.
- Στην έρευνα πάνω σε τεχνικές και τεχνολογίες προ-εγκατάστασης διαδικτυακού περιεχομένου, που μπορούν να ενσωματωθούν και να ολοκληρωθούν πάνω στις εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης [Alm96, Chen07].

- Στην έρευνα πάνω στα εξειδικευμένα δίκτυα διανομής και παράδοσης (CDNs) του διαδικτυακού περιεχομένου σε επίπεδο εφαρμογής [Bent06, Zink08].
- Στην έρευνα πάνω στο σχεδιασμό της χωρητικότητας (Capacity Planning) και τη γενικότερη διαχείριση των γραμμών και συσκευών επικοινωνίας των δικτύων [Sinh05, Gill08, Kang010].
- Στην έρευνα πάνω στην αξιοποίηση του δικτυακού μοντέλου ομότιμων μηχανών, ως εναλλακτικής λύσης στην αποσυμφόρηση εφαρμογών που ακολουθούν το κλασικό μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή [Chen07, Cha07, Zink08, Zink09].
- Στην έρευνα πάνω σε εξειδικευμένα πρωτόκολλα, δικτυακές αρχιτεκτονικές και αλγόριθμους κατανομής του διαδικτυακού φόρτου για την υποστήριξη απαιτητικών εφαρμογών, όπως τα διαδικτυακά παιχνίδια [Kwok05, Zhu07].
- Μια ερευνητική περιοχή – η οποία δε σχετίζεται με τις τεχνολογίες διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου και γενικότερα με τη βελτίωση της αποδοτικότητας των διαδικτυακών πόρων – που ωφελείται αφορά στην έρευνα πάνω στην κοινωνική δικτύωση [Ben09].
- Μια επιπλέον ερευνητική περιοχή – η οποία, επίσης, δε σχετίζεται άμεσα με τις τεχνολογίες διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου και γενικότερα με τη βελτίωση της αποδοτικής λειτουργίας των διαδικτυακών πόρων – που ωφελείται είναι ο τομέας της διαδικτυακής ασφάλειας. Ειδικότερα, η ανάπτυξη συστημάτων ανίχνευσης εισβολών (Intrusion Detection Systems) – τα οποία είτε μπορούν να δρουν αυτόνομα [Dou04], είτε σε συνεργασία με άλλα [Zhou010] – για παρακολούθηση της διαδικτυακής δραστηριότητας, με σκοπό την ταυτοποίηση γνωστών επιθέσεων από κακόβουλες εφαρμογές, αποτελεί μια από τις βασικές προτεραιότητες των διαχειριστών των δικτυακών συστημάτων. Η ανάπτυξη μοντέλων από καταγεγραμμένες επιθέσεις έχει οδηγήσει στη δημιουργία εξειδικευμένων μηχανών παραγωγής τεχνητών διαδικτυακών επιθέσεων για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας των δικτυακών συστημάτων [Somm04b, Ant04]. Είναι, επίσης, γεγονός ότι ένα μέρος της έρευνας πάνω στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής έχει στηριχθεί στην άντληση διαδικτυακών φόρτων μέσω εφαρμογών παρακολούθησης, που προορίζονταν για ανίχνευση επιθέσεων [Bash08].

Το κεφάλαιο αυτό είναι αφιερωμένο πάνω στη συνεχή και επίμονη προσπάθεια για παρακολούθηση, καταγραφή, χαρακτηρισμό και μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής, στο πλαίσιο της γενικότερης έρευνας πάνω στις τεχνολογίες διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου, με τις οποίες σχετίζεται άμεσα. Το παρόν κεφάλαιο είναι οργανωμένο ως εξής:

Η παράγραφος 2.2 περιγράφει τις διαφορετικές μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται στην παρακολούθηση και καταγραφή της διαδικτυακής δραστηριότητας, με σκοπό τη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων που περιγράφουν τις συναλλαγές ανά εφαρμογή. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε μεθοδολογίας, ενώ πραγματοποιείται η εκτενής βιβλιογραφική κάλυψη ως προς την έρευνα που έχει στηρίξει η καθεμία, στο πλαίσιο του χαρακτηρισμού και της μοντελοποίησης.

Η παράγραφος 2.3 βοηθάει τον αναγνώστη, ώστε να αποκτήσει το απαραίτητο υπόβαθρο γύρω από τη βασική στατιστική και τις κατανομές που σχετίζονται στενά με τη διαδικασία του χαρακτηρισμού και της μοντελοποίησης. Μεταξύ άλλων:

- Αναλύονται οι κατανομές που έχει διαπιστωθεί ότι μπορούν να μοντελοποιήσουν τα παρατηρούμενα χαρακτηριστικά της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής.
- Περιγράφονται κάποιες βασικές στατιστικές έννοιες που έχουν χρησιμοποιηθεί στο χαρακτηρισμό της διαδικτυακής δραστηριότητας, κυρίως, οι έννοιες: κατανομή ενισχυμένων άκρων (Heavy-Tailed Distribution), κατανομή μακρών άκρων (Long-Tailed Distribution).
- Αναλύονται οι μεθοδολογίες που έχουν χρησιμοποιηθεί ή μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την ταυτοποίηση των κατανομών στα παρατηρούμενα δεδομένα, που αφορούν τα χαρακτηριστικά της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής.

Στην παράγραφο 2.4 δίνουμε έναν περιεκτικό ορισμό στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση σε επίπεδο εφαρμογής και προβάλλουμε την ιδιαίτερη σημασία τους για την έρευνα πάνω στις τεχνολογίες διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου. Αφού προσδιορίσουμε την έννοια της συνόδου μεταξύ πελάτη-εξυπηρετητή, χωρίζουμε το χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση σε δύο στάδια: τη μικροσκοπική και τη μακροσκοπική ανάλυση.

Οι παράγραφοι 2.5, 2.6 και 2.7 αφορούν στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση των εφαρμογών που κυριαρχούν στο σημερινό διαδίκτυο, δηλαδή του παγκοσμίου ιστού, των δικτυακών εφαρμογών πολυμέσων και των εφαρμογών ομότιμων δικτύων στην ανταλλαγή αρχείων. Η παράγραφος 2.8 αφορά στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση εφαρμογών, που είναι εξαιρετικά ευαίσθητες στις υψηλές καθυστερήσεις, και, κυρίως, των διαφόρων διαδικτυακών παιχνιδιών, τα οποία συνεχώς κερδίζουν σε δημοτικότητα και αναμένεται να αποτελέσουν σοβαρό παράγοντα αποσταθεροποίησης στην ομαλή λειτουργία του Διαδικτύου. Τέλος, η παράγραφος 2.9 παρουσιάζει όλα τα συμπεράσματα του κεφαλαίου και, κυρίως, καταγράφει όλα τα κενά της έρευνας πάνω στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση, ώστε να κατευθύνει τις μελλοντικές προσπάθειες.

2.2 Παρακολούθηση & Καταγραφή της Διαδικτυακής Δραστηριότητας

Υπάρχουν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις όσον αφορά στην παρακολούθηση και καταγραφή της διαδικτυακής δραστηριότητας:

- Η παρακολούθηση και καταγραφή από την πλευρά του πελάτη.
- Η αξιοποίηση των ημερολογίων (Logs) στους πηγαίους και πληρεξούσιους εξυπηρετητές.
- Η παθητική παρακολούθηση και καταγραφή του κυκλοφοριακού στα διάφορα κομβικά σημεία των δικτύων και σε πραγματικό χρόνο.

2.2.1 Παρακολούθηση & Καταγραφή από την Πλευρά του Πελάτη

Έχουν παρατηρηθεί δύο διαφορετικές τεχνικές που μπορούν να υπαχθούν κάτω από αυτή την κατηγορία:

Η πρώτη σχετίζεται με την άμεση αξιοποίηση – πιθανώς, ύστερα από κάποια τροποποίηση – του πράκτορα λογισμικού του χρήστη (User Agent), που εκτελεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας από την πλευρά του πελάτη, ώστε να καταγράφει όλα τα απαραίτητα στοιχεία των συναλλαγών. Για παράδειγμα, οι Cunha et al. [Cunh95] χρησιμοποίησαν μια τροποποιημένη έκδοση του φυλλομετρητή Mosaic, ώστε να αποθηκεύει εγγραφές σχετικά με τις συναλλαγές των χρηστών. Σε αυτήν την κατηγορία μπορεί να ενταχθεί και η περίπτωση όπου οι ιστοσελίδες σε έναν εξυπηρετητή περιέχουν κομμάτια κώδικα – πχ. JavaScript – τα οποία υποχρεώνουν το φυλλομετρητή να στέλνει

στοιχεία σχετικά με την πλοήγηση σε αυτόν τον εξυπηρετητή [Mah09]. Η χρήση εξειδικευμένου λογισμικού-πελάτη [Fett03, Chen07, Baez07, Cha07, Ben09], που πλοηγεί κατευθυνόμενα στο Διαδίκτυο – τα αποκαλούμενα Crawlers – για να συλλέξει στοιχεία ανήκει, επίσης, σε αυτήν την κατηγορία.

Η τροποποίηση του πράκτορα λογισμικού του χρήστη, ώστε να λειτουργεί ως Crawler, παρουσιάζεται να έχει μεγαλύτερη απήχηση στην περίπτωση των εφαρμογών ομότιμων δικτύων P2P για την ανταλλαγή αρχείων [Bust03, Fess04, Andr04a, Andr04b, Stut06, Stut07, Erm010], όπου οι πράκτορες λογισμικού του χρήστη μπορούν να μετατραπούν σε εξειδικευμένες, ομότιμες μηχανές που να είναι δραστηριοποιημένες στην εξαντλητική εξέταση των άλλων ομότιμων μηχανών, με απώτερο στόχο να εξάγουν χρήσιμες πληροφορίες ως προς το περιεχόμενο και τη δραστηριότητά τους στο δίκτυο P2P. Η μεθοδολογία αυτή έχει αξιοποιηθεί για τη μελέτη διαφόρων τεχνολογιών ομότιμων δικτύων ανταλλαγής αρχείων, όπως είναι το Napster [Sar02, Chu02], το Gnutella [Sar02, Chu02, Bust03, Andr04a, Stut06, Sal06, Stut07], το eDonkey [Fess04, Stut06] και το BitTorrent [Pouw05]. Έχει, επίσης, αξιοποιηθεί στα ομότιμα δίκτυα πολυμεσιών εφαρμογών, όπως το δίκτυο τηλεπικοινωνίας Skype [Guha06, Xie07] και το δίκτυο δικτυακής τηλεόρασης PPLive [Vu07].

Στην περίπτωση των διαδικτυακών παιχνιδιών, οι Henderson και Bhatti [Hend01] αξιοποίησαν εξειδικευμένο πρόγραμμα πελάτη για να αποσπάσουν πληροφορίες από εξυπηρετητές-παιχνιδομηχανές. Οι Zhuang et al [Zhu07] αξιοποίησαν πρόγραμμα πελάτη για τη μελέτη του πολύ δημοφιλούς παιχνιδιού 'World of Warcraft'.

Η δεύτερη τεχνική, που εντάσσεται στη γενικότερη μεθοδολογία παρακολούθησης και καταγραφής από την πλευρά του πελάτη, αναφέρεται στην αξιοποίηση πρόσθετου, βοηθητικού λογισμικού, το οποίο να μην ανήκει στον πράκτορα λογισμικού του χρήστη. Ο Bradley [Brad99] και οι Barford et al [Barf99] χρησιμοποίησαν έναν πράκτορα πληρεξούσιου εξυπηρετητή, ώστε να υποκλέπτει και να καταγράφει τις συναλλαγές στον παγκόσμιο ιστό όλων των χρηστών που έχουν πρόσβαση σε κάποιο ηλεκτρονικό υπολογιστή. Οι Pouwelse et al [Pouw05] δημιούργησαν έναν αριθμό βοηθητικών σεναρίων (Scripts) στο μηχανήμα του πελάτη, σε μια προσπάθεια να παρακολουθήσουν όλα τα ζωτικά συστατικά του ομότιμου δικτύου BitTorrent.

2.2.1.1 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της Μεθοδολογίας

Η παρακολούθηση και καταγραφή της διαδικτυακής δραστηριότητας από την πλευρά του πελάτη παρουσιάζει κάποια βασικά προτερήματα, αλλά και κάποια ανεπιθύμητα ελαττώματα. Όσον αφορά στα προτερήματα:

- Μπορεί να δώσει χρήσιμες πληροφορίες σε επίπεδο απλού χρήστη. Ως εκ τούτου, μπορεί να ωφελήσει ιδιαίτερα την έρευνα πάνω στην ομαδοποίηση των χρηστών (User Clustering), με βάση τα ενδιαφέροντά τους.
- Πρόκειται για μια μεθοδολογία, που μπορεί να εφαρμοστεί από οποιονδήποτε έχει πρόσβαση επιπέδου διαχειριστή σε κάποιον Η/Υ και διαθέτει τις απαραίτητες τεχνικές γνώσεις.

Όσον αφορά στα μειονεκτήματα αυτής της μεθοδολογίας:

- Η διαδικτυακή δραστηριότητα που καταγράφεται αντιπροσωπεύει ένα πολύ μικρό αριθμό χρηστών, ουσιαστικά όσων έχουν πρόσβαση στο συγκεκριμένο Η/Υ, όπου δραστηριοποιείται η εφαρμογή καταγραφής. Δεδομένου ότι η έρευνα πάνω σε τεχνολογίες διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου έχει πολύ μεγαλύτερη αξία σε επίπεδο δικτύου από ό,τι σε επίπεδο απλού Η/Υ, απαιτείται η συγκομιδή πληροφοριών για όλη την κοινότητα των χρηστών πίσω από το δίκτυο. Κάτι τέτοιο προϋποθέτει την εγκατάσταση της εφαρμογής καταγραφής σε όλους τους υπολογιστές του δικτύου, αυξάνοντας σημαντικά το βαθμό δυσκολίας του όλου εγχειρήματος. Επιπλέον, απαιτείται η συλλογή όλων των δεδομένων σε έναν κεντρικό αποθηκευτικό χώρο για περαιτέρω επεξεργασία και οργάνωση [Cunh95].
- Για την τροποποίηση της λειτουργίας των πρακτόρων λογισμικού των χρηστών – π.χ. των φυλλομετρητών – απαιτείται η γνώση του κώδικά τους. Αυτό σημαίνει ότι μόνο οι εφαρμογές ανοιχτού κώδικα μπορούν εν δυνάμει να τροποποιηθούν. Επιπλέον, σε περίπτωση όπου οι χρήστες προτιμούν εφαρμογές κλειστού κώδικα, τότε απαιτείται η εφαρμογή καταγραφής να αποτελεί ένα ξεχωριστό και αυτόνομο πρόγραμμα, όπως είναι για παράδειγμα μια εφαρμογή διακομιστή διαμεσολάβησης [Brad99].
- Η καταγραφή των δραστηριοτήτων του απλού χρήστη οφείλει να εξασφαλίζει τη διατήρηση της ανωνυμίας του και την προστασία της ιδιωτικότητάς του στο ακέραιο. Η προστασία των προσωπικών δεδομένων είναι ένα ανυπέρβλητο εμπόδιο, ιδιαίτερα στην

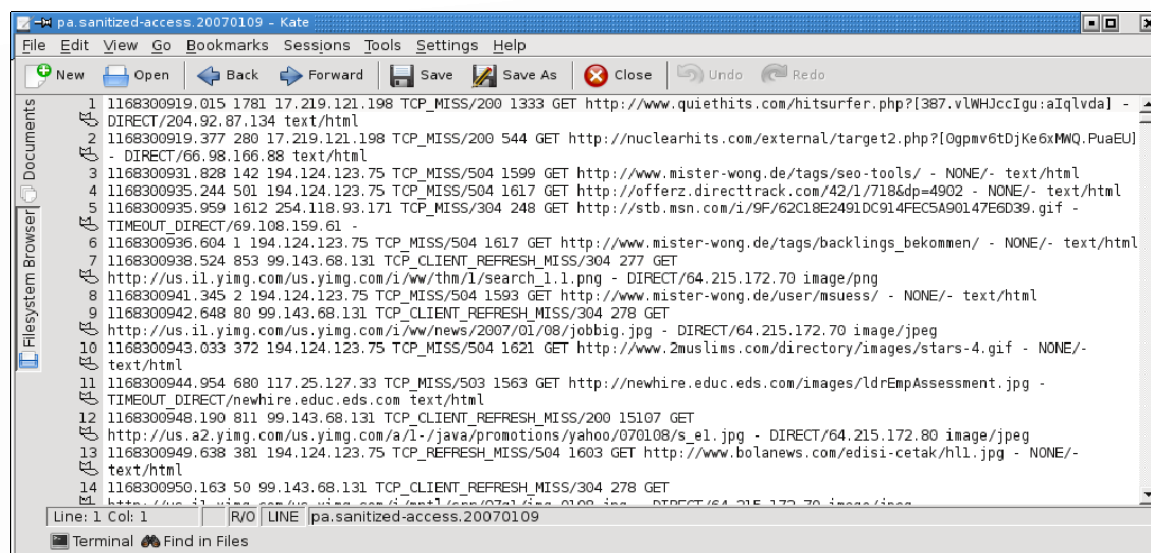
περίπτωση όπου τίθεται θέμα εμπιστοσύνης μεταξύ των χρηστών και του διαχειριστή ενός Η/Υ.

2.2.2 Αξιοποίηση των Ημερολογίων των Εξυπηρετητών

Ένα πολύτιμο εργαλείο για την παρακολούθηση και καταγραφή δεδομένων διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής είναι τα ημερολόγια των πηγαίων και των πληρεξουσίων εξυπηρετητών. Ο κάθε εξυπηρετητής έχει τη δυνατότητα να καταγράφει, σε απλά αρχεία κειμένου ASCII, ουσιώδη μεταδεδομένα σχετικά με τις συναλλαγές στις οποίες συμμετέχει. Ο βαθμός της λεπτομέρειας και η χρονική περίοδος των εγγραφών εξαρτώνται από τις ανάγκες του διαχειριστή.

Όσον αφορά στην ενδιάμεση αποθήκευση περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού, καθώς και στην καταγραφή, το χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση των φόρτων, τα ημερολόγια των πληρεξουσίων υποστήριζαν διαχρονικά όλη την ερευνητική προσπάθεια. [Abd97, Dusk97, Arl99a, Mah00, Pall03, Kha05, Gonz07]. Ακόμα και σήμερα, υπάρχει μια σειρά πηγών από τις οποίες ο ενδιαφερόμενος ερευνητής μπορεί να αντλήσει ημερολόγια με διαδικτυακή δραστηριότητα παγκοσμίου ιστού. Το έργο IRCache [Nat07] αποτελεί την κυριότερη πηγή εξαιτίας της δυνατότητάς του να παρέχει πάντοτε σύγχρονα δεδομένα που καταγράφονται από μια ομάδα πληρεξουσίων εξυπηρετητών σε διάφορες περιοχές της Αμερικανικής ηπείρου. Στο σχήμα 2.1 δίνεται ένα παράδειγμα της δραστηριότητας παγκοσμίου ιστού, όπως καταγράφηκε από το ημερολόγιο ενός πληρεξουσίου στο Palo Alto της California, στα πλαίσια του έργου IRCache, την 9^η Ιανουαρίου 2007.

Είναι, επίσης, συνήθης πρακτική η αξιοποίηση των ημερολογίων από πηγαίους εξυπηρετητές του παγκοσμίου ιστού για την υποστήριξη της έρευνας πάνω στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση. Η σχετική έρευνα αναφέρεται σε μια σειρά από πηγαίους εξυπηρετητές, που υποστηρίζουν τους δικτυακούς τόπους πανεπιστημιακών ιδρυμάτων και άλλων ερευνητικών κέντρων [Alm96, Arl97, Shi02, Will05, Fab06, Mah09], τους εμπορικούς δικτυακούς τόπους [Oke02], τους δικτυακούς τόπους, που καλύπτουν κάποιο σημαντικό γεγονός [Arl00c], τους ειδησεογραφικούς δικτυακούς τόπους [Padm00], τους δικτυακούς τόπους ηλεκτρονικού εμπορίου [Wang03], τα ιστολόγια (Web Logs ή Blogs) [Duar07, Jeon010], και άλλα.



Σχήμα 2.1. Παράδειγμα καταγραφής της δραστηριότητας του παγκοσμίου ιστού σε ημερολόγιο πληρεξούσιου εξυπηρετητή

Όσον αφορά στις δικτυακές εφαρμογές πολυμέσων, τα ημερολόγια των πολυμεσιών εξυπηρετητών χρησιμοποιούνται διαχρονικά για το χαρακτηρισμό, τόσο των αποθηκευμένων [Acha00, Alm01, Cost04a, Cher04, Yu06], όσο και των ζωντανών [VMer02, Srip04, Vel06] πολυμεσιών ροών. Εξαιτίας της απαιτητικής σε πόρους φύσης των πολυμεσιών ροών, τα ημερολόγια της πολυμεσιικής δραστηριότητας ενδέχεται να προέρχονται από τους εξυπηρετητές ενός εξειδικευμένου δικτύου διανομής και παράδοσης περιεχομένου (CDN), όπως είναι το δίκτυο Akamai [Srip04].

Η περίπτωση των ομότιμων δικτύων P2P είναι ιδιαίτερη. Τα δίκτυα αυτά βασίζονται στις ομότιμες μηχανές που παίζουν το ρόλο του πελάτη και του πηγαίου εξυπηρετητή ταυτόχρονα. Όσον αφορά στη λειτουργία τους ως πηγαίοι εξυπηρετητές, οι ομότιμες μηχανές δεν κρατάνε κάποια ημερολόγια, όπως γίνεται με τον παγκόσμιο ιστό. Οι Andreolini και Lancellotti [Andr04a] αναφέρουν ότι η καταγραφή της δραστηριότητας P2P στηρίζεται, κυρίως, στις άλλες δύο μεθοδολογίες, που παρουσιάζονται στο παρόν. Παρόλα αυτά, η αξιοποίηση των ημερολογίων εξυπηρετητών έχει καταγραφεί κυρίως στην περίπτωση του δικτύου BitTorrent [Guo05b, Stut06] και του πανεπιστημιακού δικτύου Maze [Liu05].

Μια ιδιάζουσα περίπτωση είναι η χρησιμοποίηση επιπρόσθετου κώδικα σε πηγαίο εξυπηρετητή, ώστε να κρατάει ημερολόγιο, που να είναι εξειδικευμένο πάνω σε κάποια εφαρμογή. Μια τέτοια περίπτωση έχει καταγραφεί στις εφαρμογές των διαδικτυακών παιχνιδιών [Kwok05].

2.2.2.1 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της Μεθοδολογίας

Σε γενικές γραμμές, τα πλεονεκτήματα της αξιοποίησης των ημερολογίων των εξυπηρετητών στην καταγραφή της διαδικτυακής δραστηριότητας είναι τα ακόλουθα:

- Η καταγεγραμμένη δραστηριότητα καλύπτει ένα μεγάλο σύνολο χρηστών και δικτύων. Ως εκ τούτου, μπορεί να αξιοποιηθεί για προσομοιώσεις στη μελέτη των τεχνολογιών διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου.
- Οι σύγχρονες εφαρμογές πληρεξούσιων – π.χ. Squid [Wess04] – και πηγαίων εξυπηρετητών – π.χ. Apache [Laur01] – έχουν αυξημένες δυνατότητες, όσον αφορά στην καταγραφή των παραμέτρων σε σχέση με τη διαδικτυακή δραστηριότητα. Επομένως, έχουν την ικανότητα να προσδώσουν τον απαραίτητο βαθμό λεπτομέρειας και ακρίβειας, που πολλές φορές απαιτείται από τις επιστημονικές έρευνες.
- Μπορεί, πλήρως, να εξασφαλιστεί το απόρρητο των συναλλαγών, αφού είναι συνήθης η πρακτική από τους εκάστοτε διαχειριστές να κρυπτογραφούν όλα τα ευαίσθητα δεδομένα.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα αυτής της μεθοδολογίας είναι τα παρακάτω:

- Είναι εξαιρετικά δύσκολο να αποσπαστούν πληροφορίες σε επίπεδο χρήστη καθιστώντας το ενδιαφέρον κομμάτι της προσανατολισμένης στο χρήστη έρευνας πρακτικά αδύνατο. Παρόλα αυτά είναι πρακτικά δυνατό, κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις, να συγκεντρωθούν πληροφορίες σε επίπεδο χρήστη. Για παράδειγμα, οι Neto et al [Net04] επιτυγχάνουν να ξεπεράσουν αυτό το σιόπελο με την αξιοποίηση των πληροφοριών από έναν επιπρόσθετο, εξειδικευμένο εξυπηρετητή – που ακολουθούσε το πρωτόκολλο επικοινωνίας RADIUS (Remote Authentication Dial In User Service) [Rign00a, Rign00b] – στο δίκτυο ενός παρόχου διαδικτυακών υπηρεσιών, ο οποίος αποθήκευε όλα τα βασικά στοιχεία που αφορούσαν τη σύνδεση των χρηστών.
- Πολλές φορές, η καταγεγραμμένη διαδικτυακή δραστηριότητα χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία και φιλτράρισμα, ώστε να μπορέσει ο εκάστοτε ερευνητής να την αξιοποιήσει. Συνήθως, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο ερευνητής δεν είναι ταυτόχρονα και διαχειριστής του εξυπηρετητή από τον οποίο αντλεί τα δεδομένα. Ως επί το πλείστον, δύσκολα επιτυγχάνεται σύγκλιση μεταξύ των απαιτήσεων των διαχειριστών και των ερευνητών, όσον αφορά στη σύσταση των καταγεγραμμένων φόρτων.

2.2.3 Παρακολούθηση & Καταγραφή σε Δικτυακούς Κόμβους και σε Πραγματικό Χρόνο

Αυτή η μεθοδολογία χρησιμοποιείται ευρέως από τους διαχειριστές με σκοπό την καλύτερη διαχείριση και οργάνωση των δικτυακών υποδομών, αλλά και την ανίχνευση κακόβουλων επιθέσεων. Η βασική ιδέα αφορά στη σύλληψη των δικτυακών πακέτων σε πραγματικό χρόνο και στην εξαγωγή των βασικών χαρακτηριστικών του κυκλοφοριακού και του εμπλεκόμενου διαδικτυακού περιεχομένου σε επίπεδο εφαρμογής. Ανάλογα με το βαθμό της λεπτομέρειας στα εξαγόμενα δεδομένα είναι πιθανή και η ανασύνθεση μέρους των μηνυμάτων που ανταλλάσσονται στο επίπεδο εφαρμογής.

Πρόκειται για μια μεθοδολογία που μπορεί να αξιοποιηθεί για τη μελέτη και το χαρακτηρισμό της διαδικτυακής δραστηριότητας, που παράγεται από οποιαδήποτε εφαρμογή στο διαδίκτυο. Η τεχνική αυτή έχει ευρέως χρησιμοποιηθεί στις έρευνες χαρακτηρισμού, τόσο στο πλαίσιο του παγκοσμίου ιστού [Grib97, Cac98, Zhu03, Camp03, Bent06], όσο και στο πλαίσιο των δικτυακών εφαρμογών πολυμέσων – πραγματικής ροής [Ches01, Guo05a, Garc07] και ψευδο-ροής [Gill07, Zink08, Zink09] – και των εφαρμογών ομότιμων δικτύων P2P – τόσο στην ανταλλαγή αρχείων [Leib02, Leib03, Gumm03, Sen04a, Tuts04, Andr04a, Plis05, Guo05b, Plis06, Per06, Bash08, Erm010], όσο και στην υποστήριξη της διαδικτυακής τηλεόρασης [Silv09] και των συστημάτων τηλεπικοινωνίας, όπως το Skype [Ross08]. Έχει, επίσης, αξιοποιηθεί και για την περίπτωση άλλων διαδικτυακών εφαρμογών, όπως οι εφαρμογές απομακρυσμένης σύνδεσης με γραφικά περιβάλλοντα εργασίας [Hum09] και τα διαδικτυακά παιχνίδια [Sinh05].

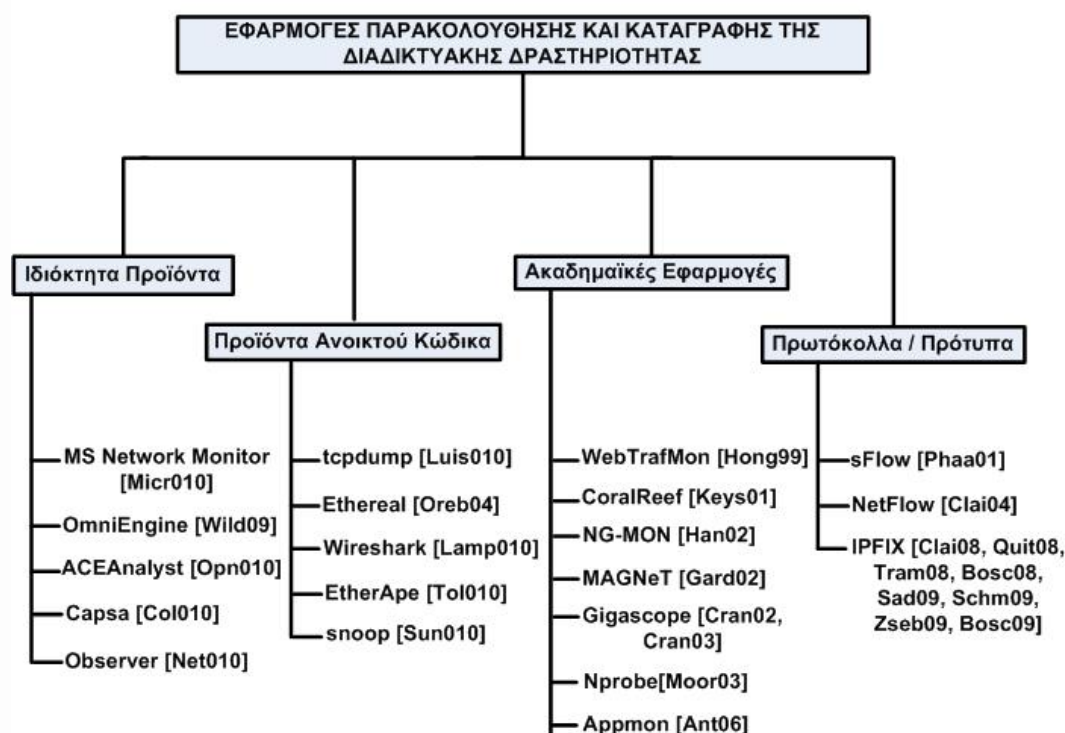
Κατά καιρούς, έχει σχεδιαστεί και αναπτυχθεί μια μεγάλη ποικιλία από εφαρμογές για την παρακολούθηση και την καταγραφή της διαδικτυακής δραστηριότητας σε πραγματικό χρόνο. Μπορούμε να διακρίνουμε τις εφαρμογές αυτές στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Ιδιότητα Προϊόντα:** Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται όλα τα εταιρικά προϊόντα κλειστού κώδικα, τα οποία μπορούν να εγκατασταθούν κάτω από διάφορες πλατφόρμες και λειτουργικά συστήματα. Είναι προφανές ότι πίσω από τα συγκεκριμένα προϊόντα κρύβεται η άμεση ή έμμεση εμπορική εκμετάλλευση από τους δημιουργούς τους. Έχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές, που συνήθως καλύπτουν τις βασικές ανάγκες για παρακολούθηση, καταγραφή και ανάλυση της διαδικτυακής δραστηριότητας. Είναι αδύνατο για το χρήστη να επέμβει στον κώδικά τους.

- Προϊόντα Ανοιχτού Κώδικα: Στην κατηγορία αυτή κατατάσσουμε τις εφαρμογές ανοικτού κώδικα, οι οποίες αποτελούν τη δωρεάν λύση σε σύγκριση με τα ιδιόκτητα προϊόντα, όσον αφορά στην κάλυψη των καθημερινών αναγκών των απλών χρηστών. Μια επιπρόσθετη διαφορά είναι η δυνατότητα αναβάθμισης από οποιονδήποτε – δηλαδή, ακόμη και από έναν απλό χρήστη – έχει τις απαιτούμενες γνώσεις προγραμματισμού.
- Ακαδημαϊκές Εφαρμογές: Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται όλες οι εφαρμογές στις οποίες οδήγησε η στοχευμένη ακαδημαϊκή έρευνα. Ως εκ τούτου, οι εφαρμογές αυτές, είτε είναι κατάλληλα ρυθμισμένες, ώστε να καλύψουν τις ακαδημαϊκές ανάγκες – π.χ. στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας, που παράγεται από μια συγκεκριμένη εφαρμογή, κλπ. – είτε αποτελούν πρότυπες εφαρμογές που προέκυψαν από την έρευνα πάνω σε θέματα βελτιστοποίησης, σε σχέση με τις νέες προκλήσεις, που συνεχώς εμφανίζονται από το όλο και πιο απαιτητικό διαδικτυακό περιβάλλον. Πολλές από τις εφαρμογές αυτές, οι οποίες είναι ανοικτού κώδικα, είναι στη διάθεση του καθενός για απλή χρήση ή και περαιτέρω εξέλιξη.
- Πρωτόκολλα και Πρότυπα: Στην κατηγορία αυτή εντάσσουμε όλα τα σχετικά με την παρακολούθηση και καταγραφή της διαδικτυακής δραστηριότητας πρωτόκολλα που επιτράπηκε η τυποποίησή τους από την επίσημη αρχή τυποποίησης του Διαδικτύου, την IETF (Internet Engineering Task Force) και αποτελούν σήμερα διαδικτυακά πρότυπα RFC (Request For Comments). Καθεμία από τις παραπάνω κατηγορίες προϊόντων και εφαρμογών μπορεί να υποστηρίξει κάποια από αυτά τα πρωτόκολλα.

Το σχήμα 2.2 απεικονίζει την ταξινόμηση όλων των εφαρμογών παρακολούθησης της διαδικτυακής δραστηριότητας που υπέπεσαν στην αντίληψή μας στις κατηγορίες που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Παρακάτω αναλύουμε τους σημαντικότερους εκπροσώπους ανά κατηγορία, περιγράφοντας κάποια από τα βασικά τους χαρακτηριστικά. Θα κάνουμε μια απλή αναφορά στα κύρια εμπορικά προϊόντα, λόγω του κλειστού και ιδιόκτητου χαρακτήρα τους, ενώ θα εμβαθύνουμε περισσότερο στις τρεις τελευταίες κατηγορίες εφαρμογών, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στις ακαδημαϊκές εφαρμογές, δεδομένου ότι θίγουν βασικά σημεία του επιστημονικού ενδιαφέροντος. Για περισσότερες λεπτομέρειες, ο

ενδιαφερόμενος μπορεί να ανατρέξει στη σχετική βιβλιογραφία, όπως συνοπτικά την παρουσιάζουμε στο σχήμα 2.2.¹



Σχήμα 2.2. Ταξινόμηση των εφαρμογών παρακολούθησης και καταγραφής της διαδικτυακής δραστηριότητας σε πραγματικό χρόνο

2.2.3.1 Εμπορικά Προϊόντα Παρακολούθησης και Καταγραφής

Μερικά από τα ιδιότητα προϊόντα παρακολούθησης και καταγραφής της διαδικτυακής δραστηριότητας είναι τα παρακάτω:

- Το λογισμικό Network Monitor [Micr010] είναι η λύση που προτάθηκε από τη Microsoft, η οποία λειτουργεί μόνο σε πλατφόρμες WINDOWS.
- Το λογισμικό OmniEngine [Wild09] της WildPacket Inc. Έχει δυνατότητα παρακολούθησης και ανάλυσης του δικτυακού κυκλοφοριακού σε πραγματικό χρόνο, καθώς και καταγραφής του για ανάλυση σε δεύτερο χρόνο. Υποστηρίζει, κυρίως, δίκτυα πρόσβασης τύπου Ethernet και Wi-Fi, και είναι σε θέση να αναγνωρίζει μια μεγάλη ποικιλία σχετικών καρτών δικτύωσης. Μπορεί να λειτουργήσει τόσο σε πλατφόρμες MS WINDOWS, όσο και σε πλατφόρμες LINUX.

¹ Ένας, ίσως, εξαντλητικός οδηγός με εφαρμογές – κυρίως ιδιότητα και ανοικτού κώδικα – παρακολούθησης, ανάλυσης και όχι μόνο που απευθύνεται σε διαχειριστές δικτύων παρουσιάζεται στον δικτυακό τόπο: <http://www.slac.stanford.edu/xorg/nmtf/nmtf-tools.html#utilities>.

- Το λογισμικό ACEAnalyst [Opn010] της εταιρείας OPNET Technologies Inc.
- Το λογισμικό ανάλυσης δικτύων Capsa [Col010] της εταιρείας Colasoft Co., Ltd.
- Το λογισμικό Observer [Net010] της εταιρείας Network Instruments LLC.

2.2.3.2 Προϊόντα Παρακολούθησης και Καταγραφής Ανοιχτού Κώδικα

Μια τέτοια έρευνα θα ήταν συνετό να ξεκινήσει με τη μελέτη της εφαρμογής-σταθμό στην παρακολούθηση της διαδικτυακής δραστηριότητας, της tcpdump [Luis010], η οποία δημιουργήθηκε αρχικά στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και είναι ανοιχτού κώδικα. Σήμερα, η tcpdump μπορεί να διαβάσει τη διαδικτυακή δραστηριότητα από μια μεγάλη ποικιλία δικτύων πρόσβασης – π.χ. ETHERNET, FDDI, TOKEN RING, κλπ. – εξαιτίας της βιβλιοθήκης libpcap πάνω στην οποία στηρίζεται. Εξάγει πληροφορίες μέχρι και σε επίπεδο πακέτου μεταφοράς – δηλαδή, TCP, UDP, ICMP. Σήμερα, η εφαρμογή tcpdump μπορεί να λειτουργήσει κάτω από διαφορετικές πλατφόρμες, όπως UNIX, LINUX, MAC OS, SOLARIS. Έχει, επίσης, αναπτυχθεί η έκδοση Windump για την κάλυψη των λειτουργικών συστημάτων MS WINDOWS.

Ένα επιπλέον εργαλείο ανοιχτού κώδικα με πολύ αυξημένες ικανότητες, όσον αφορά στην παρακολούθηση της διαδικτυακής δραστηριότητας είναι το Ethereal [Oreb04], το οποίο μετονομάστηκε σε Wireshark [Lamp010]. Μερικά από τα βασικότερα χαρακτηριστικά του Ethereal /Wireshark απαριθμούνται παρακάτω:

- Υποστηρίζει πάνω από 20 διαφορετικές πλατφόρμες – π.χ. UNIX, LINUX, MS WINDOWS, κλπ.
- Μπορεί να αναγνωρίζει πάνω από 480 πρωτόκολλα επικοινωνίας, ενώ μπορεί εύκολα να αναβαθμιστεί στον τομέα αυτό.
- Μπορεί να παρακολουθήσει το κυκλοφοριακό σε μια ποικιλία δικτύων πρόσβασης, όπως ETHERNET, TOKEN RING, ATM, κλπ.
- Παρέχει εύχρηστο γραφικό περιβάλλον στον τελικό χρήστη.
- Παρέχει συμβατότητα με αρχεία που παράγονται από το tcpdump και τη βιβλιοθήκη libpcap, καθώς και αρχεία από άλλες εφαρμογές παρακολούθησης.

- Περιλαμβάνει μια πλούσια ποικιλία φίλτρων για την επεξεργασία και την καλύτερη αναπαράγωγή της καταγεγραμμένης δραστηριότητας σε επίπεδο συνόδου TCP.

Κάποια άλλα παρόμοια προϊόντα ανοιχτού κώδικα με τα παραπάνω είναι το EtherApe [Tol010], που δημιουργήθηκε για πλατφόρμες UNIX και LINUX, και το snoop, που συνοδεύει τα λειτουργικά SOLARIS [Sun010].

2.2.3.3 Ακαδημαϊκές Εφαρμογές Παρακολούθησης και Καταγραφής

Όσον αφορά στις εφαρμογές που έχουν δημιουργηθεί στα πλαίσια της ακαδημαϊκής έρευνας, παρακάτω παρουσιάζουμε τις σημαντικότερες, ακολουθώντας τη χρονολογική σειρά των σχετικών δημοσιεύσεων:

Οι Hong et al [Hong99b] δημιούργησαν την εφαρμογή WebTrafMon. Η εφαρμογή αποτελείται από δύο κύρια λειτουργικά τμήματα. Το πρώτο επιφορτίζεται με τη σύλληψη και το φιλτράρισμα των δικτυακών πακέτων, καθώς και την ενημέρωση ενός σχετικού ημερολογιακού αρχείου (Log File). Το δεύτερο λειτουργικό τμήμα επιφορτίζεται με την ανάγνωση και την ανάλυση των δεδομένων του ημερολογιακού αρχείου, καθώς και την παρουσίαση όλων των πληροφοριών που ζητά ο χρήστης. Η επικοινωνία με το χρήστη γίνεται μέσω του φυλλομετρητή παγκοσμίου ιστού. Η WebTrafMon μπορεί να προβεί σε ανάλυση πρωτοκόλλων μέχρι και σε επίπεδο εφαρμογής. Μπορεί, μέσω της βιβλιοθήκης libpcap, να υποστηρίξει πολλά δικτυακά περιβάλλοντα.

Η εφαρμογή CoralReef [Keys01] έχει τη δυνατότητα να αναλύει τη διαδικτυακή δραστηριότητα μέχρι και σε επίπεδο εφαρμογής. Πρόκειται για μια εφαρμογή ανοιχτού κώδικα, προσβάσιμη από όλους τους προγραμματιστές. Η αρχιτεκτονική της είναι δομημένη σε δύο επίπεδα: το επίπεδο δικτυακού κυκλοφοριακού και το επίπεδο ροών. Το κάθε επίπεδο είναι, επίσης, δομημένο σε πολλαπλά στρώματα, με το κάθε ένα να συνεργάζεται αρμονικά με το στρώμα που βρίσκεται από κάτω του. Μερικά από τα πρόσθετα χαρακτηριστικά της CoralReef αφορούν στην ικανότητά της να διαβάζει κυκλοφοριακό από διάφορα δικτυακά περιβάλλοντα – π.χ. ATM, ETHERNET, κλπ. – ακόμα και από αρχεία που έχουν δημιουργηθεί από άλλες, παρόμοιες εφαρμογές. Παρέχει τη δυνατότητα αναβάθμισης τόσο σε γλώσσα προγραμματισμού C και C++, όσο και σε Perl. Μπορεί να αναλύει τις διαδικτυακές διευθύνσεις IP σε αυτόνομα συστήματα (Autonomous Systems, ASes) και σε γεωγραφικές περιοχές. Τέλος, μπορεί να ανανεώνει τα στατιστικά στοιχεία σε επίπεδο ροών ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Οι Han et al [Han02] πρότειναν την εφαρμογή NG-MON (Next Generation Monitor) ως μια πολύ καλή περίπτωση για παρακολούθηση σε δίκτυα υψηλών ταχυτήτων, όπου οι ταχύτητες είναι της τάξεως των 10 Gbps. Η NG-MON ακολουθεί μια πλήρως κατανεμημένη αρχιτεκτονική που της επιτρέπει να εκτελούνται τα διάφορα επιμέρους στάδια της λειτουργίας της από διαφορετικά υπολογιστικά συστήματα. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ανταπεξέρθει στην πίεση από τις υψηλές δικτυακές ταχύτητες, χωρίς να χάνει δικτυακά πακέτα. Τα στάδια της λειτουργίας της εφαρμογής είναι πέντε: το στάδιο σύλληψης δικτυακών πακέτων, το στάδιο δημιουργίας ροών επιπέδου μεταφοράς, το στάδιο αποθήκευσης ροών, το στάδιο ανάλυσης κυκλοφοριακού και το στάδιο παρουσίασης. Η τεχνική του δίαυλου (Pipelining) χρησιμοποιείται για την επικοινωνία ανάμεσα στα διάφορα στάδια, ενώ για την εσωτερική λειτουργία στο κάθε στάδιο μπορεί να ακολουθηθεί παράλληλη επεξεργασία.

Η εφαρμογή MAGNeT (Monitor for Application-Generated Network Traffic) [Gard02] έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί και να καταγράφει το κυκλοφοριακό σε επίπεδο εφαρμογής. Ένα τμήμα της κτιζεται και εγκαθίσταται εντός του πυρήνα λειτουργικών συστημάτων τύπου LINUX και έχει τη δυνατότητα να καταγράφει άμεσα όλη τη δικτυακή δραστηριότητα στον πυρήνα σε όλα τα επίπεδα δικτύωσης, χρησιμοποιώντας κλήσεις του συστήματος. Ειδικά προγράμματα για το χρήστη χρησιμοποιούνται για την περαιτέρω επεξεργασία των καταγεγραμμένων δεδομένων.

Η εφαρμογή Gigascope [Cran02, Cran03] καινοτομεί, εισάγοντας την τεχνολογία των βάσεων δεδομένων στην υπηρεσία της παρακολούθησης και καταγραφής της διαδικτυακής δραστηριότητας. Η βασική ιδέα, που υλοποιείται από τη Gigascope, είναι η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων από ροές δικτυακών πακέτων και η επεξεργασία της, τόσο σε χαμηλό επίπεδο (δικτύου και μεταφοράς), όσο και σε επίπεδο εφαρμογής, μέσω ερωταποκρίσεων σε γλώσσα συγγενική της SQL, την GSQL (Gigascope SQL).

Η αναβαθμισμένη έκδοση της εφαρμογής Nprobe, που προτάθηκε από τους Moore et al [Moor03], μπορεί να παρακολουθεί και να καταγράφει, χωρίς απώλειες πακέτων, το δικτυακό κυκλοφοριακό σε συστήματα LINUX. Έχει τη δυνατότητα για ανάλυση μέχρι και σε επίπεδο εφαρμογής, χωρίς να επεμβαίνει στον πυρήνα του λειτουργικού συστήματος, όπως κάνει η εφαρμογή MAGNeT. Αντίθετα, χρησιμοποιεί μια σειρά από φίλτρα για να κατατάζει τα δικτυακά πακέτα σε πρωτόκολλα. Αν και είναι μια πολύ χρήσιμη εφαρμογή, ειδικά για την έρευνα πάνω στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση σε επίπεδο

εφαρμογής, οι δημιουργοί της αναγνωρίζουν την ανάγκη για περαιτέρω βελτίωση, όσον αφορά στις επιδόσεις της.

Η εφαρμογή ανοιχτού κώδικα Appmon [Ant06] επιδιώκει την παρακολούθηση και καταγραφή της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής, λαμβάνοντας υπόψη τους σύγχρονους προβληματισμούς, που συνοδεύουν την ταυτοποίηση των εφαρμογών – οι οποίοι αναλύονται στην παράγραφο 2.2.3.5. Κατά τους Antoniadis et al [Ant06] έχει δημιουργηθεί για να υποστηρίξει την έρευνα πάνω στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής. Η Appmon χρησιμοποιεί τρία διαφορετικά λειτουργικά τμήματα (Modules) στην ταυτοποίηση των εφαρμογών: Το πρώτο εργάζεται σε επίπεδο περιεχομένου πακέτου (Packet Payload), το δεύτερο προβαίνει στην ανίχνευση ιδιαίτερων πρωτοκόλλων, που έχουν την τάση να αλλάζουν δυναμικά τη θύρα (Port) στο πρωτόκολλο μεταφοράς – π.χ. το TCP (Transmission Control Protocol) – και τέλος, το τρίτο ελέγχει τις επικεφαλίδες των πρωτοκόλλων, λαμβάνοντας υπόψη τα προκαθορισμένα πρότυπα. Η Appmon έχει σχεδιαστεί, ώστε να παράγει χρήσιμα στατιστικά στοιχεία σε επίπεδο εφαρμογής και σε πραγματικό χρόνο. Περιλαμβάνει ένα φίλτρο προς το χρήστη γραφικό περιβάλλον και πειράματα έδειξαν ότι μπορεί να ανταπεξέλθει σε ταχύτητες της τάξεως του 1 Gbps.

2.2.3.4 Πρωτόκολλα και Πρότυπα RFC

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν όλες εκείνες οι τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί, ώστε να μεταδίδουν δικτυακά τις πληροφορίες για το δικτυακό κυκλοφοριακό επίπεδο IP και τις αντίστοιχες ροές επιπέδου μεταφοράς, από ενδιαμέσους κόμβους – συνήθως, δρομολογητές, μεταγωγείς και άλλες δικτυακές συσκευές. Στην πορεία, οι τεχνολογίες αυτές εξελίχθηκαν σε πρότυπα RFC από την επίσημη αρχή του Διαδικτύου, την IETF. Στην ουσία, πρόκειται για ολοκληρωμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ της δικτυακής συσκευής που καταγράφει τα δεδομένα και της συσκευής που τα αναλύει.

Μια τέτοια περίπτωση είναι αυτή του πρωτοκόλλου sFlow, που σχεδιάστηκε από την εταιρεία InMon Corp. Έχει τυποποιηθεί ως RFC 3176 [Phaa01]. Το RFC 3176 καθορίζει:

- Τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η δειγματοληψία του κυκλοφοριακού, ώστε να επιλεγεί το κομμάτι προς αποστολή στη συσκευή ανάλυσης του κυκλοφοριακού.
- Τα βασικά ζητήματα που αφορούν την εξ αποστάσεως διαχείριση της συσκευής καταγραφής του κυκλοφοριακού.

- Τη μορφή των μηνυμάτων που αποστέλλονται ανάμεσα στη συσκευή καταγραφής και τη συσκευή ανάλυσης.
- Τα κυριότερα ζητήματα ασφαλείας που προκύπτουν από τη λειτουργία του πρωτοκόλλου.

Ένα άλλο πρωτόκολλο είναι το NetFlow το οποίο αναπτύχθηκε για την υποστήριξη των δρομολογητών της εταιρείας Cisco και τυποποιήθηκε ως RFC 3954 [Clai04]. Σε γενικές γραμμές, το συγκεκριμένο πρότυπο καθορίζει:

- Τις προδιαγραφές υλοποίησης του πρωτοκόλλου, τόσο από την πλευρά της δικτυακής συσκευής, όσο και από την πλευρά της συσκευής που συλλέγει τις πληροφορίες.
- Τη μορφοποίηση των μηνυμάτων, τα οποία χρησιμοποιεί η δικτυακή συσκευή, ώστε να στέλνει τις πληροφορίες σχετικά με το κυκλοφοριακό.
- Θέματα ασφαλείας που μπορεί να προκύψουν, όσον αφορά στη δραστηριότητα των συσκευών αποστολής και συλλογής των πληροφοριών.

Υστερα από την αξιολόγηση μιας σειράς πρωτοκόλλων [Lein04], το NetFlow αποτέλεσε τη βάση για την υιοθέτηση του επίσημου προτύπου από την IETF για την αποστολή πληροφοριών σχετικά με τις ροές IP που καταγράφουν οι δικτυακές συσκευές. Το επίσημο πρότυπο ακούει στο όνομα IPFIX (IP Flow Information eXport). Στα πλαίσια του IPFIX έχουν καταγραφεί μια σειρά από πρότυπα RFC, τα οποία καταπιάνονται με ό,τι αφορά στη λειτουργία του πρωτοκόλλου. Συγκεκριμένα, μεταξύ άλλων καθορίζονται:

- Οι προδιαγραφές του πρωτοκόλλου, όσον αφορά στη μορφή των ανταλλασσόμενων μηνυμάτων, το τρόπο ανταλλαγής των μηνυμάτων και θέματα ασφαλείας που προκύπτουν [Clai08].
- Οι πληροφορίες επιπέδου δικτύου και επιπέδου μεταφοράς, που θα πρέπει να μεταφέρει το πρωτόκολλο IPFIX και ο τρόπος κωδικοποίησής τους [Quit08].
- Η αναβάθμιση του πρωτοκόλλου, ώστε να μπορεί να καταγράφει τις διπλής φοράς (Bi-Directional) ροές του επιπέδου μεταφοράς [Gram08].
- Οι βασικές οδηγίες υλοποίησης του πρωτοκόλλου, όπως απορρέουν από τις προδιαγραφές του [Bosc08].

- Η αρχιτεκτονική των δικτυακών συσκευών, που υποστηρίζουν το πρωτόκολλο IPFIX [Sad09].
- Τα τεστ ελέγχου, που θα πρέπει να γίνονται, ώστε να εξασφαλιστεί η ορθή λειτουργία του πρωτοκόλλου [Schm09].
- Το γενικό πλαίσιο της εφαρμογής του πρωτοκόλλου IPFIX, δηλαδή, σε ποιες περιπτώσεις μπορεί να εξυπηρετήσει η εφαρμογή του και σε ποιες όχι [Zseb09].
- Η αποφυγή της αποστολής πλεονασματικών πληροφοριών μέσω του πρωτοκόλλου IPFIX, με στόχο την εξοικονόμηση δικτυακών πόρων [Bosc09].

2.2.3.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της Μεθοδολογίας

Σε γενικές γραμμές, τα πλεονεκτήματα από την παρακολούθηση και την καταγραφή της διαδικτυακής δραστηριότητας σε κομβικά σημεία του διαδικτύου είναι τα ακόλουθα:

- Η μεθοδολογία αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί στο χαρακτηρισμό της διαδικτυακής δραστηριότητας σε χαμηλότερα επίπεδα – δηλαδή, επίπεδο δικτύου πρόσβασης, επίπεδο Διαδικτύου (IP) και επίπεδο μεταφοράς – από το επίπεδο εφαρμογής.
- Όσον αφορά στο επίπεδο εφαρμογής, η εν λόγω μεθοδολογία μπορεί να δώσει μια γενική εικόνα των κυριότερων εφαρμογών που ευθύνονται για το κυκλοφοριακό στο Διαδίκτυο. Παρέχει, κατά αυτόν τον τρόπο, τη δυνατότητα για τη χαρτογράφηση των σύγχρονων διαδικτυακών υπηρεσιών και για την ανακάλυψη τυχόν νέων αναπτυσσόμενων τάσεων στην κοινότητα των χρηστών σε σχέση με το επίπεδο εφαρμογής.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα αυτής της μεθοδολογίας είναι τα παρακάτω:

- Πολλές φορές, υπάρχει δυσκολία κατά την αναγνώριση και ταυτοποίηση των εφαρμογών. Τα βασικά αίτια αυτού του προβλήματος συνοψίζονται ως εξής:
 - Η ταυτοποίηση των διαδικτυακών εφαρμογών μέσω της θύρας στο πρωτόκολλο μεταφοράς – δηλαδή, το TCP και το UDP (User Datagram Protocol) – που πραγματοποιούν κάποια εργαλεία – π.χ. η εφαρμογή WebTrafMon [Hong99b] – δεν είναι, πλέον, αξιόπιστη [Moor05a]. Αυτό, κατά επέκταση, μπορεί να αποδοθεί σε διάφορους λόγους, όπως το γεγονός ότι υπάρχουν εφαρμογές – π.χ. οι εφαρμογές ομότιμων δικτύων για ανταλλαγή αρχείων [Zhu03, Per06], η διαδικτυακή τηλεόραση [Silv09] και κάποια διαδικτυακά παιχνίδια [Sinh05] – που δεν ακολουθούν κάποια

- σταθερή θύρα. Επιπλέον, πολλές εφαρμογές ‘καμουφλάρονται’, χρησιμοποιώντας θύρες άλλων γνωστών πρωτοκόλλων εφαρμογής, ώστε να μπορέσουν να διαπεράσουν τους διακομιστές ασφάλειας και προστασίας. Ως εκ τούτου, απαιτούνται πιο εξειδικευμένες τεχνικές στην ταυτοποίηση των εφαρμογών. Έτσι, έχει αξιοποιηθεί η μεθοδολογία της αναγνώρισης προτύπων – είτε πάνω στο περιεχόμενο των δικτυακών πακέτων [Sen04b, Moor05a, Sinh05], είτε πάνω στα γενικότερα χαρακτηριστικά² των παρατηρούμενων δικτυακών ροών [Auld07, Li07], ή ακόμη στην κοινωνικότητα και τη γενικότερη συμπεριφορά των διαδικτυακών κεντρικών υπολογιστών (Internet Hosts) [Kar05, Iliof07] – σε συνεργασία με εξειδικευμένες τεχνικές μηχανικής εκμάθησης (Machine Learning) – μια λεπτομερή λίστα των οποίων παρουσιάζουν στις εργασίες τους οι Li et al [Li07] και οι Kim et al [Kim08] – για την ομαδοποίηση των δικτυακών ροών (Clustering).
- Η κρυπτογράφηση που χρησιμοποιούν πολλές διαδικτυακές εφαρμογές – π.χ. οι εφαρμογές P2P για ανταλλαγή αρχείων – αποτρέπει τη χρήση εξειδικευμένων τεχνικών, που βασίζονται στο περιεχόμενο των δικτυακών πακέτων και ροών για τη ταυτοποίηση των εφαρμογών αυτών [Kar05, Kim08].
 - Καμία από τις τεχνικές μηχανικής εκμάθησης και ομαδοποίησης, που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν, δεν έχει καταφέρει να επιτύχει το απόλυτο (100%) στην ταυτοποίηση των εφαρμογών. Πάντως, στις περισσότερες περιπτώσεις, η επίδοση είναι πολύ κοντά στο απόλυτο [Kar05, Per06, Auld07, Li07, Kim08].
 - Σε περιπτώσεις που η ταχύτητα του δικτύου, στο σημείο όπου έχει τοποθετηθεί η εφαρμογή παρακολούθησης και καταγραφής, είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα επεξεργασίας των πακέτων από την εφαρμογή, μπορεί να σημειωθεί απώλεια πακέτων και συνεπώς αδυναμία σύνθεσης των μηνυμάτων εφαρμογής. Ως εκ τούτου, όσο αναβαθμίζονται οι δικτυακές υποδομές, τόσο θα πρέπει να βελτιώνονται οι επιδόσεις των εφαρμογών καταγραφής. Οι Han et al [Han02] παρουσιάζουν τις δυνατότητες κάποιων βασικών εφαρμογών παρακολούθησης ως προς τις δικτυακές ταχύτητες στις οποίες μπορούν να αντεπεξέλθουν. Επιπλέον, πολλές από τις εξειδικευμένες τεχνικές για την ταυτοποίηση σε επίπεδο εφαρμογής, οι οποίες ενσωματώνονται στις εφαρμογές

² Οι Moore et al [Moor05b] παρουσιάζουν μια λεπτομερή λίστα με τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των διαδικτυακών ροών, που μπορούν εν δυνάμει να αξιοποιηθούν κατά την ταυτοποίηση σε επίπεδο εφαρμογής.

παρακολούθησης και καταγραφής, είτε είναι πολύπλοκες εκ φύσεως [Li07], είτε μπορεί να εξελιχθούν σε ιδιαίτερα πολύπλοκες καθώς εκτελούνται [Moor05a] επιδεινώνοντας περισσότερο την απώλεια πακέτων. Κάποιες από τις τεχνικές, που έχουν προταθεί για την επίλυση του προβλήματος, είναι η δειγματοληψία [Camp03], η χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού, η κατανεμημένη αρχιτεκτονική των εφαρμογών παρακολούθησης και καταγραφής [Han02], και η ομαδοποίηση πακέτων με κοινά χαρακτηριστικά – π.χ. τη θύρα προορισμού – προτού την επεξεργασία τους [Pap07].

- Όταν χρησιμοποιούνται τεχνικές, που αναπαράγουν το περιεχόμενο των δικτυακών ροών για την ταυτοποίηση των εφαρμογών [Sen04b, Moor05a], κυρίως, σε πραγματικό χρόνο, τίθεται θέμα παραβίασης του απορρήτου των επικοινωνιών.
- Είναι εξαιρετικά δύσκολο να αντληθούν, διαχρονικά, πληροφορίες σε επίπεδο χρήστη, καθιστώντας το ενδιαφέρον κομμάτι της προσανατολισμένης στο χρήστη έρευνας πρακτικά αδύνατο. Όπως αναφέραμε και παραπάνω, είναι πρακτικά δυνατή η άντληση λεπτομερειών σε επίπεδο χρήστη μέσω άλλων, εναλλακτικών μεθόδων [Net04] και για ορισμένες βέβαια περιπτώσεις.

2.3 Στατιστική & Κατανομές

Η ανάλυση, που λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια του χαρακτηρισμού και της μοντελοποίησης, στηρίζεται σε μια σειρά από κατανομές και στατιστικούς όρους. Παρακάτω, αναλύουμε προκαταβολικά όλη την απαιτούμενη στατιστική ορολογία και τις κατανομές, ώστε να αποκτήσει ο αναγνώστης το απαραίτητο υπόβαθρο.

2.3.1 Κατανομές

2.3.1.1 Κανονική Κατανομή

Πρόκειται για την ευρέως χρησιμοποιημένη συνεχή κατανομή, με εφαρμογές σε μια μεγάλη ποικιλία ερευνητικών πεδίων. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (Density Probability Function) – που στο εξής θα την αναφέρουμε με το αρκτικόλεξό της ΣΠΠ και θα την αναπαριστούμε ως $p(x)$ – και η αθροιστική, ή συσσωρευτική, ή απλά συνάρτηση κατανομής (Cumulative Distribution Function) – που στο εξής θα την αναφέρουμε με το αρκτικόλεξό της ΣΚ και θα την αναπαριστούμε ως $P(x)$ – που την αντιπροσωπεύουν είναι οι ακόλουθες:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}} dz, \quad -\infty < x < +\infty. \quad (2.1)$$

Οι παράμετροι μ και σ^2 αφορούν στη μέση τιμή και τη διακύμανση της τυχαίας μεταβλητής x και προσδιορίζουν την περιοχή (location) και την κλίμακα (Scale) της κατανομής πάνω στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, αντίστοιχα.

2.3.1.2 Λογαριθμοκανονική Κατανομή

Η ΣΠΠ αυτής της κατανομής δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$p(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\log x - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad x > 0. \quad (2.2)$$

Στην ουσία, ο λογάριθμος της τυχαίας μεταβλητής x κατανέμεται κανονικά, με τις παραμέτρους μ και σ^2 να αποτελούν τη μέση τιμή και τη διακύμανση, αντιστοίχως.

2.3.1.3 Κατανομή Poisson

Πρόκειται για κατανομή διακριτών τιμών, που συχνά χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση φαινομένων, των οποίων η τρέχουσα κατάσταση δεν είναι, εντελώς, ανεξάρτητη από τις καταστάσεις του παρελθόντος. Σύμφωνα με την κατανομή Poisson και δεδομένου ότι ο μέσος ρυθμός συμβάντων – που επίσης καλούνται αφίξεις – για ένα γεγονός ισούται με m , η πιθανότητα – $p(x)$ – να πραγματοποιηθούν ακριβώς x αφίξεις κατά τη διάρκεια κάποιου χρονικού διαστήματος δίνεται από τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

$$p(x) = \frac{e^{-m} \cdot m^x}{x!}, \quad m > 0, \quad x = 0, 1, 2, \dots \quad (2.3)$$

2.3.1.4 Εκθετική Κατανομή

Πρόκειται για μια συνεχή κατανομή που σχετίζεται στενά με την κατανομή Poisson. Στην ουσία περιγράφει τη χρονική περίοδο που παρεμβάλλεται ανάμεσα σε δύο συνεχόμενες αφίξεις. Η ΣΠΠ και η ΣΚ δίνονται από τις παρακάτω μαθηματικές εκφράσεις:

$$p(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad \lambda > 0, \quad 0 < x < +\infty,$$

$$P(x) = 1 - e^{-\lambda x}, \quad \lambda > 0, \quad 0 < x < +\infty. \quad (2.4)$$

Στους παραπάνω μαθηματικούς τύπους, η παράμετρος λ εκφράζει τη μέση, ή αναμενόμενη, χρονική περίοδο μεταξύ δύο συνεχόμενων αφίξεων και είναι αντιστρόφως ανάλογη προς το μέσο ρυθμό αφίξεων – m – της κατανομής Poisson – δηλαδή, $\lambda = 1/m$.

2.3.1.5 Υπερεκθετική Κατανομή

Όταν μια τυχαία μεταβλητή ενδέχεται να ακολουθήσει κάποια εκθετική κατανομή, που έχει παράμετρο λ_i μέσα από ένα σύνολο εκθετικών κατανομών με πιθανότητα p_i , τότε η τυχαία μεταβλητή ακολουθεί μια υπερεκθετική κατανομή (Hyper-exponential Distribution). Η ΣΠΠ της υπερεκθετικής κατανομής δίνεται από τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

$$p(x) = \sum_{i=1}^n p_i \lambda_i e^{-\lambda_i x}. \quad (2.5)$$

Προφανώς ισχύει: $\sum_{i=1}^n p_i = 1$.

2.3.1.6 Κατανομή Pareto

Η κατανομή αυτή δημιουργήθηκε και ονομάστηκε από τον Ιταλό οικονομολόγο Pareto για να περιγράψει το μηνιαίο εισόδημα των νοικοκυριών. Σήμερα, χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση πολλών κοινωνικών, οικονομικών και ευρύτερων επιστημονικών φαινομένων. Οι παρακάτω μαθηματικές σχέσεις παρουσιάζουν τις διάφορες εκφράσεις με τις οποίες διατυπώνονται η ΣΠΠ και η ΣΚ της κατανομής Pareto:

$$p(x) = ak^a x^{-a-1} = \frac{a}{x} \left(\frac{k}{x}\right)^a = \frac{a}{k} \left(\frac{k}{x}\right)^{a+1},$$

$$P(x) = 1 - k^a x^{-a} = 1 - \left(\frac{k}{x}\right)^a, \quad x \geq k > 0, \quad a > 0. \quad (2.6)$$

Η παράμετρος κλίμακας k αντιπροσωπεύει την ελάχιστη τιμή της τυχαίας μεταβλητής x , ενώ η σταθερά a είναι απλά μια παράμετρος μορφοποίησης.

2.3.1.7 Κατανομή Weibull

Πρόκειται για μια συνεχή κατανομή, που οφείλει το όνομά της στο Σουηδό μαθηματικό Weibull. Στην κατανομή Weibull, η ΣΠΠ και η ΣΚ περιγράφονται από τις ακόλουθες μαθηματικές σχέσεις:

$$p(x) = \kappa/\lambda \cdot (x/\lambda)^{\kappa-1} \cdot e^{-(x/\lambda)^\kappa},$$

$$P(x) = 1 - e^{-(x/\lambda)^\kappa}, \quad 0 < x < +\infty, \quad \lambda, \kappa > 0. \quad (2.7)$$

Η παράμετρος κ προσδιορίζει τη μορφή, ενώ η παράμετρος λ προσδιορίζει την κλιμάκωση της κατανομής. Θέτοντας $\alpha = (1/\lambda)^\kappa$ και $\beta = \kappa$, και οι δύο μαθηματικές σχέσεις απλοποιούνται αντιστοίχως ως εξής:

$$p(x) = \alpha \beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^\beta}, \quad P(x) = 1 - e^{-\alpha x^\beta}. \quad (2.8)$$

2.3.1.8 Κατανομή Γάμμα.

Ανήκει στην οικογένεια των συνεχών κατανομών και οφείλει την ονομασία της στη συνάρτηση Γάμμα, από την οποία εξαρτάται και η οποία εκφράζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\Gamma(k) = \int_0^\infty x^{k-1} e^{-x} dx, \quad k > 0. \quad (2.9)$$

Στην περίπτωση που η παράμετρος k είναι ένας φυσικός αριθμός, η συνάρτηση Γάμμα απλοποιείται σε: $\Gamma(k) = (k-1)!$. Δεδομένης της συνάρτησης Γάμμα, η ΣΠΠ της ομώνυμης κατανομής ισούται με:

$$p(x) = \frac{\theta^k}{\Gamma(k)} x^{k-1} e^{-\theta x}, \quad 0 < x < +\infty, \quad \theta > 0, \quad k > 0. \quad (2.10)$$

Η παράμετρος k προσδιορίζει τη μορφή της κατανομής, ενώ η θ αποτελεί έναν παράγοντα κλιμάκωσης της κατανομής. Όσον αφορά στη ΣΚ της κατανομής Γάμμα, αυτή δίνεται από τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

$$P(x) = \frac{\int_0^x t^{k-1} e^{-t} dt}{\Gamma(k)}, \quad x \geq 0, \quad k > 0. \quad (2.11)$$

2.3.1.9 Κατανομή t

Πρόκειται για μια κατανομή με εξαιρετικά περιορισμένη – προς το παρόν – συμμετοχή, όσον αφορά στη μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής, η οποία κάνει χρήση της συνάρτησης Γάμμα – εξίσωση 2.9 – για τον υπολογισμό της ΣΠΠ. Συγκεκριμένα, η ΣΠΠ δίνεται από την παρακάτω μαθηματική σχέση:

$$p(x) = \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\sqrt{n\pi} \cdot \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \cdot \left(1 + \frac{x^2}{n}\right)^{-\left(\frac{n+1}{2}\right)}. \quad (2.12)$$

2.3.1.10 Οικογένεια Κατανομών Zipf

Οι κατανομές που ανήκουν στην οικογένεια Zipf περιγράφονται από την παρακάτω μαθηματική σχέση:

$$P_N(i) = \frac{\Omega}{i^a}, \quad \Omega = \left(\sum_{i=1}^N \frac{1}{i^a} \right)^{-1}, \quad a > 0. \quad (2.13)$$

Ο νόμος του Zipf έχει προταθεί για την περιγραφή της συχνότητας – ή, της δημοτικότητας – εμφάνισης – $P_N(i)$ – ενός γεγονότος που ανήκει σε έναν πληθυσμό από N διακριτά γεγονότα, όταν η βαθμολογία κατάταξης του καθενός – σε σχέση με τη συχνότητά του – είναι γνωστή. Η παράμετρος i δηλώνει τη βαθμολογική θέση για το γεγονός, σύμφωνα με τη δημοτικότητά του. Ο συντελεστής a προσδιορίζει τη φύση της κατανομής. Εάν ισούται με 1, η κατανομή καλείται απλά Zipf. Στην αντίθετη περίπτωση, η κατανομή χαρακτηρίζεται ως Zipf-Like. Η παράμετρος Ω αναπαριστά τον αριθμό των εμφανίσεων για το πιο δημοφιλές γεγονός.

Μια πιο γενικευμένη μορφή για την οικογένεια κατανομών Zipf είναι γνωστή ως νόμος Zipf-Mandelbrot και διατυπώνεται στις παρακάτω μαθηματικές εξισώσεις:

$$P_N(i) = \frac{\Omega}{(i+k)^a}, \quad \Omega = \sum_{i=1}^N \frac{1}{(i+k)^a}. \quad (2.14)$$

2.3.2 Κατανομές Ενισχυμένων & Μακρών Άκρων

Δύο πολύ ενδιαφέροντες στατιστικοί όροι, που αναφέρονται στη βιβλιογραφία σχετικά με το χαρακτηρισμό της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής, είναι οι κατανομές ενισχυμένων άκρων και οι κατανομές μακρών άκρων. Αν και αυτοί οι όροι αφορούν και τα δύο άκρα της εμπλεκόμενης κατανομής, όσον αφορά στο χαρακτηρισμό της διαδικτυακής δραστηριότητας, μόνο το δεξί άκρο της κατανομής έχει αξία.

Έχοντας υπόψη ότι η συμπληρωματική της ΣΚ – $P^c(x) = 1 - P(x) = \Pr[X > x]$ – περιγράφει το δεξί άκρο της κατανομής, ο Sigman [Sig99] έδωσε την παρακάτω μαθηματική διατύπωση για μια κατανομή ενισχυμένου άκρου (ή, μιας τυχαίας μεταβλητής X), με ΣΚ την $P(x)$:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \Pr[X > x + y | X > x] = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{P^c(x+y)}{P^c(x)} = 1, \quad y \geq 0. \quad (2.15)$$

Επομένως, για μια κατανομή ενισχυμένου άκρου, δεδομένου ότι η τυχαία μεταβλητή X υπερβαίνει μια πολύ μεγάλη τιμή, είναι σχεδόν σίγουρο ότι θα υπερβαίνει μια οποιαδήποτε άλλη μεγαλύτερη τιμή. Σύμφωνα με τον Sigman [Sig99], οι υπο-εκθετικές κατανομές (Sub-Exponential Distributions) σχηματίζουν ένα σημαντικό υποσύνολο των κατανομών ενισχυμένου άκρου. Όσον αφορά στις υπο-εκθετικές κατανομές, ισχύει ο ακόλουθος κανόνας:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} e^{mx} P^c(x) = \infty, \forall m > 0. \quad (2.16)$$

Ο παραπάνω κανόνας υπονοεί ότι, οποτεδήποτε η συμπληρωματική ΣΚ μιας κατανομής φθίνει με μικρότερο ρυθμό από τη συμπληρωματική ΣΚ της εκθετικής κατανομής, η εν λόγω κατανομή είναι ενισχυμένου άκρου. Πρακτικά, μια τυχαία μεταβλητή, που ακολουθεί κατανομή ενισχυμένου άκρου, μπορεί να πάρει πολύ υψηλές τιμές με μη αμελητέα πιθανότητα.

Όσον αφορά στο χαρακτηρισμό της διαδικτυακής δραστηριότητας, η έννοια του ενισχυμένου άκρου είναι συνώνυμη αυτής του πολυωνυμικού ή δυναμικού άκρου (Polynomial/Power-Tail) που παρατηρείται, κυρίως, στην κατανομή Pareto [Crov97, Arl99a, Mah00] και είναι επίσης γνωστή ως νόμος της δύναμης (Power Law):

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{P^c(x)}{cx^{-a}} = 1 \Leftrightarrow P^c(x) \sim cx^{-a}. \quad (2.17)$$

Ως εκ τούτου, η διαπίστωση της ύπαρξης της αρχής Pareto – που είναι επίσης γνωστή ως κανόνας Pareto, ή νόμος Pareto, ή κανόνας 80/20 – μεταξύ των υποκείμενων στατιστικών χαρακτηριστικών της παρατηρούμενης διαδικτυακής δραστηριότητας είναι αρκετή για να προσδιορίσει την ύπαρξη κατανομής ενισχυμένου άκρου. Η αρχή Pareto καθορίζει ότι ένα μεγάλο τμήμα των παρατηρήσεων – περίπου το 80% των παρατηρήσεων – που αφορούν μια τυχαία μεταβλητή αναφέρονται σε ένα περιορισμένο ποσοστό τιμών – περίπου στο 20% των τιμών.

Από οπτικής πλευράς, το ενισχυμένο άκρο σε μια κατανομή μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτό από το συμπληρωματικό σχεδιάγραμμα της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής των μεγεθών, όπου τόσο αθροιστική συχνότητα, όσο και τα μεγέθη είναι μετασχηματισμένα λογαριθμικά. Τότε, το ενισχυμένο άκρο ταυτίζεται με μια ευθεία γραμμή με αρνητική κλίση [Arl97].

Όταν χρησιμοποιήθηκε ο όρος ‘κατανομή μακρού άκρου’ στην περιγραφή της διαδικτυακής δραστηριότητας, έφερε μια μικρή σύγχυση. Ο Downey [Down01] τον χρησιμοποίησε αντί του όρου ‘κατανομή ενισχυμένου άκρου’ για να αναφερθεί σε κατανομές που ακολουθούν το νόμο της δύναμης (Power-Law Distributions) και έδωσε την εντύπωση ότι και οι δύο όροι είναι ταυτόσημοι. Στη συγκριτική τους ανάλυση για το κυκλοφοριακό στον παγκόσμιο ιστό και στις εφαρμογές ομοτίμων δικτύων, οι Basher et al [Bash08] πραγματοποίησαν μια διάκριση μεταξύ των κατανομών ενισχυμένου άκρου και των κατανομών μακρού άκρου. Χρησιμοποίησαν τον πρώτο όρο για όλες της κατανομές που ακολουθούν το νόμο της δύναμης – π.χ. η κατανομή Pareto – και το δεύτερο όρο για όλες τις κατανομές που δεν ακολουθούν το νόμο της δύναμης, όπως είναι η κατανομή Weibull και η λογαριθμοκανονική κατανομή.

Για να υπάρξει μια καθαρή εικόνα όσον αφορά σε αυτό το πρόβλημα, στην έρευνα του παρόντος κεφαλαίου οφείλουμε να ριξουμε φως πάνω στην πολύ λεπτή διαφορά των δύο όρων, λαμβάνοντας υπόψη την κυριολεκτική σημασία των επιθέτων μακρός και ενισχυμένος στα πλαίσια των κατανομών. Ο όρος ‘μακρός’ προσδιορίζει καλύτερα το μήκος του άκρου της κατανομής, και επομένως, μπορεί μόνο να χαρακτηρίζει το μέγεθος των τιμών που ανήκουν στο σύνολο των πολύ μεγάλων τιμών της τυχαίας μεταβλητής. Διαισθητικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι αυτός ο όρος εκφράζεται καλύτερα από την εξίσωση 2.15, παραπάνω. Πρακτικά, όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές που ανήκουν στο άκρο της κατανομής, τόσο πιο μακρύ είναι το άκρο αυτό. Στη περίπτωση της κατανομής Pareto – και, γενικά, όλων των κατανομών που ακολουθούν το νόμο της δύναμης – η διακύμανση γίνεται άπειρη, όταν για την παράμετρο μορφοποίηση ισχύει $a \leq 2$. Κάτω από αυτές τις περιστάσεις, η κατανομή Pareto επιδεικνύει μερικές εξαιρετικά μεγάλες τιμές στο δεξί άκρο της, επομένως μπορεί να θεωρηθεί ως κατανομή με μακρύ άκρο.

Από την άλλη πλευρά, σημασιολογικά, το επίθετο “ενισχυμένος” ταιριάζει περισσότερο στον προσδιορισμό της πιθανότητας του ενδεχομένου να υπάρχουν πολύ μεγάλες τιμές στην κατανομή. Οπτικά στη γραφική παράσταση μιας κατανομής, αυτό γίνεται αντιληπτό από το μικρότερο ρυθμό φθοράς στο δεξί άκρο. Αυτό το χαρακτηριστικό σε μια κατανομή εκφράζεται καλύτερα από την εξίσωση 2.16, παραπάνω. Επομένως, χρησιμοποιώντας ως όριο την εκθετική κατανομή, όλες οι κατανομές που φθίνουν με μικρότερο ρυθμό από αυτή στο δεξί τους άκρο θεωρούνται κατανομές ενισχυμένου άκρου.

Ως εκ τούτου, κατανομές όπως είναι η Pareto, η Weibull και η Γάμμα, για τις οποίες η εξίσωση 2.16 επαληθεύεται, μπορεί να θεωρηθούν ως κατανομές ενισχυμένου άκρου.

2.3.3 Αναζήτηση Αντιπροσωπευτικών Κατανομών για τα Δεδομένα

Το σημαντικότερο κομμάτι στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση είναι η αναζήτηση των κατάλληλων κατανομών που να είναι σε θέση να αναπαράγουν με υψηλό βαθμό πιστότητας τα βασικά χαρακτηριστικά της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής. Η ανεύρεση της πιο αντιπροσωπευτικής κατανομής πραγματοποιείται στο σύνολο των καταλληλότερων κατανομών. Αυτό το σύνολο περιλαμβάνει εκείνες τις κατανομές που εκπληρώνουν τα παρακάτω κριτήρια καταλληλότητας:

- Οι τιμές που παράγουν ταιριάζουν αρκετά καλά στα δεδομένα.
- Έχουν τη δυνατότητα να περιγράψουν το υπό μελέτη πρόβλημα, λαμβάνοντας υπόψη τη γενικότερη εμπειρία που αποκομίζεται από τη γνώση του αντικείμενου, σε σχέση πάντα με τις δυνατότητες των κατανομών να προσφέρουν απόλυτη κάλυψη σε νέες παρατηρήσεις που είναι πιθανό να προκύψουν στο μέλλον. Στο σημείο αυτό δεν θα πρέπει να ξεχνάμε ότι τα πειράματα αφορούν πάντα ένα πεπερασμένο δείγμα της διαδικτυακής δραστηριότητας – δηλαδή, ένα αρχείο ιχνών – και ότι οι εφαρμογές στο Διαδίκτυο συνεχώς αναβαθμίζονται και αλλάζουν.

2.3.3.1 Μεθοδολογίες για τον Υπολογισμό των Τιμών των Παραμέτρων των Κατανομών

Δεδομένου ότι οι διάφορες κατανομές που μελετάμε είναι παραμετροποιημένες σε κάποιο βαθμό – όπως, άλλωστε, φαίνεται και από τις μαθηματικές τους εξισώσεις που αναλύθηκαν προηγουμένως – απαιτείται η αναζήτηση εκείνων των τιμών των παραμέτρων, για τις οποίες εκπληρώνεται το πρώτο κριτήριο καταλληλότητας. Για την επίλυση του προβλήματος αυτού χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες μέθοδοι:

- Μέθοδος των ελάχιστων τετραγώνων [Αθαν89]: Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, επιλέγονται εκείνες οι τιμές των παραμέτρων για τις οποίες ελαχιστοποιείται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Έστω, λοιπόν, ότι με y_i συμβολίζονται οι N παρατηρούμενες τιμές, f_i είναι οι N αντίστοιχες μοντελοποιημένες και $\varepsilon_i = y_i - f_i$ είναι το σφάλμα, τότε οι παράμετροι της υπό μελέτη κατανομής ρυθμίζονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η ποσότητα:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2. \quad (2.18)$$

Η μεθοδολογία της ελαχιστοποίησης του μέσου τετραγωνικού σφάλματος έχει αξιοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό [Net04, Guo05b]. Έχουν, μάλιστα, χρησιμοποιηθεί και εξειδικευμένοι αλγόριθμοι στην επίλυση του προβλήματος, όπως ο αλγόριθμος Levenberg-Marquardt [Andr04a] που χρησιμοποιείται, όταν η παραμετροποίηση της υπό μελέτη κατανομής παραπέμπει σε μη γραμμικό πρόβλημα. Για περισσότερες λεπτομέρειες πάνω στον αλγόριθμο Levenberg-Marquardt, καθώς και για άλλες παρόμοιες μεθοδολογίες, ο ενδιαφερόμενος μπορεί να ανατρέξει στη μελέτη των Madsen et al [Mads04].

- Εκτίμηση μέγιστης πιθανότητας (Maximum Likelihood Estimation, MLE) [Myun03]:
 Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο επιλέγονται εκείνες οι τιμές των παραμέτρων για τις οποίες μεγιστοποιείται η συνάρτηση πιθανότητας (Likelihood Function) $L(w/y)$, όπου τα w και y είναι διανύσματα, που αντιπροσωπεύουν τις παραμέτρους και τις παρατηρούμενες τιμές, δηλαδή: $w = (w_1, \dots, w_m)$ και $y = (y_1, \dots, y_N)$, όπου m είναι ο αριθμός των παραμέτρων και N είναι ο αριθμός των παρατηρούμενων τιμών. Αν $p(y/w)$ είναι η ΣΠΠ που προσδιορίζει την πιθανότητα να παρατηρηθούν οι τιμές y δεδομένων των παραμέτρων w και οι τιμές y είναι στατιστικώς ανεξάρτητες μεταξύ τους, τότε ισχύει η παρακάτω μαθηματική εξίσωση:

$$L(w/y) = p(y/w) = \prod_{i=1}^N p(y_i/w). \quad (2.19)$$

Πρακτικά είναι βολικότερη η επίλυση του προβλήματος μεγιστοποίησης της λογαριθμικής συνάρτησης πιθανότητας, δηλαδή της $\ln L(w/y)$. Οι μέγιστες τιμές αναζητούνται στα σημεία μηδενισμού της πρώτης παραγώγου για όλες τις παραμέτρους w_i , $1 \leq i \leq m$, για τα οποία η δεύτερη παράγωγος παρουσιάζει αρνητική τιμή.

Δεδομένου ότι ο αριθμός των παραμέτρων m επιδεινώνει το πρόβλημα, ιδιαίτερα, όταν αυτό είναι υπερβολικά μη γραμμικό, οι περισσότεροι αλγόριθμοι, που πραγματοποιούν εκτίμηση μέγιστης πιθανότητας, ακολουθούν μια επαναληπτική διαδικασία προσπαθώντας να προσεγγίσουν όσο το δυνατόν τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων.

Η μεθοδολογία εκτίμησης μέγιστης πιθανότητας έχει αξιοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό από την έρευνα πάνω στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής [Kwok05, Stut06, Erm010].

2.3.3.2 Μεθοδολογίες για τον Έλεγχο Καλής Προσαρμογής (Goodness-of-Fit Tests)

Υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες για τον έλεγχο της καλής προσαρμογής των καταλληλότερων κατανομών στα παρατηρούμενα δεδομένα, ώστε να αποφασιστεί, τελικά, η αντιπροσωπευτική κατανομή στην περιγραφή τους. Οι βασικότεροι από τους ελέγχους αυτούς – που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά το χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής – είναι οι παρακάτω:

- Ο έλεγχος βάσει του Δείκτη Προσδιορισμού ή Προσαρμογής (Coefficient of Determination) R^2 [Αθαν89]: Βρίσκει εφαρμογή σε στατιστικές μελέτες, όπου το ζητούμενο είναι η ανάλυση της γραμμικής παλινδρόμησης για τη μέτρηση της καλής προσαρμογής των παρατηρήσεων ως προς τη γραμμή ή την καμπύλη παλινδρόμησης. Ο δείκτης προσδιορισμού υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - f_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - m_y)^2}, \quad (2.20)$$

όπου y_i είναι οι παρατηρούμενες τιμές, f_i είναι οι μοντελοποιημένες τιμές που παράγει η υποψήφια, αντιπροσωπευτική συνάρτηση κατανομής, N είναι το σύνολο τόσο των τιμών y_i όσο και των f_i , και m_y είναι η μέση τιμή των y_i . Δηλαδή, ισχύει:

$$m_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i. \quad (2.21)$$

Το πεδίο τιμών του δείκτη προσδιορισμού είναι το κλειστό σύνολο $[0,1]$. Όσο το R^2 προσεγγίζει τη μονάδα, τόσο καλύτερη είναι η προσαρμογή των τιμών f_i στις τιμές y_i .

Η μεθοδολογία του δείκτη προσδιορισμού έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό από τις έρευνες πάνω στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής [Cunh95, Mah00, Oke02, Bust03, Duar07, Vu07, Mah09, Ben09, Jeon010].

- Ο έλεγχος Kolmogorov – Smirnov (K-S Test) [Mars03, Cord09, Nist010]: Ο έλεγχος καλής προσαρμογής κατά Kolmogorov – Smirnov αποτελεί μια ακόμη μεθοδολογία,

που έχει αξιοποιηθεί στο χαρακτηρισμό της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής [Plis05, Yu06, Garc07, Bash08]. Η μεθοδολογία K-S ξεκινάει με την αρχική υπόθεση ότι μια κατανομή είναι αντιπροσωπευτική στην περιγραφή των παρατηρήσεων, και στην πορεία επιδιώκει είτε να ενισχύσει, είτε να απορρίψει το ενδεχόμενο αυτό, αφού προσδώσει ένα επίπεδο σημαντικότητας α – που, συνήθως, παίρνει τιμή 0,05 – στην αρχική υπόθεση. Η μεθοδολογία προσπαθεί να δώσει απάντηση σε αυτό το θέμα, εξετάζοντας τη μέγιστη απόσταση μεταξύ των ΣΚ της παρατηρούμενης – έστω $P_N(x)$ η εμπειρική ΣΚ, όπου N ο αριθμός των παρατηρούμενων τιμών – και της υποψήφιας, αντιπροσωπευτικής κατανομής – έστω $P(x)$. Καθώς ο αριθμός των παρατηρήσεων n μεγιστοποιείται, η ποσότητα $Z = \sqrt{N} \sup_x |P_N(x) - P(x)|$ συγκλίνει προς τη ΣΚ της κατανομής Kolmogorov [Mars03] – έστω $P_K(x)$. Δηλαδή ισχύει:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (Z) = P_K(x),$$

$$P_K(x) = \frac{\sqrt{2\pi}}{x} \sum_{i=1}^{\infty} e^{-(2i-1)^2 \pi^2 / (8x)^2}. \quad (2.22)$$

Ως εκ τούτου, υπολογίζοντας την ποσότητα Z και λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές που δίνει η ΣΚ της κατανομής Kolmogorov, σε συνδυασμό με το επίπεδο σημαντικότητας α , ελέγχεται η καλή προσαρμογή της υποψήφιας, αντιπροσωπευτικής κατανομής. Πρακτικά, για να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος καλής προσαρμογής K-S, ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα [Nist010]:

Βήμα 1: Διατάσσονται κατά αύξουσα σειρά οι N παρατηρούμενες τιμές X_1, \dots, X_N . Κατά αυτόν τον τρόπο μπορεί να υπολογιστεί εύκολα η εμπειρική ΣΚ των δεδομένων βάσει του τύπου: $P_N(X_i) = i/N$.

Βήμα 2: Υπολογίζεται το στατιστικό μέτρο ελέγχου D κατά K-S βάσει του τύπου:

$$D = \max_{1 \leq i \leq N} \left(P(X_i) - \frac{i-1}{N}, \frac{i}{N} - P(X_i) \right). \quad (2.23)$$

Βήμα 3: Αν η τιμή του μέτρου D είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη τιμή για το επίπεδο σημαντικότητας που λαμβάνεται υπόψη – η οποία είναι γνωστή από σχετικούς στατιστικούς πίνακες – τότε η αρχική υπόθεση απορρίπτεται.

Κάποιες από τις βασικές ιδιότητες του ελέγχου K-S είναι οι εξής [Nist010]: Χρησιμοποιείται μόνο για τις συνεχείς κατανομές, το στατιστικό μέτρο D δεν εξαρτάται από την υποψήφια αντιπροσωπευτική κατανομή, η οποία θα πρέπει να είναι πλήρως προσδιορισμένη. Τέλος, ο έλεγχος τείνει να είναι περισσότερο ευαίσθητος κοντά στο κέντρο, από ό,τι στα άκρα της κατανομής.

Ένας καλός οδηγός για τη διεξαγωγή του ελέγχου καλής προσαρμογής K-S και ένα διαφωτιστικό παράδειγμα στην περίπτωση ελέγχου της κανονικότητας μιας κατανομής – δηλαδή, η υποψήφια, αντιπροσωπευτική κατανομή είναι η κανονική – παρουσιάζονται από τους Corder και Foreman [Cord09].

- Ο έλεγχος Anderson-Darling (A-D Test) [Nist010]: Ο έλεγχος καλής προσαρμογής κατά Anderson-Darling εφαρμόζεται, επίσης, για πλήρως προσδιορισμένες, συνεχείς κατανομές. Το βασικό πλεονέκτημα έναντι του ελέγχου K-S είναι ότι το στατιστικό μέτρο που χρησιμοποιεί – γνωστό ως A^2 – είναι προσαρμοσμένο στην υποψήφια, αντιπροσωπευτική κατανομή. Ως εκ τούτου, ως μεθοδολογία προσπαθεί να ευνοήσει όλες τις κατανομές, για τις οποίες υπάρχουν επαρκώς τεκμηριωμένοι στατιστικοί πίνακες με κρίσιμες τιμές.

Η διαδικασία που ακολουθείται κατά τον έλεγχο A-D είναι η ίδια με αυτή του ελέγχου K-S. Η διαφορά έγκειται στο στατιστικό μέτρο, το οποίο υπολογίζεται ως εξής:

$$A^2 = -N - S, \quad (2.24)$$

$$S = \sum_{i=1}^N \left(\frac{2i-1}{N} [\ln P(X_i) + \ln(1 - P(X_{N+1-i}))] \right). \quad (2.25)$$

Ο έλεγχος A-D έχει επίσης αξιοποιηθεί κατά το χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής [Barf99, Will05, Stut06, Garc07, Erm010].

Εκτός από τις τρεις παραπάνω μεθοδολογίες, που εξακριβωμένα έχουν αξιοποιηθεί για την επαλήθευση της καλής προσαρμογής των αντιπροσωπευτικών κατανομών για τη μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής, υπάρχουν και μια σειρά άλλες μεθοδολογίες που, επίσης, μπορεί να αξιοποιηθούν μελλοντικά. Ο ενδιαφερόμενος μπορεί να συμβουλευτεί τη σχετική μελέτη του Narsky [Nars03], αλλά και την παλαιότερη συγκριτική έρευνα του Stephens [Step74].

2.4 Χαρακτηρισμός & Μοντελοποίηση σε Επίπεδο Εφαρμογής, ως Κομμάτι της Έρευνας πάνω στις Τεχνολογίες Διανομής & Παράδοσης του Διαδικτυακού Περιεχομένου

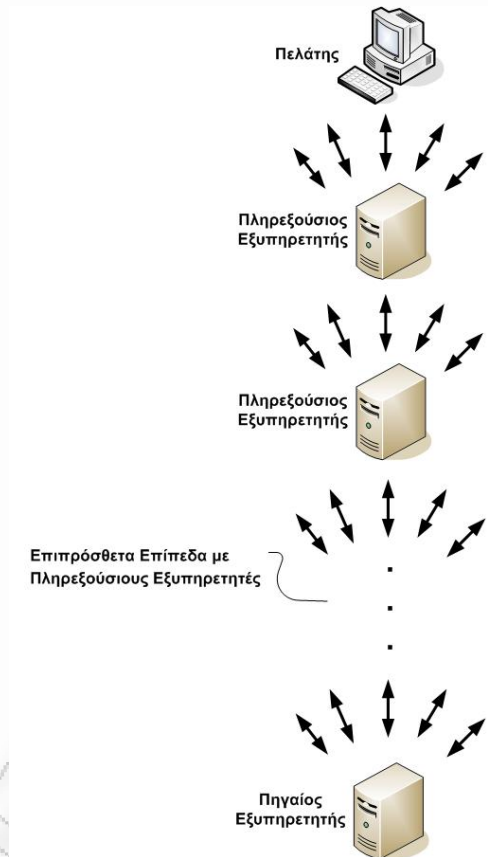
Λαμβάνοντας υπόψη την ιεραρχική υποδομή του Διαδικτύου, ανάλογα με τη γεωγραφική τοποθεσία του πελάτη και του εξυπηρετητή εφαρμογών, ή την τοποθεσία των ομότιμων μηχανών και τη φύση των ομότιμων δικτύων P2P, τα αιτήματα και οι αποκρίσεις, οι οποίες έχουν ιδιαίτερη σημασία, αφού μεταφέρουν το διαδικτυακό περιεχόμενο, ενδέχεται να ακολουθήσουν μια μεγάλη διαδρομή, μέσα από διακρατικά και κρατικά δίκτυα, αλλά και τα ιδιωτικά δίκτυα των παρόχων των διαδικτυακών υπηρεσιών.

Όσο υψηλότερα στην ιεραρχία βρίσκεται το δίκτυο από το οποίο περνάνε οι συναλλαγές, τόσο περισσότερο καταπονούνται και φθάνουν στα όριά τους οι υποδομές του, δεδομένου ότι έχει να εξυπηρετήσει μεγαλύτερο εύρος δικτύων χαμηλότερου επιπέδου και τελικών χρηστών. Αυτή είναι και μια από τις βασικές αιτίες, που οι διαχειριστές των δικτύων σε όλα τα επίπεδα επιλέγουν να εγκαθιστούν πληρεξούσιους εξυπηρετητές, ώστε να απορροφούν μέρος του κυκλοφοριακού, μέσω εξειδικευμένων εφαρμογών διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου, εξοικονομώντας κατά αυτόν τον τρόπο πολύτιμους πόρους και αποφορτίζοντας τους πηγαίους εξυπηρετητές των εφαρμογών.

Επομένως, στο Διαδίκτυο, τα μηνύματα επιπέδου εφαρμογής, συνήθως, περνούν μέσω μιας σειράς από ενδιάμεσους, πληρεξούσιους εξυπηρετητές. Πολλοί από αυτούς ενδέχεται να λειτουργούν για λογαριασμό των παρόχων του διαδικτυακού περιεχομένου, όπως κατά κανόνα συμβαίνει στην περίπτωση των δικτύων CDN. Αν κάποιος από τους πληρεξούσιους εξυπηρετητές μπορεί να εξυπηρετήσει κάποιο αίτημα, τότε το κάνει. Στην αντίθετη περίπτωση, το αίτημα συνεχίζει το ταξίδι του μέχρι τον πηγαίο εξυπηρετητή. Το σχήμα 2.3 δίνει μια γενική εικόνα αυτού του δαιδαλώδους συστήματος των ενδιάμεσων διακομιστών.

Η έρευνα πάνω στην ανάπτυξη των τεχνολογιών διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου που ενσωματώνονται στους πληρεξούσιους εξυπηρετητές, αλλά και στον πελάτη και στον πηγαίο εξυπηρετητή, βασίζεται αποκλειστικά στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση των βασικών χαρακτηριστικών της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής. Θέλοντας να δώσουμε έναν όσο πιο συνοπτικό και περιεκτικό ορισμό στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση σε επίπεδο εφαρμογής, μπορούμε να πούμε τα εξής: *«Πρόκειται για τη συστηματική και εξαντλητική, στατιστική ανάλυση των βασικών χαρακτηριστικών της δραστηριότητας, που παράγεται από κάποια διαδικτυακή εφαρμογή στο πλαίσιο*

του ενδιαφέροντος του ερευνητή, με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων ως προς τη συμπεριφορά της – σχετικά με τις υπάρχουσες διαδικτυακές υποδομές και τεχνολογίες – και την παραγωγή περιγραφικών μοντέλων προς αξιοποίηση σε μελλοντική έρευνα».



Σχήμα 2.3. Αναπαράσταση του συστήματος πληρεξούσιων εξυπηρετητών που παρεμβάλλονται στην επικοινωνία μεταξύ του πελάτη και του πηγαίου εξυπηρετητή σε επίπεδο εφαρμογής

Στο σημείο αυτό δίνουμε τον ορισμό της συνόδου: «Πρόκειται για το σύνολο της επικοινωνίας ανάμεσα στον πελάτη και τον εξυπηρετητή στα πλαίσια της διαδικτυακής εφαρμογής, με σκοπό την επίτευξη της αποφόρτωσης του επιθυμητού περιεχομένου». Στον ορισμό αυτό επισημαίνουμε τα ακόλουθα σημεία:

- Η σύνοδος αφορά ένα πελάτη και ένα συγκεκριμένο εξυπηρετητή. Αυτό σημαίνει ότι, αν η αποφόρτωση του επιθυμητού περιεχομένου εμπλέκει περισσότερους εξυπηρετητές [Camp03], τότε οι σύνοδοι αυξάνονται ομοίως.
- Στα πλαίσια της διαδικτυακής εφαρμογής, το επιθυμητό περιεχόμενο καθορίζεται, πάντοτε, από την πλοήγηση του χρήστη με βάση τις υπερσυνδέσεις. Ως εκ τούτου, στην

περίπτωση του παγκοσμίου ιστού, η σύννοδος σχετίζεται με μια ιστοσελίδα, ενώ στις πολυμεσιές εφαρμογές, η σύννοδος αφορά σε μια συγκεκριμένη ροή ή ένα συγκεκριμένο πολυμεσικό αντικείμενο.

Λαμβάνοντας υπόψη τον παραπάνω ορισμό της συνόδου, διακρίνουμε το χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση σε δύο στάδια:

- Μακροσκοπική ή δια-συνοδική ανάλυση: Πρόκειται για τη γενική και σφαιρική ανάλυση της διαδικτυακής δραστηριότητας στο σύνολό της. Στόχος της είναι, κυρίως, η παραγωγή μοντέλων πάνω στα βασικά χαρακτηριστικά και τις παραμέτρους της διαδικτυακής δραστηριότητας για τη μετέπειτα αξιοποίησή τους στη δημιουργία τεχνητών αρχείων ιχνών, που χρησιμεύουν ως είσοδο σε πειράματα προσομοίωσης.³ Κατά αυτόν τον τρόπο, μπορεί να αναλυθεί η επίδραση των βασικών χαρακτηριστικών της διαδικτυακής δραστηριότητας πάνω στις τεχνολογίες διανομής και παράδοσης του περιεχομένου, αλλά και να εξαλειφθεί ο πάντα υπαρκτός κίνδυνος της μη πρόσβασης των ερευνητών σε πραγματικούς φόρτους.
- Μικροσκοπική ή ενδο-συνοδική ανάλυση: Πρόκειται στην ουσία για την ανάλυση σε επίπεδο συνόδου. Στόχος της είναι η εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών και μοντέλων από την ιδιαίτερη αλληλεπίδραση σε επίπεδο εφαρμογής κατά τη διάρκεια μιας συνόδου επικοινωνίας. Τα συμπεράσματα από τη μικροσκοπική ανάλυση προσδίδουν μεγαλύτερο βαθμό λεπτομέρειας στα παραγόμενα μοντέλα. Η μικροσκοπική ανάλυση είναι ιδιαίτερα απαραίτητη στη σημερινή εποχή, όπου αιμάζουν οι δικτυακές εφαρμογές αποθηκευμένων πολυμέσων, με τις οποίες ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδρά κατά τη διάρκεια της συνόδου.

Στο σημείο αυτό τίθεται το εξής ερώτημα: Για ποιες εφαρμογές απαιτείται ο χαρακτηρισμός και η μοντελοποίηση των χαρακτηριστικών της διαδικτυακής δραστηριότητας που παράγουν, με σκοπό τη στήριξη της έρευνας πάνω στις τεχνολογίες διανομής και παράδοσης; Η απάντηση είναι απλή: Για εκείνες τις εφαρμογές που έχουν μεγάλη απήχηση στους χρήστες και κατακλύζουν με κυκλοφοριακό το Διαδίκτυο.

³ Η προσομοίωση ως μεθοδολογία έρευνας των εφαρμογών διανομής και παράδοσης έχει πολλά πλεονεκτήματα, τα οποία αναλύουμε διεξοδικά στο κεφάλαιο 4, της παρούσας διατριβής.

Από την επιστημονική έρευνα πάνω στο αντικείμενο συγκλίνουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα σχετικά με τις διαδικτυακές εφαρμογές, που κατακλύζουν με κυκλοφοριακό το σημερινό Διαδίκτυο, επιβαρύνοντας τις υποδομές του:

- Ο παγκόσμιος ιστός έχει αποτελέσει την εφαρμογή που έδωσε φτερά στο Διαδίκτυο μεταλλάσσοντάς το σε ένα παγκόσμιο δίκτυο ανοικτό στον καθένα, από τα μέσα της δεκαετίας του 1990. Η ευκολία με την οποία στις ιστοσελίδες ενσωματώνονται νέες πολυμεσιές τεχνολογίες, που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο μεταφοράς υπερκειμένου (HyperText Transfer Protocol, HTTP), αλλά και η δυνατότητα, πλέον, του κάθε χρήστη να παράγει την πληροφορία, έχουν αναβαθμίσει κατά πολύ τη δημοτικότητα του παγκοσμίου ιστού, μετατρέποντάς τον σε μέσο έκφρασης της ίδιας της κοινωνικότητας των ατόμων. Έχουν, πλέον, δημιουργηθεί διαδικτυακοί τόποι κοινωνικής δικτύωσης με πολυμεσιές δυνατότητες – π.χ. το Facebook⁴ – που ειτοξεύουν στα ύψη το παραγόμενο κυκλοφοριακό.
- Υπάρχουν δικτυακές εφαρμογές πολυμέσων, αποθηκευμένων και ζωντανής μετάδοσης, που χρησιμοποιούν τον παγκόσμιο ιστό ως υπηρεσία καταλογογράφησης (Indexing) και άλλα εξειδικευμένα πρωτόκολλα για τη ροή των πολυμέσων, τα οποία επιτρέπουν την αλληλεπίδραση του χρήστη – κυρίως, όσον αφορά στα αποθηκευμένα πολυμέσα. Στη σημερινή εποχή, όπου κυριαρχεί η ανάπτυξη δικτυακών τόπων κοινωνικής δικτύωσης, δεύτερης γενιάς του παγκοσμίου ιστού, οι πολυμεσιές υπηρεσίες των εν λόγω δικτυακών τόπων χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο HTTP για τη μεταφορά των πολυμέσων ακολουθώντας το μοντέλο ψευδο-ροής. Παρακάτω, θα αναλύσουμε τις διαφορές μεταξύ της ροής και της ψευδο-ροής και θα ακολουθήσουμε μια προσεκτική και ενιαία αντιμετώπιση, όσον αφορά στα δύο αυτά κυρίαρχα μοντέλα μεταφοράς πολυμέσων στο Διαδίκτυο.
- Ίσως, οι περισσότεροι απαιτητικές σε πόρους διαδικτυακές εφαρμογές στη σημερινή εποχή – και από ό,τι φαίνεται και στο μέλλον – είναι οι εφαρμογές ομότιμων δικτύων P2P, κυρίως, για την ανταλλαγή αρχείων. Αν και πολλές από αυτές χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο HTTP στη μεταφορά των αρχείων, η ξεχωριστή και κατανεμημένη φύση τους – δεδομένου ότι δεν ισχύει το μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή, αλλά το μοντέλο

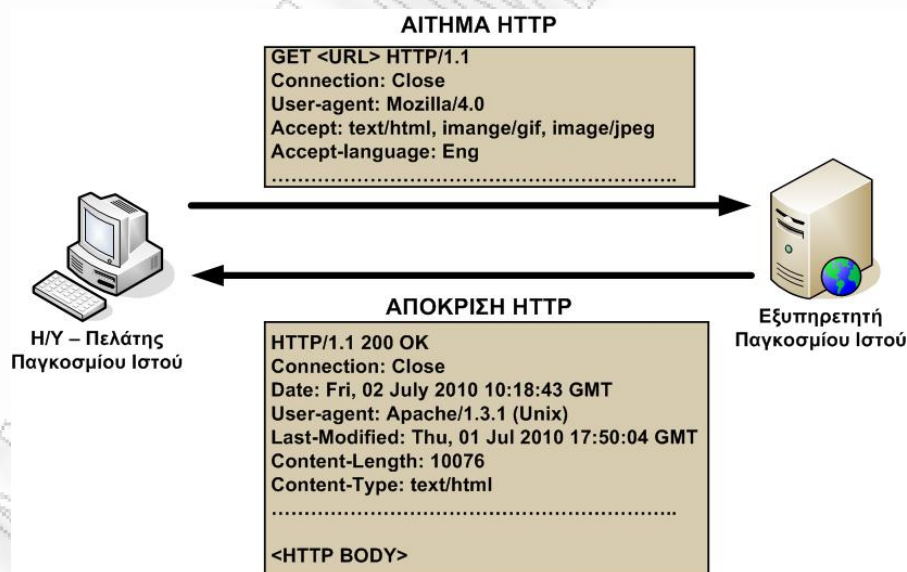
⁴ <http://www.facebook.com>

ομότιμων μηχανών – επιβάλλει μια ιδιαίτερη προσοχή, όσον αφορά στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίησή τους. Ανερχόμενης σημασίας είναι οι εφαρμογές ομότιμων μηχανών στη μεταφορά πολυμέσων, οι οποίες παρουσιάζουν σχετικά περιορισμένη βιβλιογραφική κάλυψη και αναμένεται να απασχολήσουν την επιστημονική κοινότητα στο άμεσο μέλλον.

- Τα διαδικτυακά παιχνίδια αποτελούν εφαρμογές που συνεχώς κερδίζουν σε δημοτικότητα – κυρίως, σε χρήστες νεαρής ηλικίας – και αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα καταπόνησης των δικτυακών υποδομών.

2.5 Η Εφαρμογή του Παγκοσμίου Ιστού

Η εφαρμογή του παγκοσμίου ιστού ακολουθεί το πρότυπο πελάτη-εξυπηρετητή και η λειτουργία της στηρίζεται στο πρωτόκολλο μεταφοράς υπερκειμένου HTTP. Ένα τυπικό, απλουστευμένο παράδειγμα της επικοινωνίας μεταξύ ενός πελάτη και ενός εξυπηρετητή στον παγκόσμιο ιστό, με τα μηνύματα HTTP που μεταφέρονται απεικονίζεται στο σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.4. Συναλλαγή μεταξύ πελάτη-εξυπηρετητή στον παγκόσμιο ιστό

Το πρωτόκολλο HTTP που υποστηρίζει τη λειτουργία του παγκοσμίου ιστού είναι δομημένο κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να λαμβάνει υπόψη του την πιθανή ύπαρξη ενδιάμεσων πληρεξούσιων εξυπηρετητών μεταξύ του πελάτη και του πηγαίου εξυπηρετητή. Ως εκ τούτου, ο παγκόσμιος ιστός είναι η κατεξοχήν εφαρμογή που υποστηρίζει την πολύπλοκη αρχιτεκτονική, που περιγράφει το σχήμα 2.3. Στη γλώσσα που χρησιμοποιεί κατά την

επικοινωνία των συναλλασσόμενων μερών, ένα τμήμα της οποίας απεικονίζεται στο σχήμα 2.4, το HTTP περιλαμβάνει μια σειρά από εντολές-επικεφαλίδες (Headers), που αφορούν αποκλειστικά στις εφαρμογές διανομής και παράδοσης του περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού, και, κυρίως, τις εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Όσα ειπώθηκαν παραπάνω σε συνδυασμό με την υψηλή – ίσως, καθολική – δημοτικότητα του παγκοσμίου ιστού και την ολοκλήρωση πολλών άλλων διαδικτυακών εφαρμογών γύρω του δικαιολογούν απόλυτα την ύπαρξη ενός μεγάλου αριθμού ερευνών πάνω στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας που αυτός παράγει. Οι έρευνες αυτές επικεντρώνουν και αναλύουν στοιχεία που σχετίζονται άμεσα με τις εφαρμογές διανομής και παράδοσης του περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού.

Η μικροσκοπική ανάλυση στον παγκόσμιο ιστό είναι απαραίτητη για την περίπτωση όπου οι ιστοσελίδες ενσωματώνουν πολυμεσικές εφαρμογές, με τις οποίες ο χρήστης αλληλεπιδρά σε κάποιο βαθμό. Με την άνοδο της δεύτερης έκδοσης του παγκόσμιου ιστού (Web 2.0), η ενσωμάτωση των πολυμέσων ως ξεχωριστών αντικειμένων στις ιστοσελίδες είναι ένα πολύ διαδεδομένο φαινόμενο. Σε αυτό έχει συντελέσει η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών ψευδο-ροής – όπως, η τεχνολογία Adobe Flash Video, που χρησιμοποιούν πολλοί δικτυακοί τόποι, όπως το YouTube [Gill07] και το Yahoo! Video [Kang010] – που παρέχουν στο χρήστη κάποιες βασικές δυνατότητες, τις οποίες παρείχαν έως τότε μόνο τα εξειδικευμένα πρωτόκολλα πραγματικής ροής. Για αυτόν το λόγο, αναλύουμε αυτές τις τεχνολογίες πολυμέσων στην επόμενη παράγραφο 2.6, που καταπιάνεται αποκλειστικά με τις δικτυακές εφαρμογές πολυμέσων.

Στα πλαίσια της μακροσκοπικής ανάλυσης του παγκοσμίου ιστού μελετώνται χαρακτηριστικά όπως: η δημοτικότητα, η ηλικία/γήρανση, οι μεταβολές και το μέγεθος των αντικειμένων, το μέγεθος των αποφορτώσεων, η ύπαρξη χρονικής και χωρικής τοπικότητας στα αιτήματα προς τα αντικείμενα, τυχόν συσχετισμοί μεταξύ των παραμέτρων αυτών, οι επικεφαλίδες στα μηνύματα HTTP και πολλά άλλα.

2.5.1 Χαρακτηρισμός & Μοντελοποίηση της Δραστηριότητας του Παγκοσμίου Ιστού

2.5.1.1 Ανάλυση Δημοτικότητας

Όσον αφορά στη δημοτικότητα των αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού, αυτή μπορεί να ερευνηθεί και να αποδοθεί με δύο μεθόδους [Gill07]. Η πρώτη μέθοδος ακολουθεί την

ανάλυση της συγκέντρωσης των αιτημάτων συναρτήσει του αριθμού των μοναδικών αντικειμένων. Ο καλύτερος τρόπος για να γίνει αυτό είναι ο σχεδιασμός της παρατηρούμενης αθροιστικής συνάρτησης κατανομής των αιτημάτων προς το συνολικό αριθμό των μοναδικών αντικειμένων. Σχετικά με αυτή τη μεθοδολογία, η έρευνα έχει οδηγήσει στα εξής συμπεράσματα:

- Τόσο σε επίπεδο πηγαίου [Arl96, Arl00c, Padm00, Fab06], όσο και σε επίπεδο πληρεξούσιου εξυπηρετητή [Abd97, Arl99a, Mah00], η συγκεκριμένη κατανομή παρουσιάζει ενισχυμένο άκρο.
- Οι Padmanabhan και Qiu [Padm00] ανέφεραν ότι η πυκνότητα των αιτημάτων προς τα δημοφιλέστερα αντικείμενα είναι μεγαλύτερη στους πηγαίους από ό,τι στους πληρεξούσιους, ενώ αυξάνει όσο πιο δημοφιλής είναι ο πηγαίος εξυπηρετητής.

Κατά τη δεύτερη μεθοδολογία, τα αντικείμενα κατατάσσονται με βάση τη δημοτικότητα τους κατά φθίνουσα σειρά, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται τάξεις αντικειμένων. Στη συνέχεια, σχεδιάζεται η κατανομή των αιτημάτων για την κάθε τάξη αντικειμένων. Ανάλογα με τον υπό χαρακτηρισμό φόρτο, η έρευνα έχει οδηγήσει σε μια ποικιλία συμπερασμάτων, όσον αφορά στη μεθοδολογία αυτή. Συγκεκριμένα:

- Σε πολλές έρευνες, η σχετική κατανομή είναι της μορφής Zipf-Like [Bres99, Barf99, Padm00, Oke02, Will05, Gonz07].
- Οι Padmanabhan και Qiu [Padm00] ανακάλυψαν ότι η αρνητική κλίση της κατανομής Zipf-Like είναι περισσότερο απότομη για τους πηγαίους εξυπηρετητές από ό,τι στους πληρεξούσιους – δηλαδή, η τιμή του συντελεστή a στην εξίσωση 2.13 είναι μεγαλύτερη για τους πηγαίους εξυπηρετητές, ενώ για τους πολύ δημοφιλείς ξεπερνάει τη μονάδα.
- Κάποιες από τις έρευνες [Cunh95, Alm96, Kha05] έχουν οδηγήσει σε μια καθαρή κατανομή Zipf. Στην περίπτωση των Cunha et al [Cunh95] δεν λαμβάνεται υπόψη η λειτουργία της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης στο φυλλομετρητή. Αν αφαιρεθούν τα αιτήματα που απαντώνται από την εφαρμογή, η κατανομή είναι Zipf-Like [Bres99].
- Οι Gonzalez-Canete et al [Gonz07] αναφέρουν ότι οι παρατηρήσεις σχετικά με τη δημοτικότητα των αντικειμένων είναι οι ίδιες ακόμη και όταν η μελέτη επικεντρώνει στον κάθε τύπο αντικειμένου χωριστά, δηλαδή κείμενο, εικόνα, ήχος, βίντεο, εφαρμογή.

- Υπάρχουν περιπτώσεις [Arl99b], όπου η καθολική δημοτικότητα δε μπορεί να προσεγγιστεί από μόνο μια κατανομή Zipf-Like, αλλά τμηματικά από πολλαπλές κατανομές Zipf-Like.
 - Υπάρχουν περιπτώσεις [Pall03], όπου η δημοτικότητα δε μπορεί να αποδοθεί από κάποια κατανομή τύπου Zipf-Like, με την τιμή του συντελεστή a στην εξίσωση 2.13 να είναι αρνητική.
 - Οι Oke και Bunt [Oke02] επισήμαναν ότι η δημοτικότητα των αντικειμένων, που αποφορτώνονται από τον κάθε πελάτη χωριστά, μπορεί να μοντελοποιηθεί από την οικογένεια κατανομών Zipf/Zipf-Like, εφόσον πίσω από τον πελάτη υπάρχει κάποιος χρήστης. Στην αντίθετη περίπτωση, η ζήτηση των αντικειμένων είναι περισσότερο ομοιόμορφη.
 - Όσον αφορά στους δικτυακούς τόπους δεύτερης γενιάς, όπου όλοι οι χρήστες συμβάλλουν στη διαμόρφωση της πληροφορίας:
 - Η δημοτικότητα των ιστολογίων (Blogs) μπορεί να μοντελοποιηθεί από την οικογένεια κατανομών Zipf/Zipf-Like [Duar07, Jeon010], ενώ δεν επηρεάζεται από τη δραστηριότητα των κατόχων των ιστολογίων [Duar07]. Οι Jeon et al [Jeon010] επισήμαναν ότι η οικογένεια κατανομών Zipf/Zipf-Like μπορεί να περιγράψει τη δημοτικότητα τόσο σε επίπεδο αντικειμένων, όσο και σε επίπεδο άρθρων, τα οποία μπορεί να αποτελούνται από απλό κείμενο, ή και από ένα ή περισσότερα συνημμένα αρχεία/αντικείμενα.
 - Για την περίπτωση του Wikipedia, μόνο ένα μικρό μέρος της δημοτικότητας μπορεί να μοντελοποιηθεί από την κατανομή Zipf-Like [Urba09].
- Ένα στοιχείο σχετικό με τη δημοτικότητα, υψίστης σημασίας ιδίως στις εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης στο Διαδίκτυο, είναι ο αριθμός των αντικειμένων που ζητούνται μόνο μια φορά (one-timers). Έχει μεγάλη σημασία ιδιαίτερα για τις εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης, δεδομένου ότι τέτοια αντικείμενα θεωρούνται 'σκουπίδια'. Όσον αφορά στη συγκεκριμένη παράμετρο ισχύουν τα εξής:
- Στους πληρεξούσιους εξυπηρετητές, ο αριθμός των αντικειμένων που ζητούνται μόνο μια φορά καλύπτει το 60% έως 80% του συνόλου [Arl99a, Mah00, Kha05, Gonz07].

- Στους πηγαίους εξυπηρετητές, το νούμερο αυτό είναι, συνήθως, πολύ μικρότερο, με τους Arlitt και Jin [Arl00c] να καταλήγουν στην ελάχιστη τιμή του 9,2%, τους Oke και Bunt [Oke02] να βρίσκουν το ποσοστό σε 12,23%, ενώ σε άλλες περιπτώσεις [Arl96, Fab06] να κυμαίνεται μεταξύ 23% και 42%. Οι Williams et al [Will05] κατέληξαν σε ποσοστά μεταξύ 15% και 26%. Σε περιπτώσεις όπου ένα ικανό ποσοστό του περιεχομένου είναι δυναμικό [Fab06], παρατηρήθηκε ποσοστό μεταξύ 65% και 82%.

2.5.1.2 *Μέγεθος Αντικειμένων / Αποφορτώσεων*

Στην ουσία, το μέγεθος των αντικειμένων διαφέρει από το μέγεθος των αποφορτώσεων. Αυτό οφείλεται, κυρίως, στο γεγονός ότι ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να διακόψει απότομα την αποφόρτωση ενός αντικειμένου, οπότε το μέγεθος της αποφόρτωσης θα είναι μικρότερο από αυτό του αντικειμένου. Στη βιβλιογραφία, είτε αναλύονται και τα δύο χαρακτηριστικά μαζί [Arl97, Arl99a], είτε αναλύεται μόνο το μέγεθος των αντικειμένων [Cunh95, Pall03, Kha05, Fab06], ή αναλύεται μόνο το μέγεθος των αποφορτώσεων [Mah00, Camp03]. Ένα μέρος της έρευνας [Barf99, Arl99a, Arl00c] επιλέγει να μελετήσει το μέγεθος των αντικειμένων για τα οποία πραγματοποιήθηκε τουλάχιστον μια επιτυχής αποφόρτωση.

Για την περίπτωση των πηγαίων εξυπηρετητών, στη βιβλιογραφία αναφέρονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Κατά τους Arlitt και Williamson [Arl97], οι κατανομές των μεγεθών των αποθηκευμένων αντικειμένων και των αποφορτώσεων παρουσιάζουν ενισχυμένο άκρο, που μπορεί να μοντελοποιηθεί από τη συνάρτηση Pareto. Στο ίδιο συμπέρασμα, για τους ίδιους εξυπηρετητές, κατέληξαν δέκα χρόνια αργότερα οι Williams et al [Will05].
- Οι Arlitt και Jin [Arl99b, Arl00c] οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι το παρατηρούμενο δεξι άκρο της κατανομής των μεγεθών των αντικειμένων, που αποφορτώθηκαν επιτυχώς, είναι ενισχυμένο, ενώ το κύριο τμήμα της μπορεί να προσεγγιστεί επαρκώς από τη λογαριθμοκανονική κατανομή.
- Οι Oke και Bunt [Oke02] βρήκαν ότι ο συνδυασμός της λογαριθμοκανονικής κατανομής για το κύριο σώμα και της κατανομής Pareto για την ουρά είναι κατάλληλος για τη μοντελοποίηση τόσο του μεγέθους των αντικειμένων, όσο και της ποσότητας

πληροφορίας που αποφορτώνεται. Σε επίπεδο ανεξάρτητων πελατών, βρήκαν ότι οι κατανομές παρουσιάζουν, επίσης, ενισχυμένο άκρο.

- Υπάρχουν περιπτώσεις [Fab06] όπου η λογαριθμοκανονική κατανομή μπορεί να περιγράψει εξ ολοκλήρου το μέγεθος των αντικειμένων.
- Όσον αφορά τους δικτυακούς τόπους δεύτερης γενιάς:
 - Τα μεγέθη στα άρθρα της Wikipedia ακολουθούν λογαριθμοκανονική κατανομή, ενώ η διάμεσος τιμή τους αυξάνει γραμμικά, δεδομένου ότι τα άρθρα αναβαθμίζονται συνεχώς από τους χρήστες [Voss05].
 - Οι Duarte et al [Duar07] βρήκαν ότι η κατανομή Pareto μπορεί να περιγράψει τη μεταφερόμενη πληροφορία από τους εξυπηρετητές ιστολόγιων.
 - Οι Jeon et al [Jeon010] βρήκαν ότι η κατανομή Pareto μπορεί να μοντελοποιήσει επιτυχώς τόσο το μέγεθος όσο και την ποσότητα πληροφορίας αποφόρτωσης των μη-πολυμεσιών αντικειμένων των ιστολογίων. Σε επίπεδο άρθρων, η λογαριθμοκανονική κατανομή μπορεί να μοντελοποιήσει το μέγεθός τους.

Για την περίπτωση των πληρεξούσιων εξυπηρετητών⁵, η βιβλιογραφία αναφέρει τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Κατά τους Cunha et al [Cunh95] και Barford et al [Barf99], η κατανομή των μεγεθών των αντικειμένων εμφανίζει ενισχυμένο δεξί άκρο, που μπορεί να προσεγγιστεί από την συνάρτηση κατανομής Pareto.
- Οι Arlitt et al [Arl99a] κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το κύριο σώμα της κατανομής των μεγεθών των αντικειμένων αλλά και των αποφορτώσεων μπορεί να προσεγγιστεί από τη λογαριθμοκανονική συνάρτηση, ενώ παρουσιάζουν ενισχυμένο άκρο, που μπορεί να προσεγγιστεί από την κατανομή Pareto.
- Κατά τους Mahanti et al [Mah00], η κατανομή των μεγεθών των αποφορτώσεων έχει τα ίδια χαρακτηριστικά σε όλα τα επίπεδα σε ιεραρχικές δομές πληρεξούσιων εξυπηρετητών. Μάλιστα, το άκρο της κατανομής των μεγεθών ενισχύεται περισσότερο στους εξυπηρετητές που βρίσκονται ψηλότερα στην ιεραρχία.

⁵ Οι έρευνες των Cunha et al [Cunh95], Barford et al [Barf99], Hernandez-Campos et al [Camp03] και Basher et al [Bash08] δεν αφορούν άμεσα πληρεξούσιους εξυπηρετητές, αλλά αναφέρονται σε δραστηριότητα που θα μπορούσε κάλλιστα να καταγράψει κάποιος πληρεξούσιος.

- Οι Hernandez-Campos et al [Camp03] παρατήρησαν πως η ουρά της κατανομής του μεγέθους των αποφορτώσεων είναι ενισχυμένη.
- Η κατανομή των μεγεθών των αντικειμένων εμφανίζει ενισχυμένο δεξί άκρο, που μπορεί να προσεγγιστεί από τη συνάρτηση κατανομής Pareto [Pall03, Kha05].
- Οι Basher et al [Bash08] βρήκαν ότι ο συνδυασμός Weibull-Pareto μπορεί να περιγράψει το μέγεθος αποφόρτωσης σε επίπεδο ροής TCP.

Επιπλέον:

- Σε επίπεδο εθνικών διαδικτυακών περιοχών (Domains), οι Baeza-Yates et al [Baez07] προτείνουν μια διπλή κατανομή Pareto για τη μοντελοποίηση των μεγεθών των αντικειμένων.

2.5.1.3 *Ηλικία / Γήρανση / Μεταβολές Αντικειμένων*

Όσον αφορά στην ηλικία και τη γήρανση – και κατ' επέκταση τις μεταβολές – των αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού:

- Κατά τους Brewington και Cybenco [Brew00], τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών μεταβολών των αντικειμένων μπορούν να μοντελοποιηθούν από την εκθετική κατανομή, ενώ ο αναμενόμενος χρόνος μεταξύ των αλλαγών ενός αντικειμένου μπορεί να προσεγγιστεί από την κατανομή Weibull.
- Κατά τους Fetterly et al [Fett03]:
 - Τα μεγαλύτερα αντικείμενα μεταβάλλονται συχνότερα και σε μεγαλύτερο βαθμό.
 - Οι παρελθοντικές μεταβολές μπορούν να αξιοποιηθούν με επιτυχία στην πρόβλεψη των μελλοντικών αλλαγών των αντικειμένων.
- Οι Baeza-Yates et al [Baez07] παρατήρησαν μια εκθετική κατανομή στις ηλικίες των αντικειμένων σε επίπεδο εθνικών δικτυακών περιοχών.

Όσον αφορά στις μεταβολές στους δικτυακούς τόπους δεύτερης γενιάς, βρέθηκαν τα παρακάτω:

- Για τις αναβαθμίσεις των άρθρων στη Wikipedia, οι Urbaneta et al [Urba09] κατέληξαν στα εξής:

- Η κατανομή Zipf-Like μπορεί να περιγράψει την εμπειρική κατανομή των αναβαθμίσεων στα άρθρα, εφόσον τα άρθρα διαταχθούν κατά φθίνουσα σειρά με βάση τον αριθμό των αναβαθμίσεων που υφίστανται.
- Τα πιο δημοφιλή αντικείμενα είναι πιθανότερο να αναβαθμιστούν. Αυτή η παρατήρηση έρχεται σε αντίθεση με την ανάλογη παλαιότερη παρατήρηση των Breslau et al [Bres99] και των Mahanti et al [Mah00] για τον παραδοσιακό παγκόσμιο ιστό, ότι, δηλαδή, δεν υπάρχει κανένας συσχετισμός μεταξύ της δημοτικότητας και του ρυθμού με τον οποίο αλλάζουν τα αντικείμενα στον πηγαίο εξυπηρετητή.
- Οι Duarte et al [Duar07] οδηγήθηκαν σε σημαντικά συμπεράσματα, όσον αφορά στο ρυθμό με τον οποίο εισάγονται δημοσιεύσεις και σχόλια στα ιστολόγια. Συγκεκριμένα:
 - Η κατανομή Weibull μπορεί να περιγράψει τους χρόνους αντίδρασης των χρηστών ύστερα από μια δημοσίευση από τον κάτοχο κάποιου ιστολόγιου.
 - Η κατανομή Γάμμα μπορεί να περιγράψει τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών δημοσιεύσεων σε ένα ιστολόγιο από τον κάτοχό του.
 - Τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών σχολίων των χρηστών σχετικά με μια δημοσίευση του κατόχου ενός ιστολόγιου μπορούν να μοντελοποιηθούν από την κατανομή Γάμμα. Για τα πιο δημοφιλή ιστολόγια, η λογαριθμοκανονική κατανομή είναι καταλληλότερη.

2.5.1.4 Χρονική Τοπικότητα

Η χρονική τοπικότητα (Temporal Locality) εκφράζει την πυκνότητα των αιτημάτων προς τα αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού και δηλώνει ότι τα αντικείμενα που αναφέρθηκαν πιο πρόσφατα στο παρελθόν είναι πιθανότερο να ζητηθούν στο άμεσο μέλλον. Ουσιαστικά, πρόκειται για τη μέση χρονική απόσταση μεταξύ δύο συνεχόμενων αιτημάτων προς το ίδιο αντικείμενο.

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος μέτρησης και αποτύπωσης της χρονικής τοπικότητας σε έναν εμπειρικό διαδικτυακό φόρτο είναι μέσω της ανάλυσης βάθους σε μια στοίβα LRU [Alm96], όπου, καθώς διαβάζονται σειριακά τα αιτήματα προς τα διάφορα αντικείμενα, τα αντικείμενα οργανώνονται σε μια στοίβα με τη διαδικασία LRU (Least Recently Used). Δηλαδή, στην κορυφή της στοίβας μεταφέρεται το πιο πρόσφατα αναφερόμενο αντικείμενο,

αφού πρώτα καταγράφει το βάθος μέσα στη στοιβά όπου εντοπίστηκε. Επομένως, μεγάλη χρονική τοπικότητα σημαίνει μεγάλη πυκνότητα αιτημάτων προς τα ίδια αντικείμενα και αυτό ισοδυναμεί με μικρή μέση τιμή βάθους στοιβάς, όπου συναντώνται οι αναφορές. Το αντίθετο ισχύει για τη μικρή χρονική τοπικότητα.

Οι Almeida et al [Alm96] μελέτησαν την κατανομή των αποστάσεων στοιβάς για την περίπτωση τεσσάρων διαφορετικών πηγαίων εξυπηρετητών. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η λογαριθμοκανονική συνάρτηση κατανομής μπορεί να την προσεγγίσει ικανοποιητικά.

Οι Arlitt et al [Arl99a] συνιστούν ότι, αν το πρόβλημα είναι η σύγκριση δύο εμπειρικών αρχείων με ίχνη διαδικτυακής δραστηριότητας ως προς τη χρονική τοπικότητα, θα πρέπει να κανονικοποιούνται οι τιμές βάθους στοιβάς, διαιρώντας με τον αριθμό των μοναδικών αντικειμένων στο κάθε αρχείο. Ακολουθώντας αυτή την τεχνική παρατήρησαν ότι ο βαθμός της χρονικής τοπικότητας είναι πέντε φορές μικρότερος σε έναν πληρεξούσιο από ό,τι σε έναν πηγαίο εξυπηρετητή.

Ένας τρόπος αναπαράστασης της χρονικής τοπικότητας είναι μέσω του ιστογράμματος του ποσοστού των αιτημάτων προς το βάθος στοιβάς, όπου βρέθηκαν τα αντίστοιχα αντικείμενα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το βάθος στοιβάς εκφράζεται από ένα εύρος τιμών, για την καλύτερη αναπαράσταση. Οι Arlitt και Williamson [Arl97] παρατήρησαν ότι η αύξηση του εύρους τιμών στο βάθος στοιβάς οδηγεί σε αύξηση του βαθμού χρονικής τοπικότητας. Κατέληξαν σε μια μικρή χρονική τοπικότητα, ενώ οι Williams et al [Will05], για τους ίδιους εξυπηρετητές, βρήκαν τη χρονική τοπικότητα ακόμη μικρότερη. Οι Khayati et al [Kha05] παρατήρησαν ότι σε εύρος βάθους στοιβάς των 5000 θέσεων το 20% των αντικειμένων εμφανίζουν υψηλό βαθμό χρονικής τοπικότητας.

Οι Oke και Bunt [Oke02] διαπίστωσαν μια ισχυρή χρονική τοπικότητα τόσο με τη μεθοδολογία του βάθους στοιβάς, όσο και με τη μελέτη των χρονικών διαστημάτων ανάμεσα στις αναφορές προς τα αντικείμενα. Αντίθετα η χρονική τοπικότητα που επιδεικνύουν μεμονωμένα οι πελάτες είναι πολύ μικρή έως ανύπαρκτη στην περίπτωση που πίσω από τους πελάτες δε βρίσκεται κάποιος χρήστης.

Λαμβάνοντας υπόψη τους τα χρονικά διαστήματα ανάμεσα στις αναφορές προς τα ίδια άρθρα, οι Jeon et al [Jeon010] διαπίστωσαν ότι η χρονική τοπικότητα στην περίπτωση των ιστολογίων είναι μικρή.

2.5.1.5 Χωρική Τοπικότητα

Η χωρική τοπικότητα (Spatial Locality) δηλώνει ότι τα αιτήματα προς συγκεκριμένα αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού – τα οποία είναι γειτονικά μεταξύ τους – είναι πιθανότερο να εμφανιστούν μαζί.

Επειδή η χωρική τοπικότητα αποτελεί το σημείο κλειδί στην πρόβλεψη και προεγκατάσταση αντικειμένων, προτού καν ζητηθούν, έχει ευρέως αναλυθεί και μοντελοποιηθεί κάτω από το συγκεκριμένο πρίσμα – και σπάνια γίνεται λόγος για αυτή στις κλασικές έρευνες χαρακτηρισμού και μοντελοποίησης. Στις σχετικές έρευνες [Nan03, Chen03, Desh04, Dom06b, Ban08], η πιο συνηθισμένη και χρησιμοποιημένη μέθοδος απομόνωσης – δηλαδή, να απομονωθούν όλα τα αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού που συμμετέχουν – και απόδοσης της χωρικής τοπικότητας είναι με αξιοποίηση των αλυσίδων Markov, διαφόρων βαθμών και των διαγραμμάτων εξάρτησης (Dependency Graphs) που δημιουργούν οι διαδοχικές προσπελάσεις των χρηστών⁶.

Οι Almeida et al [Alm96] θεώρησαν ότι τα μοντέλα Markov είναι σε θέση να περιγράψουν τη χωρική τοπικότητα, αλλά αδυνατούν να συλλάβουν τη μακροπρόθεσμη δυναμική της. Αντίθετα, διέκριναν ότι η μορφοκλασματική ομοιότητα⁷, που διέπει τη χρονική αλληλουχία του βάθους στοίβας, μπορεί από μόνη της να εκφράσει τη χωρική τοπικότητα. Στη συνέχεια, πρότειναν μια μεθοδολογία σύνθεσης τεχνητής δραστηριότητας που να λαμβάνει υπόψη της, τόσο το βάθος στοίβας που υποδηλώνει τη χρονική τοπικότητα, όσο και τις μακροπρόθεσμες συσχετίσεις αυτού για τον καθορισμό της υπάρχουσας χωρικής τοπικότητας.

2.5.1.6 Λοιπά Χαρακτηριστικά Παραδοσιακού Παγκοσμίου Ιστού

Ένα πρόβλημα που έχει απασχολήσει τη βιβλιογραφία σχετίζεται με την ύπαρξη ή όχι συσχετισμού ανάμεσα στο μέγεθος των αντικειμένων και τη δημοτικότητά τους. Όσον αφορά στο θέμα αυτό:

- Μια μερίδα ερευνών [Cunh95, Gonz07] έφτασε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει ένας αρνητικός συσχετισμός ανάμεσα σε αυτά τα δύο μεγέθη.
- Υπάρχουν, βέβαια, κάποιες εργασίες [Bres99] που αποφάνθηκαν ότι δεν υπάρχει κανένας συσχετισμός μεταξύ της δημοτικότητας και του μεγέθους.

⁶ Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις αλυσίδες Markov και τα διαγράμματα εξάρτησης θα δούμε στο κεφάλαιο 6, της παρούσας διατριβής.

⁷ Η έννοια της μορφοκλασματικής ομοιότητας αναλύεται διεξοδικά στο παράρτημα Α, της παρούσας διατριβής.

Όσον αφορά στη δημοτικότητα των πηγαίων εξυπηρετητών:

- Κατά τους Breslau et al [Bres99], ενώ τα δημοφιλή αντικείμενα είναι ισοδύναμα κατανεμημένα στους πηγαίους εξυπηρετητές, εντούτοις, η δημοτικότητα των πηγαίων εξυπηρετητών δεν ακολουθεί αυτή των αντικειμένων.
- Η διαφορά ανάμεσα στους δημοφιλείς και μη δημοφιλείς εξυπηρετητές εμφανίζεται να είναι περισσότερο διευρυμένη, συγκριτικά με αυτή ανάμεσα στα δημοφιλή και μη δημοφιλή αντικείμενα [Arl99a].

Επιπλέον:

- Κατά τους Arlitt και Williamson [Arl97] και Williams et al [Will05] :
 - Η εμφάνιση των αιτημάτων στους πηγαίους εξυπηρετητές δεν ακολουθεί τη διαδικασία Poisson.
 - Η εμφάνιση των αιτημάτων προς τα δημοφιλή αντικείμενα στους πηγαίους εξυπηρετητές και για περιορισμένα χρονικά διαστήματα είναι Poisson.
- Οι Arlitt και Williamson [Arl97] βρήκαν, επιπλέον, ότι οι απομακρυσμένοι χρήστες τείνουν να εγκαταλείπουν συχνότερα τις αποφορτώσεις αντικειμένων από ό,τι οι τοπικοί χρήστες, σε σχέση με τους πηγαίους εξυπηρετητές.
- Κατά τους Arlitt et al [Arl99a]:
 - Μόνο 20% από τα δημοφιλέστερα αντικείμενα της πρώτης μέρας κράτησαν ζωντανό το ενδιαφέρον των χρηστών και στο υπόλοιπο χρονικό διάστημα.
 - Η καθημερινή ρουτίνα των χρηστών παίζει σημαντικό ρόλο στην παρατηρούμενη διαδικτυακή δραστηριότητα.
 - Η συνεχής αύξηση των συνδρομητών συνεπάγεται την αύξηση των επισκεπτόμενων δικτυακών τόπων και των παρατηρούμενων μοναδικών αντικειμένων.
- Ένας σημαντικός παράγοντας επιρροής στη δραστηριότητα στους πηγαίους εξυπηρετητές είναι η προγραμματισμένη παροχή σημαντικής πληροφόρησης [Arl00c] προς το χρήστη.

- Οι Basher et al [Bash08] βρήκαν ότι τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των συνόδων μπορούν να μοντελοποιηθούν από το συνδυασμό δύο διαφορετικών κατανομών Weibull, ενώ η χρονική διάρκεια των συνόδων από το συνδυασμό δύο κατανομών Pareto.

2.5.1.7 *Χαρακτηριστικά Παγκοσμίου Ιστού Δεύτερης Γενιάς (Web 2.0)*

Όσον αφορά στους δικτυακούς τόπους στα πλαίσια του παγκοσμίου ιστού δεύτερης γενιάς, υπάρχει μια σειρά από πρόσθετα χαρακτηριστικά, που έχουν αναλυθεί στη βιβλιογραφία, τα οποία σχετίζονται με τη δυνατότητα των χρηστών να συμμετέχουν ενεργά στη διαμόρφωση της πληροφορίας. Οι κυριότεροι αντιπρόσωποι των δικτυακών τόπων δεύτερης γενιάς είναι τα ιστολόγια και οι δικτυακοί τόποι τύπου Wiki, με την εγκυκλοπαίδεια Wikipedia να αποτελεί το απόλυτο παράδειγμα λειτουργίας τους.

Σε γενικές γραμμές, όσον αφορά στη Wikipedia:

- Ο Voss [Voss05] διαπίστωσε ότι η εμπειρική κατανομή των συγγραφέων που αντιστοιχούν στα άρθρα της Wikipedia ακολουθεί το νόμο της δύναμης – δηλαδή, είναι Pareto. Το ίδιο ισχύει και για την εμπειρική κατανομή των άρθρων, που αντιστοιχούν στον κάθε συγγραφέα, αλλά και για την εμπειρική κατανομή των παραπομπών που υπάρχουν στα άρθρα.
- Οι Urbaneta et al [Urba09] βρήκαν ότι:
 - Η κατανομή Zipf-Like μπορεί να περιγράψει την εμπειρική κατανομή των ανύπαρκτων άρθρων.
 - Το 95% του αποθηκευτικού χώρου δαπανάται για τις παλαιές εκδόσεις των άρθρων.

Σχετικά με τα ιστολόγια:

- Οι Douarte et al [Duar07] οδηγήθηκαν σε μια σειρά από χρήσιμα συμπεράσματα, όπως:
 - Η πρόσβαση στα ιστολόγια ακολουθεί παρόμοια ημερήσια χαρακτηριστικά με την πρόσβαση στον κλασικό παγκόσμιο ιστό, με τη διαφορά ότι παρατηρείται μια μεγαλύτερη ποικιλία εξάρσεων συναρτήσεως του χρόνου.
 - Η δημοτικότητα των ιστολογίων τροφοδοτείται περισσότερο από τις παραπομπές άλλων ιστολογίων και δικτυακών τόπων, παρά από τις μηχανές αναζήτησης.

- Η κατανομή Zipf-Like μπορεί να περιγράψει το ενδιαφέρον των χρηστών για τα ιστολόγια.
- Τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών επισκέψεων των χρηστών σε ένα ιστολόγιο μπορεί να μοντελοποιηθούν από την κατανομή Weibull. Για τα πιο δημοφιλή ιστολόγια, η λογαριθμοκανονική κατανομή είναι η καταλληλότερη.
- Οι Jeon et al [Jeon010] διαπίστωσαν ότι:
 - Τα αντικείμενα κατανέμονται εκθετικά στα άρθρα.
 - Οι χρήστες προτιμούν τα άρθρα που έχουν συνημμένα αρχεία (εικόνας και ήχου). Τα αρχεία αυτά είναι εκθετικά κατανεμημένα στα άρθρα. Επιπλέον, η λογαριθμοκανονική κατανομή μπορεί επαρκώς να μοντελοποιήσει το μέγεθος των άρθρων που προτιμούν οι χρήστες.

2.5.1.8 Ανάλυση των Επικεφαλίδων στα Μηνύματα HTTP

Σχετικά με την ανάλυση των επικεφαλίδων των μεταφερόμενων μηνυμάτων HTTP, η έρευνα έχει οδηγήσει σε μια σειρά από ουσιαστικά συμπεράσματα για τις εφαρμογές διανομής και παράδοσης του περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού. Συγκεκριμένα, οι δικτυακοί τόποι – και, κυρίως οι πηγαίοι εξυπηρετητές που τους φιλοξενούν – τείνουν να μην είναι φιλικόι προς τις εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης – και γενικότερα τις τεχνολογίες διανομής και παράδοσης – του περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού για τους παρακάτω λόγους:

- Κάνουν κατάχρηση της επικεφαλίδας Cookie στα μηνύματα HTTP [Will99b, Bent06]. Δεδομένου ότι οι προδιαγραφές του πρωτοκόλλου HTTP/1.1 [Fiel99] δεν αναφέρουν πώς πρέπει να αντιμετωπίζονται αυτές οι επικεφαλίδες, πολλές εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης αποφεύγουν να αποθηκεύουν το περιεχόμενο των μηνυμάτων που τις περιέχουν. Άλλες το αποθηκεύουν, αλλά καταφεύγουν πάντοτε στον πηγαίο εξυπηρετητή προς εξακρίβωση της καταλληλότητας του περιεχομένου, προτού το επιστρέψουν στον πελάτη.
- Χρησιμοποιούν ελάχιστα [Bent06] – ή, τουλάχιστον, χρησιμοποιούν λανθασμένα, ή παραλείπουν να χρησιμοποιούν, όταν πρέπει [Will99b] – τις επικεφαλίδες του πρωτοκόλλου HTTP/1.1, αλλά και τις λιγιστές του HTTP/1.0, που προορίζονται για τις εφαρμογές διανομής και παράδοσης του περιεχομένου. Όποτε χρησιμοποιούνται

τέτοιες επικεφαλίδες, συνήθως, απαγορεύουν την αποθήκευση του περιεχομένου από τις εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης [Bent06].

- Χρησιμοποιούν την τεχνική της απόδοσης ψευδωνύμων στα URL (URL Aliasing), με αποτέλεσμα οι εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης να αποτυγχάνουν να εξυπηρετήσουν τους πελάτες και να σπαταλούν επιπλέον αποθηκευτικό χώρο για το ίδιο περιεχόμενο, που δυστυχώς φέρει διαφορετικό όνομα [Kell02, Zhu03].
- Κάποιοι εξυπηρετητές παράγουν σε μεγάλο βαθμό δυναμικό περιεχόμενο, που είναι ανώφελο να αποθηκευτεί σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης [Fab06].
- Χρησιμοποιούν, σε κάποιο βαθμό, τη μη φιλική προς τις εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης έκδοση του πρωτοκόλλου HTTP/1.0. Για παράδειγμα, οι Bent et al [Bent06] αναφέρουν ότι το 14% των μηνυμάτων χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη έκδοση.

2.6 Οι Δικτυακές Εφαρμογές Πολυμέσων

Οι δικτυακές εφαρμογές πολυμέσων αποτελούν μια υπηρεσία που είναι συνδεδεμένη στον κορμό του παγκοσμίου ιστού. Κατά τους Kurose και Ross [Kur00] είναι γνωστές και ως εφαρμογές συνεχών μέσων (Continuous Media), ενώ στη βιβλιογραφία [Jin01b, Cost04a, Vel06, Tang07] συναντώνται και με τον όρο εφαρμογές ροής πολυμέσων (Streaming Multimedia ή Media).

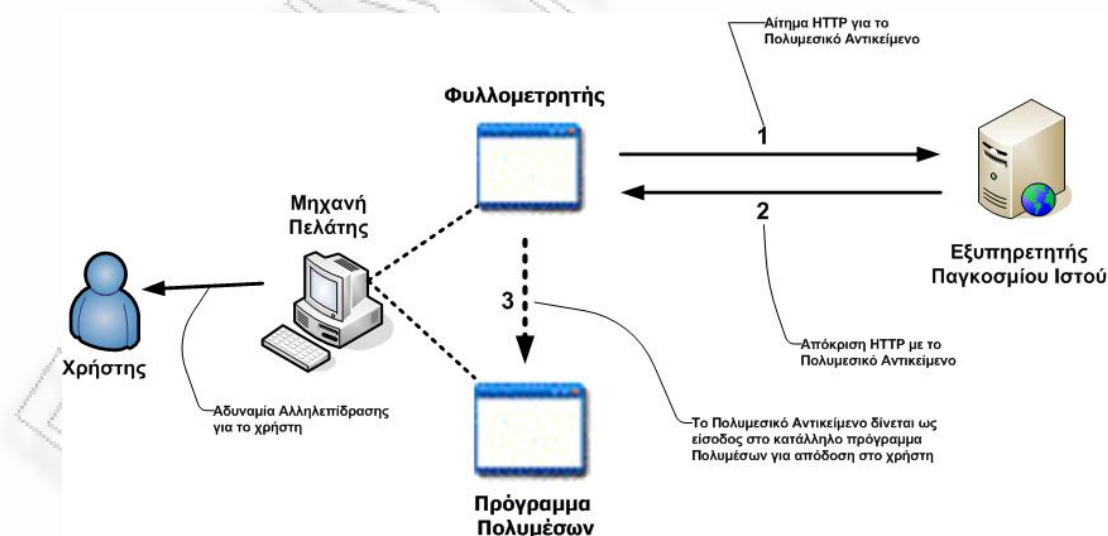
Στις σύγχρονες δικτυακές εφαρμογές πολυμέσων, το περιεχόμενο παρουσιάζεται στο χρήστη καθώς αποφορτώνεται από το Διαδίκτυο, σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει στην υπηρεσία του παγκοσμίου ιστού. Αυτή είναι και η έννοια της ροής (Stream) που χρησιμοποιείται πολλές φορές ως συνθετικό της ονομασίας τους. Μια άλλη διαφορά τους με τον κλασικό παγκόσμιο ιστό είναι η μειωμένη ανοχή τους στις υψηλές καθυστερήσεις. Αντίθετα, προτιμούν την απώλεια πακέτων από την αναμετάδοση αυτών, με την προϋπόθεση, βέβαια, η απώλεια να βρίσκεται μέσα σε ανεκτά πλαίσια, όσον αφορά στο τελικό αποτέλεσμα που γίνεται αντιληπτό από το χρήστη.

Λαμβάνοντας υπόψη τους Kurose και Ross [Kur00], διακρίνουμε τις δικτυακές εφαρμογές πολυμέσων σε τρεις κατηγορίες:

- Δικτυακές εφαρμογές αποθηκευμένων πολυμέσων: Σε αυτές, υπάρχουν αρχεία πολυμέσων – ήχου και βίντεο – αποθηκευμένα σε κάποιο εξυπηρετητή προς μετάδοση, εφόσον ζητηθούν. Στη σύγχρονη εκδοχή τους, ο χρήστης αλληλεπιδρά με την πολυμεσική ροή, μέσω εξειδικευμένων πρωτοκόλλων και τεχνολογιών.
- Δικτυακές εφαρμογές πολυμέσων ζωντανής μετάδοσης ή εκπομπής: Πρόκειται για το διαδικτυακό ανάλογο των ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών μεταδόσεων. Σε αυτές, δεν υπάρχει αλληλεπίδραση του χρήστη με τη ροή.
- Δικτυακές εφαρμογές πολυμέσων τηλεπικοινωνίας: Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται το διαδικτυακό τηλέφωνο (Internet Telephony) και η τηλεσυνδιάσκεψη (Video Conference). Πρόκειται για εφαρμογές εξαιρετικά ευαίσθητες ως προς τις καθυστερήσεις.

2.6.1 Δικτυακές Εφαρμογές Αποθηκευμένων Πολυμέσων

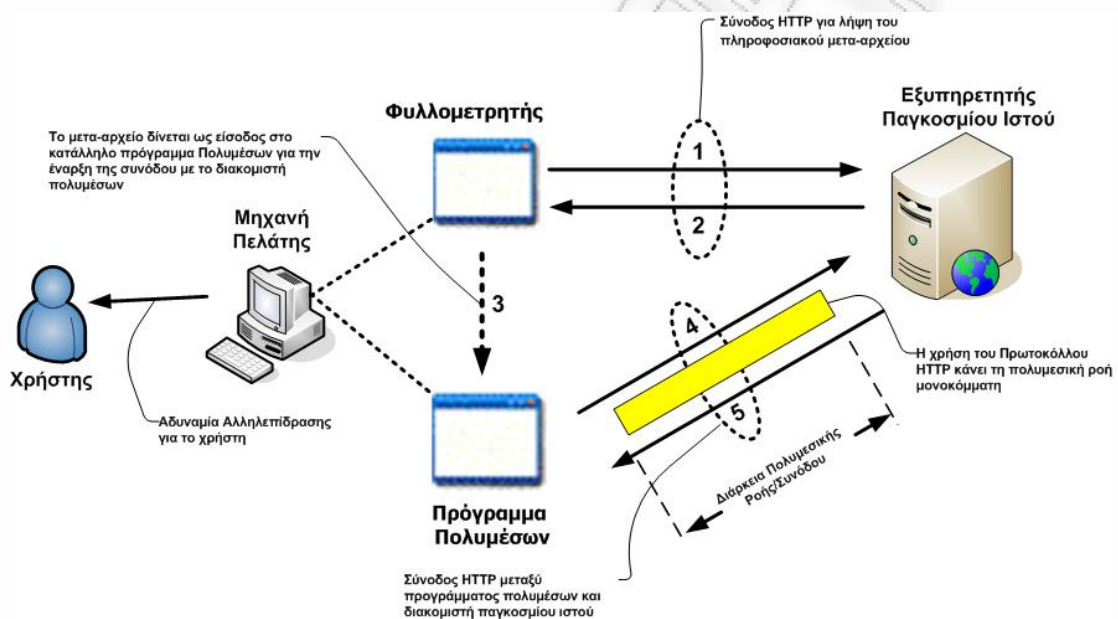
Η ιστορική και τεχνολογική εξέλιξη της ανάπτυξης και υλοποίησης των δικτυακών εφαρμογών αποθηκευμένων πολυμέσων – ήχου και βίντεο – περιγράφεται με ακρίβεια από τους Kurose και Ross [Kur00]. Η υλοποίηση των δικτυακών εφαρμογών αποθηκευμένων πολυμέσων εξελίχθηκε σε τρία βήματα.



Σχήμα 2.5. Διακίνηση του αποθηκευμένου πολυμεσικού περιεχομένου με την απευθείας αξιοποίηση της υπηρεσίας του παγκοσμίου ιστού

Στα πρώτα στάδια της εμφάνισής τους, ο συνηθέστερος τρόπος διακίνησης πολυμεσικών αρχείων ήταν με απευθείας αξιοποίηση των εξυπηρετητών του παγκοσμίου

ιστού και τη χρήση του πρωτοκόλλου μεταφοράς υπερκειμένου HTTP (σχήμα 2.5), για αποφόρτωση του πολυμεσικού αντικειμένου. Αυτή η μέθοδος ανάπτυξης και λειτουργίας των πολυμεσικών εφαρμογών αποδείχθηκε στην πορεία ανεπαρκής, με κάποια σοβαρά μειονεκτήματα. Το αρχείο έπρεπε να αποφορτωθεί ολόκληρο στον πελάτη-φυλλομετρητή και στη συνέχεια το πρόγραμμα-πελάτης ενεργοποιούσε το κατάλληλο πρόγραμμα πολυμέσων – με βάση την επικεφαλίδα «Content-Type» του HTTP – για να παρουσιάσει το αρχείο στο χρήστη. Κάτι τέτοιο αποδείχθηκε εξαιρετικά ενοχλητικό για τους ανυπόμονους χρήστες και ιδιαίτερα για την περίπτωση μεγάλων αρχείων.



Σχήμα 2.6. Απευθείας επικοινωνία προγράμματος πολυμέσων και εξυπηρετητή παγκοσμίου ιστού με χρήση του πρωτοκόλλου HTTP για ροή του αποθηκευμένου πολυμεσικού περιεχομένου

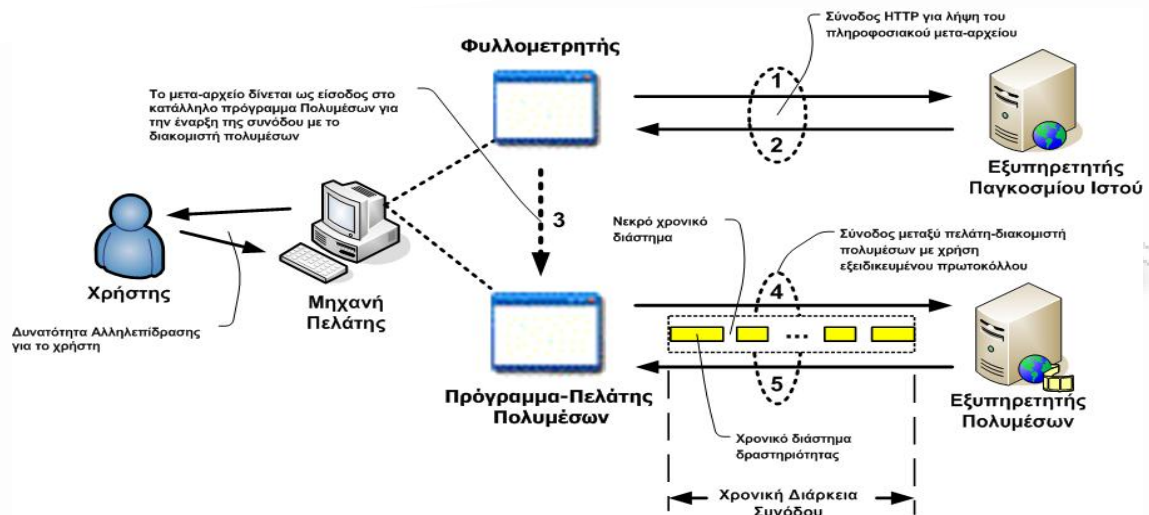
Το επόμενο βήμα στην εξέλιξη των δικτυακών εφαρμογών αποθηκευμένων πολυμέσων αφορούσε την ανάπτυξη της τεχνολογίας της ροής (streaming), ώστε το πολυμεσικό περιεχόμενο να αποδίδεται απευθείας προς το χρήστη καθώς αποφορτώνεται (σχήμα 2.6). Το νέο μοντέλο ήθελε τον πελάτη του παγκοσμίου ιστού – δηλαδή, το φυλλομετρητή – να επικοινωνεί με τον εξυπηρετητή και να αποκτά ένα μετα-αρχείο με πληροφορίες σχετικά με το πολυμεσικό περιεχόμενο. Ο φυλλομετρητής ενεργοποιούσε με τη σειρά του το κατάλληλο πρόγραμμα πολυμέσων, δίνοντάς του το μετα-αρχείο ως είσοδο. Στη συνέχεια, το πρόγραμμα πολυμέσων αποφόρτωνε το πολυμεσικό περιεχόμενο και ταυτόχρονα το παρουσίαζε στο χρήστη.

Οι Guo et al [Guo05a] χρησιμοποίησαν τον όρο ‘ψευδο-ροή (pseudo-streaming)’, όταν αναφέρονται σε αυτή τη μέθοδο, εξαιτίας των μειονεκτημάτων της. Με αυτόν τον τρόπο την ξεχώρισαν από την πραγματική πολυμεσική ροή (streaming), η οποία βασίζεται σε εξειδικευμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας.

Ένα βασικό μειονέκτημα της μεθόδου της ψευδο-ροής ήταν η χρήση του πρωτοκόλλου HTTP για την υποστήριξη της πολυμεσικής ροής. Το πρωτόκολλο HTTP είναι αποκλειστικά σχεδιασμένο για την υπηρεσία του παγκοσμίου ιστού και δε μπορεί να προσφέρει στο χρήστη την απαραίτητη αλληλεπίδραση με την πολυμεσική ροή, κάτι που ο χρήστης βιώνει στα παραδοσιακά μέσα – κασετόφωνο, συσκευή βίντεο, CD/DVD player – και θεωρεί ως δεδομένο. Έτσι, κρίθηκε απαραίτητη η δημιουργία νέων πρωτοκόλλων επικοινωνίας με εξειδικευμένους διακομιστές πολυμέσων, τα οποία να επιτρέπουν στο χρήστη να ξεκινά (START/PLAY), να παγώνει (PAUSE), να σταματά (STOP) την πολυμεσική ροή, ή ακόμα να κινείται και να περνάει αυτόματα σε μελλοντικά (FAST/JUMP FORWARD) και παρελθοντικά (REWIND, JUMP BACKWARD) σημεία της πολυμεσικής ροής.

Οι Guo et al [Guo05a] ανέφεραν, επίσης, ότι η τεχνολογία της ψευδο-ροής αδυνατεί να εξισώσει το ρυθμό αποφόρτωσης με το ρυθμό προβολής του αρχείου στο χρήστη. Αυτό το γεγονός συνεπάγεται είτε υπερβολικό κυκλοφοριακό στο Διαδίκτυο, είτε υψηλές καθυστερήσεις κατά τη διάρκεια της προβολής. Πάντως, συγκριτικά με την τεχνολογία της αποφόρτωσης και προβολής σε δεύτερο χρόνο, που παρουσιάστηκε παραπάνω, η ψευδο-ροή επιτρέπει τον περιορισμό της σπατάλης του εύρους ζώνης, δεδομένου ότι δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να διακόπτει την αποφόρτωση σε πρώιμο στάδιο – δηλαδή, αμέσως μόλις διαπιστώσει ότι το αντικείμενο δεν τον ενδιαφέρει.

Το σχήμα 2.7 απεικονίζει τα βασικά χαρακτηριστικά των δικτυακών πολυμεσικών εφαρμογών, που βασίζονται στην τεχνολογία της ροής, με χρήση εξειδικευμένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Όπως και προηγουμένως, ο φυλλομετρητής επικοινωνεί με τον εξυπηρετητή του παγκοσμίου ιστού, αποφορτώνει ένα πληροφοριακό μετα-αρχείο και το αποδίδει στο κατάλληλο πρόγραμμα πολυμέσων. Αυτό επικοινωνεί απευθείας με τον κατάλληλο διακομιστή πολυμέσων και αποφορτώνει το πολυμεσικό περιεχόμενο, χρησιμοποιώντας ένα κοινά αποδεκτό πρωτόκολλο επικοινωνίας, το οποίο προσφέρει την αλληλεπίδραση στο χρήστη.



Σχήμα 2.7. Σύγχρονη λειτουργία δικτυακών εφαρμογών αποθηκευμένων πολυμέσων με χρήση εξειδικευμένου πρωτοκόλλου επικοινωνίας μεταξύ πελάτη και διακομιστή πολυμέσων για αλληλεπίδραση του χρήστη με το πολυμεσικό περιεχόμενο

Για την επίτευξη του τελικού στόχου, που είναι η διαδικτυακή μεταφορά και η μετέπειτα μετάδοση του πολυμεσικού περιεχομένου από το πρόγραμμα του πελάτη στο χρήστη, απαιτείται μια σειρά από πρωτόκολλα και εξειδικευμένους αλγορίθμους [Ches01]. Μια σειρά πρωτοκόλλων – π.χ. RTSP, MMS, PNA, κλπ. – έχουν δημιουργηθεί, ώστε να επιτρέψουν την αλληλεπίδραση του χρήστη στη μετάδοση. Κάποια πρωτόκολλα – π.χ. RTP, RDP, MMSU, κλπ. – καθορίζουν τη δημιουργία των μεταδιδόμενων πολυμεσικών πακέτων και τον τρόπο με τον οποίο το πρόγραμμα πελάτη θα πρέπει να τα χειρίζεται. Κάποια, επίσης, βασικά θέματα είναι η ψηφιοποίηση και συμπίεση του πολυμεσικού περιεχομένου, η ομαδοποίησή του σε σύνθετες δομές (containers) και η μορφοποίηση κατάλληλων πληροφοριακών μετα-αρχείων για τη σύνδεση του πολυμεσικού περιεχομένου στο άρμα του παγκοσμίου ιστού.

Κατά τους Guo et al [Guo05a], η τεχνολογία της ροής αποτελεί την καλύτερη λύση για τις δικτυακές εφαρμογές αποθηκευμένων πολυμέσων. Αποδείχθηκε απόλυτα επαρκής, όσον αφορά στην κατανάλωση του εύρους ζώνης και αποτελεσματική, όσον αφορά στη γενικότερη επίδοση, σε σύγκριση με τις δύο άλλες τεχνολογίες.

Η έρευνα έχει οδηγήσει σε αντιφατικά συμπεράσματα ως προς την τεχνολογία που κυριαρχεί στη μεταφορά των αποθηκευμένων πολυμέσων. Ένα μέρος της βιβλιογραφίας προβάλλει – π.χ. [Guo05a] – την προτίμηση της χρήσης του πρωτοκόλλου http, ιδίως, με την τεχνική της εξ ολοκλήρου αποφόρτωσης και προβολής σε δεύτερο χρόνο. Τα βαθύτερα

αίτια αυτού του παραδόξου αποδόθηκαν στο υψηλό κόστος υποδομών που απαιτούνται για την υλοποίηση της τεχνολογίας της ροής. Αντίθετα, ένα άλλο μέρος της σχετικής βιβλιογραφίας – π.χ. [VMer02] – προβάλλει την αξιοποίηση των εξειδικευμένων πρωτοκόλλων, γεγονός που υποδεικνύει την προτίμηση στα πλεονεκτήματα που προσφέρει η τεχνολογία της ροής.

Πάντως, στη σημερινή εποχή της κοινωνικής δικτύωσης, παρουσιάζεται μια ιδιαίτερη προτίμηση στην τεχνολογία της ψευδο-ροής, όσον αφορά στη μεταφορά των πολυμέσων από δικτυακούς τόπους αντιπροσωπευτικούς του νέου κύματος, όπως το YouTube [Gill07] και το Yahoo!Video⁸ [Kang010]. Τα αίτια αυτής της προτίμησης εντοπίζονται στην πολιτική αυτών των δικτυακών τόπων να αξιοποιούν καινοτόμες τεχνολογίες στη μετάδοση πολυμέσων – συγκεκριμένα, του Adobe Flash Video (AFV), σε συνδυασμό με κατάλληλα διαμορφωμένες οδηγίες (AuctionScript) για τον έλεγχο της προβολής και της αλληλεπίδρασης με το χρήστη – που μπορούν να ενσωματώνονται στον κώδικα HTML μιας ιστοσελίδας. Έτσι, καρπώνονται τα περισσότερα οφέλη της τεχνολογίας ροής – κυρίως, τη δυνατότητα να μεταφέρονται σε διάφορα σημεία του πολυμεσικού αντικειμένου όπως φαίνεται παραστατικά στο σχήμα 2.7 – χωρίς την ανάγκη κάποιου εξειδικευμένου διακομιστή πολυμέσων.

Εξαιτίας της χρήσης του πρωτοκόλλου HTTP στην επικοινωνία μεταξύ πελάτη και εξυπηρετητή, ο χαρακτηρισμός και η μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας που προκαλείται από την τεχνολογία της αποφόρτωσης και προβολής σε δεύτερο χρόνο (σχήμα 2.5), καθώς και ο χαρακτηρισμός, που αφορά την τεχνολογία της ψευδο-ροής (σχήμα 2.6) εντάσσονται στο γενικότερο πλαίσιο του χαρακτηρισμού του παγκοσμίου ιστού, που αναλύθηκε στην παράγραφο 2.5.1 του παρόντος.

Οι παρακάτω παράγραφοι αφορούν το χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της λειτουργίας των σύγχρονων δικτυακών εφαρμογών αποθηκευμένων πολυμέσων – όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.7 – συμπεριλαμβανόμενων των τεχνολογιών ψευδο-ροής τύπου AFV. Στο κομμάτι της μακροσκοπικής ανάλυσης πρέπει να ληφθούν υπόψη όλες οι παράμετροι που αφορούν τα γενικά χαρακτηριστικά της δραστηριότητας σχετικά με τα πολυμεσιικά αντικείμενα, δηλαδή: η δημοτικότητα, η χρονική τοπικότητα των αναφορών προς τα πολυμεσιικά αντικείμενα, το μέγεθος, η χρονική διάρκεια και η κωδικοποίηση των πολυμεσιικών αντικειμένων, το μέγεθος και η χρονική διάρκεια των συνόδων, ο ρυθμός

⁸ <http://video.yahoo.com>.

εμφάνισης νέων συνόδων και ο ρυθμός άφιξης χρηστών. Αντίθετα, το κομμάτι της μικροσκοπικής ανάλυσης σχετίζεται με τις παραμέτρους που αφορούν στη συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της κάθε ξεχωριστής συνόδου και την αλληλεπίδραση του χρήστη με την πολυμεσική ροή, δηλαδή: τα αιτήματα, τα ενεργά και νεκρά χρονικά διαστήματα, το είδος των αλληλεπιδράσεων εντός της συνόδου και τα 'άλματα' που αυτές συνεπάγονται εντός του πολυμεσικού αρχείου.

ΕΡΕΥΝΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Acharya et al [Acha00]	Ανάλυση της δραστηριότητας σε ένα πολυμεσικό σύστημα εκπαίδευσης που αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο Lulea της Σουηδίας – Διάρκεια: 195 ημέρες – Πολυμεσικά αντικείμενα: 139 – Σύνοδοι: 5.249
Cheshire et al [Ches01]	Ανάλυση της πολυμεσικής δραστηριότητας (πρωτόκολλο RTSP) που παρατηρήθηκε στο πανεπιστήμιο της Ουάσιγκτον – Διάρκεια: 8 ημέρες – Πολυμεσικά αντικείμενα: 23.738 – Πελάτες: 4.786 – Εξυπηρετητές: 866 – Σύνοδοι: 40.070
Almeida et al [Alm01]	Ανάλυση της δραστηριότητας σε 2 εκπαιδευτικούς, πολυμεσικούς εξυπηρετητές, τον eTeach και τον BIBS – Διάρκεια: 31 και 109 ημέρες, αντίστοιχα – Πολυμεσικά αντικείμενα: 73 και 1.506, αντίστοιχα – Αιτήματα: 17.233 (eTeach) – Σύνοδοι: 66.694 (BIBS)
Van der Merwe et al [VMer02]	Ανάλυση της δραστηριότητας σε δύο εμπορικές υπηρεσίες πολυμέσων, μια αποθηκευμένων και μια ζωντανού περιεχομένου – Διάρκεια: 4 και 2 μήνες, αντίστοιχα – Σύνοδοι: 3.500.000 και 1.000.000, αντίστοιχα – Πελάτες/Διευθύνσεις IP: 500.000 και 280.000, αντίστοιχα
Costa et al [Cost04a]	Ανάλυση της δραστηριότητας σε έναν εκπαιδευτικό, πολυμεσικό εξυπηρετητή (eTeach) και στις πολυμεσικές – βίντεο (TV/UOL) και ήχου (Radio/UOL, ISP/Audio) – υπηρεσίες ψυχαγωγίας που προσφέρουν 2 μεγάλοι πάροχοι της λατινικής Αμερικής – Διάρκεια: 411, 43, 24 και 7 ημέρες, αντίστοιχα – Πολυμεσικά αντικείμενα: 230, 42.439, 70.479 και 42.746, αντίστοιχα – Αιτήματα: 46.958, 1.453.117, 5.385.822 και 4.160.889 αντίστοιχα

Πίνακας 2.1. Περιγραφή και βασικά στατιστικά στοιχεία της έρευνας πάνω στο χαρακτηρισμό της δραστηριότητας αποθηκευμένων πολυμέσων

Στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται μια προσπάθεια για οργάνωση και παρουσίαση των κυριότερων χαρακτηριστικών των εφαρμογών αποθηκευμένων πολυμέσων, τα οποία έχουν αποτελέσει αντικείμενο ανάλυσης και μοντελοποίησης στο παρελθόν. Πρωτού προχωρήσουμε στην ανάλυση των χαρακτηριστικών, στους πίνακες 2.1 και 2.2 περιγράφουμε και παρέχουμε κάποια βασικά στατιστικά στοιχεία σχετικά με τις έρευνες

πάνω στα εξειδικευμένα πρωτόκολλα πολυμεσικής ροής, στις οποίες στηριζόμαστε. Ο πίνακας 2.3 παρέχει αντίστοιχες πληροφορίες σχετικά με τις έρευνες πάνω στις εξειδικευμένες τεχνολογίες τύπου AFV, οι οποίες επικεντρώνουν σε διάφορους πολυμεσιικούς δικτυακούς τόπους, κυρίως, κοινωνικής δικτύωσης – όπως, το YouTube, το Yahoo!Video και το Daum⁹.

ΕΡΕΥΝΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Cherkasova and Gupta [Cher04]	Ανάλυση της δραστηριότητας που παρατηρήθηκε σε 2 εξυπηρετητές πολυμέσων της εταιρείας Hewlett-Packard, τους HPC και HPLabs – Διάρκεια: 29 και 21 μήνες, αντίστοιχα – Σύνοδοι: 666.074 και 14.489, αντίστοιχα – Αιτήματα: 1.179.814 (HPC) – Πολυμεσιικά αντικείμενα: 2.999 και 412, αντίστοιχα – Πελάτες: 131.161 και 2.482, αντίστοιχα
Guo et al [Guo05a]	Ανάλυση της δραστηριότητας σε 2 φόρτους, ενός προσανατολισμένου προς τους πολυμεσιικούς εξυπηρετητές που συγκεντρώθηκε από μια ομάδα εξυπηρετητών πολυμέσων (Server Farm) και ενός προσανατολισμένου προς τους χρήστες που συγκεντρώθηκε από μια εταιρεία παροχής διαδικτυακών υπηρεσιών – Διάρκεια: 24 ώρες (και για τους δύο φόρτους) – Αιτήματα: 1.095.984 και 579.693, αντίστοιχα – Εξυπηρετητές / Διευθύνσεις IP: 4.498 και 13.110, αντίστοιχα – Πελάτες/Διευθύνσεις IP: 79.309 και 7.906
Yu et al [Yu06]	Ανάλυση της δραστηριότητας της υπηρεσίας VOD (Video-on-Demand) σε τρεις κεντρικές μονάδες της εταιρείας τηλεπικοινωνιών PowerInfo, στην Κίνα – Διάρκεια: 219 ημέρες – Πολυμεσιικά αντικείμενα: 6.700 – Χρήστες: 150.000 – Αιτήματα: 21.000.000
Garcia et al [Garc07]	Ανάλυση της δραστηριότητας της υπηρεσίας VOD της Ισπανικής LNE TV – Διάρκεια: 4 έτη – Πολυμεσιικά αντικείμενα: 910 – Πελάτες: 31.902 – Σύνοδοι: 160.00 – Αφίξεις πελατών στο σύστημα: 47.000

Πίνακας 2.2. (συνέχεια από πίνακα 2.1). Περιγραφή και βασικά στατιστικά στοιχεία της έρευνας πάνω στο χαρακτηρισμό της δραστηριότητας αποθηκευμένων πολυμέσων

Οι πίνακες 2.1, 2.2 και 2.3 στοχεύουν στο να αποκτήσει ο αναγνώστης μια ολοκληρωμένη εικόνα, η οποία είναι υψίστης σημασίας για τη συγκριτική αντιπαράθεση των ερευνητικών προσπαθειών, όσον αφορά στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση των βασικών χαρακτηριστικών της πολυμεσιικής δραστηριότητας. Στους πίνακες αυτούς, η σύνοδος έχει την έννοια που της προσδώσαμε στην παράγραφο 2.4, δηλαδή, σχετίζεται με ένα πολυμεσιικό αρχείο. Αυτό σημαίνει ότι έχουμε προσαρμόσει στην αναλογία «μία σύνοδος προς ένα πολυμεσιικό αντικείμενο» όσες από τις παραπάνω έρευνες λάμβαναν

⁹ <http://ucc.daum.net>.

υπόψη διαφορετικό συσχετισμό – π.χ. η έρευνα των Garcia et al [Garc07]. Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζουμε μια ενιαία και ομοιόμορφη ανάλυση.

ΕΡΕΥΝΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Cheng et al [Chen07]	Ανάλυση βασικών χαρακτηριστικών του δικτυακού τόπου YouTube με χρήση crawler – Διάρκεια: 3 μήνες – Πολυμεσιικά αντικείμενα: 2.676.388
Cha et al [Cha07]	Ανάλυση βασικών χαρακτηριστικών των δικτυακών τόπων YouTube και Daum με χρήση crawler – Διάρκεια: 9 ημέρες (Συνολικά για το YouTube) και 1 ημέρα (Daum) – Πολυμεσιικά αντικείμενα: 1.939.761 (Συνολικά για το YouTube) και 196.037 (Daum) – Πολυμεσιικές σύνοδοι: 4.248.468.316 (YouTube) και 207.555.622 (Daum)
Gill et al [Gill07]	Ανάλυση της πολυμεσιικής δραστηριότητας στο πανεπιστήμιο του Calgary που αφορά στο δικτυακό τόπο YouTube – Διάρκεια: 85 ημέρες – Συναλλαγές HTTP: 23.250.438 – Αιτήματα προς βίντεο: 625.593. Πραγματοποιήθηκε παράλληλη σύγκριση με στατιστικά στοιχεία που συγκεντρώθηκαν από το ίδιο το YouTube
Zink et al [Zink08]	Ανάλυση της πολυμεσιικής δραστηριότητας σε πανεπιστημιακό δίκτυο που αφορά στο δικτυακό τόπο YouTube – Διάρκεια: 12 ώρες, 3 και 4 ημέρες (αντίστοιχα για τρεις διαφορετικές μετρήσεις) – Πολυμεσιικά αντικείμενα: 12.955, 23515 και 17.183 – Αιτήματα προς βίντεο: 18.043, 32.971 και 24.211 – Πελάτες: 2.127, 2.480 και 1.547
Zink et al [Zink09]	Επέκταση της εργασίας των Zink et al [Zink08] με τρία επιπρόσθετα αρχεία τχών – Διάρκεια: 6,75 και 7 ημέρες, και 2 εβδομάδες (αντίστοιχα για τρεις επιπλέον μετρήσεις) – Πολυμεσιικά αντικείμενα: 82.132, 131.450 και 303.331 – Αιτήματα προς βίντεο: 145.140, 243.023 και 611.968 – Πελάτες: 7.538, 8.879 και 16.336
Benevenuto et al [Ben09]	Έρευνα, με χρήση crawler, πάνω στο δικτυακό τόπο YouTube σχετικά με το διάλογο που αναπτύσσεται μεταξύ των χρηστών διαμέσου των πολυμεσιικών αντικειμένων – Διάρκεια: 5 ημέρες – Χρήστες: 160.765 – Πολυμεσιικά αντικείμενα: 223.851 και 417.759 (αποκρίσεις στα προηγούμενα)
Kang et al [Kang010]	Ανάλυση βασικών χαρακτηριστικών του δικτυακού τόπου Yahoo!Video με χρήση crawler – Διάρκεια: 46 ημέρες – Πολυμεσιικά αντικείμενα: 9.986 – Πολυμεσιικές σύνοδοι: 32.064.496

Πίνακας 2.3. Περιγραφή και βασικά στατιστικά στοιχεία της έρευνας πάνω στο χαρακτηρισμό της δραστηριότητας αποθηκευμένων πολυμέσων για τις εξειδικευμένες τεχνολογίες ψευδο-ροής τύπου AFV

2.6.2 Χαρακτηρισμός της Δραστηριότητας των Σύγχρονων Δικτυακών Εφαρμογών Αποθηκευμένων Πολυμέσων: Μακροσκοπική Ανάλυση

2.6.2.1 Ανάλυση Δημοτικότητας

Όπως και στην περίπτωση του παγκοσμίου ιστού – παράγραφος 2.5.1.1 – υπάρχουν δύο τρόποι για την ανάλυση της δημοτικότητας. Ο πρώτος τρόπος απόδοσης της δημοτικότητας των αποθηκευμένων πολυμεσιών αντικειμένων είναι μέσω της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής των συνόδων προς το συνολικό αριθμό των μοναδικών αντικειμένων. Όσον αφορά σε αυτού του είδους την ανάλυση έχουν καταγραφεί τα εξής συμπεράσματα:

- Οι Cherkasova και Gupta [Cher04] υπονοούν την ύπαρξη ενισχυμένου άκρου στην κατανομή και στις δύο περιπτώσεις εξυπηρετητών που μελέτησαν. Το φαινόμενο είναι πιο έντονο στον HPC από ό,τι στον HPLabs.
- Οι Van der Merwe et al [VMer02] καταλήγουν επίσης στην ύπαρξη ενισχυμένου άκρου, με τη μόνη διαφορά ότι περιόρισαν τη μελέτη τους σε τρεις διαφορετικές ημέρες δραστηριότητας.
- Η ύπαρξη ενισχυμένου άκρου εντοπίστηκε και στην περίπτωση των πολυμεσιών δικτυακών τόπων κοινωνικής δικτύωσης YouTube και Daum [Cha07].

Και στην περίπτωση των δικτυακών εφαρμογών αποθηκευμένων πολυμέσων, η συνηθέστερη μέθοδος απόδοσης της δημοτικότητας είναι η δεύτερη, η οποία θέλει τα αντικείμενα να κατατάσσονται με βάση τη δημοτικότητά τους κατά φθίνουσα σειρά, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται τάξεις αντικειμένων. Στη συνέχεια, σχεδιάζεται η κατανομή των αιτημάτων για την κάθε τάξη αντικειμένων.

Συγκριτικά, όμως, με την περίπτωση του παγκοσμίου ιστού, διαπιστώνονται κάποιες σημαντικές διαφορές:

- Η χρονική κλίμακα της μελέτης στην οποία γίνεται η εν λόγω ανάλυση της δημοτικότητας μπορεί να παίζει καθοριστικό ρόλο [Cher04].
- Η έμφυτη, πολλές φορές, ανομοιογένεια της πολυμεσιικής δραστηριότητας οδηγεί στην εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς τη δημοτικότητα, που αφορούν σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα – συνήθως, σε διαστήματα όπου η πολυμεσιική δραστηριότητα είναι πιο έντονη [Cost04a].

Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η έρευνα είναι ανάμεικτα, ανά περίπτωση:

- Τόσο η κατανομή Zipf [Yu06], όσο και η Zipf-Like [Ches01, Cost04a] μπορούν να περιγράψουν τη δημοτικότητα των πολυμεσιών αντικειμένων.
- Υπάρχουν περιπτώσεις, όπου η δημοτικότητα των αντικειμένων περιγράφεται από δύο διαφορετικές κατανομές Zipf-Like [Alm01, Cost04a, Garc07].
- Είναι δυνατό, η γενικευμένη κατανομή Zipf-Mandelbrot να μπορεί να περιγράψει με μεγάλη επιτυχία τη δημοτικότητα σε κάποιες περιπτώσεις [Cher04, Tang07].
- Υπάρχουν περιπτώσεις [Acha00], όπου η οικογένεια κατανομών Zipf/Zipf-Like αδυνατεί να περιγράψει τη δημοτικότητα.
- Οι Yu et al [Yu06] παρατήρησαν ότι σε ημερήσια βάση, ακολουθείται η οικογένεια κατανομών Zipf/Zipf-Like με το συντελεστή a στην εξίσωση 2.13 να κυμαίνεται σε διάφορες τιμές, ακολουθώντας κανονική κατανομή.

Σχετικά με τους δικτυακούς τόπους που χρησιμοποιούν τεχνολογία ψευδο-ροής AFV:

- Για την περίπτωση του YouTube έχουν βγει ποικίλα συμπεράσματα, τόσο σχετικά με τη γενική δημοτικότητα των πολυμεσιών αντικειμένων [Chen07, Cha07, Gill07, Zink08, Zink09], όσο και με την τοπική δημοτικότητα που παρατηρείται σε διάφορα δίκτυα [Gill07, Zink08, Zink09]:
 - Οι Cheng et al [Chen07] διαπίστωσαν ότι η δημοτικότητα των πολυμεσιών αντικειμένων δε μπορεί να μοντελοποιηθεί επακριβώς από την οικογένεια κατανομών Zipf/Zipf-Like, αλλά οι κατανομές Weibull και Γάμμα είναι περισσότερο κατάλληλες.
 - Οι Cha et al [Cha07] οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι η οικογένεια κατανομών Zipf/Zipf-Like μπορούν να αποδώσουν το κύριο σώμα στη δημοτικότητα, ενώ η εκθετική κατανομή την ουρά.
 - Οι Gill et al [Gill07] βρήκαν ότι η κατανομή Zipf-Like μπορεί να περιγράψει τη δημοτικότητα των πολυμεσιών αντικειμένων στο δίκτυο του πανεπιστημίου του Calgary.
 - Στις εργασίες τους πάνω σε ένα πανεπιστημιακό δίκτυο, οι Zink et al [Zink08, Zink09] απεικόνισαν σε λογαριθμική κλίμακα τη συμπληρωματική ΣΚ της

δημοτικότητας των πολυμεσιών αντικειμένων, βάσει του αριθμού των συνόδων τους. Το γεγονός ότι η δημοτικότητα διαγράφει σχεδόν ευθεία γραμμή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μπορεί να μοντελοποιηθεί από την οικογένεια κατανομών Zipf/Zipf-Like.

- Για την περίπτωση του Daum, οι Cha et al [Cha07] οδηγήθηκαν ακριβώς στα ίδια συμπεράσματα για τη δημοτικότητα, όπως και στην περίπτωση του YouTube.
- Για την περίπτωση του Yahoo!Video [Kang010] παρατηρήθηκε, επίσης, ότι ο συνδυασμός της Zipf-Like με εκθετική ουρά είναι ο καταλληλότερος στην περιγραφή της δημοτικότητας.

Συνοπτικά, κάποια επιπρόσθετα στοιχεία δημοτικότητας στα οποία έχει οδηγήσει η ερευνητική προσπάθεια είναι τα παρακάτω:

- Στην έρευνα των Chesire et al [Ches01], η αθροιστική κατανομή τόσο των αντικειμένων, όσο και των αιτημάτων προς τους διακομιστές πολυμέσων παρουσιάζουν ενισχυμένο δεξί άκρο. Επιπλέον, τα αντικείμενα χαμηλής ποιότητας είναι πιο δημοφιλή στους χρήστες που χρησιμοποιούν γραμμές χαμηλής χωρητικότητας.
- Κατά τους Almeida et al [Alm01], σε ημερήσια βάση, η δημοτικότητα όλων των τμημάτων διάρκειας 10 δευτερολέπτων αποδείχθηκε ότι είναι περίπου ίδια. Αντίθετα, για τα λιγότερο δημοφιλή αντικείμενα, τα αρχικά τμήματα παρουσιάζονται να είναι περισσότερο δημοφιλή.
- Κατά τους Cherkasova και Gupta [Cher04], τα δημοφιλέστερα πολυμεσιικά αντικείμενα που παραμένουν δραστήρια για λιγότερο χρόνο είναι συνήθως όσα έχουν εισαχθεί πιο πρόσφατα στους πολυμεσιικούς διακομιστές. Το μεγαλύτερο μέρος – δηλαδή, το 70% με 80% – της ζήτησής τους ξεσπάει μέσα στις πρώτες πέντε βδομάδες από την εμφάνισή τους, ενώ το ευρύτερο σύνολο των χρηστών είναι υπεύθυνο για την υψηλή δημοτικότητά τους.
- Το ευρύτερο σύνολο των πελατών είναι εξίσου υπεύθυνο για την υψηλή δημοτικότητα των δημοφιλέστερων αντικειμένων [Ches01, Cher04].

- Κατά τους Yu et al [Yu06], η προσθήκη νέων πολυμεσιών αντικειμένων στους διακομιστές, άλλα και οι συστάσεις του δικτυακού τόπου είναι πολύ καθοριστικοί παράγοντες επιρροής στη δημοτικότητα.
- Για την περίπτωση του YouTube, η γενική δημοτικότητα των πολυμεσιών αντικειμένων δε σχετίζεται με την τοπική δημοτικότητά τους στο πανεπιστημιακό δίκτυο [Zink08, Zink09]. Το γεγονός αυτό υπονοείται και στην εργασία των Gill et al [Gill07]. Επιπλέον, η γενική δημοτικότητα των πολυμεσιών αντικειμένων δε σχετίζεται με τον αριθμό των αποκρίσεων προς αυτά [Ben09]

Και στην περίπτωση των αποθηκευμένων πολυμέσων, ένα στοιχείο της δημοτικότητας που μελετήθηκε είναι το ποσοστό των αντικείμενων που ζητήθηκαν μια μόνο φορά. Όσον αφορά σε αυτό το χαρακτηριστικό, έχουν παρατηρηθεί μεγάλες αποκλίσεις στις έρευνες που παρέχουν τα σχετικά στοιχεία. Έτσι, οι Chesire et al [Ches01] αναφέρουν ότι το ποσοστό των αντικειμένων που ζητήθηκαν μια φορά ενδέχεται να ανέρχεται στο 84%. Οι Cherkasova και Gupta [Cher04] βρήκαν ποσοστά 16% και 19%, όσον αφορά στους δύο πολυμεσιικούς διακομιστές που μελέτησαν. Για το πανεπιστημιακό δίκτυο και το YouTube, οι Gill et al [Gill07] βρήκαν το ποσοστό να είναι 68,1%, ενώ οι Zink et al [Zink08] το υπολόγισαν στο 77%.

2.6.2.2 *Χρονική Τοπικότητα*

Σε γενικές γραμμές, κάποιες έρευνες συμπέραναν την ύπαρξη χρονικής τοπικότητας στα αιτήματα προς τα πολυμεσιικά αντικείμενα [Acha00, Ches01, Cher04]. Οι Cherkasova και Gupta [Cher04] παρατήρησαν ότι η χρονική τοπικότητα σε εβδομαδιαίο επίπεδο φθίνει.

Οι Almeida et al [Alm01] έδωσαν μια αίσθηση της χρονικής τοπικότητας, προσδιορίζοντας την εκθετική κατανομή των χρονικών διαστημάτων μεταξύ των διαδοχικών συνόδων για το ίδιο πολυμεσιικό αντικείμενο.

Στην περίπτωση του YouTube, ενώ οι Gill et al [Gill07] ανέφεραν την ύπαρξη χρονικής τοπικότητας στα αιτήματα, οι Cheng et al [Chen07] την προσδιόρισαν έμμεσα με βάση τη συνάρτηση προσδιορισμού του χρόνου ενεργούς ζωής των πολυμεσιών αντικειμένων, η οποία εμφανίζεται να είναι Pareto. Η συνάρτηση αυτή μπορεί να καταγράψει τη μείωση της δημοτικότητας των πολυμεσιών αντικειμένων με το πέρασμα του χρόνου, κάτι που διαπιστώθηκε και στην έρευνα των Cha et al [Cha07]. Ως εκ τούτου, είναι σε θέση

να προσδιορίσει τα πολυμεσιικά αντικείμενα για τα οποία έχει παρέλθει το χρονικό διάστημα μεγάλης ζήτησης.

ΕΡΕΥΝΑ	ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ (R – σε Kbps)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (T) (σε λεπτά - min)	ΜΕΓΕΘΟΣ (S) (Σε Mbytes)
Acharya et al [Acha00]	H.261: 150-250	Μέση Τιμή: 75 Διάμεσος: 77	Μέσος: 121 Διάμεσος: 110
Cheshire et al [Ches01]	-	Κατανομή με μακρύ άκρο	-
Almeida et al [Alm01]	eTeach: 300 BIBS: 350-500	eTeach: ≤ 35, 20-30% αιτημάτων: ≤ 5, Ομοιόμορφη κατανομή ανά 5λεπτα διαστήματα, στα λοιπά. BIBS: κυρίως 50-55 λεπτά (70% αιτημάτων)	-
Van der Merwe et al [VMer02]	56 και 250	-	-
Costa et al [Cost04a]	eTeach: 200-350 TV/UOL: 50 και 250 Radio/UOL: 50 ISP/Audio: 50	eTeach: ≤ 55, 52% συνόδων: ≤ 5, Ομοιόμορφη κατανομή στις υπόλοιπες χρον. διάρκειες TV/UOL: ≤ 15 Radio/UOL: ≤ 10 ISP/Audio: ≤ 10	-
Cherkasova and Gupta [Cher04]	HPC: 59%: ≤56, 21%: 56-128, 20%: ≥128 HPLabs: 11%: ≤56, 5%: 56-128, 84%: ≥128	Τρεις κατηγορίες αρχείων: Μικρά(≤10), μεσαία (10-30) και μεγάλα (≥30) HPC: 42%: μικρά, 23%: μεσαία, 34%: μεγάλα HPLabs: 14%: μικρά, 7%: μεσαία, 79%: μεγάλα	-
Guo et al [Guo05a]	MPEG, WAV, RM, WM, AU, κλπ.	-	-
Yu et al [Yu06]	MPEG1, MPEG2, MPEG4	Τυπική τιμή: 100 (MPEG1)	Τυπική τιμή: 300 (MPEG1)
Garcia et al [Garc07]	RMFF, Μέσος: 90 και 140	-	-
Gill et al [Gill07]	Μέσος: 394 Διάμεσος: 328	≤ 10	≤ 100
Kang et al [Kang010]	Ενδεικτική τιμή: 300	Μέσος: ~ 4,77 Διάμεσος: 2,65	≤ 100

Πίνακας 2.4. Κωδικοποίηση, χρονική διάρκεια και μέγεθος πολυμεσιικών αντικειμένων

2.6.2.3 Χρονική Διάρκεια, Κωδικοποίηση και Μέγεθος Πολυμεσικών Αντικειμένων

Καταρχήν, ο προσδιορισμός του μεγέθους – έστω, S – των πολυμεσικών αντικειμένων σε μονάδες πληροφορίας (Bytes) αποτελεί μια αρκετά περίπλοκη διαδικασία. Στην ουσία, εξαρτάται από το γινόμενο της χρονικής διάρκειας του πολυμεσικού αντικειμένου – έστω, T – και της ποσότητας της κωδικοποιημένης πληροφορίας στη μονάδα του χρόνου, ή αλλιώς, το ρυθμό κωδικοποίησης του αντικειμένου – έστω, R . Δηλαδή, $S = R \times T$. Στις περισσότερες έρευνες προτιμάται το μέγεθος των πολυμεσικών αντικειμένων να εκτιμάται και να αποδίδεται με χρονικούς προσδιορισμούς, ενώ ταυτόχρονα γίνεται μια ενημέρωση σχετικά με την κωδικοποίηση.

Αυτή η υποβάθμιση της σημασίας του μεγέθους σε όρους πληροφορίας μπορεί να αποδοθεί σε ένα συνδυασμό αιτιών. Καταρχήν, η χρονική διάρκεια αποτελεί ένα στατικό παράγοντα κλειδί, που καθορίζει την αλληλεπιδραστική συμπεριφορά των χρηστών, οι οποίοι πολλές φορές είναι ανυπόμονοι. Ο όρος ‘στατικός’ χρησιμοποιείται με την έννοια ότι ένα οπτικό ή οπτικοακουστικό γεγονός έχει πάντοτε μια αυστηρά καθορισμένη χρονική διάρκεια. Όμως, το μέγεθος της πληροφορίας για το παραγόμενο πολυμεσικό αντικείμενο ποικίλλει ανάλογα με τους παρεχόμενους πόρους – δηλαδή, το εύρος ζώνης δικτύου, το μέγεθος δίσκου κλπ. – οι οποίοι αποτελούν κριτήριο για τη μέθοδο κωδικοποίησης που ακολουθείται. Η χωρητικότητα σε δίσκο δεν παίζει πλέον περιοριστικό ρόλο, γεγονός που, επίσης, συμβάλλει κατά πολύ στην απαξίωση του μεγέθους σε μονάδες πληροφορίας. Μια ένδειξη της βελτίωσης της τεχνολογίας και της ταυτόχρονης πτώσης στο κόστος των σκληρών δίσκων είναι το φαινόμενο ότι πολλοί δικτυακοί τόποι προσφέρουν τα πολυμεσικά αντικείμενα σε διαφορετικές αναλύσεις, ώστε ο χρήστης να μπορεί ελεύθερα να επιλέξει, ανάλογα με την ποιότητα του δικτύου του.

Στον πίνακα 2.4 δίνονται κάποια βασικά στοιχεία και πληροφορίες που αφορούν στη χρονική διάρκεια, την κωδικοποίηση και το μέγεθος των πολυμεσικών αντικειμένων στις έρευνες που λαμβάνουμε υπόψη, ενώ στον πίνακα 2.5 δίνονται τα στοιχεία αυτά για την περίπτωση των πολυμεσικών δικτυακών τόπων κοινωνικής δικτύωσης. Στην περίπτωση των δικτυακών τόπων YouTube και Yahoo!Video, εφαρμόζονται συγκεκριμένες πολιτικές, όσον αφορά στη διάρκεια ή στην ποσότητα πληροφορίας για τα βίντεο που επιτρέπεται να δημιουργεί ο χρήστης. Αυτοί οι περιορισμοί – YouTube [Chen07, Gill07, Ben09]: κωδικοποίηση H.263 στα 25 καρέ/δευτ. και ανάλυση 320X240 ψηφίδες, μέγιστη διάρκεια 10 λεπτών, Yahoo!Video [Kang010]: μέγιστο μέγεθος 100 MB – αποτελούν ένα ανώτατο

όριο στο μέγεθος και τη διάρκεια των πολυμεσικών αντικειμένων για αυτούς τους δικτυακούς τόπους.

ΕΡΕΥΝΑ	ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ H (R – σε Kbps)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (T) (σε λεπτά - min)	ΜΕΓΕΘΟΣ (S) (Σε Mbytes)
Cheng et al [Chen07] (YouTube)	Κυρίως: 330, 285 και 200	Μπορεί να μοντελοποιηθεί από το συνδυασμό τεσσάρων διαφορετικών κανονικών κατανομών	Μέσος: 8,4 – Μοντελοποιείται όπως και η διάρκεια
Gill et al [Gill07] (YouTube)	Μέσος: 394 Διάμεσος: 328	≤ 10	≤ 100
Benevenuto et al [Ben09] (YouTube)	-	Τα πολυμεσικά αντικείμενα που παίρνουν μέρος στο διάλογο μεταξύ των χρηστών έχουν διάρκεια που ακολουθεί δύο διαφορετικές κατανομές Weibull	-
Kang et al [Kang010] (Yahoo!Video)	Ενδεικτική τιμή: 300	Μέσος: ~ 4,77 Διάμεσος: 2,65	≤ 100

Πίνακας 2.5. Κωδικοποίηση, χρονική διάρκεια και μέγεθος πολυμεσικών αντικειμένων για τους πολυμεσικούς δικτυακούς τόπους κοινωνικής δικτύωσης

2.6.2.4 Μέγεθος και Χρονική Διάρκεια Συνόδου

Αποτελεί γενική παραδοχή [Acha00, Ches01, Alm01, VMer02, Cher04, Yu06, Gill07] πως η χρονική διάρκεια της συνόδου και το μέγεθος της πληροφορίας που αποφορτώνεται είναι, τις περισσότερες φορές, μικρότερα από τα αντίστοιχα μεγέθη του πολυμεσικού αντικειμένου, τα οποία αναλύθηκαν στην παραπάνω ενότητα. Οι βασικότερες αιτίες που κρύβονται πίσω από αυτό το φαινόμενο είναι οι παρακάτω:

- Η δυνατότητα αλληλεπίδρασης που προσφέρουν οι σύγχρονες δικτυακές εφαρμογές πολυμέσων επιτρέπει στον τελικό χρήστη να προσπελάσει επιλεγμένα τμήματα του πολυμεσικού αντικειμένου. Κατά αυτόν τον τρόπο, ο χρήστης μπορεί να αποκτήσει μια γενική εικόνα ακόμα και για τα πολυμεσικά αντικείμενα μεγάλης διάρκειας.
- Η έλλειψη ενδιαφέροντος από την πλευρά του χρήστη, όσον αφορά στο πολυμεσικό αντικείμενο [Acha00].
- Η χαμηλή ποιότητα κωδικοποίησης του πολυμεσικού αντικειμένου [VMer02].

- Πολλές φορές, το κοινό είναι ανυπόμονο και ελέγχει γρήγορα το ενδιαφέρον προς τα πολυμεσικά αντικείμενα [Yu06].

Όσον αφορά στη μοντελοποίηση της χρονικής διάρκειας των συνόδων, η έρευνα έχει οδηγήσει σε μια σειρά από συμπεράσματα. Τα κυριότερα είναι τα παρακάτω:

- Οι Chesire et al [Ches01] παρατήρησαν ότι οι κατανομές της χρονικής διάρκειας συνόδου (Session Duration Distribution) και του μεταφερόμενου μεγέθους του πολυμεσικού αντικειμένου κατά τη σύνοδο (Session Transfer Size Distribution) εμφανίζουν μακρύ δεξί άκρο.
- Οι Almeida et al [Alm01] ανακάλυψαν ότι η συνολική χρονική διάρκεια του πολυμεσικού αντικειμένου παίζει καθοριστικό ρόλο στην κατανομή της χρονικής διάρκειας της συνόδου. Συγκεκριμένα, για τα πολύ μικρά βίντεο, η διάρκεια της συνόδου μπορεί να προσεγγιστεί από τη λογαριθμοκανονική κατανομή. Για τα μεγάλα βίντεο, συνολικής διάρκειας 50-55 λεπτών, το κυρίως σώμα της κατανομής περιγράφεται καλύτερα από τη συνάρτηση Γάμμα, ενώ η ουρά από την Pareto.
- Πολλές φορές παρατηρείται ένας αρνητικός συσχετισμός ανάμεσα στη διάρκεια της συνόδου και τη δημοτικότητα του πολυμεσικού αντικειμένου [Yu06].
- Οι Garcia et al [Garc07] συμπέραναν ότι, τόσο για τα μικρά, όσο και για τα μεγάλα πολυμεσικά αντικείμενα, η χρονική διάρκεια της συνόδου μπορεί να μοντελοποιηθεί από το άθροισμα δύο εκθετικών κατανομών, που είναι σταθμισμένες με την πιθανότητα επιτυχίας του πολυμεσικού αντικειμένου.

Στην περίπτωση του YouTube, οι Gill et al [Gill07] υπολόγισαν τη μέση χρονική διάρκεια συνόδου στα 104,4 δευτερόλεπτα. Οι Zink et al [Zink08, Zink09] βρήκαν μέσες τιμές από 75,12 μέχρι 99,62 δευτερόλεπτα.

2.6.2.5 *Ρυθμός Εμφάνισης Νέων Συνόδων*

Όσον αφορά στο ρυθμό εμφάνισης νέων συνόδων, η έρευνα κατέληξε στα εξής συμπεράσματα:

- Τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών συνόδων είναι κατά πολύ μεγαλύτερα στην περίπτωση των πολυμέσων από ό,τι στην περίπτωση του παγκοσμίου ιστού [Acha00].

- Σχετικά με τη μοντελοποίηση του ρυθμού εμφάνισης νέων συνόδων, τόσο για το κάθε πολυμεσιικό αντικείμενο χωριστά, όσο και για το σύνολο των πολυμεσιικών αντικειμένων, οι Almeida et al [Alm01], αφού επικέντρωσαν στις ημέρες με την πιο έντονη δραστηριότητα και στα χρονικά διαστήματα, όπου ο ρυθμός αιτημάτων ήταν σταθερός, κατέληξαν στα εξής συμπεράσματα:
 - Για το διακομιστή BIBS, τα χρονικά διαστήματα ανάμεσα σε δύο διαδοχικές εμφανίσεις ακολουθούν την εκθετική κατανομή. Αυτό σημαίνει ότι η διαδικασία αφίξεων νέων συνόδων είναι Poisson.
 - Για το διακομιστή eTeach, τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών συνόδων ακολουθούν, στην πλειονότητά τους, είτε την κατανομή Weibull, είτε το συνδυασμό των κατανομών Weibull – για το κυρίως σώμα – και Pareto – για το δεξί άκρο.
- Η ομάδα Costa [Cost04a], αφού επικέντρωσε σε περιόδους με σταθερό ρυθμό αφίξεων συνόδων, κατέληξε στα ακόλουθα συμπεράσματα, όσον αφορά στις τέσσερις ξεχωριστές υπηρεσίες αποθηκευμένων πολυμέσων που ερεύνησε:
 - Στην περίπτωση του εκπαιδευτικού διακομιστή eTeach, ανάλογα με το μέγεθος των πολυμεσιικών αντικειμένων, οι κατανομές Weibull και λογαριθμοκανονική είναι οι πλέον κατάλληλες, ώστε να περιγράψουν τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών συνόδων.
 - Για τις υπηρεσίες TV/UOL και Radio/UOL, παρατηρήθηκε εκθετική κατανομή των διαστημάτων μεταξύ των αφίξεων συνόδων.
 - Σχετικά με την υπηρεσία ISP/Audio, η κατανομή Pareto μπορεί να περιγράψει τα χρονικά διαστήματα των συνόδων.
- Οι Garcia et al [Garc07] μελέτησαν τα διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών συνόδων για τον κάθε αφινοούμενο πελάτη στο σύστημα και βρήκαν ότι αυτά ακολουθούν κατανομή Weibull. Ακόμη βρήκαν ότι η κατανομή των αφινοούμενων πελατών προς τις παραγόμενες συνόδους είναι διπλή Zipf-Like.
- Για το YouTube και για την περίπτωση ενός πανεπιστημιακού διπτύου, οι Zink et al [Zink09] διαπίστωσαν ότι η διάμεσος τιμή των χρονικών διαστημάτων μεταξύ των αιτημάτων έχει πτωτική τάση διαχρονικά.

2.6.2.6 Ρυθμός Άφιξης Χρηστών

Ένα, επιπλέον, χαρακτηριστικό που έχει απασχολήσει τις έρευνες σχετικά με το χαρακτηρισμό της δραστηριότητας, που οφείλεται σε δικτυακές εφαρμογές αποθηκευμένων πολυμέσων, είναι ο ρυθμός αφίξεων των χρηστών.

Οι Yu et al [Yu06] παρατήρησαν ότι ο ρυθμός αφίξεων των χρηστών, για τις περιπτώσεις υψηλού φόρτου στο σύστημα, ακολουθεί μια τροποποιημένη κατανομή Poisson που εκφράζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$P(X) = \frac{\lambda^{(N-X)} e^{-\lambda}}{(N-X)!}, \quad X = 0,1,2,\dots \quad (2.26)$$

όπου το N εκφράζει το μέγιστο καταγεγραμμένο αριθμό αφίξεων χρηστών.

Οι Gill et al [Gill07] έστρεψαν την προσοχή τους, κυρίως, στην άφιξη νέων χρηστών στο πανεπιστημιακό δίκτυο, με σκοπό την προσπέλαση περιεχομένου του YouTube. Συμπέραναν ότι ο αριθμός των χρηστών αυξάνονταν σταθερά τις 3 πρώτες εβδομάδες, λιγότερο τις επόμενες και στο τέλος της υπό μελέτη περιόδου καταγράφηκαν μέχρι και 3000 μοναδικοί χρήστες την ημέρα.

2.6.2.7 Λοιπά Χαρακτηριστικά Πολυμεσικών Δικτυακών Τόπων Ψευδο-Ροής

Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να αναλύσουμε κάποια επιπρόσθετα χαρακτηριστικά που έχουν απασχολήσει τη βιβλιογραφία πάνω στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση για την περίπτωση των πολυμεσικών δικτυακών τόπων κοινωνικής δικτύωσης. Συγκεκριμένα, για το YouTube:

- Οι Cheng et al [Chen07] παρατήρησαν τα εξής:
 - Οι κατανομές των σχολίων και των βαθμολογιών που δίνουν οι χρήστες προς τα πολυμεσικά αντικείμενα παρουσιάζονται να είναι ίδιες με την κατανομή της δημοτικότητας.
 - Η οικογένεια κατανομών Zipf/Zipf-Like δείχνει να μπορεί να μοντελοποιήσει τόσο τους χρήστες που ‘ανεβάζουν’ πολυμεσικά αντικείμενα, όσο και την κοινωνικότητα των χρηστών με βάση τον αριθμό των φίλων που έχει ο καθένας.
- Οι Zink et al παρατήρησαν τα εξής [Zink08, Zink09]:
 - Ο ρυθμός των αιτημάτων προς το δικτυακό τόπο πέφτει αισθητά στις μεταμεσονύχτιες ώρες.

- Είναι έντονο το φαινόμενο όπου ο ίδιος πελάτης βλέπει το ίδιο πολυμεσικό αρχείο για περισσότερες από μια φορές.
- Οι Benevenuto et al [Ben09] οδηγήθηκαν στα ακόλουθα συμπεράσματα, όσον αφορά στο διάλογο που αναπτύσσεται μεταξύ των χρηστών, μέσω των πολυμεσικών αντικειμένων:
 - Οι εμπειρικές κατανομές των πολυμεσικών αντικειμένων που θεωρούνται ως αποκρίσεις άλλων προς τους απαντητικούς χρήστες, τα πολυμεσικά αντικείμενα που πυροδότησαν την απάντηση και τους χρήστες που τα ‘ανέβασαν’ στο δικτυακό τόπο μπορούν να μοντελοποιηθούν από την οικογένεια κατανομών Zipf/Zipf-Like.
 - Συνήθως, τα πολυμεσικά αντικείμενα-αποκρίσεις ανήκουν στην ίδια κατηγορία με αυτά που πυροδότησαν την απόκριση. Υπάρχει, όμως, ένα σημαντικό ποσοστό αντικειμένων-αποκρίσεων που δεν ανήκουν στην ίδια κατηγορία.
 - Η εμπειρική κατανομή των διαλογικών πολυμεσικών αντικειμένων προς τις χώρες όπου ανήκουν γεωγραφικά οι διαλογικοί χρήστες μπορεί να μοντελοποιηθεί ως Zipf/Zipf-Like.

2.6.3 Χαρακτηρισμός της Δραστηριότητας των Σύγχρονων Δικτυακών Εφαρμογών Αποθηκευμένων Πολυμέσων: Μικροσκοπική Ανάλυση

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι σύγχρονες δικτυακές εφαρμογές πολυμέσων προσφέρουν στον τελικό χρήστη τη δυνατότητα να αλληλεπιδρά με το διακομιστή πολυμέσων κατά τη διάρκεια μιας συνόδου, χρησιμοποιώντας κάποιο εξειδικευμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας. Το εξειδικευμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας επιτρέπει στο χρήστη να αποστέλλει αιτήματα προς το διακομιστή, σχετικά με την προσπέλαση του πολυμεσικού αντικειμένου. Τα αιτήματα αυτά της αλληλεπίδρασης συνεπάγονται κάποια άλματα εντός του πολυμεσικού αντικειμένου. Όλη αυτή η λειτουργία του πρωτοκόλλου έχει ως συνέπεια τη διάσπαση της χρονικής διάρκειας της συνόδου για ένα πολυμεσικό αντικείμενο σε χρονικά διαστήματα στα οποία παρατηρείται πραγματική δραστηριότητα και σε ‘νεκρά’ χρονικά διαστήματα (βλέπε σχήμα 2.7).

2.6.3.1 Ανάλυση του Είδους και της Φύσης των Αλληλεπιδράσεων

Δύο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εμφάνιση, τον αριθμό, το είδος, αλλά και τη μοντελοποίηση των αλληλεπιδράσεων είναι το διαθέσιμο εύρος ζώνης και, κυρίως, η

διάρκεια του πολυμεσικού αντικειμένου [Alm01, Cost04a, Cher04]. Οι Garcia et al [Garc07] προσθέτουν σε αυτούς τους παράγοντες και το είδος του πολυμεσικού αρχείου – δηλαδή, εκπαιδευτικό, ψυχαγωγικό, κλπ.

Οι ερευνητικές προσπάθειες και εργασίες επικεντρώθηκαν επίσης στο είδος των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στο χρήστη και το διακομιστή πολυμέσων κατά τη διάρκεια της συνόδου. Επιπλέον, μελέτησαν την πιθανότητα εμφάνισης της κάθε αλληλεπίδρασης και την επίδραση του μεγέθους του πολυμεσικού αντικειμένου στον αριθμό των αλληλεπιδράσεων.

Οι Almeida et al [Alm01] ανέφεραν ότι για τα μικρά αρχεία, οι αλληλεπιδράσεις είναι περισσότερο πιθανό να είναι του τύπου «JUMP BACKWARD». Στην περίπτωση των μεγαλύτερων πολυμεσικών αντικειμένων, αυτά παρουσιάζουν περισσότερο συχνά αλληλεπιδράσεις τύπου «PAUSE», ενώ οι τύποι «JUMP BACKWARD» και «JUMP FORWARD» είναι ίδιας πιθανότητας.

Σχετικά με τη συχνότητα των διαφόρων αλληλεπιδράσεων, οι Costa et al [Cost04a] οδηγήθηκαν στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η ύπαρξη των «REWIND» και «FAST FORWARD» είναι αμελητέα σε όλες τις περιπτώσεις.
- Τα αιτήματα τύπου «PAUSE» είναι τα πιο συνήθη.
- Όσο αυξάνει το μέγεθος του πολυμεσικού αρχείου, αυξάνονται ποσοστιαία τα μηνύματα «JUMP FORWARD» και μειώνονται τα μηνύματα «PAUSE».
- Ο αριθμός των μηνυμάτων «JUMP BACKWARD» παραμένει σταθερός σε όλες τις περιπτώσεις.
- Για τα αντικείμενα βίντεο, που παρουσιάζουν περισσότερες από τρεις αλληλεπιδράσεις, όσο περισσότερο αλληλεπιδρά ο πελάτης, τόσο αυξάνεται ο αριθμός των διαδοχικών μηνυμάτων «PAUSE» στη σειρά.
- Οι αλληλεπιδράσεις του ίδιου τύπου τείνουν να εμφανίζονται μαζί.

2.6.3.2 *Ανάλυση Αλμάτων στο Πολυμεσικό Αντικείμενο*

Σχετικά με την ανάλυση των αλμάτων στο πολυμεσικό αντικείμενο:

- Κατά τους Costa et al [Cost04a], η διάρκεια, αλλά και το είδος του πολυμεσικού αντικειμένου επηρεάζουν το σημείο από το οποίο θα ξεκινήσει η σύνοδος, αλλά και το

μέγεθος των αλμάτων ανάμεσα στα διάφορα σημεία εντός του αντικειμένου που προκαλούνται από την αλληλεπίδραση των χρηστών.

- Οι Garcia et al [Garc07] μοντελοποίησαν τον αριθμό των αλμάτων με την κατανομή Zipf-Like και το μήκος των αλμάτων με την κατανομή Weibull.

2.6.3.3 Ανάλυση Αιτημάτων Αλληλεπίδρασης

Όσον αφορά στη μοντελοποίηση των αλληλεπιδράσεων εντός των συνόδων, για το διακομιστή eTeach, οι Almeida et al [Alm01] παρατήρησαν ότι τα χρονικά διαστήματα ανάμεσα στα αιτήματα αλληλεπίδρασης εντός των συνόδων ακολουθούν, κυρίως, την κατανομή Pareto, με μια εξαίρεση όπου παρατηρήθηκε εκθετική κατανομή – δηλαδή, αφίξεις των αιτημάτων ακολουθούν διαδικασία Poisson.

2.6.3.4 Ανάλυση Ενεργών Χρονικών Διαστημάτων

Όσον αφορά στην ανάλυση των ενεργών χρονικών διαστημάτων, στα οποία παρατηρείται δραστηριότητα:

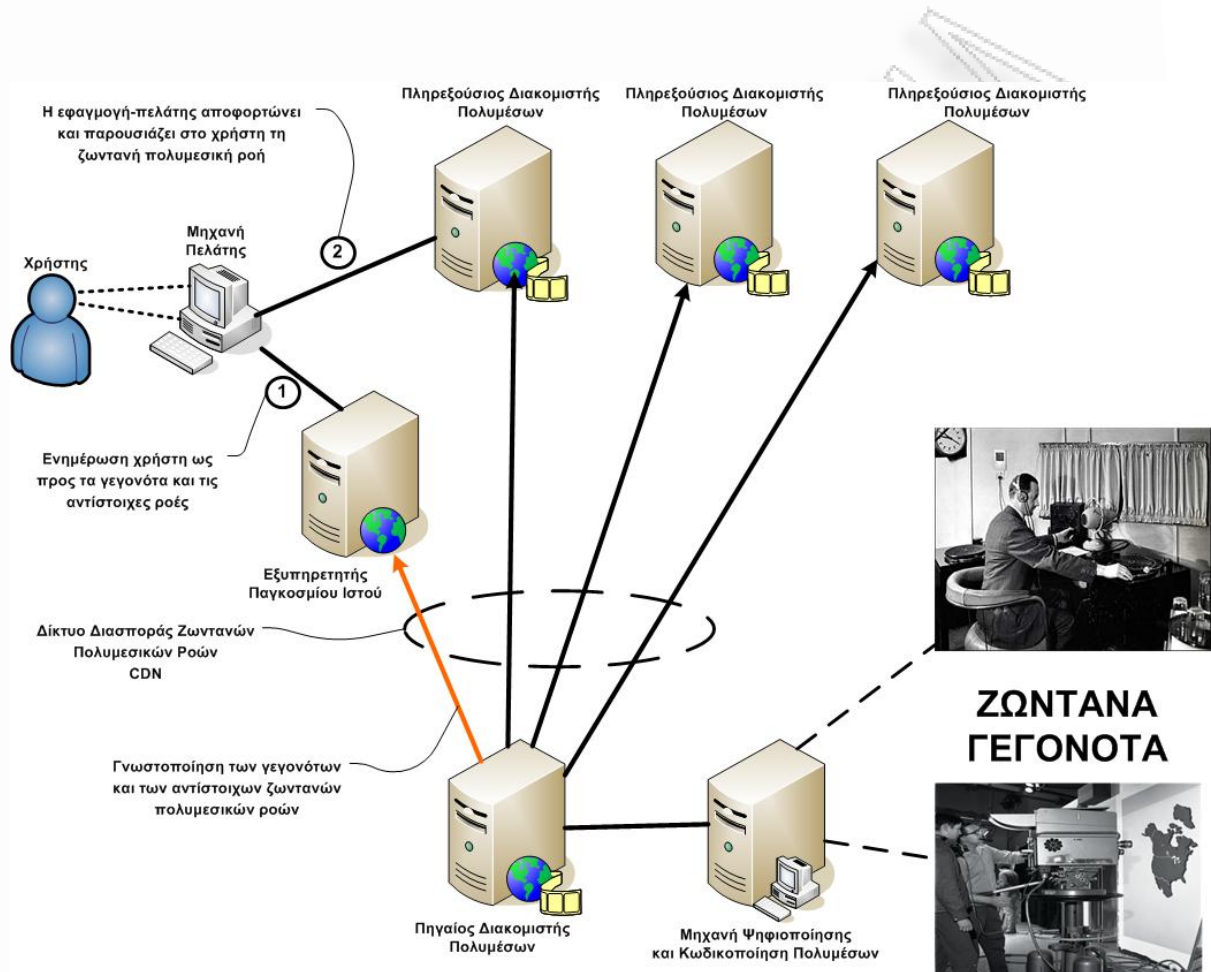
- Οι Almeida et al [Alm01] παρατήρησαν πως για τα πολύ μικρά αντικείμενα ακολουθείται η εκθετική κατανομή, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις η λογαριθμοκανονική κατανομή με ουρά Pareto. Για τα μεγαλύτερα αντικείμενα, μπορούν να αξιοποιηθούν οι κατανομές Pareto και Weibull, με εξαίρεση κάποιες περιπτώσεις που περιγράφονται καλύτερα από τη λογαριθμοκανονική κατανομή, ή από το συνδυασμό των κατανομών Γάμμα και Pareto.
- Οι Costa et al [Cost04a] παρατήρησαν ότι η κατανομή Pareto είναι αντιπροσωπευτική για τα ενεργά χρονικά διαστήματα, στην περίπτωση των μικρών αρχείων ήχου και βίντεο, ενώ για τα μεγάλα αρχεία βίντεο μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κατανομή Weibull.

2.6.3.5 Ανάλυση Νεκρών/ Ανενεργών Χρονικών Διαστημάτων

Σχετικά με την ανάλυση των 'νεκρών' χρονικών διαστημάτων:

- Οι Almeida et al [Alm01] πρότειναν την εκθετική κατανομή για τα πολύ μικρά αντικείμενα και τις κατανομές Pareto, Weibull, και λογαριθμοκανονική για τα μεγαλύτερα.
- Οι Costa et al [Cost04a] διαπίστωσαν ότι για όλα τα μεγέθη πολυμεσικών αντικειμένων, η κατανομή Weibull μπορεί να περιγράψει με επιτυχία τα νεκρά χρονικά διαστήματα.

- Οι Garcia et al [Garc07] βρήκαν ότι τα νεκρά χρονικά διαστήματα περιγράφονται από μια κατανομή Weibull, τόσο για τα μικρά, όσο και για τα μεγάλα αντικείμενα.



Σχήμα 2.8. Λειτουργία των δικτυακών εφαρμογών πολυμέσων ζωντανής μετάδοσης

2.6.4 Δικτυακές Εφαρμογές Πολυμέσων Ζωντανής Μετάδοσης

Η περίπτωση των δικτυακών εφαρμογών πολυμέσων ζωντανής μετάδοσης είναι εντελώς διαφορετική από αυτή των αποθηκευμένων πολυμέσων. Η ουσιαστική διαφορά μεταξύ των δύο περιπτώσεων εντοπίζεται στο χρόνο διεξαγωγής του μεταδιδόμενου γεγονότος. Στην περίπτωση των αποθηκευμένων πολυμέσων, το γεγονός έχει πραγματοποιηθεί σε παρελθοντικό χρόνο, οπότε ο χρήστης περιορίζεται στην παρακολούθηση του ως καταγεγραμμένου πολυμεσικού αντικειμένου, το οποίο είναι αποθηκευμένο σε κάποιο διακομιστή. Στην περίπτωση της ζωντανής μετάδοσης (σχήμα 2.8), ο χρήστης παρακολουθεί το γεγονός να εξελίσσεται σε πραγματικό χρόνο, δηλαδή τη στιγμή στην οποία λαμβάνει χώρα.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι δεν υπάρχει κάποιο πολυμεσικό αρχείο αποθηκευμένο στο διακομιστή πολυμέσων, η έννοια του πολυμεσικού αντικειμένου είναι πολύ δύσκολο να αποδοθεί στην περίπτωση των δικτυακών εφαρμογών πολυμέσων ζωντανής μετάδοσης. Αντί της έννοιας του πολυμεσικού αντικειμένου, προτιμώνται οι έννοιες του γεγονότος (Event) και της ζωντανής πολυμεσικής ροής (Live Stream, ή απλά Stream), δηλαδή, της συνεχόμενης μετάδοσης, της οποίας η διάρκεια καθορίζεται από τη διάρκεια του γεγονότος [Vel02, Vel06].

2.6.4.1 Η Ιδιαιτερότητα των Δικτυακών Εφαρμογών Πολυμέσων Ζωντανής Μετάδοσης

Σε σύγκριση με τις δικτυακές εφαρμογές αποθηκευμένων πολυμέσων, οι πολυμεσικές ροές στις δικτυακές εφαρμογές πολυμέσων ζωντανής μετάδοσης επιτρέπουν στο χρήστη περιορισμένη αλληλεπίδραση κατά τη διάρκεια μιας συνόδου. Συνήθως, η αλληλεπίδραση του χρήστη που πραγματοποιείται εντός μιας συνόδου αφορά στην αλλαγή της πολυμεσικής ροής για το ίδιο γεγονός – π.χ. η δυνατότητα επιλογής κάμερας για την παρακολούθηση ενός αγώνα, εφόσον παρέχεται. Πολλές φορές δεν επιτρέπουν καμία αλληλεπίδραση στο χρήστη.

Επιπλέον, αυτού του είδους οι δικτυακές εφαρμογές πολυμέσων θα πρέπει να είναι, πάντοτε, σε θέση να ανταπεξέλθουν στη ζήτηση, δεδομένου ότι η αξία τους πηγάζει στη ζωντανή μετάδοση, η οποία καθιστά περισσότερο σύνηθες το φαινόμενο της ξαφνικής αύξησης των χρηστών (Flash Crowd Behavior). Για το λόγο αυτό, ο πιο ασφαλής τρόπος για να καλυφθεί η ζήτηση, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης του συστήματος, είναι η διάδοση των πολυμεσικών ροών προς τους τελικούς χρήστες μέσω κάποιου δικτύου διανομής CDN (σχήμα 2.8). Αντίθετα, οι δικτυακές εφαρμογές αποθηκευμένων πολυμέσων μπορούν να αρνηθούν την πρόσβαση σε κάποιους χρήστες, δεδομένου ότι οι χρήστες αναμένεται να ξαναπροσπαθήσουν στη συνέχεια.

Συμπερασματικά, η αξία του πολυμεσικού περιεχομένου πηγάζει από την ίδια τη φύση του, δηλαδή από το ότι παρουσιάζει το γεγονός ακριβώς τη στιγμή που συμβαίνει. Οι Veloso, et al [Vel02, Vel06] δίνουν έμφαση στο γεγονός αυτό, τονίζοντας ότι, ενώ η πρόσβαση στα αποθηκευμένα πολυμέσα καθορίζεται από τη συμπεριφορά των χρηστών (user-driven), η πρόσβαση στα ‘ζωντανά’ πολυμέσα χαρακτηρίζεται από τη φύση του ίδιου του περιεχομένου (content-driven).

Οι Sripanidkulchai et al [Srip04] διέκριναν τα γεγονότα και τις αντίστοιχες ροές σε διάφορες κατηγορίες, ως προς τη φύση και τις ιδιότητές τους. Έτσι, υπάρχουν γεγονότα που συμβαίνουν αδιάκοπα (Non-Stop), τουλάχιστον για μια μεγάλη χρονική διάρκεια ημερών – π.χ. η εκπομπή ενός ραδιοφωνικού ή τηλεοπτικού σταθμού – και άλλα πολύ μικρής διάρκειας (Short) – π.χ. η διεξαγωγή ενός ποδοσφαιρικού αγώνα. Επιπλέον, κάποια γεγονότα είναι τακτικώς επαναλαμβανόμενα (Recurring) – π.χ. κάποια εβδομαδιαία τηλεοπτική σειρά – και άλλα τα οποία πραγματοποιούνται μια φορά (One-Timers). Εξορισμού, οι αδιάκοπες ροές είναι και επαναλαμβανόμενες. Αυτές οι κατηγορίες γεγονότων μπορούν να ασκήσουν διαφορετική επίδραση στο χρήστη.

2.6.5 Χαρακτηρισμός της Δραστηριότητας των Δικτυακών Εφαρμογών Πολυμέσων Ζωντανής Μετάδοσης

Παρόλο που στην περίπτωση των αποθηκευμένων πολυμέσων, η έρευνα πάνω στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της παραγόμενης δραστηριότητας έχει να επιδείξει μια πληθώρα εργασιών, η αντίστοιχη έρευνα, όσον αφορά στις δικτυακές εφαρμογές πολυμέσων ζωντανής μετάδοσης, έχει βασιστεί στην εργασία των Van der Merwe et al [VMer02] και, κυρίως, στις εργασίες των Veloso et al [Vel02, Vel06] και των Sripanidkulchai et al [Srip04].

Όπως και με τις δικτυακές εφαρμογές αποθηκευμένων πολυμέσων, στα πλαίσια της παρούσας έρευνας, θεωρούμε πως η σύννοδος ταυτίζεται με μια και μόνο μια πολυμεσική ροή, σε αντίθεση με τους Veloso et al [Vel02, Vel06] που λαμβάνουν υπόψη περισσότερες ροές σε μια σύννοδο. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει η δυνατότητα αλληλεπίδρασης του χρήστη με τη ζωντανή πολυμεσική ροή, όλα τα χαρακτηριστικά που εξετάζονται παρακάτω αφορούν το αποτέλεσμα μακροσκοπικής ανάλυσης πάνω στην πολυμεσική δραστηριότητα.

2.6.5.1 Η Έρευνα των Van der Merwe et al

Η εργασία των Van der Merwe et al [VMer02], η οποία προηγήθηκε χρονικά των υπολοίπων, δίνει κάποια χρήσιμα στοιχεία για τα ζωντανά πολυμέσα, σε αντιδιαστολή με τα αποθηκευμένα. Τα κυριότερα σημεία ενδιαφέροντος της έρευνας αυτής έχουν ως εξής:

- Η χρονική διάρκεια συνόδου παρουσιάζει ενισχυμένη ουρά.
- Υπάρχουν σημαντικές, αλλά ομαλές, διακυμάνσεις στην κατανάλωση του εύρους ζώνης στη διάρκεια της ημέρας.

- Οι πελάτες ανήκουν σε 4000 αυτόνομα συστήματα (Autonomous Systems, AS)
- Ένα μικρό μέρος των αυτόνομων συστημάτων συμμετέχει στον κύριο όγκο του κυκλοφοριακού και των αιτημάτων. (Autonomous Systems, AS)

2.6.5.2 *Η έρευνα των Veloso et al*

Οι Veloso et al [Vel02, Vel06] μελέτησαν δύο διαφορετικές πολυμεσικές ροές σε έναν εξυπηρετητή, οι οποίες αφορούσαν ένα reality show, με χρονική διάρκεια 90 ημερών – δηλαδή, μελέτησαν την περίπτωση δύο αδιάκοπων ροών. Συμπέραναν τα παρακάτω:

- Η δημοτικότητα των αυτόνομων συστημάτων – τόσο βάσει των διευθύνσεων IP, όσο και βάσει των ξεχωριστών αιτημάτων – ακολουθεί την κατανομή Zipf-Like. Το ίδιο ισχύει και για τη δημοτικότητα των χωρών με βάση τα αιτήματα.
- Η πρόσβαση στο σύστημα επηρεάζεται, κυρίως, από την ωριαία – σε αντιδιαστολή με την ημερήσια – συμπεριφορά των χρηστών.
- Τα χρονικά διαστήματα μεταξύ διαδοχικών συνόδων – και, επομένως, των αφίξεων διαφορετικών πελατών στους διακομιστές – βρέθηκαν να ακολουθούν την κατανομή Pareto. Αυτή η αστάθεια στη διαδικασία των αφίξεων μπορεί να αποδοθεί από την περιοδική επανάληψη μιας σύνθεσης σταθερών αφίξεων τύπου Poisson, με την καθεμία να εφαρμόζεται για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα – της τάξεων των λεπτών.
- Η ανάλυση των ενδιαφερόντων των πελατών αποτελεί μια εναλλακτική προσέγγιση στο θέμα της δημοτικότητας. Δεδομένου ότι μελέτησαν μόνο δύο ροές που αφορούσαν το ίδιο αδιάκοπο (Non-Stop) γεγονός, απεικόνισαν τη σχέση ανάμεσα στον αριθμό των αιτημάτων προς τη σειρά κατάταξης του κάθε χρήστη – ως προς το σύνολο των χρηστών – με βάση το σύνολο των αιτημάτων. Απέδειξαν ότι αυτή η σχέση μπορεί να αναπαρασταθεί από μια Zipf-Like κατανομή. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση που λαμβάνεται υπόψη ο αριθμός των συνόδων του κάθε χρήστη.
- Η λογαριθμοκανονική κατανομή βρέθηκε ότι μπορεί να περιγράψει ικανοποιητικά τόσο τη συχνότητα εμφάνισης των διαφόρων χρονικών διαρκειών για τις συνδέσεις των χρηστών στο σύστημα, όσο και την κατανομή των συχνοτήτων των χρονικών διαστημάτων μεταξύ των διαδοχικών συνόδων.

- Οι συνδέσεις στο σύστημα ενός πελάτη ακολουθούν διαδικασία Poisson, δηλαδή τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των αφίξεων περιγράφονται από την εκθετική κατανομή.
- Ο αριθμός των συνόδων για ένα χρήστη στο σύστημα μπορεί να προσεγγιστεί ικανοποιητικά από την κατανομή Pareto.
- Η λογαριθμοκανονική κατανομή μπορεί να προσεγγίσει ικανοποιητικά τη χρονική διάρκεια των συνόδων.
- Η κατανομή των χρονικών διαστημάτων μεταξύ των διαδοχικών συνόδων παρατηρείται να έχει ενισχυμένο άκρο. Η κατανομή Pareto μπορεί να την περιγράψει ικανοποιητικά.
- Η κατανάλωση του εύρους ζώνης ακολουθεί μια περιοδικότητα, της οποίας η μέγιστη τιμή προσεγγίζει τα 80Mbps.

2.6.5.3 *Η Έρευνα των Sripanidkulchai et al*

Οι Sripanidkulchai et al [Srip04] ασχολήθηκαν με ένα ευρύτερο σύνολο ‘ζωντανών’ πολυμεσιών ροών που συλλέχθηκε από διακομιστές του δικτύου διασποράς περιεχομένου (CDN) Akamai. Τα κυριότερα συμπεράσματα από την έρευνά τους είναι τα ακόλουθα:

- Η δημοτικότητα σε επίπεδο γεγονότων μπορεί να εκφραστεί από δύο διαφορετικές κατανομές Zipf-Like.
- Η εκθετική κατανομή μπορεί να περιγράψει τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των συνόδων για μικρές χρονικές κλίμακες. Αυτό σημαίνει διαδικασία αφίξεων Poisson.
- Υπάρχει θετικός συσχετισμός ανάμεσα στο μέγεθος των πολυμεσιών ροών και τη διάρκεια των συνόδων.
- Για τις μεγάλες πολυμεσιές ροές, το κύριο σώμα της κατανομής της διάρκειας συνόδου μπορεί να προσεγγιστεί ικανοποιητικά από τη λογαριθμοκανονική κατανομή. Όσον αφορά στην ουρά:
 - Για τις μεγάλες και αδιάκοπες ροές, η χρονική διάρκεια συνόδου ακολουθεί την κατανομή Pareto.
 - Για τις ροές των οποίων το περιεχόμενο βρέθηκε ότι ανακυκλώνεται, η χρονική διάρκεια συνόδου παρουσιάζει μια απότομη, κατακόρυφη πτώση γύρω στο τέλος της

περιόδου ανακύκλωσης του περιεχομένου και, στη συνέχεια, ακολουθεί την κατανομή Pareto.

- Όσον αφορά στους πελάτες:
 - Η γεωγραφική διασπορά τους είναι πολύ μεγαλύτερη από ό,τι συμβαίνει στα παραδοσιακά μέσα – π.χ. τηλεόραση, ραδιόφωνο.
 - Για τις επαναλαμβανόμενες ροές, ο μέσος ρυθμός γεννήσεων κυμαίνεται μεταξύ 10% και 100%.
 - Στις επαναλαμβανόμενες ροές, οι μισοί από τους νέους πελάτες τις παρακολουθούν μόνο για μια ημέρα. Για το άλλο μισό των πελατών, η μέση διάρκεια ζωής τους είναι τουλάχιστον το 1/3 των ημερών του αντίστοιχου γεγονότος.

2.7 Οι Εφαρμογές Ομότιμων Δικτύων

Όλες οι εφαρμογές που αναλύθηκαν παραπάνω ακολουθούν το δικτυακό μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή στη διακίνηση του διαδικτυακού περιεχομένου. Σύμφωνα με το μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή, το διαδικτυακό περιεχόμενο βρίσκεται συγκεντρωμένο σε μονάδες και συστήματα υψηλών επιδόσεων, τους εξυπηρετητές, ενώ οι χρήστες χρησιμοποιούν συστήματα μειωμένων ικανοτήτων, τους πελάτες, για να αιτηθούν το περιεχόμενο.

Το αντίπαλο δέος στο μοντέλο δικτύωσης πελάτη-εξυπηρετητή είναι το μοντέλο δικτύωσης των ομότιμων μηχανών, το οποίο ξεπήδησε από την αφάνεια – ύστερα από την αισθητή βελτίωση των δυνατοτήτων και των επιδόσεων των Η/Υ – και συνυπάρχει αρμονικά με την αρχιτεκτονική πελάτη-εξυπηρετητή. Στα δίκτυα ομότιμων μηχανών, η κάθε μονάδα μπορεί να παίζει ταυτόχρονα το ρόλο του πελάτη και του εξυπηρετητή. Αυτό σημαίνει ότι η κάθε ομότιμη μηχανή (Server, δηλαδή, SERVER + client) μπορεί να διαθέσει μέρος των πόρων της για τις ανάγκες του δικτύου.

Για όποιον ενδιαφέρεται να μάθει περισσότερα πάνω στο μοντέλο και τις εφαρμογές ομότιμων δικτύων, έχουν διεξαχθεί κάποιες συγκεντρωτικές εργασίες-κλειδιά όσον αφορά στον ορισμό, την κατηγοριοποίηση και τα βασικά σημεία και χαρακτηριστικά της λειτουργίας του μοντέλου δικτύωσης ομότιμων μηχανών. Ανάμεσα στις εργασίες αυτές διακρίνουμε και προτείνουμε τις έρευνες των: Schollmeier [Scho01], Androutsellis-Theotokis και Spinellis [Andr04c], Lua et al [Lua05], και Meshkova et al [Mesh08].

Σε γενικές γραμμές, οι εφαρμογές ομότιμων δικτύων μπορούν να ταξινομηθούν με βάση διάφορα κριτήρια. Έτσι, ο Schollmeier [Scho01] διακρίνει τις εφαρμογές ομότιμων δικτύων σε:

- Γνήσιες (Pure): Σε αυτές όλες οι μονάδες και τα συστήματα είναι ομότιμες μηχανές. Ως εκ τούτου, το ομότιμο δίκτυο μπορεί να ανεχθεί την απώλεια κάποιων ομότιμων μηχανών. Με βάση την αρχιτεκτονική τους, οι Androutsellis-Theotokis και Spinellis [Andr04c] τις ταξινομηθούν, περαιτέρω, σε:
 - Κατανεμημένες (Distributed, Decentralized): Σε αυτές δεν υπάρχει καμία κεντρική διαχείριση ή συντονισμός, παρά μόνο οι διάσπαρτες ομότιμες μηχανές που εκτελούν όλες τις απαραίτητες λειτουργίες του δικτύου.
 - Τμηματικώς Συγκεντρωτικές (Partially Centralized): Είναι όπως οι κατανεμημένες, μόνο που οι ομότιμες μηχανές οργανώνονται σε ομάδες, στις οποίες ορίζονται δυναμικά υπερ-ομότιμες μηχανές (Super-peers), που παίζουν κεντρικό οργανωτικό, συντονιστικό και διαχειριστικό ρόλο για την κάθε ομάδα. Όταν κάποια υπερ-ομότιμη μηχανή βγει εκτός δικτύου, ορίζεται δυναμικά κάποια άλλη που θα πάρει το ρόλο της.
- Υβριδικές (Hybrid): Σε αυτές το μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή καθορίζει ένα μέρος της λειτουργίας τους, συνήθως, τη διαδικασία της αναζήτησης περιεχομένου ή υπηρεσίας. Ως εκ τούτου, υπάρχουν μονάδες και συστήματα που παίζουν το ρόλο εξυπηρετητή, η απώλεια των οποίων επηρεάζει τη λειτουργία του ομότιμου δικτύου. Οι Androutsellis-Theotokis και Spinellis [Andr04c] χαρακτηρίζουν τις εφαρμογές αυτές με βάση την αρχιτεκτονική τους ως υβριδικά κατανεμημένες (Hybrid Decentralized).

Με βάση τη γενικότερη οργάνωση που σχετίζεται με τη λειτουργικότητά τους [Andr04c, Lua05, Mesh08], οι εφαρμογές ομότιμων δικτύων διακρίνονται σε:

- Δομημένες (Structured): Σε αυτές υπάρχει ένα οργανωμένο σύστημα χαρτογράφησης των ομότιμων μηχανών και του περιεχομένου – ή, των υπηρεσιών – που μπορούν να προσφέρουν. Η αναζήτηση πραγματοποιείται σε καθορισμένες ομότιμες μηχανές, οι οποίες είναι υπεύθυνες για το ζητούμενο περιεχόμενο. Αυτές οι ομότιμες μηχανές είτε κατευθύνουν προς την ομότιμη μηχανή, όπου βρίσκεται το περιεχόμενο, είτε κατέχουν

οι ίδιες το περιεχόμενο για το οποίο είναι υπεύθυνες. Ως εκ τούτου, εξασφαλίζεται η εύρεση του περιεχομένου.

- Αδόμητες (Unstructured): Σε αυτές το περιεχόμενο και οι υπηρεσίες παραμένουν διάσπαρτα στις ομότιμες μηχανές, ενώ δεν υπάρχει καμία οργάνωση ή χαρτογράφηση, όπως αυτή που παρουσιάστηκε παραπάνω. Ως εκ τούτου, δεν εξασφαλίζεται πάντοτε η εύρεση του ζητούμενου περιεχομένου ή της υπηρεσίας.

2.7.1 Εφαρμογές Ομότιμων Δικτύων για Ανταλλαγή Αρχείων

Η κυριότερη εφαρμογή – με κυκλοφοριακό που κατακλύζει το Διαδίκτυο – του μοντέλου δικτύωσης ομότιμων μηχανών αφορά στην ανταλλαγή αρχείων μεταξύ των χρηστών. Έχουν, κατά καιρούς, αναπτυχθεί διάφορες εφαρμογές ομότιμων δικτύων για την ανταλλαγή αρχείων [Mesh08]. Παρακάτω, παρουσιάζουμε τις κυριότερες από αυτές, οι οποίες έχουν απασχολήσει σε μεγάλο βαθμό σχετικά με το χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας που παράγουν.

2.7.1.1 Napster

Πρόκειται για μια υβριδική και αδόμητη εφαρμογή ομότιμου δικτύου για ανταλλαγή αρχείων ήχου mp3. Ένα σύστημα κεντρικών εξυπηρετητών καθοδηγεί τις ομότιμες μηχανές στη μεταξύ τους επικοινωνία. Σήμερα, ύστερα από μια σειρά δικαστικών διαμαχών, το δίκτυο Napster έχει αποκτήσει μια καθαρά εμπορική φυσιογνωμία.

2.7.1.2 Gnutella και Gnutella2

Το Gnutella είναι ένα αδόμητο δίκτυο, με γνήσια κατανεμημένη αρχιτεκτονική. Σύντομα μετά την ανάπτυξή του, το δίκτυο έγινε δυσλειτουργικό εξαιτίας της αδυναμίας του να αντεπεξέρθει στη γιγάντωση του και στη συχνή, αποσταθεροποιητική αποσύνδεση των ομότιμων μηχανών. Έτσι, το δίκτυο αναβαθμίστηκε στο Gnutella2, το οποίο μπόρεσε να αντιμετωπίσει τα προβλήματα του προιατόχου του, ακολουθώντας μια τμηματικώς συγκεντρωτική αρχιτεκτονική.

2.7.1.3 FastTrack / Kazaa

Το ομότιμο δίκτυο FastTrack είναι περισσότερο γνωστό από το όνομα του κυρίαρχου λογισμικού πελάτη-εξυπηρετητή Kazaa που συνδέεται σε αυτό. Αποτελεί, ίσως, τον πρώτο εκπρόσωπο μιας γενιάς ομότιμων δικτύων, που μπορεί να εξασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό το απόρρητο της επικοινωνίας, πραγματοποιώντας κρυπτογράφηση του κυκλοφοριακού.

Πρόκειται για ένα αδόμητο δίκτυο που μπορεί να χαρακτηριστεί ως υβριδικό και τμηματικώς συγκεντρωτικό, δεδομένου ότι χρησιμοποιεί εξυπηρετητές για την ενημέρωση των απλών ομότιμων μηχανών σχετικά με την ύπαρξη υπερ-ομότιμων μηχανών, ώστε να συνδεθούν σε συγκεκριμένες ομάδες.

2.7.1.4 *eDonkey*

Ξεινήσε ως ένα υβριδικό δίκτυο, όπου η κάθε ομότιμη μηχανή συνδέεται με έναν εξυπηρετητή που προσφέρει υπηρεσία καταλογογράφησης. Οι εξυπηρετητές έχουν τη δυνατότητα να ανταλλάσσουν μεταξύ τους πληροφορίες. Επιπλέον, ο εξυπηρετητής στέλνει μια λίστα με άλλους εξυπηρετητές στην κάθε ομότιμη μηχανή. Μια ομότιμη μηχανή μπορεί να αποφορτώνει τμήματα του αντικειμένου (αρχείου) από πολλές ομότιμες μηχανές ταυτόχρονα. Στη σημερινή εποχή, τα λογισμικά πελάτες-εξυπηρετητές του δικτύου eDonkey – π.χ., το λογισμικό eMule κλπ. – υποστηρίζουν δύο επιπλέον γνήσια και δομημένα ομότιμα δίκτυα, τα Overnet και Kad.

2.7.1.5 *Bittorrent*

Πρόκειται για ένα αδόμητο και υβριδικό ομότιμο δίκτυο για την ανταλλαγή αρχείων, το οποίο δίνει έμφαση στη δίκαιη αντιμετώπιση των ομότιμων μηχανών, όσον αφορά στην επιφόρτωση και αποφόρτωση των αρχείων. Ακόμη και οι ομότιμοι που διαθέτουν μόνο ένα μέρος του αρχείου (Leeches) συμμετέχουν στην επιφόρτωσή του. Επιπλέον, το δίκτυο προσπαθεί πάντα να διαδώσει πρώτα τα σπανιότερα τμήματα του αρχείου, ώστε να εξασφαλιστεί κατά το δυνατό η ακεραιότητα του, ακόμη και όταν δεν υπάρχουν ομότιμοι που να κατέχουν όλο το αρχείο (Seeders).

Η διαδικασία της επιφόρτωσης /αποφόρτωσης από τους χρήστες χωρίζεται σε τρία στάδια:

- Ο χρήστης προμηθεύεται από κάποιο δικτυακό τόπο ένα πληροφοριακό αρχείο τύπου 'torrent' σχετικά με το αρχείο που θέλει να αποφορτώσει. Το αρχείο 'torrent' παρέχει πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος και την κατάτμηση του προς αποφόρτωση αρχείου, καθώς και πληροφορίες σχετικά με τους εξειδικευμένους εξυπηρετητές (Trackers) που γνωρίζουν ποιες ομότιμες μηχανές διαπραγματεύονται το αρχείο.
- Η εφαρμογή ομότιμης μηχανής του χρήστη – π.χ. Azureus – εκμεταλλεύεται τις πληροφορίες του αρχείου 'torrent' και συνδέεται με έναν εξειδικευμένο εξυπηρετητή, ο

οποίος της παρέχει μια λίστα με ομότιμες μηχανές, που κατέχουν είτε όλο, είτε τμήματα του αρχείου.

- Η ομότιμη μηχανή του χρήστη επικοινωνεί με τις υπόλοιπες ομότιμες μηχανές και ανταλλάσσει τμήματα του αρχείου.

ΕΡΕΥΝΑ	ΔΙΚΤΥΑ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ
Saroiu et al [Sar02]	Napster, Gnutella	Crawler	4(8) ημέρες
Chu et al [Chu02]	Napster, Gnutella	Λογισμικό πελάτη	~41(82) ημέρες
Leibowitz et al [Leib02]	FastTrack	Υποκλοπή	1 μήνας
Leibowitz et al [Leib03]	FastTrack	Υποκλοπή	1 μήνας
Bustamante και Qiao [Bust03]	Gnutella	Λογισμικό πελάτη	7 ημέρες
Gummadi et al [Gumm03]	FastTrack	Υποκλοπή	~ 203 ημέρες
Le Fessant et al [Fess04]	eDonkey	Crawler	1 εβδομάδα
Sen και Wang [Sen04a]	FastTrack, Gnutella, DirectConnect	Υποκλοπή	3 μήνες
Tutschku [Tuts04]	eDonkey	Υποκλοπή	296 ώρες
Andreolini et al [Andr04a]	Gnutella	Crawler, Υποκλοπή	~ 3 μήνες
Powelse et al [Pow05]	BitTorrent	Crawler, Σενάρια (Scripts)	8 μήνες
Plissonneau et al [Plis05]	eDonkey, BitTorrent, FastTrack, WinMX	Υποκλοπή	~ 1 μήνας
Guo et al [Guo05b]	BitTorrent	Ημερολόγιο Εξυπηρετητή (Tracker), Υποκλοπή	48 ημέρες, 10 ημέρες
Liu et al [Liu05]	Maze (Πανεπιστημιακό)	Ημερολόγιο εξυπηρετητή	4 μήνες
Plissonneau et al [Plis06]	eDonkey	Υποκλοπή	5½ ημέρες
Stutzbach και Rejaie [Stut06]	Gnutella, BitTorrent, eDonkey/Kad	Crawler, Ημερολόγιο Εξυπηρετητή (Tracker)	37 μήνες
Saleh και Hefeeda [Sal06]	Gnutella	Τροποποιημένο Limewire	3 μήνες
Perenyi et al [Per06]	P2P	NetFlow	1 ημέρα
Stutzbach et al [Stut07]	Gnutella	Crawler	~ 1 έτος
Basher et al [Bash08]	Gnutella, BitTorrent	Υποκλοπή	~ 25 ημέρες
Erman et al [Erm010]	BitTorrent	Υποκλοπή, Τροποποιημένο λογισμικό πελάτη	1 και 3 εβδομάδες

Πίνακας 2.6. Συνοπτική παρουσίαση της έρευνας για το χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της δραστηριότητας στις εφαρμογές ομότιμων δικτύων για ανταλλαγή αρχείων

2.7.2 Χαρακτηρισμός της Δραστηριότητας στις Εφαρμογές Ομότιμων Δικτύων για Ανταλλαγή Αρχείων

Αν ανατρέξουμε στη βιβλιογραφία, θα βρούμε μια μεγάλη ποικιλία από ερευνητικές προσπάθειες πάνω στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας, που παράγεται από τις εφαρμογές ομότιμων δικτύων για την ανταλλαγή αρχείων. Στον πίνακα 2.5 παρουσιάζονται οι κυριότερες έρευνες και τα βασικά χαρακτηριστικά τους, ταξινομημένες με βάση την ημερομηνία δημοσίευσής τους.

Στις παραπάνω έρευνες για το χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας των εφαρμογών ομότιμων δικτύων για την ανταλλαγή αρχείων, περιλαμβάνονται μόνο μακροσκοπικά χαρακτηριστικά που αφορούν στο σύνολο της δραστηριότητας. Τα μακροσκοπικά αυτά χαρακτηριστικά αφορούν στα αντικείμενα (δημοτικότητα και μέγεθος), στις ομότιμες μηχανές (συχνότητα σύνδεσης και διάρκεια παραμονής στο δίκτυο, γενικότερη συμπεριφορά) και στις συνόδους ανάμεσα στους ομότιμους (διάρκεια, χρονικά διαστήματα μεταξύ διαδοχικών συνόδων, ποσότητα μεταφερόμενης πληροφορίας).

2.7.2.1 Ανάλυση Δημοτικότητας

Για την ανάλυση της δημοτικότητας των αντικειμένων έχουν γίνει παρατηρήσεις με βάση και τους δύο βασικούς τρόπους έκφρασής της, όπως αναλύθηκαν στην παράγραφο 2.5.1.1.

Όσον αφορά στην πρώτη μέθοδο, οι Leibowitz et al [Leib02, Leib03] κατέληξαν ότι η αθροιστική κατανομή των αποφορτώσεων ως προς τον αριθμό των αντικειμένων εμφανίζει ενισχυμένη ουρά.

Όσον αφορά στη δεύτερη και δημοφιλέστερη μέθοδο απόδοσης της δημοτικότητας των αντικειμένων, οι Andreolini et al [Andr04a] υποστηρίζουν ότι ο αριθμός των αντιγράφων των αρχείων στους ομότιμους μπορεί να περιγράψει τη δημοτικότητά τους, ενώ οι Liu et al [Liu05] έχουν αντίθετη άποψη. Λαμβάνοντας υπόψη και τις δύο απόψεις, τα συμπεράσματα είναι ανάμεικτα:

- Μέρος της έρευνας [Andr04a, Fess04] κατέληξε ότι η οικογένεια κατανομών Zipf/Zipf-Like μπορεί να περιγράψει τη δημοτικότητα.
- Η γενικευμένη κατανομή Zipf-Mandelbrot μπορεί, επίσης, να περιγράψει τη δημοτικότητα σε ορισμένες περιπτώσεις [Sal06].

- Υπάρχουν έρευνες [Chu02] που έδειξαν ότι πολλαπλές κατανομές Zipf/Zipf-Like μπορούν να περιγράψουν τη δημοτικότητα.
- Υπάρχουν μελέτες [Gumm03, Liu05, Plis06, Stut07] που κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η δημοτικότητα δε μπορεί να αποδοθεί από μια απλή κατανομή Zipf/Zipf-Like.

Σχετικά με τις διακυμάνσεις της δημοτικότητας των αντικειμένων/αρχείων στη διάρκεια της ζωής τους:

- Η δημοτικότητα των αντικειμένων είναι σχετικά εφήμερη [Leib03, Gumm03]. Αυτό οφείλεται, κυρίως, στο γεγονός ότι τα αντικείμενα δεν αλλάζουν, όπως γίνεται στον παγκόσμιο ιστό.
- Για την περίπτωση του BitTorrent, μάλιστα, οι Guo et al [Guo05b] εκτίμησαν ότι ο αριθμός των ομότιμων που ζητούν ένα αντικείμενο μειώνεται εκθετικά με την ηλικία του αντικειμένου.
- Οι Stutzbach et al [Stut07] κατέληξαν στα εξής:
 - Τα πιο δημοφιλή αντικείμενα υφίστανται μεγαλύτερες διακυμάνσεις.
 - Τα περισσότερα αντικείμενα κτίζουν τη δημοτικότητά τους για μήνες, προτού αυτή μεγιστοποιηθεί. Αφού παραμείνει για αρκετό καιρό στο μέγιστο επίπεδό της, παρουσιάζει σταδιακή κάμψη.
 - Το 60% των αντικειμένων που διατηρούν το επίπεδο της δημοτικότητάς τους για μια εβδομάδα είναι σε θέση να το διατηρήσουν για τουλάχιστον δέκα βδομάδες.

Κάποιες πολύ χρήσιμες, επιπρόσθετες παρατηρήσεις που αφορούν στη δημοτικότητα συνοψίζονται παρακάτω:

- Υπάρχει μια προτίμηση στα μικρά αρχεία – κυρίως του ήχου [Gumm03, Andr04a].
- Όσον αφορά στα αντικείμενα που ζητήθηκαν μόνο μια φορά, οι Andreolini et al [Andr04a] εκτίμησαν ότι το ποσοστό τους είναι μεγάλο.

2.7.2.2 *Μέγεθος Αντικειμένων*

Σχετικά με το μέγεθος των αντικειμένων-αρχείων που ανταλλάσσονται, η έρευνα έχει οδηγήσει στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι Leibowitz et al [Leib03] αναφέρουν μεγάλη ποικιλία μεγεθών ανάλογα με το τύπο των αρχείων (εικόνα, ήχος, βίντεο, κλπ.). Στην πιο σύγχρονη έρευνά τους, οι Stutzbach et al [Stut07] βρήκαν ότι τα μικρά αρχεία ήχου και τα μεγάλα αρχεία βίντεο κυριαρχούν στο σύστημα Gnutella και συμβάλλουν στον κύριο όγκο της αποθηκευμένης πληροφορίας. Το ίδιο φαίνεται να ισχύει και για το δίκτυο eDonkey [Fess04].
- Κατά τους Andreolini et al [Andr04a]:
 - Η λογαριθμοκανονική κατανομή μπορεί να περιγράψει το μέγεθος στα αρχεία εγγράφων και ήχου.
 - Για τα αρχεία βίντεο, ο συνδυασμός της λογαριθμοκανονικής και της κατανομής Pareto μπορεί να περιγράψει το κύριο σώμα και την ουρά, αντίστοιχα.
 - Ο συνδυασμός της λογαριθμοκανονικής και της κατανομής Pareto μπορεί να περιγράψει το μέγεθος των αντικειμένων, που προσφέρει ένας ομότιμος στη διάρκεια της ημέρας.

2.7.2.3 *Ανάλυση Συνόδων*

Με βάση τον ορισμό που δώσαμε στη σύνοδο στην παράγραφο 2.4, σε ένα δίκτυο P2P, η σύνοδος αφορά την επικοινωνία δύο ομότιμων μηχανών για τη μεταφορά ενός τμήματος ή ακόμης και ολόκληρου του αντικειμένου. Είναι δυνατό, για την αποφόρτωση του αντικειμένου, κάποια ομότιμη μηχανή να πραγματοποιήσει πολλές ταυτόχρονες, παράλληλες συνόδους με άλλους ομότιμους. Οι Erman et al [Erm010] προσέγγισαν τα χρονικά όρια της συνόδου επικοινωνίας μεταξύ δύο ομότιμων μηχανών από αυτά της συνόδου TCP. Πρόκειται για μια πολύ χρήσιμη παρατήρηση, δεδομένου ότι μια πολύ μεγάλη μερίδα της έρευνας αναλύει τα ομότιμα δίκτυα σε επίπεδο TCP.

Σχετικά με τη χρονική διάρκεια των συνόδων στις εφαρμογές ομότιμων δικτύων για ανταλλαγή αρχείων:

- Οι Saroiu et al [Sar02] διαπιστώνουν ότι μισές συνόδοι διαρκούν κάτω από μια ώρα.
- Σε όρους διάρκειας ροής TCP, ο Tutscku [Tuts04] διαπίστωσε μια σχεδόν γραμμική μορφή στη σχετική κατανομή.
- Κατά τους Plissonneau et al [Plis05]: 1. Για τα δίκτυα eDonkey και FastTrack, η λογαριθμοκανονική κατανομή μπορεί να περιγράψει τη διάρκεια των συνόδων. 2. Για το

δίκτυο BitTorrent, δε βρέθηκε κάποια κατανομή να είναι κατάλληλη, όμως, η διάρκεια των συνόδων είναι μεγαλύτερη από ό,τι στα δίκτυα eDonkey και FastTrack.

- Οι Perenyi et al [Per06] βρήκαν ότι η κατανομή Pareto μπορεί να περιγράψει τη διάρκεια των συνόδων για το σύνολο των εφαρμογών P2P.
- Αν υποθέσουμε ότι η ροή TCP μπορεί να περιγράψει τη σύνοδο μεταξύ δύο ομοτίμων, οι Basher et al [Bash08] βρήκαν ότι ο συνδυασμός Weibull-Pareto μπορεί να μοντελοποιήσει τη χρονική διάρκεια των συνόδων στο σύνολο του P2P, αλλά και για το BitTorrent, ενώ ο συνδυασμός λογαριθμοκανονική-Pareto είναι καταλληλότερος για το Gnutella.
- Οι Erman et al [Erm010] διαπίστωσαν ότι η λογαριθμοκανονική κατανομή μπορεί να μοντελοποιήσει τη διάρκεια των συνόδων προς μια ομότιμη μηχανή, που κατέχει πλήρως κάποιο αντικείμενο.

Σχετικά με την ποσότητα πληροφορίας που μεταφέρεται στις συνόδους:

- Τα μεγάλα αρχεία, κυρίως, βίντεο και εφαρμογών, συμβάλλουν περισσότερο στο κυκλοφοριακό [Leib03, Gumm03, Andr04a, Liu05]. Οι Leibowitz et al [Leib03] διαπίστωσαν μια γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στα δύο μεγέθη.
- Ο Tutscku [Tuts04] βρήκε ότι η ποσότητα πληροφορίας στις συνόδους μεταξύ των ομοτίμων όπου πραγματοποιείται αποφόρτωση μπορεί να μοντελοποιηθεί από τη λογαριθμοκανονική κατανομή. Αντίθετα, η εκθετική κατανομή μπορεί να περιγράψει τις μικρές ποσότητες πληροφορίας που διακινούνται στις συνόδους σηματοδότησης μεταξύ των ομοτίμων μηχανών.
- Οι Plissonneau et al [Plis05] διαπίστωσαν ότι: 1. Για το δίκτυο eDonkey, η λογαριθμοκανονική κατανομή μπορεί να περιγράψει απόλυτα τη μεταφερόμενη ποσότητα πληροφορίας. 2. Για το δίκτυο FastTrack, ο συνδυασμός της λογαριθμοκανονικής (κύριο σώμα) και της Pareto (ουρά) είναι καταλληλότερος. 3. Στο δίκτυο BitTorrent, η κατανομή Weibull είναι η καταλληλότερη.
- Οι Perenyi et al [Per06] βρήκαν ότι η κατανομή Pareto μπορεί να περιγράψει την ποσότητα της πληροφορίας που διακινείται στις συνόδους για το σύνολο των εφαρμογών P2P.

- Κατά τους Basher et al [Bash08], ο συνδυασμός των κατανομών Weibull και Pareto μπορούν να μοντελοποιήσουν ικανοποιητικά την ποσότητα της πληροφορίας που μεταφέρεται ανά σύνοδο στα δίκτυα P2P. Αντίθετα, αν απομονώσουμε την έρευνα στα δίκτυα BitTorrent και Gnutella, ο συνδυασμός της λογαριθμοκανονικής και της κατανομής Pareto είναι περισσότερο κατάλληλος.
- Οι Erman et al [Erm010] διαπίστωσαν ότι η λογαριθμοκανονική κατανομή μπορεί να μοντελοποιήσει την ποσότητα της πληροφορίας των συνόδων προς μια ομότιμη μηχανή, που κατέχει πλήρως κάποιο αντικείμενο.

Σχετικά με τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών συνόδων:

- Οι Sen και Wang [Sen04a] υπονοούν πολύ μικρά χρονικά διαστήματα με βάση τις ροές TCP.
- Ο Tutscku [Tuts04] διαπίστωσε μια εκθετική κατανομή στα χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών ροών TCP. Δηλαδή, οι διάφορες σύνοδοι ακολουθούν διαδικασία Poisson.
- Κατά τους Basher et al [Bash08] μπορούν να μοντελοποιηθούν από το συνδυασμό των κατανομών Weibull και Pareto.
- Οι Erman et al [Erm010] διαπίστωσαν ότι η υπερεκθετική κατανομή μπορεί να μοντελοποιήσει τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των συνόδων προς μια ομότιμη μηχανή, που κατέχει πλήρως κάποιο αντικείμενο.

2.7.2.4 Ανάλυση σε Επίπεδο Ομότιμων Μηχανών

Σχετικά με τη διαδικασία αφίξεων των ομότιμων μηχανών, στο σύνολό τους, στο δίκτυο:

- Ενώ οι Guo et al [Guo05b] βρήκαν μια διαδικασία αφίξεων Poisson, το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας έχει οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι δεν είναι Poisson [Pow05, Stut06].
- Οι Stutzbach και Rejaie [Stut06] κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών αφίξεων ακολουθούν την κατανομή Weibull.

Αν η διαδικασία αφίξεων επικεντρωθεί στην κάθε ομότιμη μηχανή, ξεχωριστά, τότε:

- Κατά τους Stutzbach και Rejaie [Stut06], οι ομότιμες μηχανές στο δίκτυο BitTorrent τείνουν να μην επιστρέφουν, όταν αποσυνδέονται, ενώ όταν επιστρέφουν, το κάνουν σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Αντίθετα, στα δίκτυα Gnutella και eDonkey/Kad, οι ομότιμες μηχανές έχουν την τάση να επιστρέφουν όλο και πιο σύντομα.

Ένα, επιπλέον, χρήσιμο χαρακτηριστικό στη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των ομότιμων μηχανών είναι το χρονικό διάστημα, που διαρκεί η σύνδεσή τους στο δίκτυο. Συγκεκριμένα:

- Οι Chu et al [Chu02] πρότειναν, εμμέσως, τη χρήση δύο διαφορετικών κατανομών Pareto.
- Κάποιοι βρίσκουν ότι η κατανομή Pareto μπορεί να μοντελοποιήσει αυτά τα χρονικά διαστήματα [Bust03].
- Μέρος της έρευνας βρίσκει τη σχετική κατανομή, απλά, να έχει ενισχυμένη ουρά [Gumm03, Sen04a].
- Οι Stutzbach και Rejaie [Stut06] διαπίστωσαν ότι η κατανομή Weibull μοντελοποιεί καλύτερα την εμπειρική κατανομή, η οποία δεν παρουσιάζει ενισχυμένη ουρά. Επιπλέον, για την περίπτωση του Gnutella και του eDonkey/Kad, η λογαριθμοκανονική κατανομή είναι, επίσης, κατάλληλη.

Ένα μεγάλο μέρος της έρευνας [Chu02, Sar02, Bust03, Pow05] κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι ομότιμες μηχανές τείνουν να συμπεριφέρονται αρνητικά ως προς το όφελος του δικτύου. Αυτό διαπιστώνεται από τα εξής σημεία:

- Η διαθεσιμότητά τους προς εξυπηρέτηση είναι περιορισμένη.
- Δηλώνουν πολύ μικρότερο εύρος ζώνης από ό,τι το πραγματικό.
- Ένα μεγάλο – ή, το μεγαλύτερο – ποσοστό τους συμπεριφέρεται περισσότερο ως πελάτης (Free Riding).
- Ο χρόνος παραμονής τους στο δίκτυο είναι εξαιρετικά μικρός, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει επαρκής αριθμός αντιγράφων των αρχείων.
- Στα δίκτυα τύπου BitTorrent, οι ομότιμες μηχανές που διαθέτουν πλήρη αντίγραφα των αντικειμένων είναι σπάνιες.

Επιπλέον:

- Σχετικά με τη συνδεσιμότητα μεταξύ των ομότιμων μηχανών, οι Sen και Wang [Sen04a] βρήκαν ότι η κατανομή έχει ενισχυμένη ουρά. Οι Plissonneau et al [Plis05] παρατήρησαν ότι η συνδεσιμότητα των ομότιμων μηχανών είναι μεγαλύτερη στο δίκτυο eDonkey από ό,τι στα υπόλοιπα δίκτυα.
- Για το δίκτυο BitTorrent, έχουν μελετηθεί τα χρονικά διαστήματα στα οποία οι ομότιμοι παίζουν το ρόλο του παρόχου (Seeder) ενός αρχείου:
 - Οι Guo et al [Guo05b] βρήκαν ότι η εκθετική κατανομή μπορεί να τα περιγράψει.
 - Οι Stutzbach και Rejaie [Stut06] αντιτέθηκαν στη χρήση της εκθετικής κατανομής και αντιπρότειναν τη χρήση της κατανομής Weibull.
- Κατά τους Stutzbach και Rejaie [Stut06], το χρονικό διάστημα στο οποίο μια ομότιμη μηχανή παραμένει στα δίκτυα Gnutella και eDonkey/Kad μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη των μελλοντικών χρονικών διαστημάτων της. Αυτό δεν ισχύει στην περίπτωση του BitTorrent.
- Οι Perenyi et al [Per06] βρήκαν ότι η κατανομή της ποσότητας πληροφορίας των αποφορτώσεων στις εφαρμογές P2P προς τις ομότιμες μηχανές είναι τύπου Zipf.

2.7.2.5 *Λοιπά Χαρακτηριστικά*

Κάποια επιπρόσθετα στοιχεία σχετικά με το χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της δραστηριότητας των ομότιμων δικτύων για την ανταλλαγή αρχείων είναι τα εξής:

- Οι Saroiu et al [Sar02] βρήκαν ότι ο αριθμός των αντικειμένων είναι ομοιόμορφα κατανεμημένος στο σύνολο των ομότιμων μηχανών. Αντίθετα, οι Stutzbach et al [Stut07] κατέληξαν σε μια εντελώς τυχαία κατανομή.
- Κατά τους Leibowitz et al [Leib03], ο ρυθμός εμφάνισης νέων αντικειμένων είναι πτωτικός και αυτό υποδηλώνει μεγάλη χρονική τοπικότητα.
- Το χρονικό σημείο στη διάρκεια της ημέρας επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη διαθεσιμότητα των ομότιμων μηχανών [Chu02] και τη συγκέντρωση των συνόδων [Sen04a]. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Plissonneau et al [Plis05], αλλά μόνο για τα δίκτυα FastTrack και WinMX. Για τα δίκτυα BitTorrent και eDonkey, το

κυκλοφοριακό παρουσιάζεται πιο ομοιόμορφο στα διάφορα χρονικά σημεία της ημέρας. Οι Perenyi et al [Per06] επισήμαναν ότι το κυκλοφοριακό είναι περισσότερο ομοιόμορφο στη διάρκεια της ημέρας για τις εφαρμογές P2P, εξαιτίας της δυνατότητας των ομότιμων μηχανών να λειτουργούν, χωρίς να είναι απαραίτητη η παρουσία των χρηστών.

- Οι Plissonneau et al [Plis06] εμβάθυναν την έρευνά τους πάνω στο eDonkey σε επίπεδο αρχείων και συμπέραναν ότι:
 - Υπάρχει συσχετισμός ανάμεσα στη δημοτικότητα και το χρονικό διάστημα αναμονής των ομότιμων, ώπου να ξεκινήσει η αποφόρτωση του αρχείου.
 - Η διάρκεια αποφόρτωσης των αντικειμένων/αρχείων ποικίλλει από 6 ώρες, κατά μέσο όρο, για τα μικρότερα, σε μερικές ημέρες για τα μεγαλύτερα.
 - Όσον αφορά στη μέση ταχύτητα αποφόρτωσης των αρχείων, αυτή παρατηρήθηκε μεγαλύτερη για τα πιο δημοφιλή και τα πιο σπάνια αρχεία, και μικρότερη για τα αρχεία μέσης δημοτικότητας.

2.7.3 Εφαρμογές Ομότιμων Δικτύων στη Μεταφορά Πολυμέσων

Με γνώμονα το παραγόμενο κυκλοφοριακό στο Διαδίκτυο, οι εφαρμογές ομότιμων δικτύων στη μεταφορά πολυμέσων – κυρίως πραγματικού χρόνου ή ζωντανής μετάδοσης – θεωρούνται από τις πλέον ανερχόμενες και κεντρίζουν το ενδιαφέρον όλο και περισσότερων χρηστών. Το ομότιμο δίκτυο Skype αποτελεί μια τέτοια εφαρμογή. Η αρχιτεκτονική και η λειτουργία του είναι ίδιες με του Kazaa στην ανταλλαγή αρχείων. Όσον αφορά στο επίπεδο εφαρμογής του και συγκεκριμένα στη συμπεριφορά των υπερ-ομότιμων μηχανών, η έρευνα έδειξε ότι επιδεικνύουν μια σταθερή παρουσία στο σύστημα [Guha06, Xie07], με τη διάρκεια παραμονής τους να κατανέμεται κατά προσέγγιση σύμφωνα με την κατανομή Pareto [Guha06]. Επιπλέον, οι αφίξεις των υπερ-ομότιμων μηχανών μπορούν να μοντελοποιηθούν με βάση την κατανομή Poisson, με κυμαινόμενους ρυθμούς άφιξης στη διάρκεια της ημέρας, ενώ οι κλήσεις και οι ανταλλαγές αρχείων, που περνάνε από τις υπερ-ομότιμες μηχανές, ακολουθούν τη διαδικασία Poisson [Guha06]. Ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός ότι οι ομότιμες μηχανές παρουσιάζονται να είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο κυρίως στις ώρες εργασίας [Guha06, Ross08]. Πραγματοποιήθηκε, επίσης, ανάλυση της

γεωγραφικής κατανομής των υπερ-ομότιμων μηχανών [Guha06, Xie07] με αντικρουόμενα αποτελέσματα, όσον αφορά στην παρουσία τους σε Ευρώπη και Βόρεια Αμερική.

Επιπλέον, τα ομότιμα δίκτυα βρίσκουν μεγάλη άνθιση στις εφαρμογές διαδικτυακής τηλεόρασης. Στο τομέα αυτό, έχουν αναπτυχθεί πολλά πρωτόκολλα, χωρίς να έχει μέχρι στιγμής καθιερωθεί κάποιο επίσημο πρότυπο. Τα σημαντικότερα πρωτόκολλα μέχρι στιγμής είναι τα: SopCast, TVAnts, PPLive και PPStream [Silv09]. Η έρευνα πάνω στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση αυτών των εφαρμογών βρίσκεται ακόμη σε αρχικά στάδια. Σε επίπεδο εφαρμογής, η βιβλιογραφία, μέχρι στιγμής, αναφέρει κάποια χρήσιμα συμπεράσματα:

- Σε μια από τις πρώτες εργασίες στο αντικείμενο και συγκεκριμένα πάνω στο δίκτυο CoolStreaming, οι Zhang et al [Zha05] βρήκαν ότι η σύνδεση των χρηστών στο σύστημα είναι μια διαδικασία Poisson για την περίπτωση, όπου δεν υπάρχει κάποιο δημοφιλές πρόγραμμα. Οι χρήστες διαμένουν, κυρίως, στην Κινεζική επικράτεια, γεγονός που εξηγείται από τα προγράμματα στην κινεζική γλώσσα που μεταδίδονται μέσω του δικτύου.
- Για το PPLive, οι Vu et al [Vu07] παρατήρησαν ότι:
 - Κάθε ομότιμη μηχανή διατηρεί επικοινωνία με ορισμένο αριθμό ομότιμων μηχανών ανεξαρτήτως της δημοτικότητας των καναλιών.
 - Η δημοτικότητα επηρεάζει τη συνδεσιμότητα των ομότιμων μηχανών, αν, δηλαδή, αυτές οργανώνονται σε κλειστές ομάδες (Clusters) ή συνδέονται εντελώς τυχαία.
 - Οι χρήστες είναι πολύ ανυπόμονοι, με την εκθετική κατανομή να μπορεί να μοντελοποιήσει τη χρονική διάρκεια παραμονής τους σε ένα κανάλι.
 - Οι διακυμάνσεις της δημοτικότητας των καναλιών στη διάρκεια της ημέρας μπορούν να μοντελοποιηθούν από πολυώνυμα άνω του όγδοου βαθμού.
- Οι Silverston et al [Silv09] βρήκαν ότι η κατανομή Weibull μπορεί να περιγράψει – και για τα τέσσερα πρωτόκολλα – τη χρονική διάρκεια των συνόδων των ομότιμων, που τροφοδοτούν με πολυμεσικό περιεχόμενο την πειραματική ομότιμη μηχανή τους.

2.8 Άλλες Εφαρμογές

Στο σημείο αυτό αναλύουμε μια σειρά από εφαρμογές, οι οποίες χαρακτηρίζονται από τη μηδενική ανοχή που έχουν στις καθυστερήσεις.

Οι Humar et al [Hum09] μελέτησαν τη διαδικτυακή δραστηριότητα της εφαρμογής απομακρυσμένης σύνδεσης σε γραφικό περιβάλλον εργασίας της Microsoft. Παρατήρησαν διακυμάνσεις σε εβδομαδιαίο και ημερήσιο επίπεδο. Τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών συνόδων ακολουθούν, γενικά, την κατανομή Weibull, ενώ ακολουθούν εκθετική κατανομή σε περιόδους υψηλής δραστηριότητας. Τέλος, η χρονική διάρκεια των συνόδων ακολουθεί την κατανομή Pareto.

Τα διαδικτυακά παιχνίδια έχουν μεγάλη απήχηση στους χρήστες, ενώ η δημοτικότητά τους παρουσιάζει συνεχώς αυξητικές τάσεις, με αποτέλεσμα να συμβάλλουν καθοριστικά στη διαμόρφωση του κυκλοφοριακού του Διαδικτύου. Επιπλέον, οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, που καλούνται να προσφέρουν οι εξυπηρετητές-παιχνομηχανές, έχουν ιδιαίτερη σημασία για την τελική εντύπωση, που αποκομίζει ο χρήστης.

2.8.1 Χαρακτηρισμός & Μοντελοποίηση των Διαδικτυακών Παιχνιδιών

Έχει καταγραφεί μια σχετικά πλούσια βιβλιογραφία, όσον αφορά στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση σε αυτές τις εφαρμογές.

2.8.1.1 *Η Εργασία των Henderson και Bhatti*

Οι Henderson και Bhatti [Hend01] μελέτησαν τις διακυμάνσεις στον αριθμό των χρηστών, τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών συνόδων και τη διάρκεια των συνόδων για μια σειρά εξυπηρετητές δύο πολύ γνωστών διαδικτυακών παιχνιδιών. Ο αριθμός των χρηστών επηρεάζεται τόσο από τη χρονική σημείο της ημέρας, όσο και από την ανταγωνιστική φύση των ίδιων των χρηστών που διεγείρεται μέσα από αυτά τα παιχνίδια, οι οποίοι επιλέγουν να συνδέονται σε χρονικές στιγμές όπου υπάρχουν πολλοί ανταγωνιστές. Η χρονική διάρκεια συνόδου μπορεί να μοντελοποιηθεί από την εκθετική κατανομή, ενώ η κατανομή των χρονικών διαστημάτων μεταξύ των διαδοχικών συνόδων παρουσιάζει ενισχυμένη ουρά – δηλαδή, τα χρονικά διαστήματα μπορούν να μοντελοποιηθούν από μια κατανομή Pareto.

2.8.1.2 *Η Εργασία των Kwok και Yeung*

Οι Kwok και Yeung [Kwok05] οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι η χρονική διάρκεια συνόδου μπορεί να μοντελοποιηθεί από την κατανομή Pareto. Χωρίζοντας το σύνολο του

διαδικτυακού παιχνιδιού σε πίστες, βρήκαν ότι τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών επισκέψεων σε μια πίστα κατανέμονται εκθετικά, ενώ ο χρόνος παραμονής στην πίστα μπορεί να μοντελοποιηθεί με βάση την κατανομή Pearson πέμπτου τύπου, η οποία, στην ουσία, είναι η αντίστροφη κατανομή Γάμμα¹⁰. Οι Kwok και Yeung μοντελοποίησαν, επίσης, τη συμπεριφορά των χρηστών, όσον αφορά στη μετάβασή τους μεταξύ των πιστών και στην έξοδό τους από το παιχνίδι.

2.8.1.3 *Η Εργασία των Sinha et al*

Οι Sinha et al [Sinh05] πραγματοποίησαν μια έρευνα σχετικά με την επιβάρυνση που προκαλεί ένα πολύ γνωστό διαδικτυακό παιχνίδι πάνω στις δικτυακές υποδομές των παρόχων των διαδικτυακών υπηρεσιών. Διαπίστωσαν μια επικίνδυνα υψηλή κατανάλωση σε εύρος ζώνης ανοδικού ρεύματος (Upstream Bandwidth), με μεγάλες διακυμάνσεις σε ημερήσιο και εβδομαδιαίο επίπεδο. Παρόλα αυτά, οι καθυστερήσεις που βίωναν οι χρήστες βρέθηκαν να είναι εντός επιτρεπτών ορίων. Όσον αφορά στη συμπεριφορά των χρηστών, υπάρχει η τάση για υψηλότερη δραστηριότητα στις αργίες, όπου ο ελεύθερος χρόνος είναι μεγαλύτερος, ενώ, όπως είναι αναμενόμενο, η δραστηριότητα μηδενίζεται σε μεταμεσονύχτιες ώρες. Τέλος, τόσο η κατανομή των χρονικών διαρκειών των συνόδων, όσο και η κατανομή των χρονικών διαστημάτων μεταξύ των συνόδων εμφανίζουν ενισχυμένη ουρά, που σημαίνει ότι και τα δύο μεγέθη μπορούν να μοντελοποιηθούν από την κατανομή Pareto.

2.8.1.4 *Η Εργασία των Chambers et al*

Οι Chambers et al [Cham05] βρήκαν ότι η χρονική διάρκεια των συνόδων ακολουθεί την κατανομή Weibull. Η κατανομή των επιτυχημένων επανασυνδέσεων των χρηστών παρουσιάζεται να είναι εκθετική, ενώ το μεγαλύτερο μέρος των χρηστών δε δείχνει ανοχή προς τους υπερ-απασχολημένους εξυπηρετητές. Μόνο μια μικρή μερίδα των χρηστών παραμένει προσκολλημένη σταθερά σε ένα συγκεκριμένο εξυπηρετητή. Επιπλέον, οι Chambers et al βρήκαν ότι η κατανομή Zipf/Zipf-Like μπορεί να περιγράψει τη δημοτικότητα των παιχνιδιών. Για μικρά χρονικά διαστήματα, ο φόρτος των παιχνιδιών είναι περιοδικός και μπορεί να προβλεφθεί, με την κατανομή t να μπορεί να περιγράψει ικανοποιητικά τις ποσοστιαίες μεταβολές του φόρτου σε εβδομαδιαίο επίπεδο. Τέλος,

¹⁰ Αν $p(x:k,\theta)$ είναι η ΣΠΠ της αντίστροφης κατανομής Γάμμα, με k και θ τις παραμέτρους μορφής και κλιμάκωσής της αντίστοιχα, τότε: $p(x:k,\theta) = \frac{1}{p_{\Gamma\acute{\alpha}\mu\mu\alpha}(x:k,1/\theta)}$.

διαπίστωσαν ότι οι εξυπηρετητές-παιχνιδομηχανές είναι αδύνατο να προσφέρουν επιπρόσθετες υπηρεσίες – π.χ. ως εξυπηρετητές παγκοσμίου ιστού, ή ακόμα ως παιχνιδομηχανές διαφορετικών παιχνιδιών – δεδομένου ότι υπάρχει συγχρονισμός ανάμεσα στους φόρτους των διαφορετικών εφαρμογών.

2.8.1.5 *Η Εργασία των Zhuang et al*

Η εργασία των Zhuang et al [Zhu07] αφορά, ίσως, το πιο δημοφιλές διαδικτυακό παιχνίδι της σημερινής εποχής, το WoW (World of Warcraft). Μεταξύ των συμπερασμάτων τους, που βασίστηκαν πάνω σε ένα σχετικά μικρό δείγμα χρηστών, είναι τα παρακάτω:

- Ο αριθμός των συνδεδεμένων χρηστών παρουσιάζει διακυμάνσεις στη διάρκεια της ημέρας και εμφανίζεται αυξημένος στις αργίες – δηλαδή, τα Σαββατοκύριακα.
- Η χρονική διάρκεια μιας συνόδου μπορεί να προβλεφθεί με βάση τις προηγούμενες συνόδους του ίδιου χρήστη, είτε από το χρονικό σημείο της ημέρας που αυτή ενεργοποιείται, είτε από το επίπεδο του χρήστη στο παιχνίδι.
- Τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των συνόδων του ίδιου χρήστη τείνουν να είναι μεγαλύτερα από τη χρονική διάρκεια των συνόδων του, κάτι που είναι αναμενόμενο.
- Οι μισοί από τους χρήστες παίζουν για περίπου 30 λεπτά την ημέρα, το 20% αυτών για 2 ώρες την ημέρα, ενώ υπήρξε χρήστης που δαπάνησε το 31,5% του χρόνου στο παιχνίδι.
- Η συνεργασία των χρηστών στο παιχνίδι κυμαίνεται από σχεδόν ανύπαρκτη έως πολύ μικρή.
- Οι χρήστες δεν ακολουθούν κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο σχετικά με το χρόνο που επιλέγουν να παίζουν.
- Η διάμεσος τιμή στα χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών συνόδων είναι 20 λεπτά.
- Τα χρονικά διαστήματα παραμονής των χρηστών στις διάφορες πίστες του παιχνιδιού μπορούν να μοντελοποιηθούν είτε από την εκθετική κατανομή, είτε από την κατανομή Weibull.

- Ο αριθμός των χρηστών στις πίστες του παιχνιδιού παρουσιάζεται σταθερός για σχετικά μέτρια χρονικά διαστήματα, όμως μπορεί να αλλάξει απότομα εξαιτίας των αναβαθμίσεων του παιχνιδιού.

2.9 Συμπεράσματα

Το κεφάλαιο αυτό είναι αφιερωμένο στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής. Όπως αναφέραμε, πρόκειται για μια διαδικασία ιδιαίτερης σημασίας όσον αφορά, πρωτίστως, στην έρευνα πάνω στις αντιδραστικές και προ-ενεργητικές τεχνολογίες διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου, καθώς και άλλες περιοχές επιστημονικού ενδιαφέροντος, όπως η αναβάθμιση των δικτύων και των πρωτοκόλλων επικοινωνίας, η κοινωνική δικτύωση και η διαδικτυακή ασφάλεια.

Στις πρώτες παραγράφους αυτού του κεφαλαίου αναλύσαμε τις διαφορετικές μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση και καταγραφή της διαδικτυακής δραστηριότητας, ένα στάδιο απαραίτητο, ώστε να ακολουθήσει ο μετέπειτα χαρακτηρισμός και η μοντελοποίηση. Διακρίναμε τις μεθοδολογίες αυτές σε τρεις βασικές κατηγορίες και δώσαμε έμφαση στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της καθεμιάς.

Στη συνέχεια, επικεντρωθήκαμε πάνω στις κατανομές και στις στατιστικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην προσπάθεια της μοντελοποίησης της λειτουργίας και του κυκλοφοριακού των διαδικτυακών εφαρμογών, οι οποίες αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Τέλος, στο υπόλοιπο και μεγαλύτερο μέρος του κεφαλαίου, καταπιαστήκαμε με το χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση των βασικότερων εφαρμογών, που παράγουν το περισσότερο κυκλοφοριακό και, συνεπώς, ευθύνονται αποκλειστικά για την κατανάλωση των δικτυακών πόρων και την επιβάρυνση των διαδικτυακών υποδομών.

Δώσαμε ιδιαίτερη έμφαση στις διαδικτυακές εφαρμογές δεύτερης γενιάς, οι οποίες χαρακτηρίζονται από τον υψηλό βαθμό αλληλεπίδρασης των χρηστών, οι οποίοι σχηματίζουν και συμμετέχουν σε διαφορετικές διαδικτυακές, κοινωνικές ομάδες. Αυτές οι εφαρμογές θέλουν τον απλό χρήστη να είναι τόσο ο δημιουργός, όσο και ο αποδέκτης της πληροφορίας.

Η μοναδικότητα της παρούσας έρευνας στα πλαίσια του χαρακτηρισμού και της μοντελοποίησης σε επίπεδο διαδικτυακών εφαρμογών εντοπίζεται στα ακόλουθα σημεία:

- Πρόκειται για μια μοναδική σε βιβλιογραφική κάλυψη προσπάθεια για χαρακτηρισμό και μοντελοποίηση των κυριότερων και δημοφιλέστερων εφαρμογών που κατακλύζουν με κυκλοφοριακό το σημερινό διαδίκτυο. Για πρώτη φορά, παρουσιάζεται μια γενική εικόνα που να αφορά στις κυριότερες διαδικτυακές εφαρμογές σε σύγκριση με τις προηγούμενες εργασίες, που καταπιάστηκαν με συγκεκριμένες εφαρμογές, όπως για παράδειγμα, στον παγκόσμιο ιστό [Pitk98] και στα δίκτυα P2P, κυρίως, για την ανταλλαγή αρχείων [Stut010].
- Παρέχει μια χαρτογράφηση, όσον αφορά στα στατιστικά μοντέλα που μπορούν να αξιοποιηθούν σε μηχανές παραγωγής τεχνητού φόρτου σε επίπεδο εφαρμογής.
- Δίνει στον επίδοξο ερευνητή τα απαραίτητα εφόδια και τις λύσεις, ώστε να πραγματοποιήσει τα δικά του στοχευμένα πειράματα πάνω στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση.

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από την έρευνα του παρόντος κεφαλαίου είναι πως, η τρέχουσα βιβλιογραφία πάνω στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση είναι σε θέση να δώσει σημαντικές απαντήσεις και λύσεις για πολλές περιπτώσεις δικτύων, συστήματα εξυπηρετητών, δικτυακών τόπων και εφαρμογών.

Από την άλλη πλευρά, όμως, είναι σίγουρο ότι ο χαρακτηρισμός και η μοντελοποίηση των εφαρμογών του Διαδικτύου αποτελεί ένα αδιάκοπο έργο το οποίο απασχόλησε, απασχολεί και θα συνεχίσει να έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο μέλλον. Αυτό οφείλεται αποκλειστικά στην ευμετάβλητη φύση του Διαδικτύου, όσον αφορά στο επίπεδο εφαρμογής του. Ποια είναι, όμως, τα στοιχεία που συνηγορούν υπέρ αυτής της ευμετάβλητης φύσης;

Καταρχήν, νέες και καινοτόμες εφαρμογές προστίθενται συνεχώς στις υπάρχουσες και η ανάγκη για χαρτογράφηση και πλήρη ανάλυση της λειτουργίας τους σε σχέση με την επίδρασή τους στο Διαδίκτυο είναι επιτακτική, ιδιαίτερα, όταν οι νεο-εμφανιζόμενες εφαρμογές κερδίζουν σε δημοτικότητα. Ποιες είναι, όμως, αυτές οι εφαρμογές; Προς το παρόν, η απάντηση βρίσκεται στις σύγχρονες τάσεις για κοινωνική δικτύωση και αλληλεπίδραση – κυρίως, σε πραγματικό χρόνο – μεταξύ των χρηστών μέσω του Διαδικτύου. Για παράδειγμα, ήδη αναλύσαμε τα διαδικτυακά παιχνίδια, που προσφέρουν στους χρήστες ένα εικονικό περιβάλλον αλληλεπίδρασης και, πρωτίστως, εκτόνωσης και διαφυγής από τα προβλήματα της καθημερινότητας, με αποτέλεσμα η αυξανόμενη δημοτικότητά τους είναι ένα λογικό επακόλουθο. Πρόκειται για μια αγορά, η οποία παράγει

συνεχώς νέες ιδέες, με τη μια να είναι καλύτερη και πιο θελκτική από την προηγούμενη, εις βάρος των διαδικτυακών υποδομών.

Όσα είπαμε για τα διαδικτυακά παιχνίδια ισχύουν και για τις άλλες εφαρμογές. Το Facebook, το YouTube και τα ιστολόγια είναι απλά οι τάσεις του σήμερα. Δύσκολα μπορεί να προβλεφθούν οι τάσεις του αύριο που είναι, πάνω από όλα, προϊόν της ανθρώπινης δημιουργικότητας και φαντασίας, η οποία, ως γνωστό, διαθέτει απεριόριστα όρια. Προς το παρόν και όσον αφορά στο άμεσο μέλλον, οι εφαρμογές διαδικτυακής τηλεόρασης διαμέσου ομότιμων δικτύων φαίνεται ότι θα τραβήξουν το ενδιαφέρον τις επιστημονικής κοινότητας [Silv09]. Αυτό αναμένεται να ισχύσει και για τους δικτυακούς τόπους κοινωνικής δικτύωσης και ιδιαίτερα αυτούς που απολαμβάνουν υψηλής δημοτικότητας, όπως το YouTube [Chen07], δεδομένου ότι για αυτούς το πρόβλημα της καλύτερης κλιμάκωσης και διανομής του περιεχομένου τους θα είναι πάντα υπαρκτό.

Παρόλο που για τις βασικότερες και δημοφιλέστερες, σύγχρονες διαδικτυακές εφαρμογές υπάρχει ένας μεγάλος πλούτος – το μεγαλύτερο και κυριότερο μέρος του οποίου παρουσιάσαμε και αναδείξαμε στο παρόν κεφάλαιο – όσον αφορά στη βιβλιογραφία πάνω στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση, δε μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η έρευνα, τουλάχιστον όσον αφορά στις εφαρμογές αυτές, έχει ολοκληρωθεί. Από τα όσα αναλύθηκαν παραπάνω φαίνεται ξεκάθαρα ότι δε μπορεί να υπάρξει απόλυτη σύγκλιση της βιβλιογραφίας, όσον αφορά στα βασικά χαρακτηριστικά της διαδικτυακής δραστηριότητας για τις διάφορες εφαρμογές. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι:

- Ο χαρακτηρισμός και η μοντελοποίηση για την εξεύρεση λύσεων σε θέματα, όπως είναι η καλύτερη διανομή και παράδοση του περιεχομένου και η αναβάθμιση των δικτυακών υποδομών, θα πρέπει να πραγματοποιείται, ώστε να λαμβάνονται υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της δραστηριότητας στο εκάστοτε δικτυακό περιβάλλον.
- Οι περισσότερες από τις μηχανές παραγωγής τεχνητού διαδικτυακού φόρτου σε επίπεδο εφαρμογής, οι οποίες στηρίχθηκαν σε συγκεκριμένες εργασίες χαρακτηρισμού και μοντελοποίησης, πάσχουν από έλλειψη ευελιξίας, δεδομένου ότι ο παραγόμενος τεχνητός φόρτος απευθύνεται σε συγκεκριμένα δικτυακά συστήματα και εφαρμογές¹¹.

¹¹ Στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφουμε μια ευέλικτη πλατφόρμα για παραγωγή τεχνητής διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο διαδικτυακών εφαρμογών.

Κεφάλαιο 3

ΣΥΝΤΗΙΑ: ΜΙΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Η μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής αποτελεί μια βασική και ουσιώδη προϋπόθεση για την προσομοίωση δικτύων, δεδομένου ότι οδηγεί στην παραγωγή αντιπροσωπευτικών και ελεγχόμενων, τεχνητών φόρτων, οι οποίοι με τη σειρά τους είναι απαραίτητοι για την αξιολόγηση των καινοτόμων τεχνολογιών διαχείρισης και κλιμάκωσης των δικτύων. Μια τέτοια τεχνολογία είναι η ενδιάμεση αποθήκευση αντικειμένων επιπέδου εφαρμογής – δηλαδή, ιστοσελίδων, διαμοιραζόμενων αρχείων σε δίκτυα P2P, αρχείων δικτυακών πολυμέσων, κλπ. – σε πληρεξούσιους εξυπηρετητές (Proxy Servers ή Proxies) στο Διαδίκτυο.

Επομένως, η δημιουργία τεχνητής διαδικτυακής δραστηριότητας είναι μια διαδικασία πρωτεύουσας σημασίας και υψηλής αξίας για τη μελέτη των τεχνολογιών διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου. Αυτό οφείλεται πρωτίστως στο γεγονός ότι οι κανόνες προστασίας του απορρήτου των επικοινωνιών παρακωλύουν τη συλλογή και ανάλυση πραγματικών διαδικτυακών φόρτων, εμποδίζοντας την αξιοποίησή τους. Αν και η διαφύλαξη της ανωνυμίας των χρηστών είναι εφικτή, πολλοί πάροχοι διαδικτυακών υπηρεσιών και διαχειριστές δικτύων επιδεικνύουν την απροθυμία τους να υποστηρίξουν τις ερευνητικές προσπάθειες πάνω στο αντικείμενο. Από την άλλη πλευρά, η λεπτομερής παραμετροποίηση των τεχνητών φόρτων καθιστά ικανή την εστίαση πάνω στα ιδιαίτερα συστατικά της διαδικτυακής δραστηριότητας – δηλαδή, το μέγεθος και τη δημοτικότητα των διακινούμενων αντικειμένων, τη χρονική και χωρική τοπικότητα (Time / Spatial Locality) των συναλλαγών, την προέλευση των αιτημάτων, κλπ. – και των επιδράσεών τους πάνω στο υπό μελέτη σύστημα.

Οι μηχανές παραγωγής τεχνητής διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής, που έχουν προταθεί κατά καιρούς, βασίζουν τη λειτουργία τους σε αυστηρά και μη ευέλικτα μοντέλα, τα οποία, στην πλειονότητά τους, προέρχονται από ένα περιορισμένο τμήμα της έρευνας σχετικά με το χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση των διαδικτυακών φόρτων. Ως εκ τούτου, αυτά τα εργαλεία είναι εντελώς άκαμπτα και ανελαστικά, όσον αφορά στην ικανότητά τους να προσαρμόζονται σε νέες τάσεις και στις αλλαγές της δραστηριότητας στο Διαδίκτυο. Επιπλέον, ο ειρηνικός ρυθμός με τον οποίο εμφανίζονται νέες εφαρμογές αλλοιώνει τα βασικά χαρακτηριστικά του διαδικτυακού κυκλοφοριακού, με αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται η ακρίβεια και η καταλληλότητα των σημερινών μηχανών παραγωγής τεχνητού φόρτου.

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζουμε το σχεδιασμό και την υλοποίηση της πλατφόρμας SYNTHIA (SYNTHesis of Internet Activity) [Kast09a]. Πρόκειται για ένα αντικειμενοστρεφές εργαλείο για την παραγωγή συνθετικών διαδικτυακών φόρτων σε επίπεδο εφαρμογής. Η SYNTHIA εκπληρώνει όλες τις προδιαγραφές που επιβάλλονται από τις προκλήσεις του σημερινού Διαδικτύου. Είναι εξολοκλήρου κωδικοποιημένη σε γλώσσα προγραμματισμού Java, γεγονός που την καθιστά ανεξάρτητη του υφιστάμενου λειτουργικού συστήματος. Η SYNTHIA μπορεί να θεωρηθεί ως ένα γενικευμένο σύστημα για την ανάπτυξη και ολοκλήρωση καινοτόμων μηχανών παραγωγής φόρτου. Η ευελιξία της στη μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας πηγάζει από μια ενσωματωμένη στατιστική βιβλιοθήκη, η οποία αποτελείται από μια ολοκληρωμένη συλλογή κατανομών και λοιπών συναρτήσεων.

Στη σημερινή έκδοσή της, η SYNTHIA ενσωματώνει τις αναβαθμισμένες εκδόσεις του ProwGen [Bus02] – που είναι ένα εργαλείο για την παραγωγή δραστηριότητας σε πληρεξούσιο εξυπηρετητή του παγκοσμίου ιστού – και του Gismo 1.0 [Jin01b] – που είναι μια μηχανή παραγωγής τεχνητής δραστηριότητας αποθηκευμένων πολυμέσων. Η λειτουργικότητα των δύο εργαλείων έχει διασπαστεί σε κλάσεις της Java, οι οποίες μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για την επέκταση της SYNTHIA με άλλες μηχανές παραγωγής τεχνητού φόρτου. Αυτή η ιδιότητά της αποτελεί το κυριότερο πλεονέκτημα της SYNTHIA.

Αυτό το κεφάλαιο είναι οργανωμένο ως εξής: Στην παράγραφο 3.2 παρουσιάζουμε μια λίστα με εργαλεία για παραγωγή τεχνητής διαδικτυακής δραστηριότητας. Στην παράγραφο 3.3 επιχειρηματολογούμε σχετικά με την απόφασή μας να δημιουργήσουμε τη SYNTHIA. Συγκεκριμένα, εκθέτουμε τις αδυναμίες των προτεινόμενων εργαλείων παραγωγής τεχνητού

φόρτου, ενώ ταυτόχρονα, προσπαθούμε να προσδιορίσουμε τις προδιαγραφές, που πρέπει να ακολουθήσει η SYNTHIA. Στην παράγραφο 3.4 παρουσιάζουμε τη SYNTHIA, ενώ στην παράγραφο 3.5 αναλύουμε λεπτομερώς την αρχιτεκτονική της. Η παράγραφος 3.6 περιγράφει το φιλικό γραφικό περιβάλλον διασύνδεσης προς το χρήστη (Graphical User Interface, GUI) που προσφέρει η SYNTHIA. Η παράγραφος 3.7 καταπιάνεται με τη στατιστική τεκμηρίωση της ορθής λειτουργίας της SYNTHIA. Όλα τα συμπεράσματα που εξάγονται στο παρόν κεφάλαιο περιλαμβάνονται στην παράγραφο 3.8.

3.2 Μηχανές Παραγωγής Τεχνητού Διαδικτυακού Φόρτου

Στην επιστημονική βιβλιογραφία αναφέρεται ένα σεβαστός αριθμός μηχανών για την παραγωγή τεχνητής δραστηριότητας σε επίπεδο διαδικτυακής εφαρμογής. Η καθεμία από αυτές ακολουθεί τα δικά της μοντέλα παραγωγής και τις δικές της στατιστικές κατανομές.

Καταρχήν, οι Barford και Crovella [Barf98] σχεδίασαν και υλοποίησαν το εργαλείο SURGE για παραγωγή κυκλοφοριακού παγκοσμίου ιστού, με μορφή αναφορών προς ομοιόμορφους εντοπιστές πόρων (Uniform Resource Locator, URL). Η μηχανή SURGE λαμβάνει υπόψη της διάφορες παραμέτρους – π.χ. το μέγεθος και τη δημοτικότητα των αρχείων, το μέγεθος των αιτημάτων, τη χρονική τοπικότητα των αναφορών, τις ενσωματωμένες υπερσυνδέσεις προς άλλα αρχεία και τα αδρανή χρονικά διαστήματα στην πλοήγηση των χρηστών – ώστε να κατασκευάζει φόρτους παγκοσμίου ιστού σε επίπεδο χρήστη. Οι φόρτοι του παγκοσμίου ιστού σχηματίζονται με τη συνένωση των ανεξάρτητων ροών αιτημάτων των χρηστών, οι οποίοι εναλλάσσονται μεταξύ περιόδων δραστηριότητας και αδράνειας – δηλαδή, περιόδων στις οποίες παρουσιάζεται μεταφορά αρχείων και περιόδων σκέψης – που παρουσιάζουν κατανομές με ενισχυμένη ουρά (heavy-tailed distribution). Αυτή η ικανότητά του επιτρέπει στο SURGE να αναπαριστά τη μορφολογιασματική ομοιότητα (self-similarity)¹² [Crov97], που χαρακτηρίζει τη σύγχρονη δραστηριότητα του ιστού. Το SURGE στοχεύει στην υποστήριξη της έρευνας για το σχεδιασμό της χωρητικότητας και τη διαχείριση δικτυακών συστημάτων.

Οι Busari και Williamson [Bus02] ανέπτυξαν τη μηχανή ProwGen, με κυριότερο στόχο να μελετήσουν την ευαισθησία των στρατηγικών αντικατάστασης σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης περιεχομένου του ιστού στα χαρακτηριστικά του φόρτου. Η

¹² Περισσότερες πληροφορίες για το φαινόμενο της μορφολογιασματικής ομοιότητας παραθέτουμε στο παράρτημα Α της παρούσας διατριβής

ProwGen εξειδικεύεται στην παραγωγή αρχείων τεχνητής δραστηριότητας ιστού από τη σκοπιά ενός πληρεξούσιου ή πηγαίου εξυπηρετητή. Μοντελοποιεί το μέγεθος και τη δημοτικότητα των αντικειμένων – και τους συσχετισμούς ανάμεσα σε αυτά τα μεγέθη – καθώς και τη χρονική τοπικότητα των αιτημάτων. Αργότερα, οι Markatchev και Williamson [Mar02] ανέπτυξαν το WebTraff, ένα εξελιγμένο εργαλείο που παρέχει μια φιλική οπτική διεπαφή στο χρήστη, και υποστηρίζει μια βελτιωμένη έκδοση του ProwGen, έναν απλό προσομοιωτή για στρατηγικές αντικατάστασης σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης περιεχομένου του ιστού, και ένα εργαλείο ανάλυσης φόρτων του παγκοσμίου ιστού.

Οι Duarte et al [Duar08] πρότειναν μια μηχανή με το όνομα GBLOT για την παραγωγή τεχνητού φόρτου που να αντιπροσωπεύει τη διαδικτυακή δραστηριότητα, που παράγεται σε εξυπηρετητές, και συστήματα ιστολογίων από τις επισκέψεις χρηστών. Το λογισμικό της GBLOT έχει προγραμματιστεί σε γλώσσα προγραμματισμού C και ακολουθεί την αρχιτεκτονική του SURGE. Το GBLOT είναι σε θέση να μοντελοποιήσει τη συμπεριφορά διαφόρων τύπων επισκεπτών στα ιστολόγια, καθώς και γενικότερα χαρακτηριστικά του παραγόμενου φόρτου, όπως την ποσότητα πληροφορίας στις αποφορτώσεις και τη δημοτικότητα. Τα πειράματα τεκμηρίωσης της ορθής λειτουργίας του έδειξαν ότι είναι σε θέση να αναπαράγει με μεγάλη ακρίβεια τους παρατηρούμενους εμπειρικούς φόρτους.

Όσον αφορά στην παραγωγή τεχνητών φόρτων για εφαρμογές δικτυακών πολυμέσων, οι Jin και Bestavros [Jin01b] ανέπτυξαν τη μηχανή Gismo (Generator of Internet Streaming Media Objects and workloads). Στην αρχική της έκδοση, η Gismo υποστήριζε μόνο εφαρμογές αποθηκευμένων πολυμέσων, όμως αργότερα δημιουργήθηκε μια ακόμα έκδοση της μηχανής για την υποστήριξη ζωντανών δικτυακών πολυμέσων. Η Gismo είναι σε θέση να μοντελοποιεί τόσο τα χαρακτηριστικά, που αφορούν τις αφίξεις των συνόδων (Sessions) – δηλαδή, τη δημοτικότητα των πολυμεσιών αρχείων, τη χρονική τοπικότητα των αιτημάτων και την εποχιακή συχνότητα πρόσβασης – όσο και τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη δραστηριότητα εντός των συνόδων – δηλαδή, την κατανομή του μεγέθους του πολυμεσιού αρχείου, τους χρόνους αλληλεπίδρασης του χρήστη με το αρχείο και τον κατακερματισμό των αρχείων σε καρέ. Οι Jin και Bestavros επέδειξαν τη χρησιμότητα του Gismo στην έρευνα για ενδιάμεση αποθήκευση σε πληρεξούσιους εξυπηρετητές και για τεχνικές αναβάθμισης (patching) εξυπηρετητών.

Η μηχανή MediSyn [Tang03, Tang07] αναπτύχθηκε, επίσης, για την παραγωγή συνθετικών φόρτων δικτυακών, πολυμεσιών εφαρμογών. Μοντελοποιεί δύο ειδών χαρακτηριστικά της πολυμεσικής δραστηριότητας, τα στατικά (static) και τα εφήμερα (temporal). Στα στατικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται η συνολική διάρκεια, ο ρυθμός ψηφιακής κωδικοποίησης (Code Bit Rate), η δημοτικότητα και η διάρκεια συνόδου. Από την άλλη πλευρά, τα εφήμερα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν τη διαδικασία εμφάνισης νέων πολυμεσιών αρχείων στο σύστημα, τη διάρκεια ζωής των πολυμεσιών αρχείων και την πρόσβαση σε ημερησία βάση για τα πολυμεσικά αρχεία. Εξαιτίας της ικανότητάς της να μοντελοποιεί τη δυναμική και την εξέλιξη του πολυμεσικού περιεχομένου, η μηχανή MediSyn θεωρείται ένα πανίσχυρο και χρήσιμο εργαλείο στην έρευνα σχετικά πάνω σε δίκτυα διανομής περιεχομένου (Content Distribution Networks, CDNs) και κέντρα παροχής διαδικτυακών υπηρεσιών (Web Hosting Centers).

Η μηχανή GENIUS (GENerator of Interactive User Sessions) [Cost04b] αναπτύχθηκε ως ένα περισσότερο ολοκληρωμένο εργαλείο όσον αφορά στην ακρίβεια στη μοντελοποίηση των δικτυακών, πολυμεσιών ροών, σε σχέση με τα προηγούμενα, δηλαδή το Gismo και το MediSyn. Η ανωτερότητα πηγάζει από το γεγονός ότι, αφενός, μπορεί να παράγει ροές για διαφορετικούς τύπους πολυμέσων, και αφετέρου, μπορεί να μιμείται με μεγαλύτερη ακρίβεια την ανομοιογένεια, που παρουσιάζει η δραστηριότητα των χρηστών εντός των συνόδων.

Όλες οι παραπάνω μηχανές παραγωγής τεχνητής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής στοχεύουν στην έρευνα γύρω από τεχνικές διαχείρισης και ελέγχου των δικτυακών πόρων, όπως είναι η ενδιάμεση αποθήκευση και η προ-εγκατάσταση. Όμως, έχουν κατά καιρούς αναπτυχθεί μηχανές που μοντελοποιούν και μιμούνται τη διαδικτυακή δραστηριότητα για την υποστήριξη της έρευνας σε άλλους κλάδους της δικτυακής επιστήμης.

Για παράδειγμα, η μηχανή MACE (Malicious trAffic Composition Environment) [Somm04b] μπορεί να αναπαράγει μια μεγάλη ποικιλία από κακόβουλες επιθέσεις για την αξιολόγηση διακομιστών προστασίας και ασφάλειας, και άλλων κομβικών δικτυακών συσκευών. Οι Antonatos, Anagnostakis και Markatos [Ant04] ανέπτυξαν το δικό τους σύστημα για την παραγωγή ροών με κακόβουλες επιθέσεις. Οι Sommers και Barford [Somm04a] ανέπτυξαν και πρότειναν το σύστημα Harpoon, ένα εργαλείο για την παραγωγή πακέτων σε επίπεδο ροής IP για την αξιολόγηση δρομολογητών. Τέλος, κάποιες άλλες

μηχανές για την παραγωγή δραστηριότητας σε επίπεδο δικτυακών πακέτων είναι η Swing [Vish06] και η LiTGen [Roll07].

3.3 Προσδιορισμός & Χάραξη Νέων Προδιαγραφών

Το καθένα από τα εργαλεία για την παραγωγή συνθετικού φόρτου σε επίπεδο εφαρμογής, που αναλύθηκαν παραπάνω, παρουσιάζει τα δικά του μειονεκτήματα και ελαττώματα. Καταρχήν, οι κλασικές υπηρεσίες και εφαρμογές του σημερινού Διαδικτύου, και, κυρίως, ο παγκόσμιος ιστός, βιώνουν ριζικές αλλαγές. Για παράδειγμα, ο παγκόσμιος ιστός έχει πλέον μετεξελιχθεί σε ένα περιβάλλον κοινωνικής δικτύωσης, όπου η πληροφορία παράγεται από πολλούς και προορίζεται για πολλούς. Από την άλλη πλευρά, στο προσκήνιο εμφανίζονται συνεχώς νέες και καινοτόμες εφαρμογές, που μεταλλάσσουν τα βασικά χαρακτηριστικά της δραστηριότητας στο Διαδίκτυο. Τα μοντέλα που χρησιμοποιούν οι σημερινές μηχανές παραγωγής τεχνητού φόρτου είναι πολύ άκαμπτα και ανελαστικά, με αποτέλεσμα να μην προσαρμόζονται στην ταχύτατα ευμετάβλητη φύση του Διαδικτύου.

Ως εκ τούτου, οι σύγχρονες μηχανές παραγωγής συνθετικής διαδικτυακής δραστηριότητας καθίστανται αναποτελεσματικές και σχεδόν άχρηστες να ανταπεξέλθουν στις προκλήσεις που θέτει το Διαδίκτυο στη σημερινή εποχή, εξαιτίας της απουσίας ευελιξίας στη μοντελοποίηση. Επιπλέον, η παρουσία μιας διαδραστικής διεπαφής για το χρήστη κρίνεται ευεργετική, ώστε να προσδώσει τη μέγιστη δυνατή ευελιξία στη μοντελοποίηση. Η έλλειψή της σημαίνει ότι ο χρήστης είναι αναγκασμένος να παρεμβαίνει σε επίπεδο πηγαίου κώδικα, κάτι που προϋποθέτει εξειδικευμένη γνώση και πρόσθετο κόστος. Δυστυχώς, αυτή είναι η σκληρή πραγματικότητα για εργαλεία όπως το SURGE, το Gismo και το ProwGen πριν τη αναβάθμισή του σε WebTraff.

Κάτω από αυτές τις περιστάσεις, η ανάπτυξη μιας καινοτόμου μηχανής παραγωγής συνθετικής διαδικτυακής δραστηριότητας κρίνεται υψίστης σημασίας και υψηλής προτεραιότητας. Με βάση τις παραπάνω επισημάνσεις, οι βασικές προδιαγραφές που πρέπει και οφείλει να πληροί μια τέτοια μηχανή είναι οι ακόλουθες:

- Γενικευμένη σύνθεση διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής.
- Συμβατότητα με προηγούμενες μηχανές και δυνατότητα αναβάθμισής τους.
- Δυνατότητα αναβάθμισης και επέκτασης, ώστε να μπορεί να υποστηρίξει όλες τις νέες και καινοτόμες εφαρμογές, που εμφανίζονται στο Διαδίκτυο.

- Ευελιξία και προσαρμοστικότητα στα συνεχώς μεταβαλλόμενα μοντέλα και τάσεις που περιγράφουν το Διαδίκτυο, σήμερα.
- Δυνατότητα λειτουργίας κάτω από διαφορετικές πλατφόρμες και λειτουργικά συστήματα – δηλαδή, MS Windows, Linux, MacOS, κλπ.
- Δυνατότητα διαδραστικής διεπαφής με το χρήστη.

3.4 Η Πλατφόρμα SYNTHIA

Η SYNTHIA δεν αποτελεί απλά ένα ακόμη εργαλείο για την παραγωγή τεχνητού φόρτου, που μιμείται τη διαδικτυακή δραστηριότητα κάποιας συγκεκριμένης εφαρμογής. Η SYNTHIA εκπληρώνει την ανάγκη για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη μιας γενικευμένης πλατφόρμας σύνθεσης διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής, η οποία ενσαρκώνει όλες τις προαναφερθείσες προδιαγραφές.

Η χρησιμοποίηση της γλώσσας προγραμματισμού Java για την κωδικοποίηση των διαφόρων προγραμματιστικών τμημάτων της SYNTHIA εγγυάται τη φορητότητά της πάνω σε διαφορετικές πλατφόρμες και λειτουργικά συστήματα, δεδομένου ότι μια από τις πιο φημισμένες ιδιότητες της Java είναι η ανεξαρτησία της από την υφιστάμενη πλατφόρμα. Αυτό οφείλεται στο ότι τα προγράμματα σε Java, τα οποία είναι σε μορφή κώδικα byte, (Bytecode), τρέχουν σε εικονική μηχανή, που είναι γνωστή ως διερμηνέας Java (Java Interpreter), την οποία η Java εγκαθιστά πάνω στο πραγματικό υπολογιστικό σύστημα. Ως εκ τούτου, η SYNTHIA είναι σε θέση να λειτουργεί χωρίς καμία τροποποίηση σε μια ποικιλία συστημάτων, όπως το MS Windows, Linux, UNIX, Solaris, MacOS, κλπ., αρκεί να είναι εγκατεστημένη η Java.

Η SYNTHIA είναι εξοπλισμένη με μια εκτεταμένη και αναλυτική στατιστική βιβλιοθήκη¹³ [Stein09], η οποία της επιτρέπει να προσαρμόζεται εύελικτα στις συνεχώς μεταβαλλόμενες τάσεις, που παρατηρούνται στη διαδικτυακή δραστηριότητα των εφαρμογών. Η εν λόγω βιβλιοθήκη έχει αναβαθμιστεί επιπλέον με επιπρόσθετες στατιστικές συναρτήσεις, οι οποίες θεωρούνται απαραίτητες στην υποστήριξη της λειτουργίας της SYNTHIA.

¹³ Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη βιβλιοθήκη και τις υποστηριζόμενες κατανομές, καθώς και αντίγραφο της βιβλιοθήκης μπορούν να αποκτηθούν στην ιστοσελίδα: <http://statdistlib.sourceforge.net/>

Η SYNTHIA παρέχει συμβατότητα με μια αναβαθμισμένη – από εμάς – έκδοση του ProwGen για την παραγωγή φόρτων παγκοσμίου ιστού και με μια αναβαθμισμένη – από εμάς – έκδοση του Gismo 1.0 για την παραγωγή φόρτων αποθηκευμένων δικτυακών πολυμέσων. Η αναβάθμιση των δύο αυτών μηχανών στοχεύει στην αυξημένη προσαρμοστικότητά τους στα δυναμικά χαρακτηριστικά της διαδικτυακής δραστηριότητας. Για παράδειγμα, τμήμα της έρευνας για το χαρακτηρισμό τόσο του παγκοσμίου ιστού [Arl99b], όσο και των αποθηκευμένων δικτυακών πολυμέσων [Alm01, Cost04a], έχει εξαγάγει το συμπέρασμα ότι η δημοτικότητα του διακινούμενου περιεχομένου ακολουθεί μια πολλαπλή κατανομή Zipf-Like και όχι μια καθαρή κατανομή Zipf-Like. Η μοντελοποίηση της πολλαπλής κατανομής Zipf-Like είναι αδύνατο να επιτευχθεί από τις αρχικές εκδόσεις των ProwGen και Gismo 1.0.

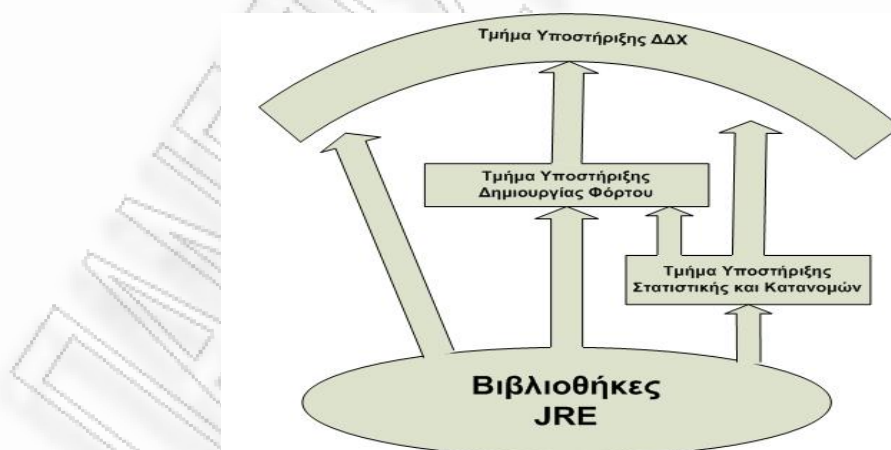
Θα πρέπει να τονιστεί ότι, η SYNTHIA δεν αποτελεί απλώς μια διεπαφή (Interface) για την ενσωμάτωση των άλλων μηχανών παραγωγής τεχνητής δραστηριότητας. Ο απώτερος σκοπός είναι να ενσωματώσει ολοκληρωτικά τις υπόλοιπες μηχανές με τέτοιο τρόπο, ώστε η λειτουργικότητά τους να διασπαστεί σε επιμέρους λογικά τμήματα, τα οποία να μπορούν να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά για την ανάπτυξη νέων εργαλείων. Αυτός ήταν και ο λόγος που επιλέχθηκε η αντικειμενοστρεφής γλώσσα προγραμματισμού Java, η οποία επιτρέπει την οργάνωση της SYNTHIA σε λειτουργικές και ανεξάρτητες κλάσεις, πακέτα και βιβλιοθήκες. Έτσι, η SYNTHIA μετατρέπεται σε μια γενικευμένη πλατφόρμα για την ανάπτυξη νέων μηχανών παραγωγής τεχνητού διαδικτυακού φόρτου επιπέδου εφαρμογής, η οποία εξοπλίζει τους προγραμματιστές με μια σειρά χρήσιμων εργαλείων για την υποστήριξη του έργου τους. Επιπλέον, η ενσωμάτωση νέων μηχανών στον κορμό της SYNTHIA οδηγεί στην προσθήκη νέων λειτουργικών κλάσεων στις βιβλιοθήκες της. Έτσι, η SYNTHIA αναβαθμίζεται συνεχώς και αυξάνονται οι λύσεις που παρέχονται προς τον προγραμματιστή.

3.5 Η Αρχιτεκτονική της SYNTHIA

Μια απλοποιημένη εικόνα της αρχιτεκτονικής της SYNTHIA παρουσιάζεται στο σχήμα 3.1. Η SYNTHIA αποτελείται από τρία βασικά τμήματα, η λειτουργικότητα των οποίων υποστηρίζεται από τις βιβλιοθήκες της μηχανής Java (Java Runtime Engine, JRE).

Αυτά τα τμήματα είναι τα παρακάτω:

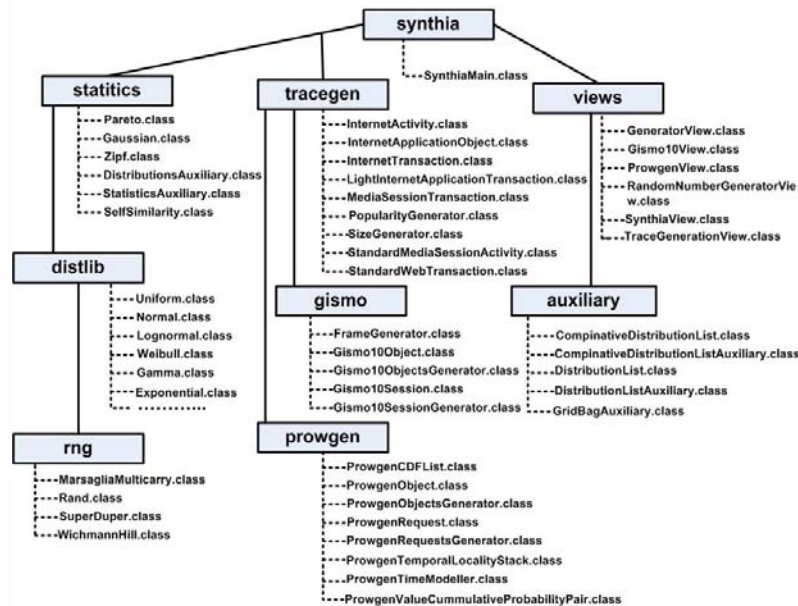
- Το *Τμήμα Υποστήριξης Στατιστικής και Κατανομών*, το οποίο περιλαμβάνει τη βασική λειτουργικότητα, που αφορά τις συναρτήσεις κατανομών – δηλαδή, δεδομένης μιας συγκεκριμένης κατανομής, για παράδειγμα της κατανομής Weibull, αυτό το τμήμα επιφορτίζεται με τον υπολογισμό της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας και της συνάρτησης κατανομής, καθώς και την παραγωγή τυχαίων αριθμών, κλπ. – και τα άλλα στατιστικά στοιχεία – όπως για παράδειγμα, η παραγωγή μορφοκλασματικής ομοιότητας.
- Το *Τμήμα Υποστήριξης Δημιουργίας Φόρτου*, το οποίο υποστηρίζει όλη τη λειτουργικότητα που σχετίζεται με τη σύνθεση της τεχνητής διαδικτυακής δραστηριότητας. Μερικά από τα βασικότερα καθήκοντα αυτού του τμήματος είναι η μοντελοποίηση της δημοτικότητας και του μεγέθους των διακινούμενων διαδικτυακών αντικειμένων, της χρονικής τοπικότητας των αιτημάτων, των αλληλεπιδράσεων των χρηστών με τα πολυμεσιικά αντικείμενα, του κατακερματισμού των πολυμεσιικών αρχείων σε καρέ, κλπ. Το συγκεκριμένο λειτουργικό τμήμα της SYNTHIA είναι σε μεγάλο βαθμό εξαρτημένο από το στατιστικό τμήμα που παρουσιάστηκε παραπάνω.
- Το *Τμήμα Υποστήριξης Διαδραστικής Διεπαφής Χρήστη (ΔΔΧ)*, το οποίο υλοποιεί τις απαραίτητες κλάσεις της Java για την παροχή μιας γραφικής, διαδραστικής διεπαφής προς το χρήστη.



Σχήμα 3.1. Η αρχιτεκτονική της SYNTHIA σε μορφή λειτουργικών τμημάτων

Σε μια προσπάθεια να εμβαθύνουμε περισσότερο στην αρχιτεκτονική, το σχήμα 3.2 απεικονίζει την ιεραρχία των πακέτων Java, που συνθέτουν το λογισμικό της SYNTHIA. Οι διακεκομμένες γραμμές αντιστοιχούν στις κλάσεις που περιέχονται στο κάθε πακέτο, ενώ οι

συμπαγείς γραμμές αποκαλύπτουν την αλληλουχία και την κληρονομικότητα των πακέτων Java.



Σχήμα 3.2. Αναλυτική ιεραρχία των πακέτων Java στο λογισμικό της SYNTHIA

Το πακέτο *synthia* περιλαμβάνει την κεντρική κλάση – δηλαδή, την κλάση *SynthiaMain.class* – που είναι απαραίτητη για την ενεργοποίηση και την είσοδο στο περιβάλλον της SYNTHIA. Πρόκειται για το πρωταρχικό πακέτο που περιέχει όλα τα άλλα υπό-πακέτα, που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Το τμήμα υποστήριξης στατιστικής και κατανομών αποτελείται από τα πακέτα που απεικονίζονται στην αριστερή πλευρά του σχήματος 3.2 – δηλαδή, τα πακέτα *statistics*, *statistics.distlib* και *statistics.distlib.rng*. Τα δύο τελευταία πακέτα αποτελούσαν τμήμα της στατιστικής βιβλιοθήκης R που ήταν κωδικοποιημένη σε γλώσσα προγραμματισμού C και στη συνέχεια μεταφράστηκε σε Java [Stein09]. Περιλαμβάνουν τις κλάσεις που εκτελούν τις συναρτήσεις των βασικών στατιστικών κατανομών. Το γονικό τους πακέτο, με το όνομα *statistics*, τα συμπληρώνει, παρέχοντας επιπλέον λειτουργικότητα, ώστε να επιτευχθεί η παραγωγή τεχνητού φόρτου από τη SYNTHIA.

Το τμήμα υποστήριξης δημιουργίας φόρτου περιλαμβάνει τα πακέτα που εμφανίζονται στο κέντρο της εικόνας 3.2. – δηλαδή, τα πακέτα *tracegen*, *tracegen.gismo* και *tracegen.prowgen*. Το πακέτο *tracegen* περιέχει γενικές κλάσεις, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν από τις μελλοντικές μηχανές παραγωγής διαδικτυακής δραστηριότητας που

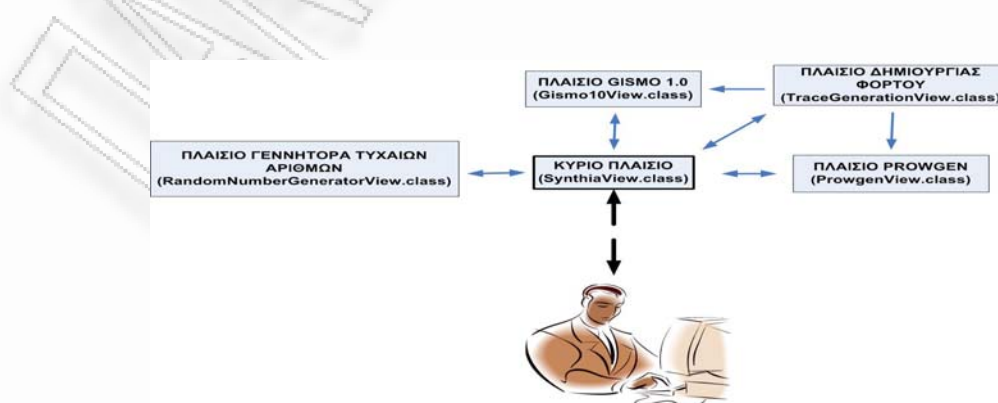
θα ενσωματωθούν στη SYNTHIA. Τα πακέτα *gismo* και *prongen* περιλαμβάνουν όλες τις απαραίτητες κλάσεις για την ενσωμάτωση των αναβαθμισμένων εκδόσεων των ομώνυμων εργαλείων.

Τέλος, το τμήμα υποστήριξης διαδραστικής διεπαφής χρήστη περιλαμβάνει τα πακέτα στη δεξιά πλευρά της εικόνας 3.2 – δηλαδή, τα πακέτα *views* και *views.auxiliary*. Το πακέτο *views* αποτελείται από όλες τις κλάσεις, που είναι αναγκαίες για την υποστήριξη του γραφικού, διαδραστικού περιβάλλοντος, που βιώνει ο χρήστης, το οποίο αναλύεται στην επόμενη παράγραφο. Οι κλάσεις που αντιστοιχούν στα οπτικά πλαίσια Java (Java Frames) των εργαλείων παραγωγής φόρτου – δηλαδή, οι κλάσεις *ProwgenView.class* και *Gismo10View.class* – εκτελούν βασική λειτουργία που κληρονομείται από την κλάση *GeneratorView.class*. Η κλάση *SynthiaView.class* αντιστοιχεί στο κύριο παράθυρο της SYNTHIA.

Το πακέτο *views* περιέχει, επίσης, το πακέτο *auxiliary*. Το συγκεκριμένο πακέτο Java αποτελείται από κλάσεις, που είναι αναγκαίες είτε ως βασικά συστατικά κατασκευής του γραφικού περιβάλλοντος, είτε ως κρίσιμα κομμάτια για την αλληλεπίδραση με το χρήστη – για παράδειγμα, κλάσεις που αφορούν το χειρισμό συμβάντων (Event Handling).

3.6 Το Γραφικό Περιβάλλον της SYNTHIA

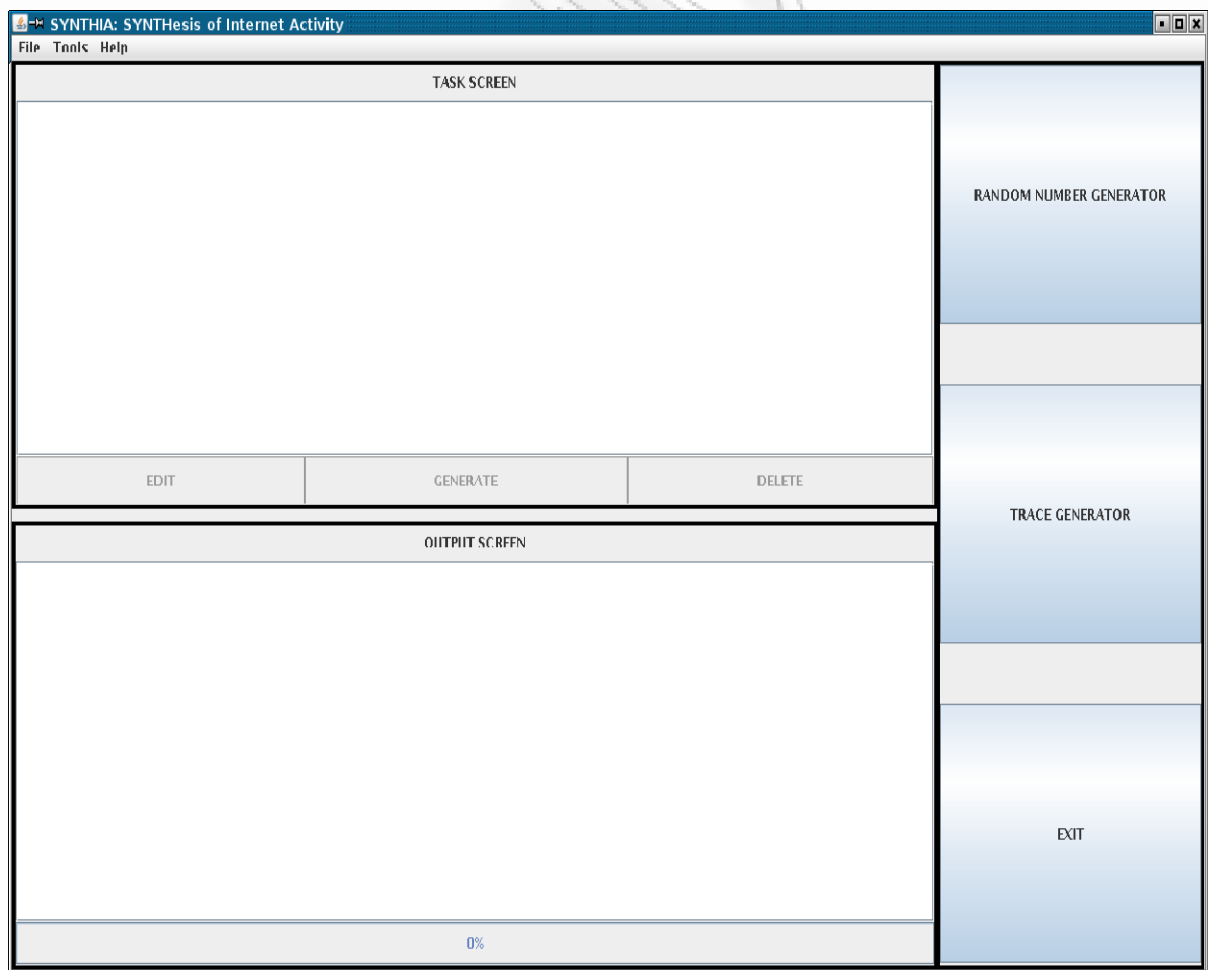
Το γραφικό περιβάλλον της SYNTHIA βασίζεται στα πακέτα *swing* και *awt* της Java, τα οποία είναι εξειδικευμένα στη δημιουργία φιλικών και διαδραστικών, οπτικών διεπαφών προς το χρήστη. Ουσιαστικά, το γραφικό περιβάλλον της SYNTHIA αποτελείται από μια σειρά πλαισίων Java. Το σχήμα 3.3 απεικονίζει την τρέχουσα αρχιτεκτονική του γραφικού περιβάλλοντος, περιλαμβάνοντας τα διαδοχικά πλαίσια στα οποία ο χρήστης μπορεί να πλοηγηθεί μέσω των αντίστοιχων κλάσεων Java.



Σχήμα 3.3. Αρχιτεκτονική του γραφικού περιβάλλοντος της SYNTHIA

Όταν ενεργοποιείται η SYNTHIA, το κύριο πλαίσιο αρχικοποιείται, παρέχοντας στο χρήστη μια σειρά επιλογών με εργασίες που μπορεί να εκτελέσει. Προς το παρόν, αυτές οι εργασίες είναι η παραγωγή τεχνητού φόρτου, είτε για παγκόσμιο ιστό, είτε για δικτυακές εφαρμογές αποθηκευμένων πολυμέσων, και η παραγωγή τυχαίων αριθμών με βάση κάποια συνάρτηση κατανομής. Η τελευταία εργασία χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας της βιβλιοθήκης κατανομών και του στατιστικού πακέτου.

Το σχήμα 3.4 απεικονίζει το κύριο πλαίσιο του γραφικού περιβάλλοντος της SYNTHIA. Αυτό αποτελείται από δύο οθόνες, την οθόνη εργασιών και την οθόνη εξόδου, τα πλήκτρα επιλογής εργασιών και τα πλήκτρα ελέγχου της επιλεγμένης εργασίας. Στην οθόνη εργασίας εκτυπώνονται οι βασικές παράμετροι της εργασίας, που επιλέγει να εκτελέσει ο χρήστης (σχήμα 3.7). Στην οθόνη εξόδου εκτυπώνονται οι διαδοχικές καταστάσεις από τις οποίες περνάει η εκτέλεση κάποιας εργασίας (σχήμα 3.9).



Σχήμα 3.4. Το κύριο πλαίσιο του γραφικού περιβάλλοντος της SYNTHIA

ProwGen View

General | Object Popularity | Object Size | Temporal Locality

OUTPUT SETTINGS

Screen File

Enter the name of the trace file:
test-requests.dat

Enter the name of the statistics file:
test-uniquedocs.dat

GENERAL TRACE SETTINGS

Total Request: 10000

Unique Objects ☺: 30

One-Timers ☺: 70

CANCEL RESET OK

ProwGen View

General | Object Popularity | Object Size | Temporal Locality

Pure Zipf Multiple Zipf

Zipf Slope: 0.75

Quantity:

Zipf Slope: # Objects

1:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
4:	<input type="text"/>	<input type="text"/>
5:	<input type="text"/>	<input type="text"/>

CANCEL RESET OK

ProwGen View

General | Object Popularity | Object Size | Temporal Locality

Max Size (byte): 52428800

Body: Lognormal Mean: 7000 Std. Dev.: 11000

Tail: Pareto Shape: 1.2 Scale: 10000

Objects ☺ at the tail: 20

Correlation with popularity: Neutral

CANCEL RESET OK

ProwGen View

General | Object Popularity | Object Size | Temporal Locality

Stack Size in Objects: 1000

Time Model: Exponential

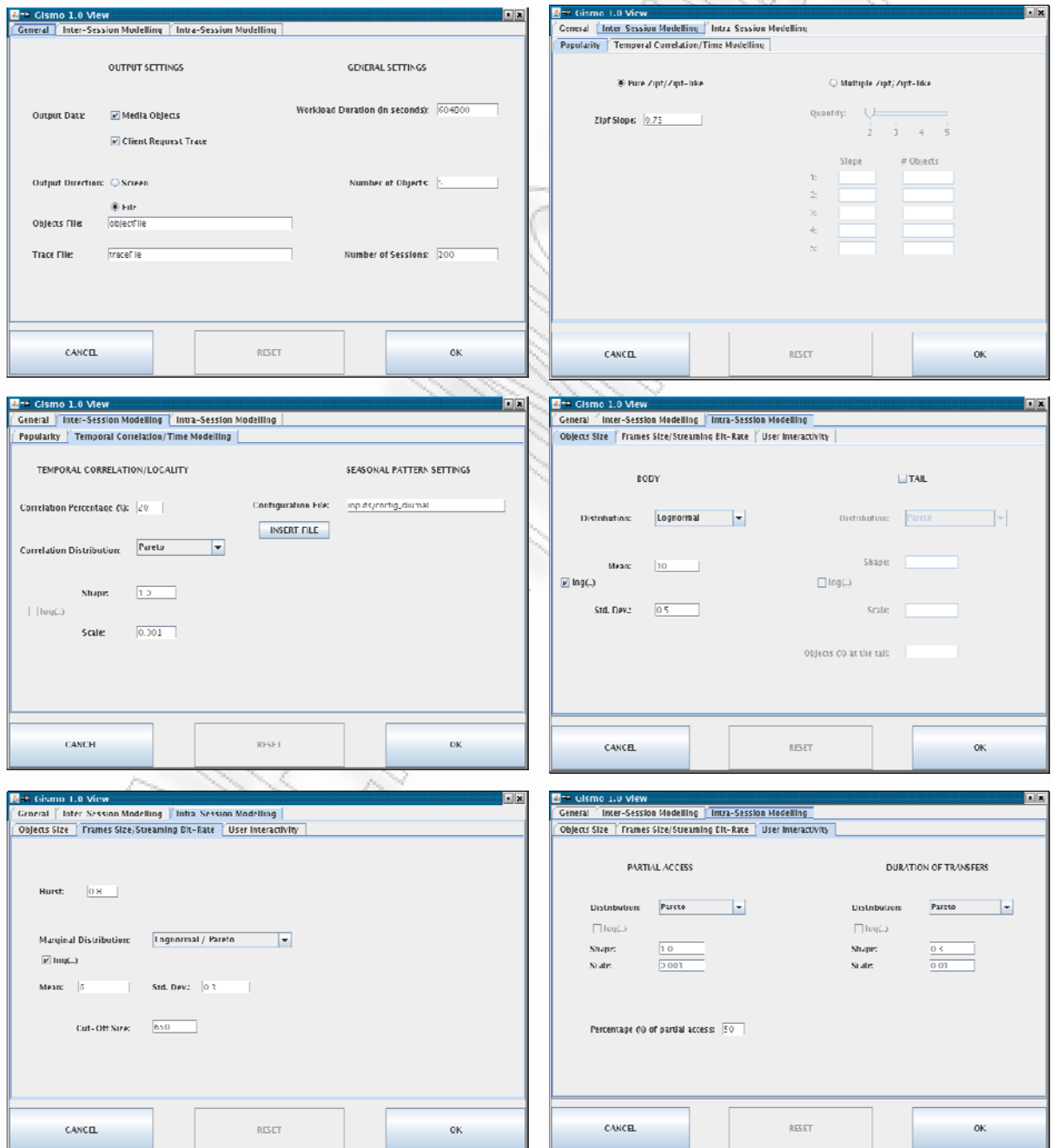
Stack Model: Static Dynamic

Scale:

CANCEL RESET OK

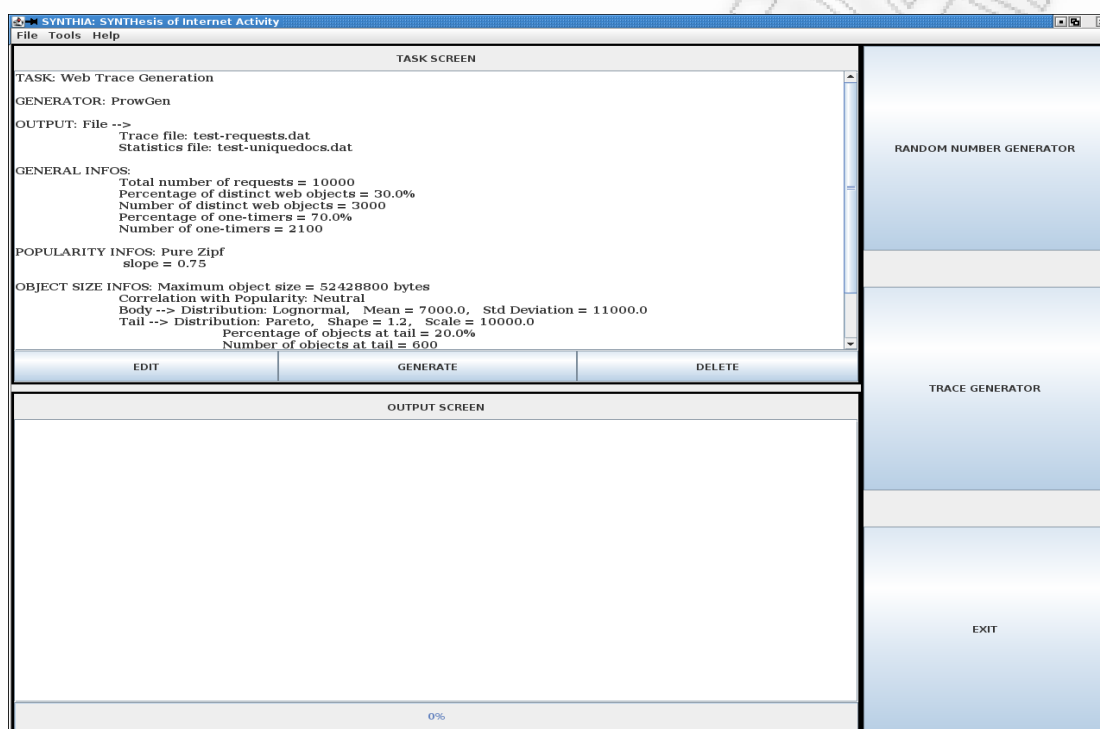
Σχήμα 3.5. Οι καρτέλες παραμετροποίησης στο πλαίσιο του αναβαθμισμένου ProwGen

Τα σχήματα 3.5 και 3.6 παρουσιάζουν τα πλαίσια που σχετίζονται με την παραμετροποίηση των ενσωματωμένων εργαλείων ProwGen και Gismo 1.0, εφόσον ο χρήστης επιλέξει ως εργασία την παραγωγή φόρτου παγκοσμίου ιστού ή δικτυακών εφαρμογών αποθηκευμένων πολυμέσων, αντιστοίχως. Και τα δύο πλαίσια είναι οργανωμένα σε μορφή καρτελών (Tabs), ώστε να διευκολυνθεί ο χρήστης, όσον αφορά στην κατανόηση της παραμετροποίησης των διαφορετικών χαρακτηριστικών διαδικτυακής δραστηριότητας.

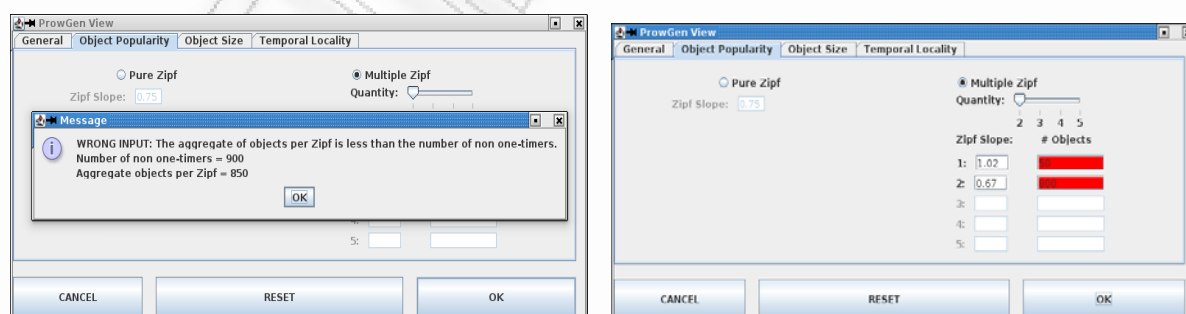


Σχήμα 3.6. Οι καρτέλες παραμετροποίησης στο πλαίσιο του αναβαθμισμένου Gismo 1.0

Επιπλέον, όλα τα πεδία αρχικοποιούνται με τις τιμές που ορίζονται από τις πρωτογενείς εργασίες πάνω στα δύο εργαλεία. Αφού ο χρήστης ενεργοποιήσει το πλήκτρο OK, όλη η παραμετροποίηση της εργασίας παραγωγής του τεχνητού φόρτου θα εκτυπωθεί στην οθόνη εργασιών, στο κύριο πλαίσιο της SYNTHIA. Στο σχήμα 3.7 απεικονίζεται μια τέτοια περίπτωση, ύστερα από επιτυχή παραμετροποίηση του εργαλείου ProwGen.



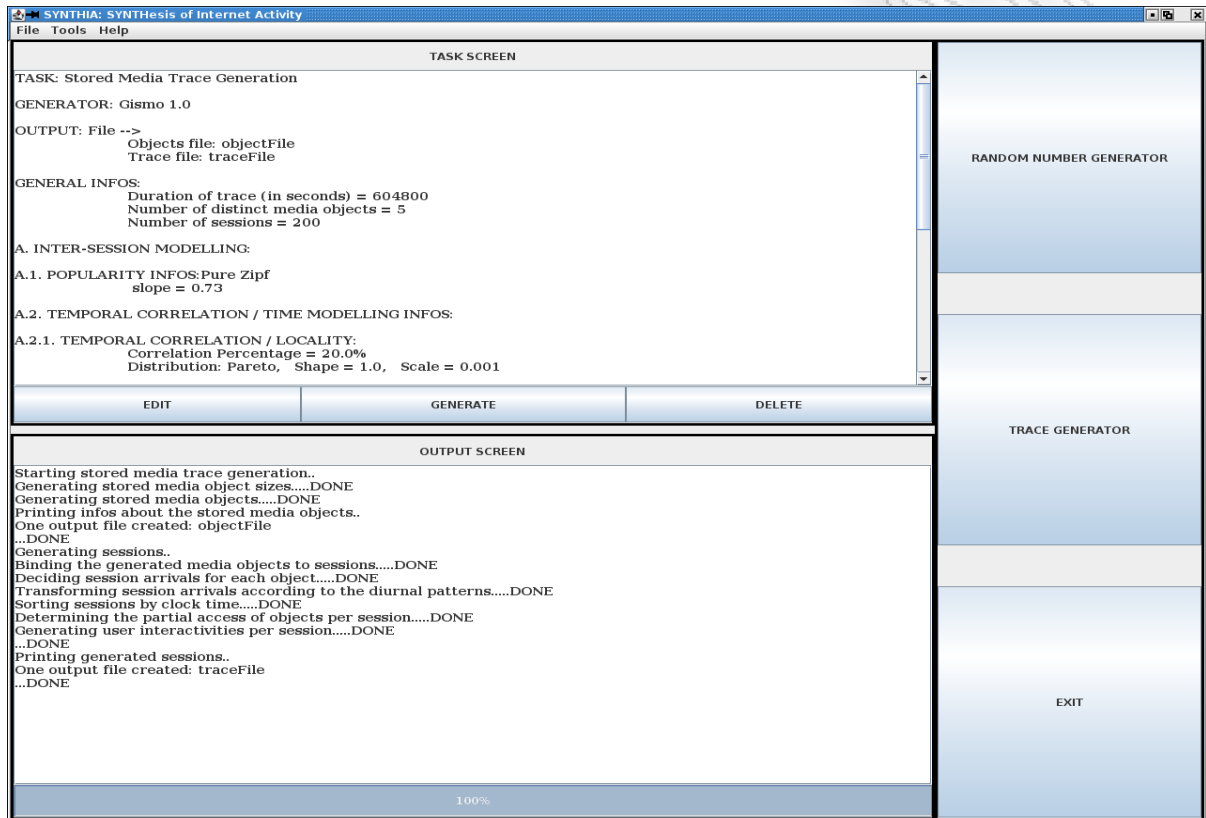
Σχήμα 3.7. Παράδειγμα απεικόνισης της παραμετροποίησης για το εργαλείο ProwGen στην οθόνη εργασίας της SYNTHIA



Σχήμα 3.8. Παράδειγμα ειδοποίησης του χρήστη σε περίπτωση σφάλματος κατά την παραμετροποίηση. Σε πρώτο στάδιο ο χρήστη διαβάζει ένα μήνυμα σχετικό με το σφάλμα. Σε δεύτερο στάδιο το σύστημα προσδιορίζει την καρτέλα και τα πεδία σφάλματος

Σε περίπτωση που έχει πραγματοποιηθεί η εισαγωγή κάποιας λανθασμένης τιμής σε κάποιο πεδίο της παραμετροποίησης, το σύστημα διαχείρισης συμβάντων προσδιορίζει

αυτό το πεδίο και την αντίστοιχη καρτέλα και ειδοποιεί το χρήστη. Ένα τέτοιο παράδειγμα απεικονίζεται στο σχήμα 3.8. Τέλος, στο σχήμα 3.9 απεικονίζεται η οθόνη εξόδου της SYNTHIA, ύστερα από μια επιτυχή εκτέλεση κάποιας εργασίας για παραγωγή τεχνητού φόρτου – συγκεκριμένα, ύστερα από χρήση του εργαλείου Gismo 1.0.



Σχήμα 3.9. Παράδειγμα απεικόνισης των διαφορετικών σταδίων παραγωγής τεχνητού φόρτου με το εργαλείο Gismo 1.0, στην οθόνη εξόδου της SYNTHIA

3.7 Στατιστική Τεκμηρίωση της Ορθής Λειτουργίας της SYNTHIA

Το ερώτημα που τίθεται σε αυτήν την παράγραφο αφορά στην ορθή λειτουργία της SYNTHIA, σχετικά με τη δυνατότητα του τμήματος υποστήριξης στατιστικής και κατανομών να παράγει αριθμούς βάσει των προκαθορισμένων κατανομών. Για να απαντήσουμε στο ερώτημα αυτό, χαράξαμε μια σειρά στατιστικών πειραμάτων αξιολόγησης της λειτουργίας της στατιστικής βιβλιοθήκης της SYNTHIA. Στα πειράματα αυτά ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- Επιλέγεται η κατανομή ως προς την οποία θα γίνει ο έλεγχος και παράγονται τυχαίοι αριθμοί, χρησιμοποιώντας τη λειτουργία παραγωγής τυχαίων αριθμών της SYNTHIA.

- Πραγματοποιείται η στατιστική επεξεργασία με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού, ώστε να προσδιοριστεί και να επιβεβαιωθεί η κατανομή και η συγκεκριμένη παραμετροποίησή της, για το σύνολο των τυχαίων αριθμών που παρήγαγε η SYNTHIA.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τη στατιστική επεξεργασία είναι το EasyFit Professional, έκδοση 5.4, της MathWave¹⁴. Για την εκτίμηση της παραμετροποίησης των κατανομών αξιοποιήθηκε η μεθοδολογία εκτίμησης μέγιστης πιθανότητας (EMΠ) με αριθμό επαναλήψεων ίσο με 250 [Myun03, Nist010], ενώ όσον αφορά στον έλεγχο καλής προσαρμογής αξιοποιήθηκαν οι τεχνικές Kolmogorov-Smirnov [Step74, Mars03, Cord09, Nist010] και Anderson-Darling [Step74, Nist010]. Όλες αυτές οι τεχνικές αναλύθηκαν στην παράγραφο 2.3.3, του κεφαλαίου 2 της παρούσας διατριβής, και υποστηρίζονται πλήρως από το λογισμικό EasyFit.

Για την καλύτερη οπτική άποψη του ελέγχου καλής προσαρμογής, αξιοποιούμε τα διαγράμματα αντιπαράθεσης των ΣΚ ((Probability-Probability, P-P Plots)) των τυχαίων αριθμών που παρήγαγε η SYNTHIA και του μοντέλου που παρήγαγε το EasyFit. Έστω ότι $P_{SYNTHIA}(x)$ είναι η ΣΚ των τυχαίων αριθμών – οι οποίοι αποτελούν τις τιμές της τυχαίας μεταβλητής x και διατάσσονται κατά αύξουσα σειρά – που παρήγαγε η SYNTHIA και $P_{EasyFit}(x)$ είναι η ΣΚ του μοντέλου, στο οποίο κατέληξε το λογισμικό EasyFit. Το διάγραμμα αντιπαράθεσης των ΣΚ καταγράφει στον έναν άξονα – έστω τον κατακόρυφο – τις τιμές της $P_{SYNTHIA}(x)$ και στον άλλο – έστω τον οριζόντιο – τις τιμές της $P_{EasyFit}(x)$. Αν για κάποιο τιμή της τυχαίας μεταβλητής x – έστω X – ισχύσει $P_{SYNTHIA}(X) = P_{EasyFit}(X)$, το σημείο X στο γράφημα θα πέσει πάνω σε μια ευθεία, που έχει κλίση 45 μοίρες. Όσα περισσότερα σημεία πέσουν πάνω στην ευθεία των 45 μοιρών, τόσο καλύτερη είναι η προσαρμογή του μοντέλου του EasyFit πάνω στις τιμές της SYNTHIA.

Στον πίνακα 3.1 δίνουμε μια σύνοψη των στατιστικών πειραμάτων, που θα λάβουν χώρα παρακάτω. Επιλέξαμε 5 διαφορετικές κατανομές, τις: Pareto, Weibull, Γάμμα, Εκθετική και Λογαριθμοκανονική, βάσει των οποίων δημιουργήθηκαν αντίστοιχοι στατιστικοί πληθυσμοί από τυχαίους αριθμούς, χρησιμοποιώντας τη λειτουργία παραγωγής τυχαίων αριθμών της SYNTHIA. Αυτές οι κατανομές αναφέρονται περισσότερο στη βιβλιογραφία σχετικά με το χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της διαδικτυακής

¹⁴ <http://www.mathwave.com>

δραστηριότητας ως υποψήφιες λύσεις για την παραγωγή μοντέλων, κυρίως σε περιπτώσεις που αφορούν στην ουρά των εμπειρικών, παρατηρούμενων κατανομών. Επιπλέον, όπως τονίσαμε στην παράγραφο 2.3.2, η εκθετική κατανομή αποτελεί το όριο πέρα από το οποίο βρίσκονται οι κατανομές ενισχυμένης ουράς (ή, άκρου). Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο για τη SYNTHIA να μπορεί να διακρίνει τουλάχιστον ανάμεσα στις κατανομές αυτές.

ΠΕΙΡΑΜΑ	ΚΑΤΑΝΟΜΗ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ 1 (ΚΛΙΜΑΚΑ Ή σ^2)	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ 2 (ΜΟΡΦΗ Ή ΜΕΣΟΣ)	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ
1	Pareto	10.000	1,2	250.000
2	Weibull	33,23198022	0,51107	250.000
3	Γάμμα	10.000	1,2	250.000
4	Εκθετική	6,25	-	250.000
5	Λογαριθμοκανονική	0,735018939	3,574971619	250.000

Πίνακας 3.1. Σύνοψη στατιστικών πειραμάτων για την τεκμηρίωση της ορθής λειτουργίας της SYNTHIA

Η παραμετροποίηση των κατανομών φαίνεται στις στήλες 3 και 4 του πίνακα 3.1. Για όλα τα πειράματα, το μέγεθος του κάθε στατιστικού πληθυσμού είναι ίσο με 250.000 τιμές. Αυτός είναι το μέγιστο μέγεθος πληθυσμού που μπορεί να επεξεργαστεί το λογισμικό EasyFit, βάσει των προδιαγραφών του. Επιλέξαμε το μέγιστο δυνατό μέγεθος πληθυσμού, ώστε να έχουμε όσο το δυνατό καλύτερη προσέγγιση στην τιμή των παραμέτρων με την τεχνική της εκτίμησης μέγιστης πιθανότητας (EMΠ).

3.7.1 Πείραμα 1: Κατανομή Pareto

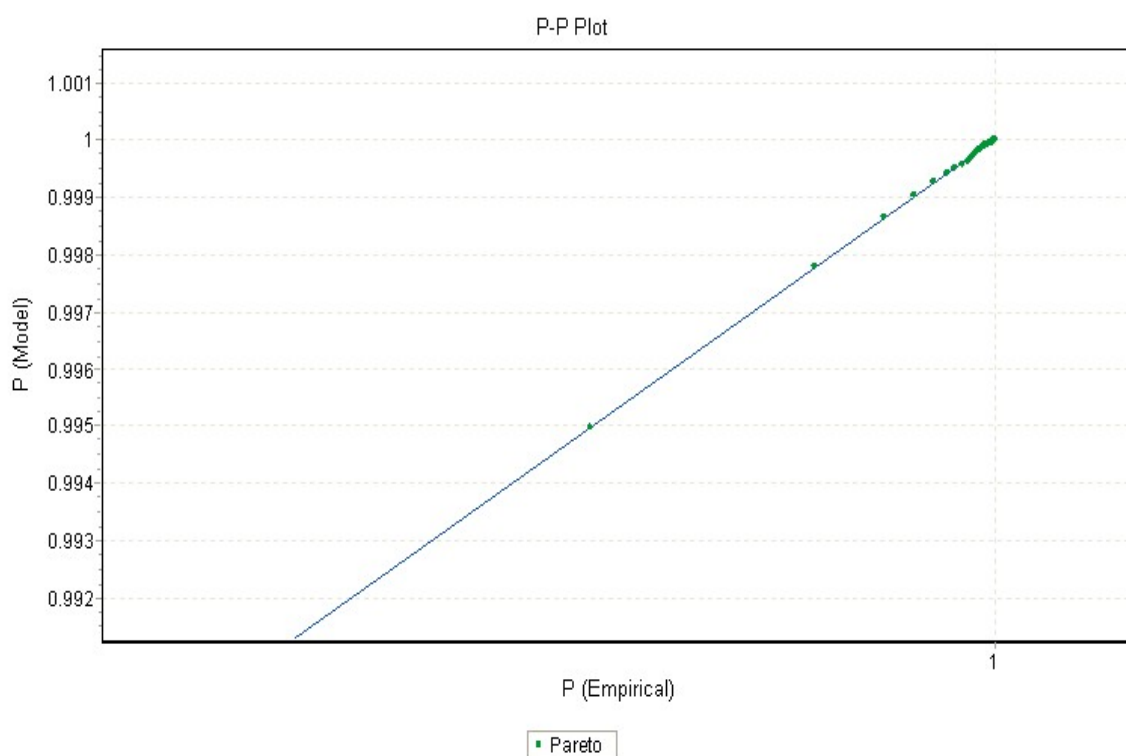
Στο πρώτο από τα πειράματα τεκμηρίωσης της ορθής λειτουργίας της SYNTHIA επιλέχθηκε η παραγωγή αριθμών με βάση την κατανομή Pareto και η αξιολόγηση σε δεύτερο χρόνο από το λογισμικό EasyFit. Οι τιμές των παραμέτρων (δηλαδή, 10.000 και 1,2) είναι οι προκαθορισμένες τιμές της μηχανής ProwGen, που αφορούν την ουρά της κατανομής των μεγεθών των αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού. Σχετικά με την εκτίμηση της παραμετροποίησης, η μεθοδολογία EMΠ οδηγήθηκε στο συμπέρασμα ότι, ο πληθυσμός περιγράφεται καλύτερα από την Pareto για τιμή κλίμακας ίση με 10000,0343 και τιμή μορφοποίησης ίση με 1,198750261. Συγκρίνοντας με τις αντίστοιχες τιμές του πίνακα 3.1, παρατηρούμε ότι υπάρχει μεγάλος βαθμός ακρίβειας μεταξύ των τιμών.

Το ερώτημα που τίθεται στο σημείο αυτό είναι, αν το EasyFit κατάφερε να προσεγγίσει τον κατά Pareto πληθυσμό της SYNTHIA καλύτερα με κάποια άλλη από τις ενδιαφερόμενες κατανομές από ό,τι με την Pareto.

Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζουμε την ταξινόμηση των κατανομών ως προς την καλή προσαρμογή τους στον κατά Pareto παραγόμενο πληθυσμό από τη SYNTHIA. Η ταξινόμηση γίνεται με βάση τη βαθμολόγηση τόσο στη μεθοδολογία Kolmogorov-Smirnov, όσο και στη μεθοδολογία Anderson-Darling.

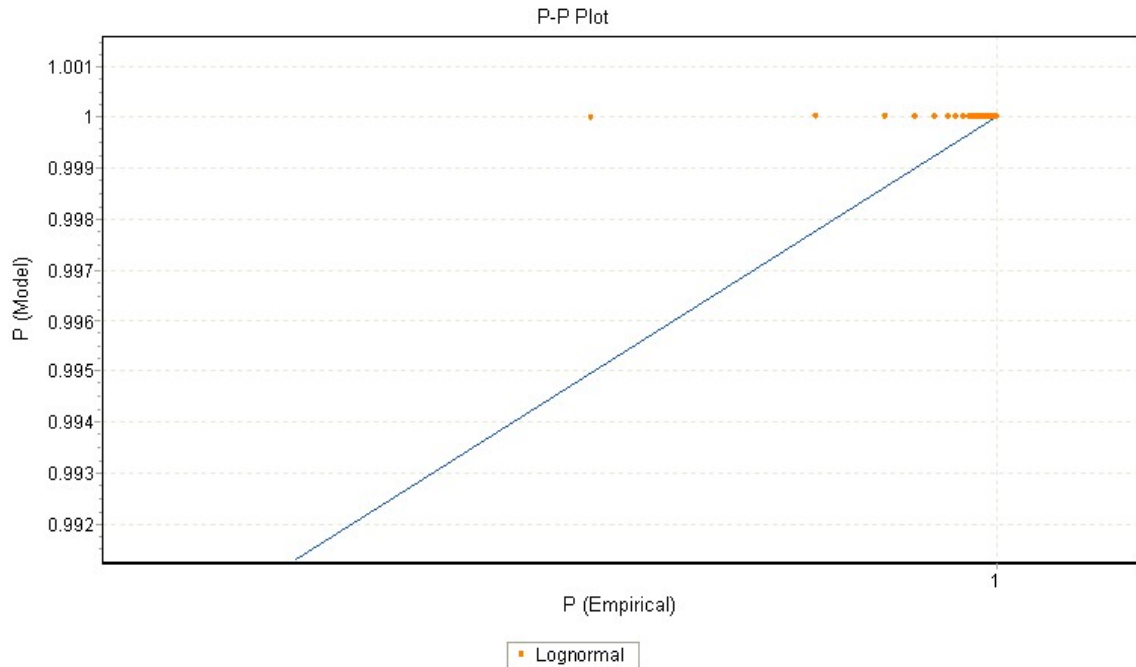
ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ	ΚΟΛΜΟΓΟΡΟΒ – ΣΜΙΡΝΟΒ		ΑΝΔΕΡΣΟΝ – ΔΑΡΛΙΝΓ	
	ΜΕΤΡΟ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ	ΜΕΤΡΟ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ
Pareto	0,0012295048	1	2,469979204	1
Λογαριθμιοκανονική	0,1589084291	2	11805,30182	2
Weibull	0,2049388119	3	26443,48819	3
Εκθετική	0,3046587665	4	45370,7529	4
Γάμμα	0,9815434148	5	767555,281	5

Πίνακας 3.2. Ταξινόμηση των κατανομών ως προς την καλή προσαρμογή στον κατά Pareto παραγόμενο πληθυσμό από τη SYNTHIA

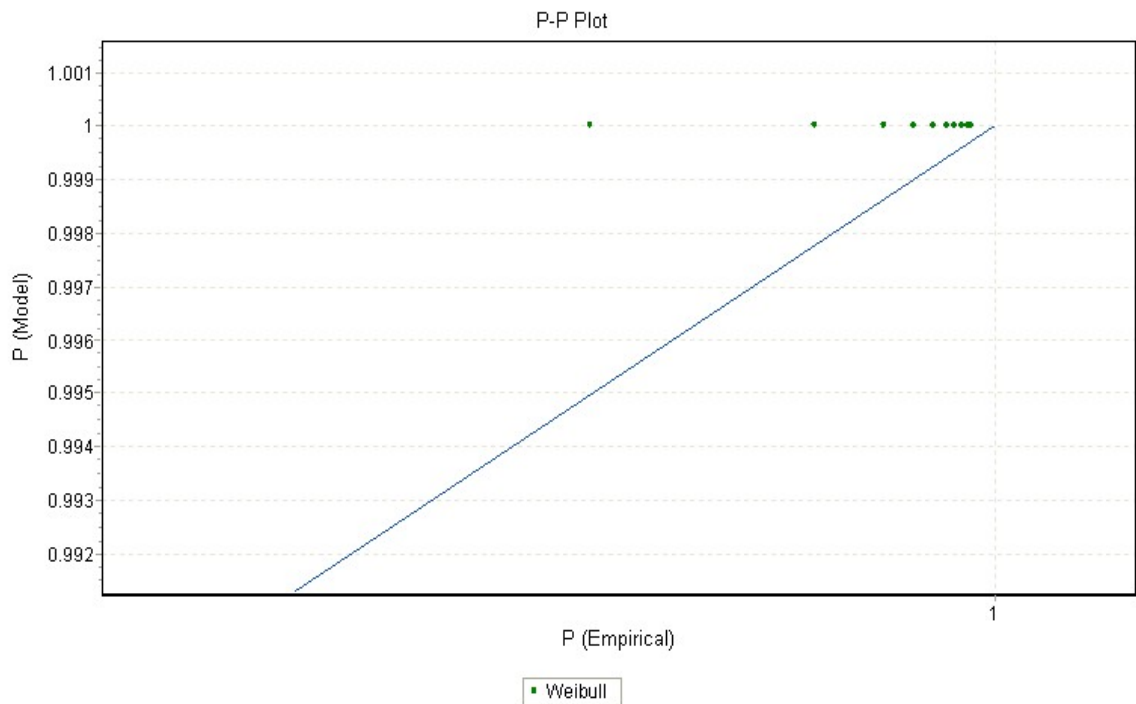


Σχήμα 3.10. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του κατά Pareto παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της κατανομής Pareto σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit

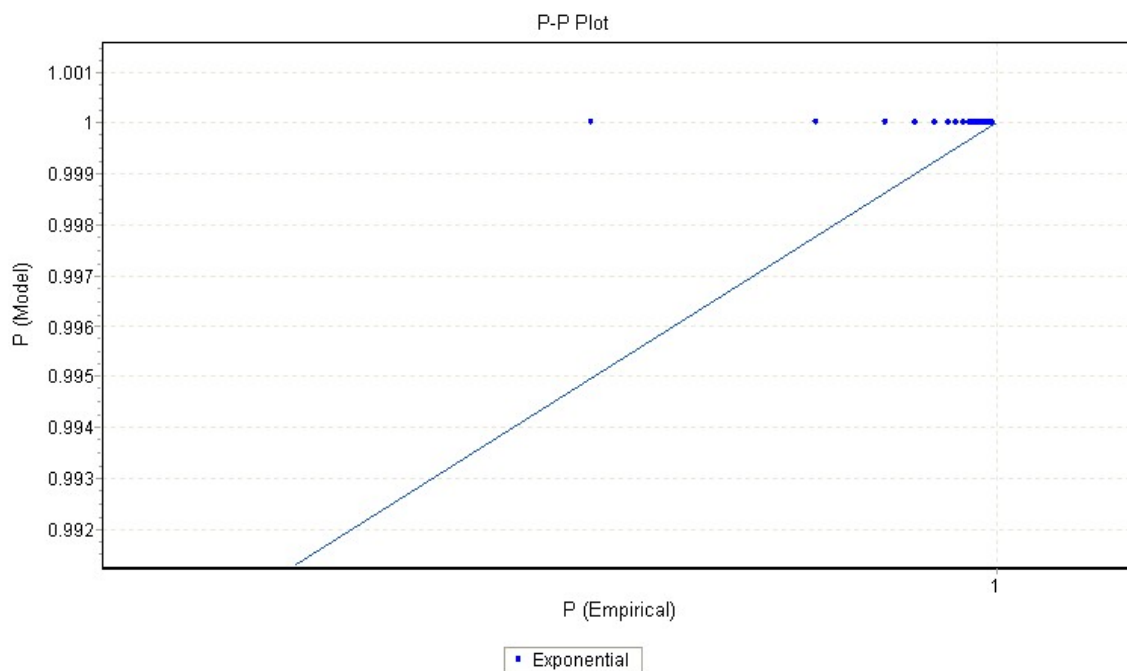
Βάσει και των δύο μεθοδολογιών, παρατηρούμε ότι πίσω από τον πληθυσμό της SYNTHIA κρύβεται πράγματι η κατανομή Pareto. Επιπλέον, φαίνεται ότι οι τρεις τελευταίες κατανομές έχουν ταξινομηθεί διαφορετικά από τις δύο μεθοδολογίες.



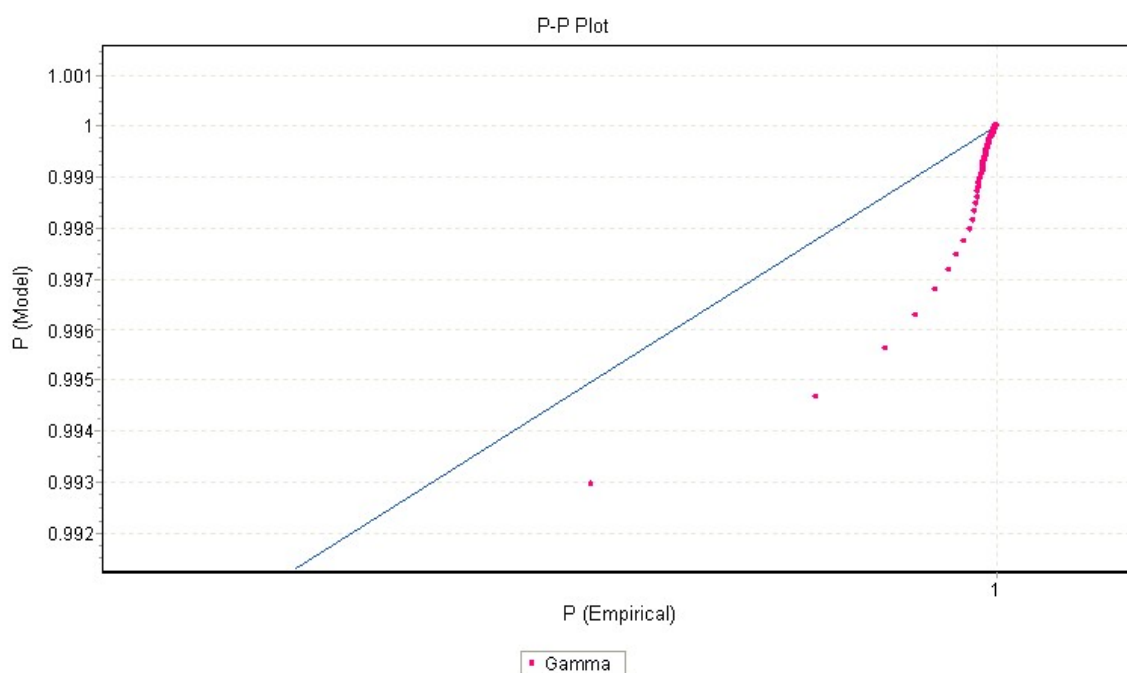
Σχήμα 3.11. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του κατά Pareto παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της λογαριθμοκανονικής κατανομής σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit



Σχήμα 3.12. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του κατά Pareto παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της κατανομής Weibull σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit



Σχήμα 3.13. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του κατά Pareto παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της εκθετικής κατανομής σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit



Σχήμα 3.14. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του κατά Pareto παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της κατανομής Weibull σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit

Τα σχήματα 3.10-3.14 παρουσιάζουν τα διαγράμματα αντιπαράθεσης των ΣΚ για τις πέντε κατανομές που μας ενδιαφέρουν, δηλαδή, τις: Pareto, Λογαριθμοκανονική, Weibull, Εκθετική και Γάμμα, αντίστοιχα. Επειδή η μεγαλύτερη συγκέντρωση του πληθυσμού των

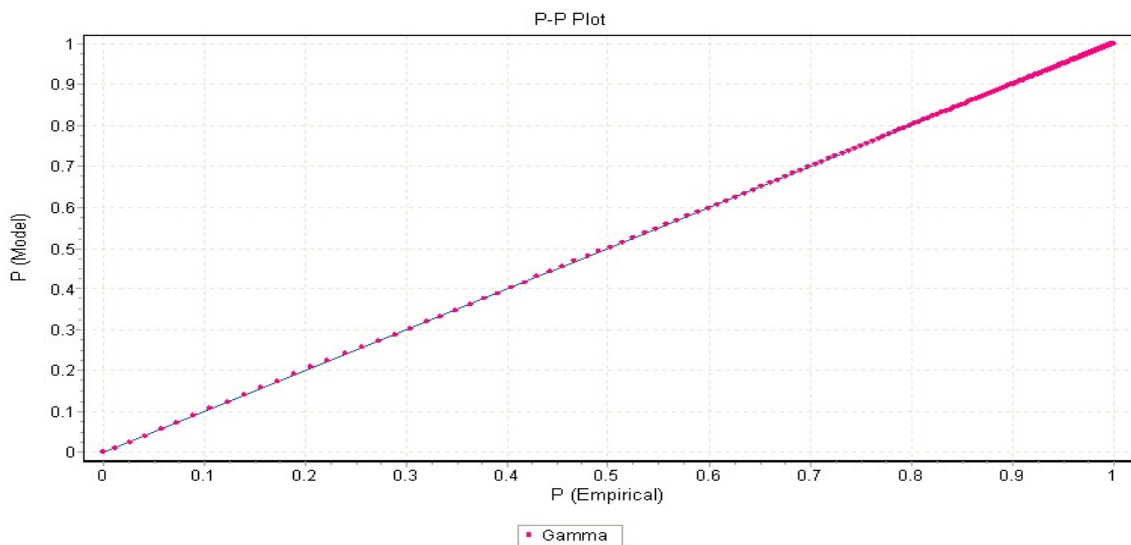
τυχαίων αριθμών βρίσκεται στο εύρος πιθανοτήτων πολύ κοντά στη μονάδα, επιλέγουμε να απεικονίσουμε μόνο το συγκεκριμένο τμήμα του διαγράμματος, ώστε να υπάρχει καλύτερη οπτική εικόνα. Από τα διαγράμματα των σχημάτων 3.10-3.14 είναι ξεκάθαρο οπτικά ότι η κατανομή Pareto εκφράζει καλύτερα τον πληθυσμό που παράχθηκε από τη SYNTHIA.

3.7.2 Πείραμα 2: Κατανομή Γάμμα

Στο δεύτερο στατιστικό πείραμα δημιουργήθηκε ένας στατιστικός πληθυσμός με βάση την κατανομή Γάμμα από τη SYNTHIA. Οι παράμετροι κλίμακας και μορφοποίησης έχουν ακριβώς την ίδια τιμή, όπως και στην περίπτωση της κατανομής Pareto (δηλαδή, 10.000 και 1,2 αντίστοιχα). Η μεθοδολογία ΕΜΠ που εφαρμόστηκε από το EasyFit οδήγησε σε τιμές 9.943,281383 και 1,203397185 που αποτελούν μια αρκετά καλή προσέγγιση στις παραπάνω τιμές.

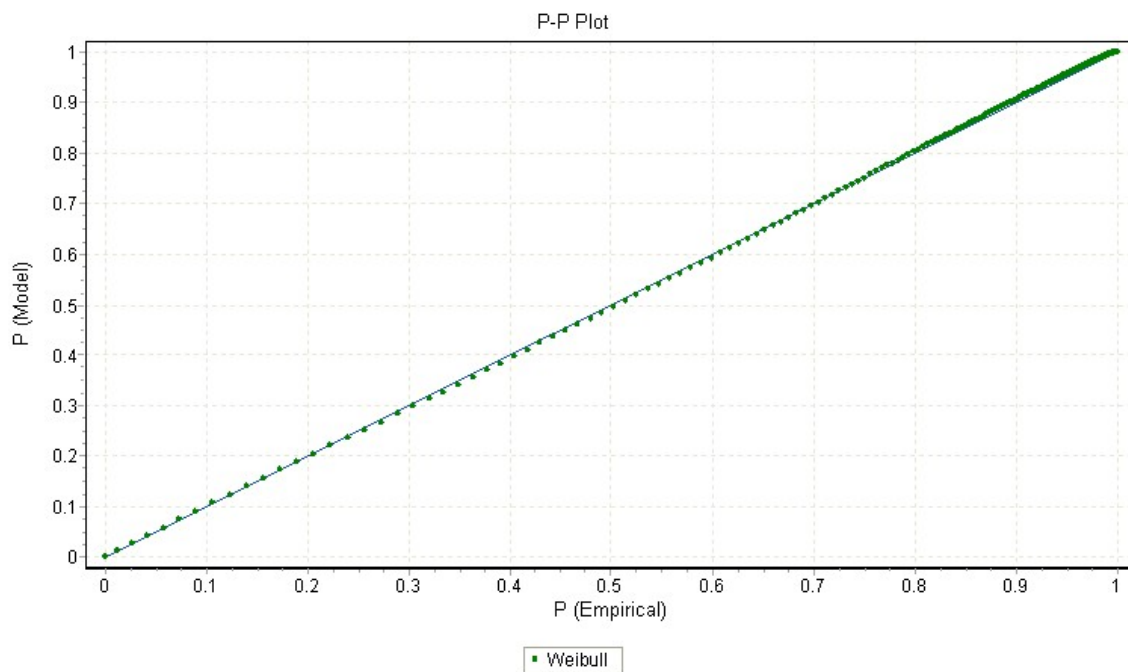
ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ	KOLMOGOROV – SMIRNOV		ANDERSON – DARLING	
	ΜΕΤΡΟ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ	ΜΕΤΡΟ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ
Γάμμα	0,0031638469	1	1,971840278	1
Weibull	0,0076933217	2	40,09589435	2
Εκθετική	0,0429615203	3	1019,226489	3
Λογαριθμοκανονική	0,0640916405	4	2519,741886	4
Pareto	0,5099886555	5	93978,89623	5

Πίνακας 3.3. Ταξινόμηση των κατανομών ως προς την καλή προσαρμογή στον κατά Γάμμα παραγόμενο πληθυσμό από τη SYNTHIA

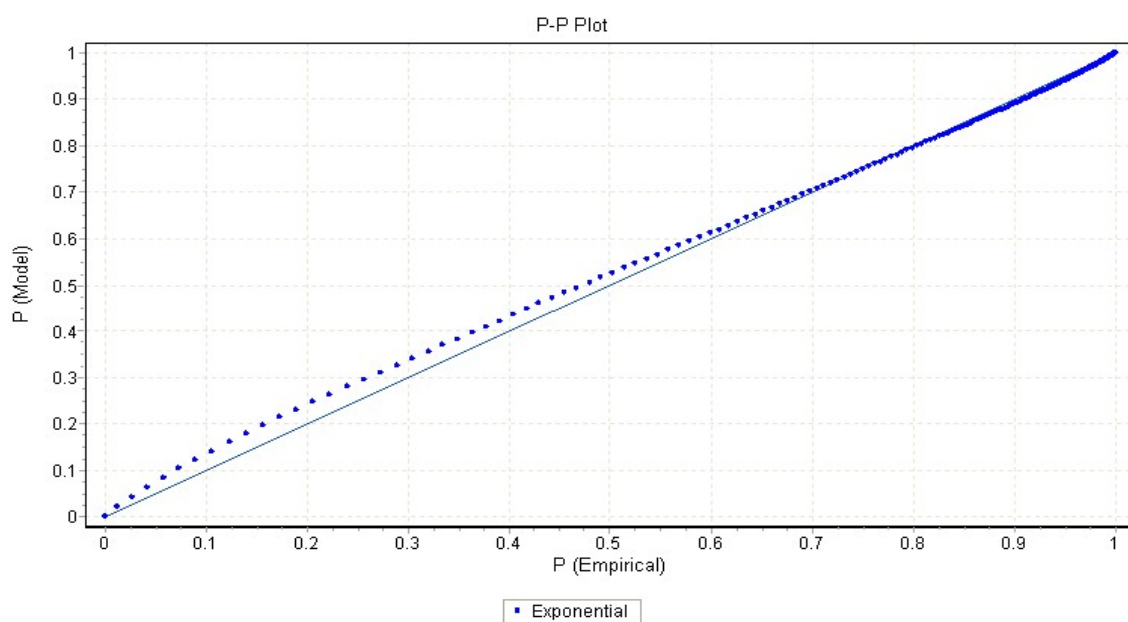


Σχήμα 3.15. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του κατά Γάμμα παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της κατανομής Γάμμα σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit

Όσον αφορά στην καλή προσαρμογή των κατανομών στον κατά Γάμμα παραγόμενο πληθυσμό της SYNTHIA, ο πίνακας 3.3 είναι διαφωτιστικός, δίνοντας την ταξινόμηση με βάση τα μέτρα Kolmogorov-Smirnov και Anderson-Darling για τις πέντε κατανομές που μας ενδιαφέρουν. Η επικράτηση της κατανομής Γάμμα όσον αφορά στην προσέγγιση του πληθυσμού είναι αδιαμφισβήτητη.

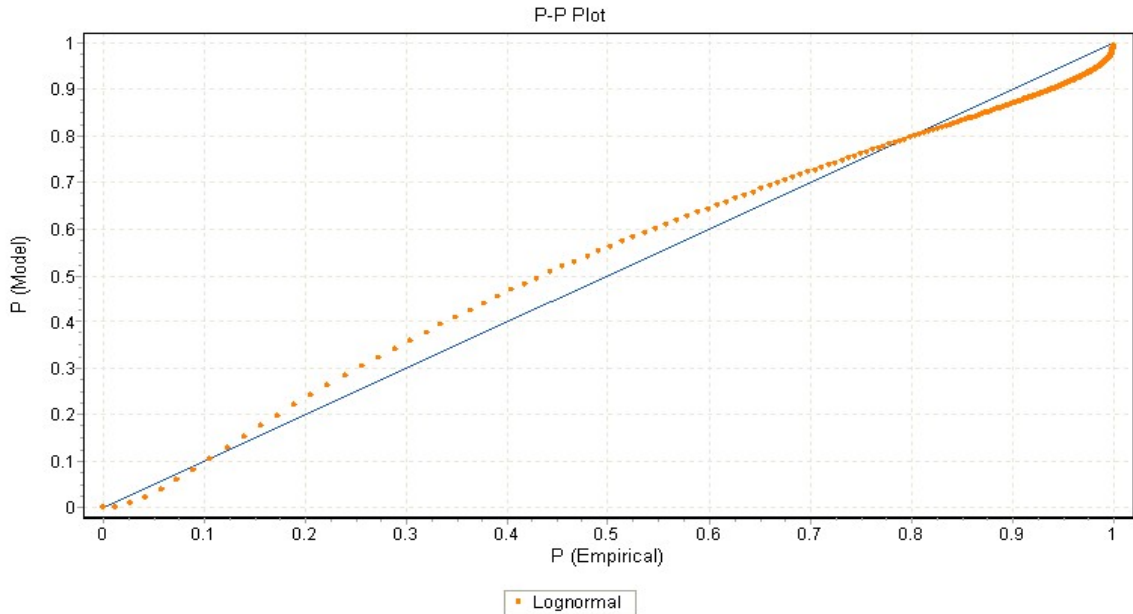


Σχήμα 3.16. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του κατά Γάμμα παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της κατανομής Weibull σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit

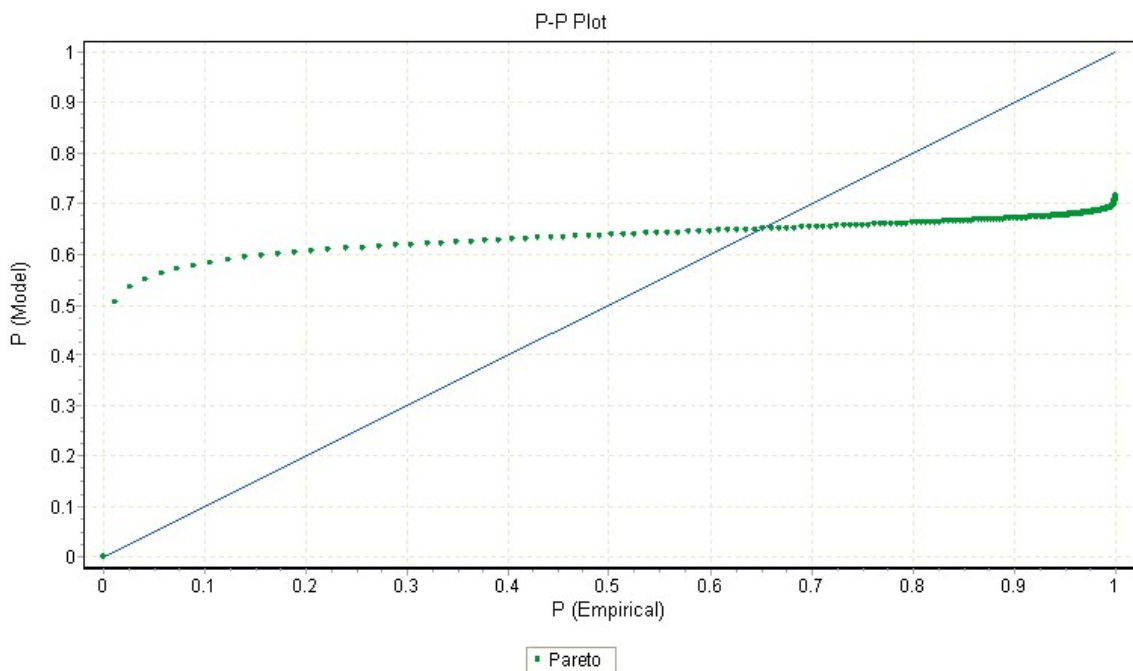


Σχήμα 3.17. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του κατά Γάμμα παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της εκθετικής κατανομής σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit

Τα σχήματα 3.15-3.19 παρουσιάζουν τα διαγράμματα αντιπαράθεσης των ΣΚ για τις πέντε κατανομές που μας ενδιαφέρουν, δηλαδή, τις: Γάμμα, Weibull, Εκθετική, Λογαριθμοκανονική και Pareto, αντίστοιχα. Παρατηρώντας προσεκτικά τα διαγράμματα των σχημάτων αυτών μπορεί επιβεβαιωθεί και οπτικά η επικράτηση της κατανομής Γάμμα.



Σχήμα 3.18. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του κατά Γάμμα παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της λογαριθμοκανονικής κατανομής σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit



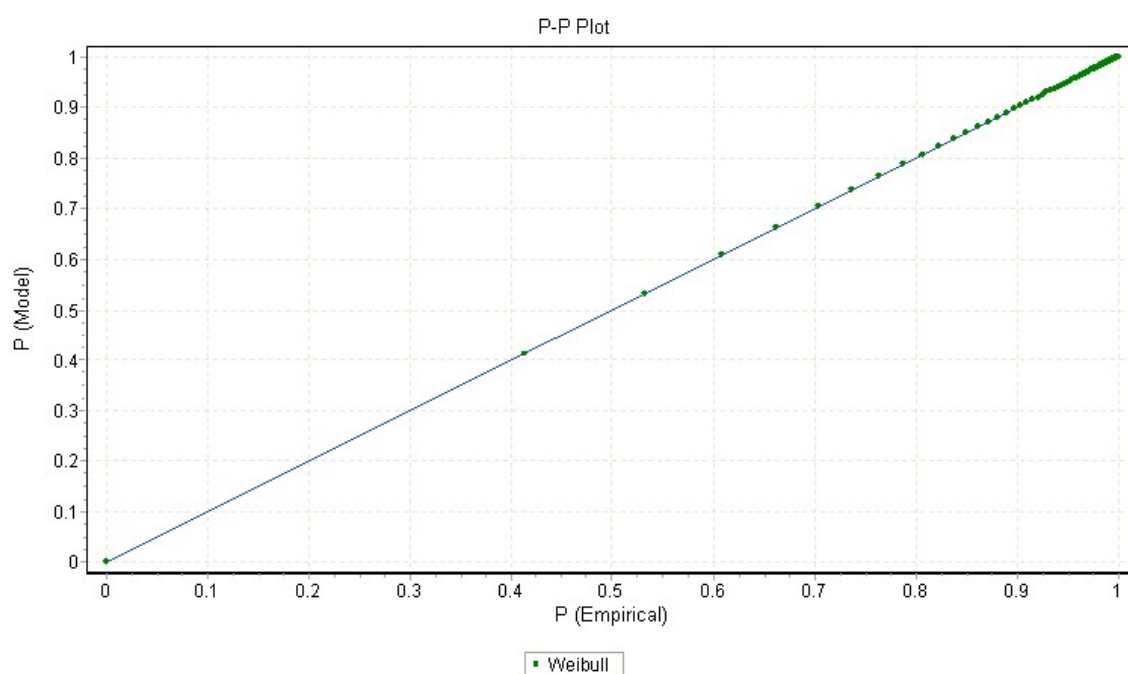
Σχήμα 3.19. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του κατά Γάμμα παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της κατανομής Pareto σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit

3.7.3 Πείραμα 3: Κατανομή Weibull

Στο τρίτο στατιστικό πείραμα δημιουργήθηκε ένας στατιστικός πληθυσμός με βάση την κατανομή Weibull από τη SYNTHIA. Οι παράμετροι κλίμακας και μορφοποίησης έχουν τιμές 33,23198022 και 0,51107 αντίστοιχα, που αντιστοιχούν στις τιμές των χρονικών διαστημάτων μεταξύ διαδοχικών πολυμεσικών συνόδων για τον κάθε χρήστη, κατά τους Garcia et al [Garc07]. Η μεθοδολογία ΕΜΠ που εφαρμόστηκε από το EasyFit οδήγησε σε τιμές 33,12039273 και 0,5108905157 που αποτελούν μια πολύ καλή προσέγγιση στις παραπάνω τιμές.

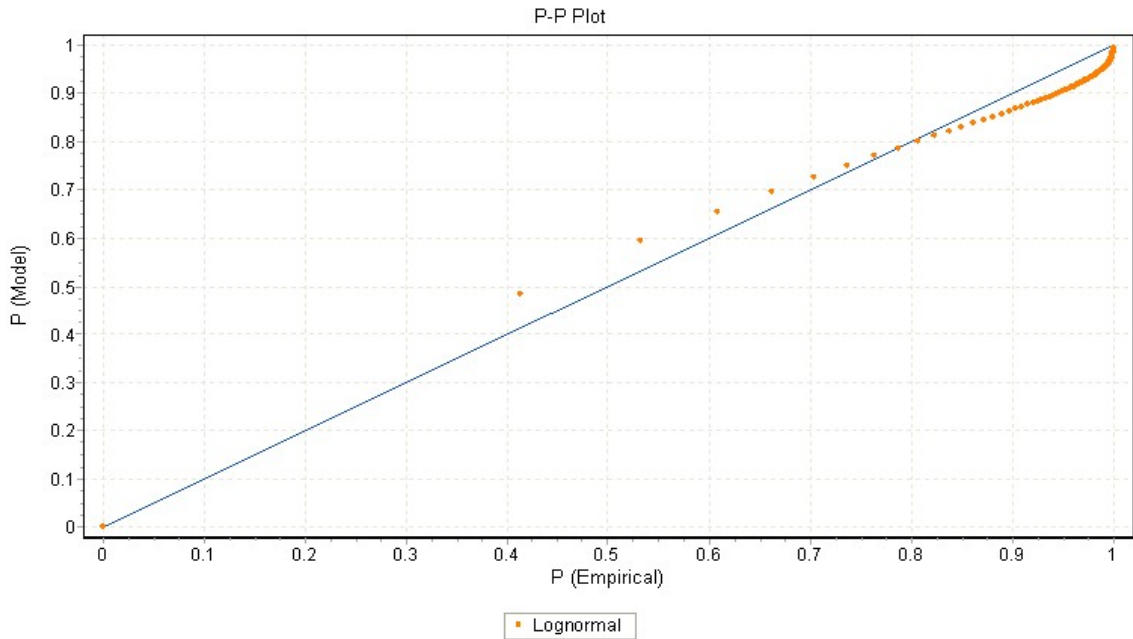
ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ	KOLMOGOROV – SMIRNOV		ANDERSON – DARLING	
	ΜΕΤΡΟ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ	ΜΕΤΡΟ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ
Weibull	0,0011093979	1	0,3816509202	1
Λογαριθμοκανονική	0,0713450273	2	3075,102008	2
Γάμμα	0,174006205	3	14610,56145	3
Εκθετική	0,2769483736	4	67291,28633	4
Pareto	0,4865309286	5	89370,34123	5

Πίνακας 3.4. Ταξινόμηση των κατανομών ως προς την καλή προσαρμογή στον κατά Weibull παραγόμενο πληθυσμό από τη SYNTHIA

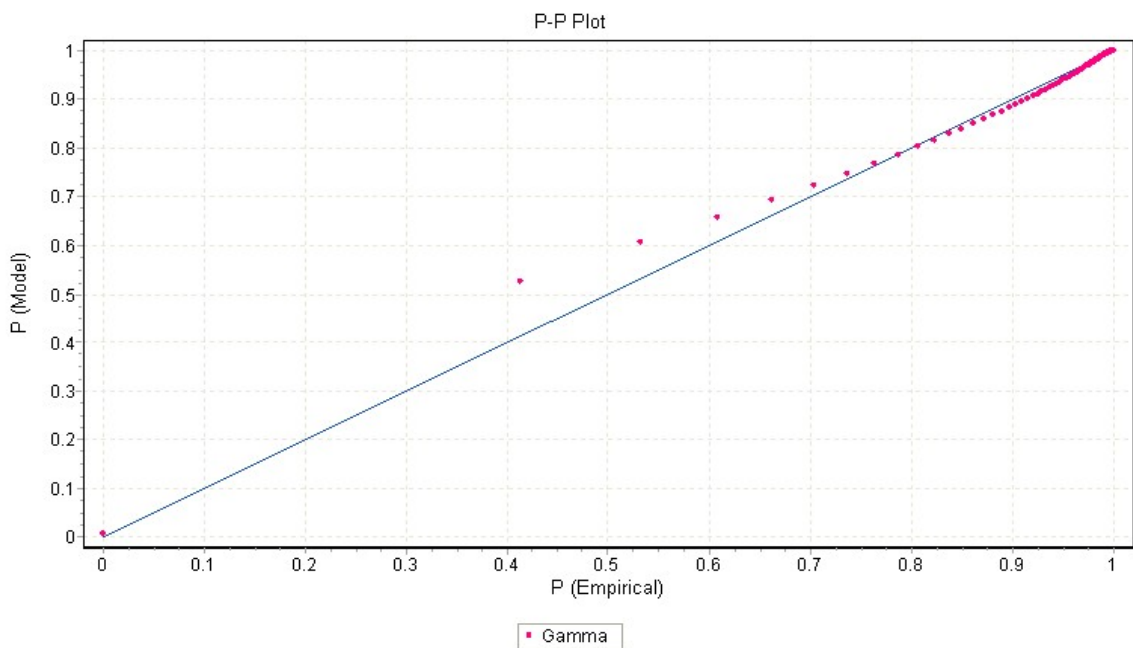


Σχήμα 3.20. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του κατά Weibull παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της κατανομής Weibull σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit

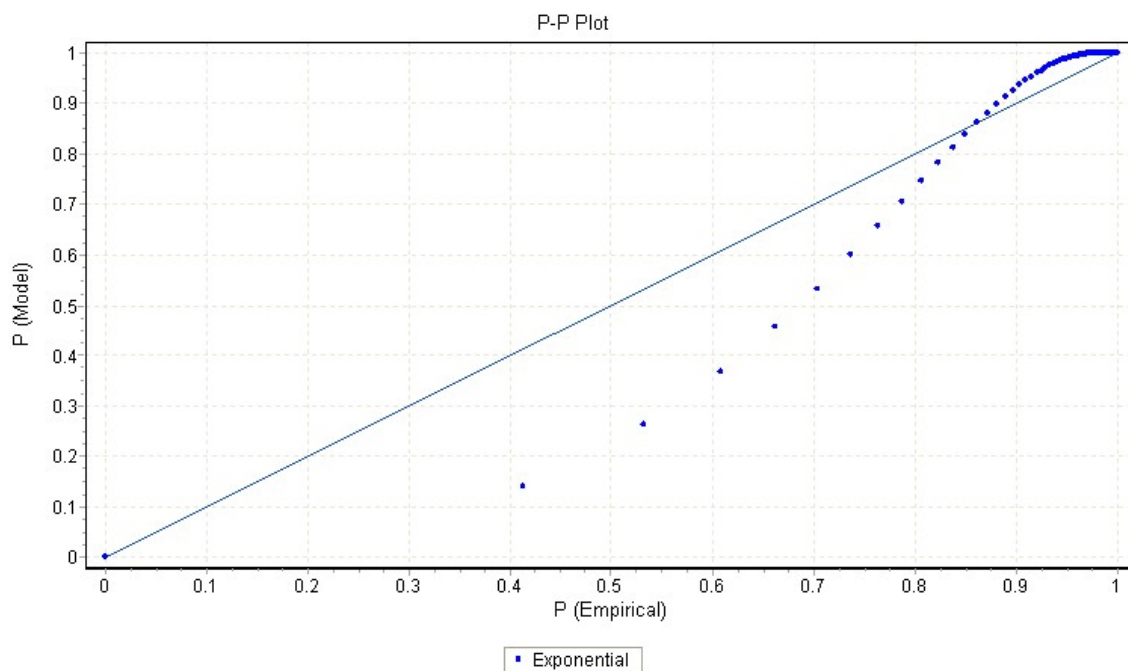
Όσον αφορά στην καλή προσαρμογή των κατανομών που μας ενδιαφέρουν στον κατά Weibull παραγόμενο πληθυσμό της SYNTHIA, ο πίνακας 3.4 είναι διαφωτιστικός, δίνοντας την ταξινόμηση με βάση τα μέτρα Kolmogorov-Smirnov και Anderson-Darling. Η επικράτηση της κατανομής Weibull όσον αφορά στην προσέγγιση του πληθυσμού είναι αδιαμφισβήτητη.



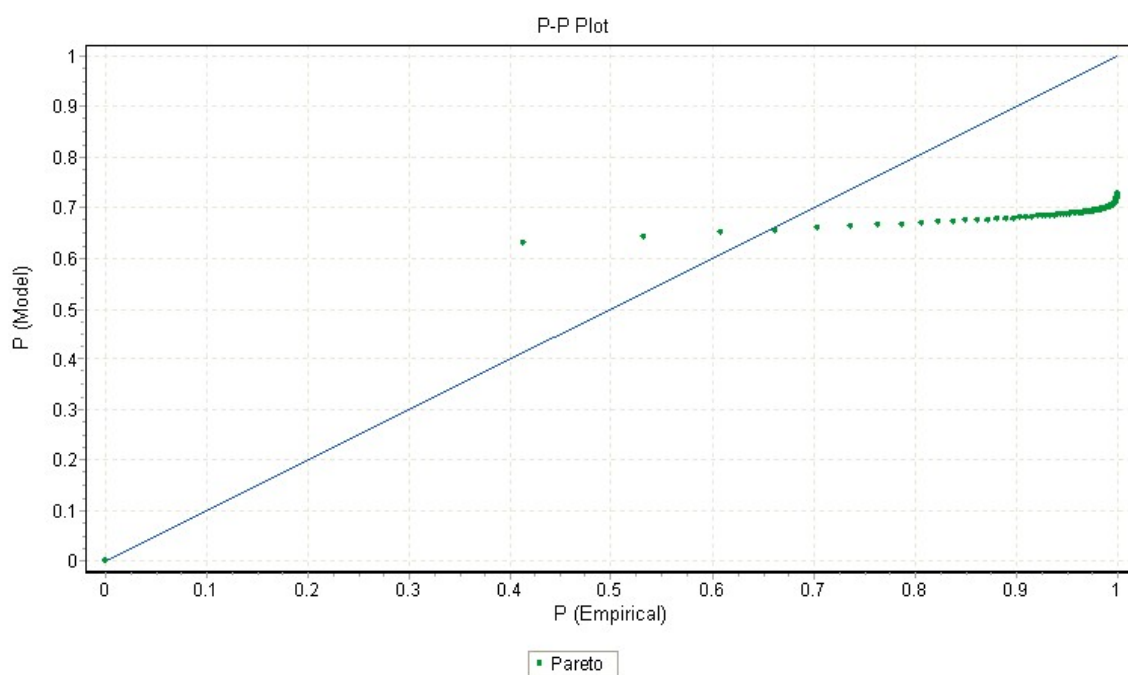
Σχήμα 3.21. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του κατά Weibull παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της λογαριθμοκανονικής κατανομής σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit



Σχήμα 3.22. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του κατά Weibull παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της κατανομής Γάμμα σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit



Σχήμα 3.23. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του κατά Weibull παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της εκθετικής κατανομής σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit



Σχήμα 3.24. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του κατά Weibull παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της κατανομής Pareto σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit

Τα σχήματα 3.20-3.24 παρουσιάζουν τα διαγράμματα αντιπαράθεσης των ΣΚ για τις πέντε κατανομές που μας ενδιαφέρουν, δηλαδή τις: Weibull, Λογαριθμοκανονική, Γάμμα,

Εκθετική και Pareto αντίστοιχα. Παρατηρώντας προσεκτικά τα διαγράμματα των σχημάτων 3.20-3.24 μπορεί επιβεβαιωθεί και οπτικά η επικράτηση της κατανομής Weibull.

3.7.4 Πείραμα 4: Εκθετική Κατανομή

Στο τέταρτο πείραμα δημιουργήθηκε ένας στατιστικός πληθυσμός με βάση την εκθετική κατανομή από τη SYNTHIA. Η παράμετρος κλίμακας που λήφθηκε υπόψη έχει τιμή 0,16 και αντιστοιχεί σε τιμή της διάρκειας συνόδου για μικρά πολυμεσικά αντικείμενα, κατά τους Garcia et al [Garc07]. Η μεθοδολογία ΕΜΠ που εφαρμόστηκε από το EasyFit οδήγησε σε αντίστοιχη τιμή ίση με 0,1596461182 που είναι μια πολύ καλή προσέγγιση.

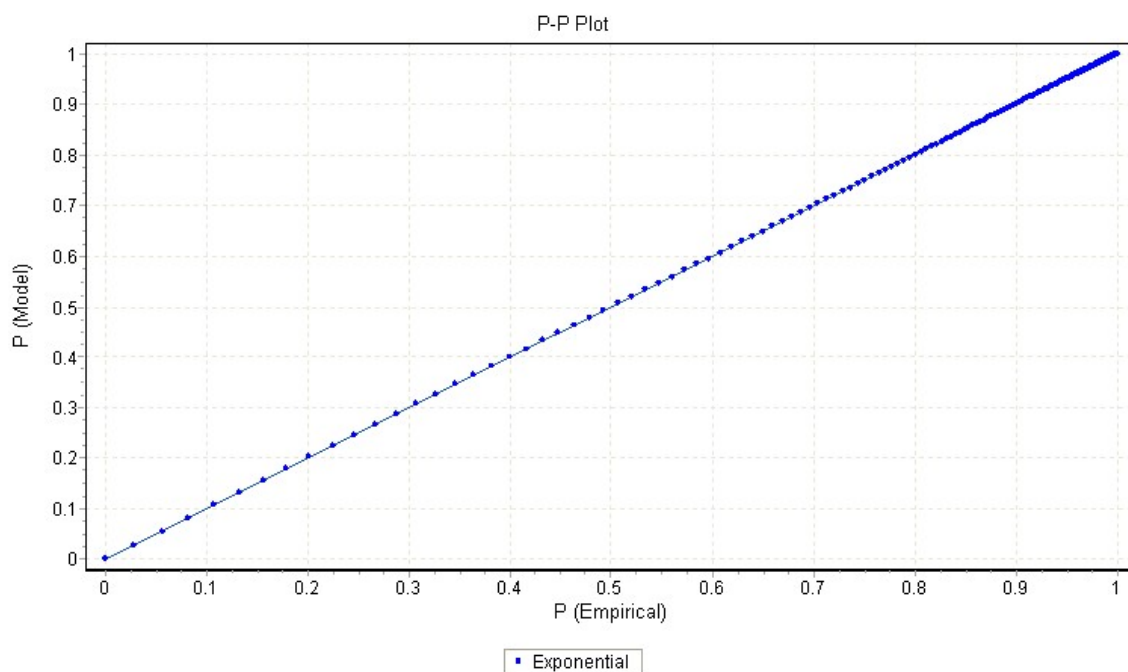
Όσον αφορά στην καλή προσαρμογή των κατανομών που μας ενδιαφέρουν στον εκθετικά παραγόμενο πληθυσμό της SYNTHIA, ο πίνακας 3.5 είναι διαφωτιστικός, δίνοντας την ταξινόμηση με βάση τα μέτρα Kolmogorov-Smirnov και Anderson-Darling. Η σειρά με την οποία γράφονται οι κατανομές στον πίνακα ακολουθεί την ταξινόμηση κατά Anderson-Darling, δεδομένου ότι υπάρχει διαφοροποίηση ανάμεσα στη βαθμολόγηση των δύο μεθοδολογιών.

ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ	KOLMOGOROV – SMIRNOV		ANDERSON – DARLING	
	ΜΕΤΡΟ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ	ΜΕΤΡΟ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ
Εκθετική	0,0012512751	2	0,4986453245	1
Γάμμα	0,0012508802	1	0,501852337	2
Weibull	0,0014101072	3	0,5649219147	3
Λογαριθμοκανονική	0,071004696	4	3061,043616	4
Pareto	0,5248971928	5	97272,74635	5

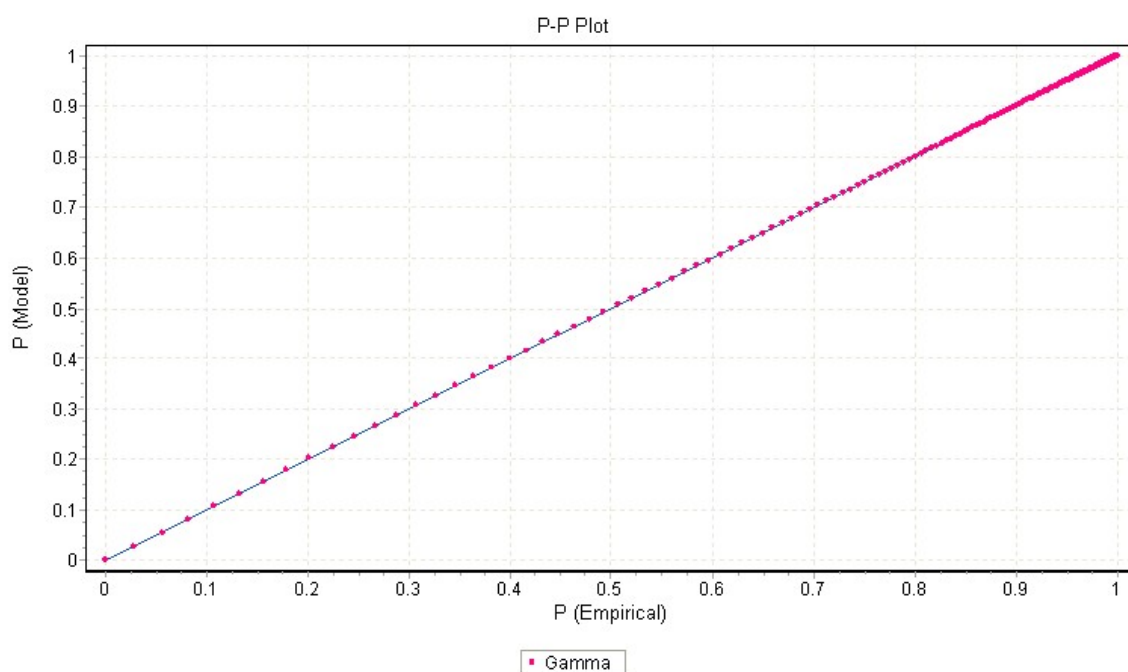
Πίνακας 3.5. Ταξινόμηση των κατανομών ως προς την καλή προσαρμογή στον εκθετικά παραγόμενο πληθυσμό από τη SYNTHIA

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.5, η εκθετική κατανομή έρχεται πρώτη και η κατανομή Γάμμα είναι δεύτερη βάσει της ταξινόμησης ως προς το μέτρο Anderson-Darling, ενώ το αντίθετο συμβαίνει βάσει της ταξινόμησης ως προς το μέτρο Kolmogorov-Smirnov. Αν λάβουμε υπόψη μας την ανάλυση των δύο μεθοδολογιών – που πραγματοποιήθηκε στην παράγραφο 2.3.3.2, του κεφαλαίου 2 – τότε θα πρέπει να δοθεί μεγαλύτερη έμφαση στην ταξινόμηση κατά Anderson-Darling, δεδομένου ότι το στατιστικό μέτρο που χρησιμοποιεί είναι προσαρμοσμένο στις υπό μελέτη κατανομές, και όχι ανεξάρτητο αυτών, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των Kolmogorov-Smirnov. Αυτό βέβαια δεν αναιρεί το γεγονός

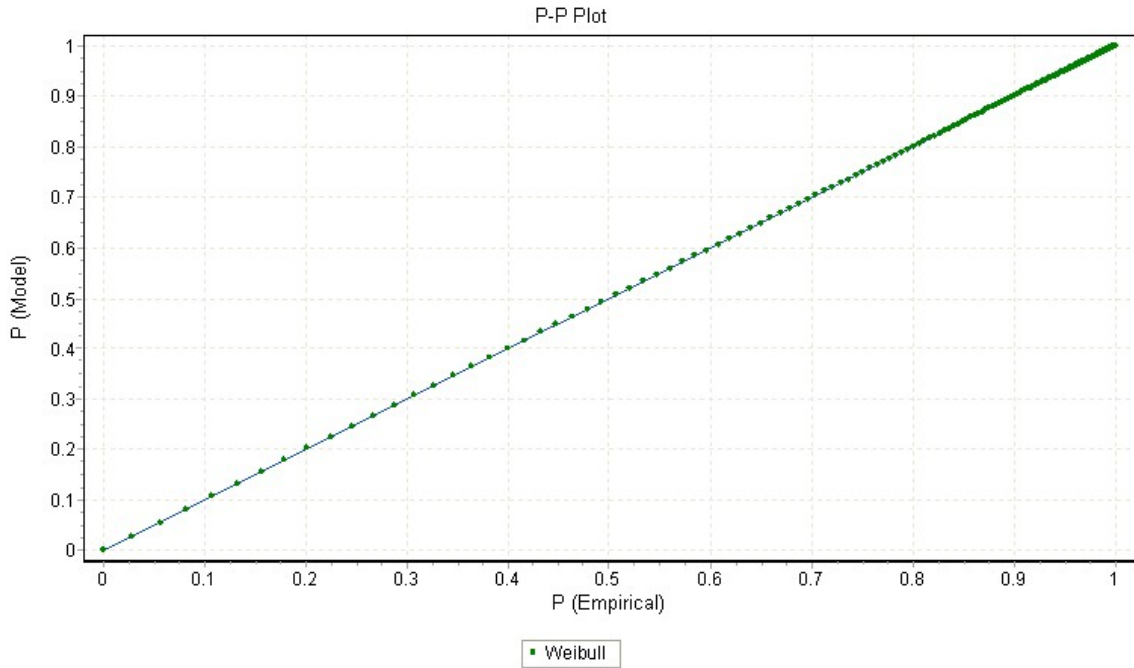
ότι υπάρχει μια περίπτωση κατανομής Γάμμα – με παραμέτρους κλίμακας και μορφοποίησης ίσες με 6,264252607 και 0,9999363919, αντίστοιχα – που μπορεί επίσης να προσεγγίσει επαρκώς τον πληθυσμό.



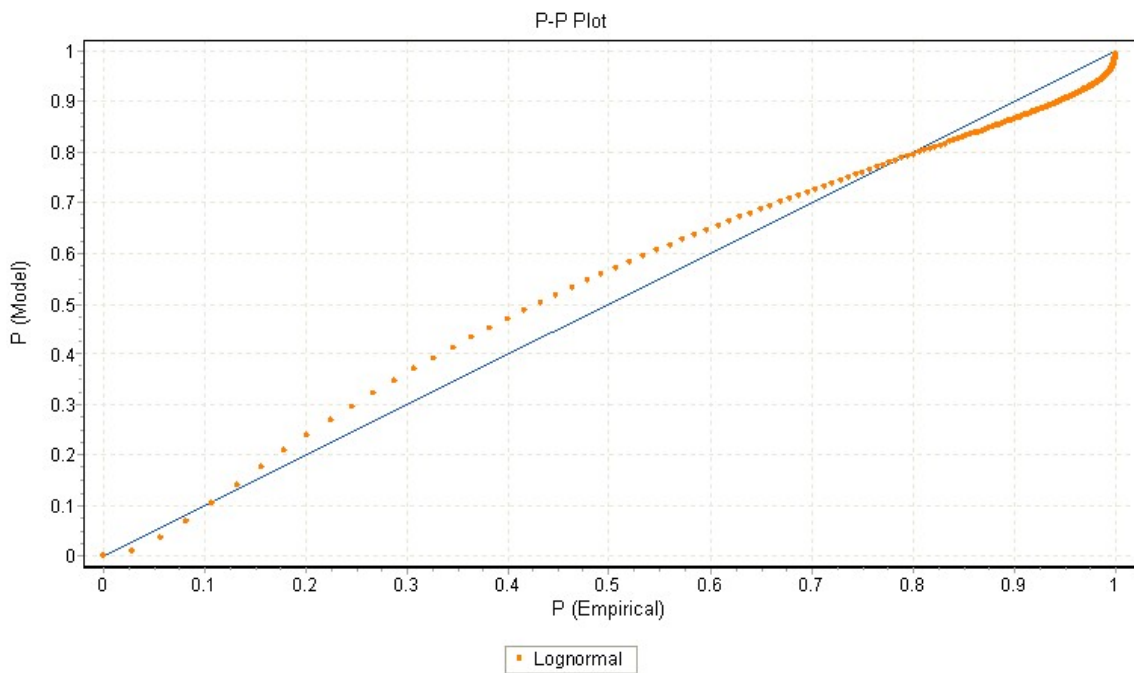
Σχήμα 3.25. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του εκθετικά παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της εκθετικής κατανομής σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit



Σχήμα 3.26. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του εκθετικά παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της κατανομής Γάμμα σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit



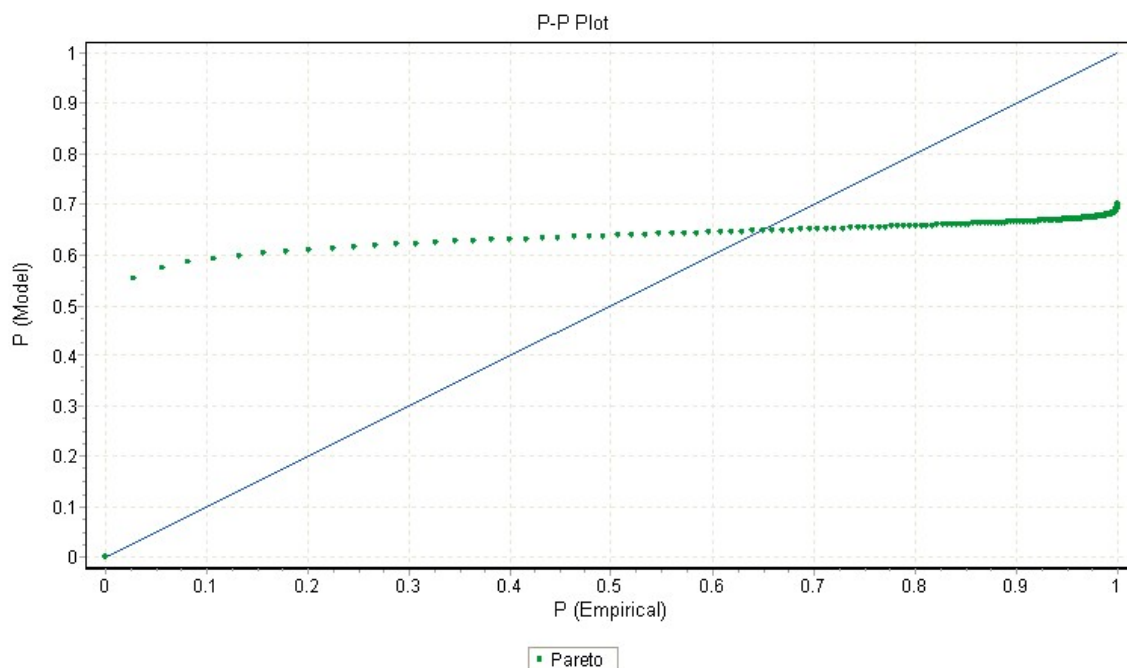
Σχήμα 3.27. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του εκθετικά παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της κατανομής Weibull σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit



Σχήμα 3.28. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του εκθετικά παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της λογαριθμοκανονικής κατανομής σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit

Τα σχήματα 3.24-3.29 παρουσιάζουν τα διαγράμματα αντιπαράθεσης των ΣΚ για τις πέντε κατανομές που μας ενδιαφέρουν, δηλαδή τις: Εκθετική, Γάμμα, Weibull, Λογαριθμοκανονική και Pareto αντίστοιχα. Τα δύο πρώτα επιβεβαιώνουν τα όσα είπαμε

παραπάνω για την καλή προσαρμογή τόσο της εκθετικής κατανομής, όσο και της κατανομής Γάμμα στον πληθυσμό.



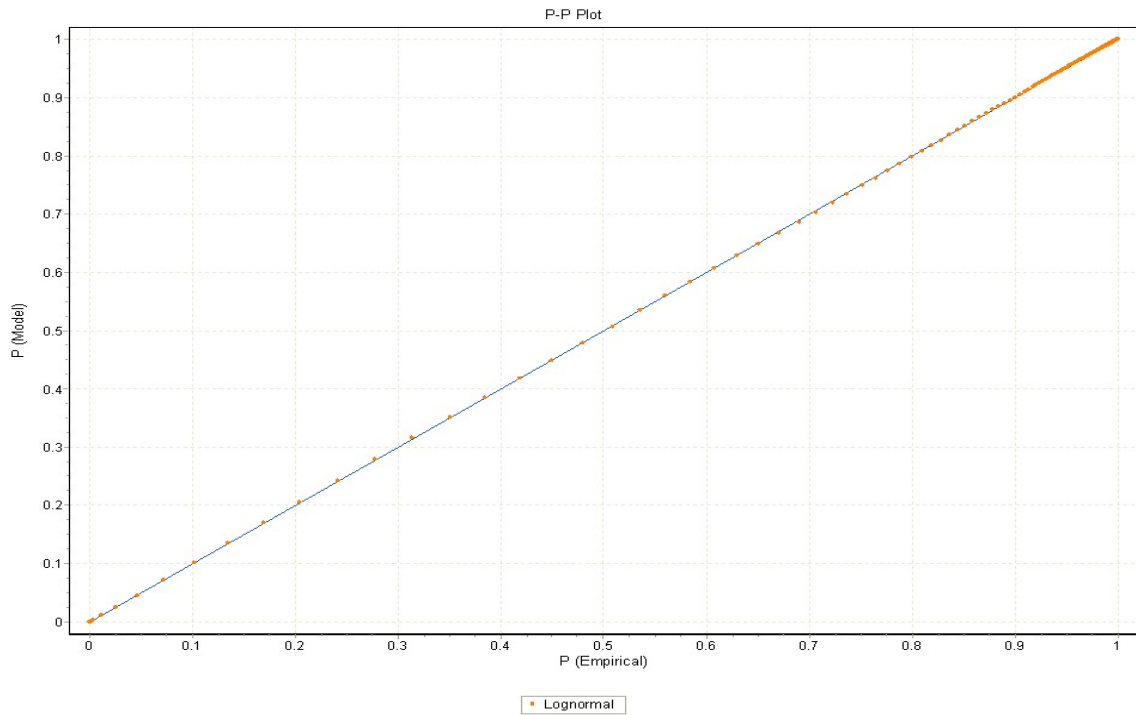
Σχήμα 3.29. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του εκθετικά παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της κατανομής Pareto σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit

3.7.5 Πείραμα 5: Λογαριθμοκανονική Κατανομή

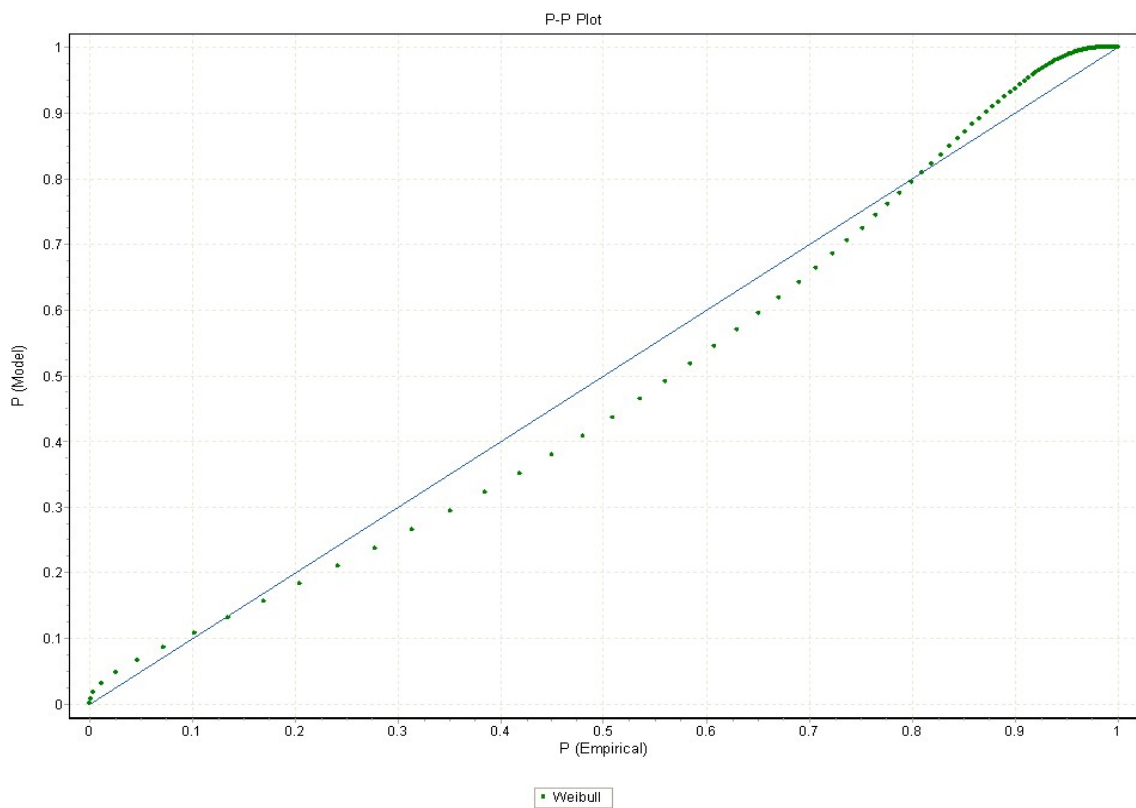
Στο πέμπτο και τελευταίο πείραμα δημιουργήθηκε ένας στατιστικός πληθυσμός με βάση τη λογαριθμοκανονική κατανομή από τη SYNTHIA. Η μέση τιμή που λήφθηκε υπόψη είναι ίση με 3,574971619 και η τυπική απόκλιση είναι ίση με 0,735018939. Η μεθοδολογία ΕΜΠ που εφαρμόστηκε από το EasyFit οδήγησε σε αντίστοιχες τιμές ίσες με 3.575251027 και 0.7336639268, που είναι πολύ καλές προσεγγίσεις.

ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ	KOLMOGOROV – SMIRNOV		ANDERSON – DARLING	
	ΜΕΤΡΟ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ	ΜΕΤΡΟ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ
Λογαριθμοκανονική	0,0039627479	1	2,974246728	1
Weibull	0,0715618589	2	4000,5235	2
Γάμμα	0,0898921559	3	4249,569269	3
Εκθετική	0,1584289561	4	11497,3264	4
Pareto	0,4286101146	5	71761,71251	5

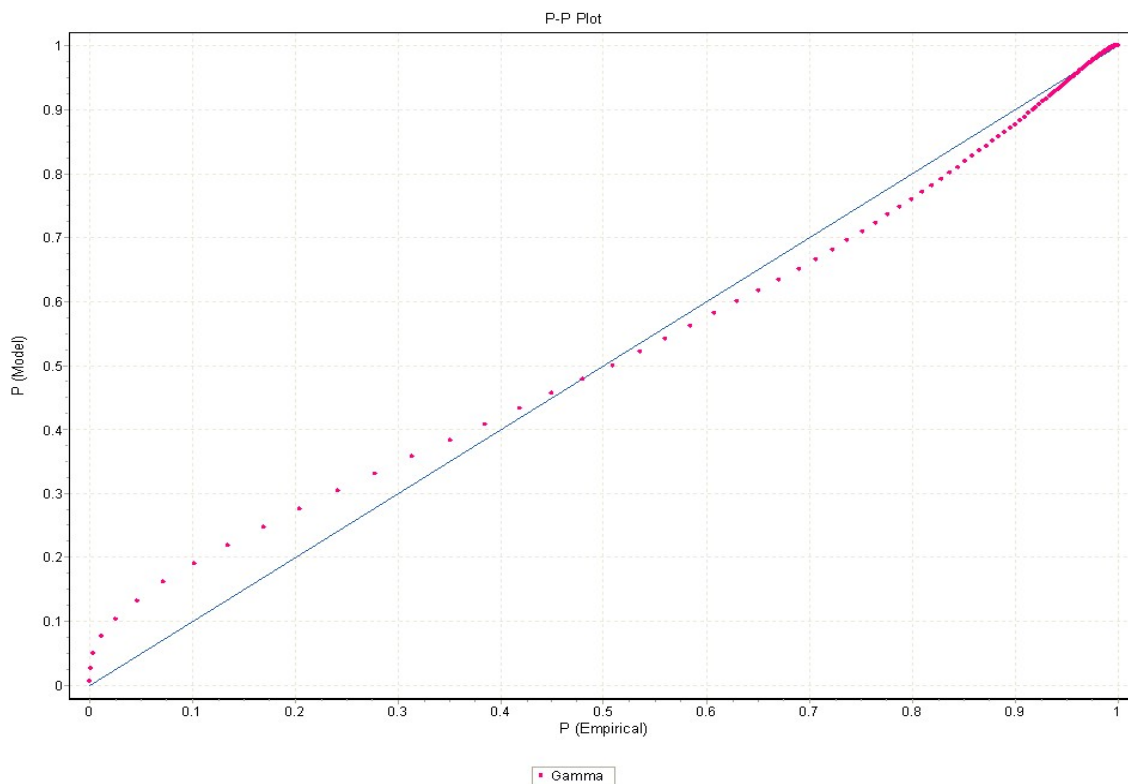
Πίνακας 3.6. Ταξινόμηση των κατανομών ως προς την καλή προσαρμογή στον λογαριθμοκανονικά παραγόμενο πληθυσμό από τη SYNTHIA



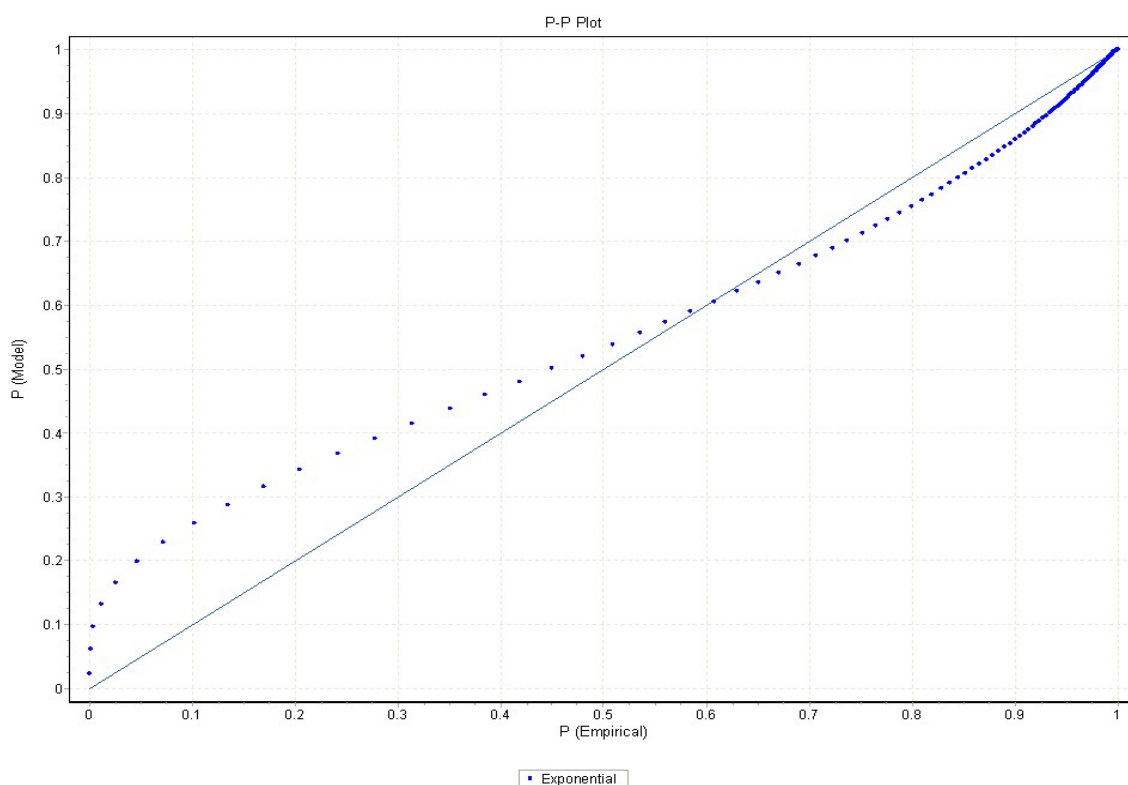
Σχήμα 3.30. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του λογαριθμοκανονικά παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της λογαριθμοκανονικής κατανομής σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit



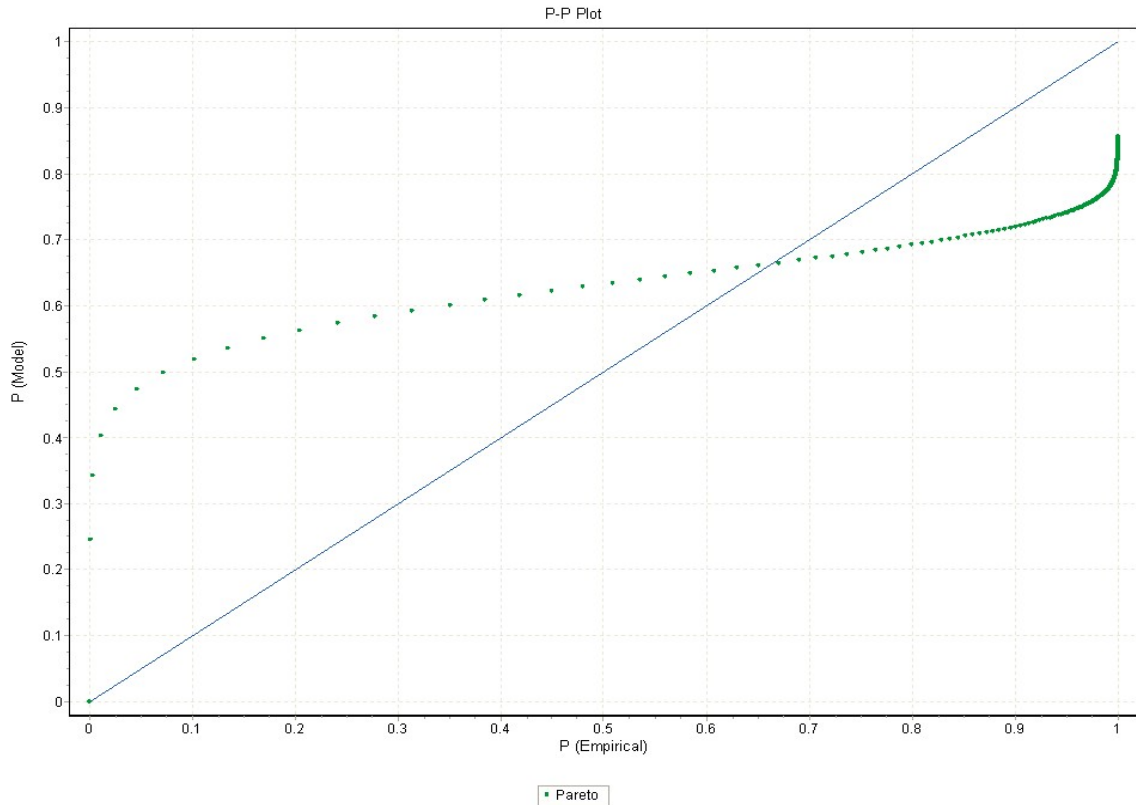
Σχήμα 3.31. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του λογαριθμοκανονικά παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της κατανομής Weibull σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit



Σχήμα 3.32. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του λογαριθμοκανονικά παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της κατανομής Γάμμα σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit



Σχήμα 3.33. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του λογαριθμοκανονικά παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της εκθετικής κατανομής σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit



Σχήμα 3.34. Διαγράμματα αντιπαράθεσης της ΣΚ του λογαριθμοκανονικά παραγόμενου πληθυσμού από τη SYNTHIA, με τη ΣΚ της κατανομής Pareto σύμφωνα με το λογισμικό EasyFit

Όσον αφορά στην καλή προσαρμογή των κατανομών, που μας ενδιαφέρουν στον λογαριθμικά παραγόμενο πληθυσμό της SYNTHIA, ο πίνακας 3.6 είναι διαφωτιστικός, δίνοντας την ταξινόμηση με βάση τα μέτρα Kolmogorov-Smirnov και Anderson-Darling. Είναι αδιαμφισβήτητη η επικράτηση της λογαριθμοκανονικής κατανομής. Τα σχήματα 3.30-3.34 παρουσιάζουν τα διαγράμματα αντιπαράθεσης των ΣΚ για τις πέντε κατανομές που μας ενδιαφέρουν, δηλαδή τις: Λογαριθμοκανονική, Weibull, Γάμμα, Εκθετική και Pareto αντίστοιχα.

3.8 Συμπεράσματα

Στη σημερινή εποχή, το Διαδίκτυο είναι ένα εντελώς δυναμικό και ευμετάβλητο περιβάλλον, που παρέχει ένα σταθερά αυξανόμενο αριθμό καινοτόμων υπηρεσιών και εφαρμογών. Επιπλέον, όλες οι σημερινές διαδικτυακές εφαρμογές εξελίσσονται συνεχώς με τρόπο που επηρεάζει τη συμπεριφορά των χρηστών που τις χρησιμοποιούν. Υπό αυτές τις προϋποθέσεις, τα σύγχρονα εργαλεία παραγωγής τεχνητής διαδικτυακής δραστηριότητας σε

επίπεδο εφαρμογής καθίστανται άχρηστα, εξαιτίας της έλλειψης ευελιξίας στους μηχανισμούς μοντελοποίησης.

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάσαμε τα επιφανέστερα εργαλεία για την παραγωγή τεχνητής διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής. Αποκαλύψαμε τις ανεπάρκειες και τα ελαττώματά τους, με απώτερο σκοπό να ορίσουμε νέες προδιαγραφές στην παραγωγή τεχνητού διαδικτυακού φόρτου. Έχοντας υπόψη τις νέες προδιαγραφές, υλοποιήσαμε τη SYNTHIA, μια καινοτόμα πλατφόρμα για την ανάπτυξη εργαλείων παραγωγής τεχνητού φόρτου, η οποία είναι σχεδιασμένη, ώστε να αντεπεξέρχεται σε όλες τις προκλήσεις και δυσκολίες που θέτει το Διαδίκτυο σήμερα. Παρουσιάστηκε μια λεπτομερής ανάλυση της αρχιτεκτονικής της SYNTHIA, η οποία επικεντρώθηκε στα διάφορα λειτουργικά τμήματα, στα συστατικά πακέτα της ομώνυμης βιβλιοθήκης και στο διαδραστικό, γραφικό περιβάλλον που προσφέρεται στο χρήστη.

Τέλος, όσον αφορά στην τεκμηρίωση της ορθής λειτουργίας της SYNTHIA από στατιστικής άποψης, τα πειράματα απέδειξαν την ικανότητά της να παράγει στατιστικούς πληθυσμούς με βάση τις κατανομές που κυριαρχούν στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της σύγχρονης διαδικτυακής δραστηριότητας. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προς την κατεύθυνση αυτή αποδεικνύει ότι οι πληθυσμοί που παράγονται από τη SYNTHIA μπορούν να ανήκουν πράγματι στις υπό δοκιμασία κατανομές, χωρίς όμως αυτό να αποκλείει το ενδεχόμενο να υπάρχουν και άλλες κατανομές, που να προσαρμόζονται εξίσου αποτελεσματικά στα δεδομένα.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΔΑΛΗ

Κεφάλαιο 4

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΣΤΟΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΙΣΤΟ – ΠΕΡΙΠΤΩΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ: Η ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΤΟΥ WISCONSIN

4.1 Εισαγωγή

Για την ανάπτυξη και αξιολόγηση των τεχνολογιών διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου και, ειδικότερα, των συστημάτων ενδιάμεσης αποθήκευσης έχει χρησιμοποιηθεί μια ευρεία γκάμα από ερευνητικές τεχνικές. Ο Davison [Dav99] αναλύει όλες αυτές τις ξεχωριστές μεθοδολογίες και παρουσιάζει τις σημαντικότερες εργασίες για την κάθε περίπτωση.

Οι περισσότερες ερευνητικές προσπάθειες για τη μελέτη και κατανόηση της λειτουργίας, αλλά και για την περαιτέρω βελτίωση των τεχνολογιών αντιδραστικής διανομής και παράδοσης και, κυρίως, της ενδιάμεσης αποθήκευσης του περιεχομένου βασίζονται αποκλειστικά στη μεθοδολογία της προσομοίωσης τέτοιων συστημάτων. Η πλειονότητα αυτών των προσπαθειών αφορά κυρίως στην ανάπτυξη και τεκμηρίωση καινοτόμων στρατηγιών για την αντικατάσταση αντικειμένων, όταν η μνήμη, που χρησιμοποιείται από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, είναι ασφυκτικά γεμάτη [Cao97b, Arl00a, Jin01a, Bahn02, Psou02, Selv04, Kha05, Teng05, Gonz07]. Ένα άλλο τμήμα της έρευνας αφορά στη μελέτη της συμπεριφοράς και των επιδόσεων των διαφόρων αρχιτεκτονικών των συστημάτων ενδιάμεσης αποθήκευσης [Pon97, Rodr99, Tew99, Che01, Pan04], ενώ ένα τρίτο επικεντρώνεται στη μελέτη των μηχανισμών συνέπειας (consistency) των αντικειμένων στη μνήμη της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης, ως προς τα γνήσια αντίγραφα του πηγαίου εξυπηρετητή [Yu99, Brad02, Mikh03, Pan04, Bah05].

Η προσομοίωση χρησιμοποιείται σε μεγάλο, επίσης, βαθμό για την αξιολόγηση των τεχνολογιών προ-ενεργητικής διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου. Κατά κύριο λόγο, αξιοποιείται στη μελέτη και αξιολόγηση των μεθοδολογιών προ-

ανάκτησης του περιεχομένου [Cron98, Chen03, Nan03, Shi05, Dom06a, Ban08]. Στη σημερινή εποχή, όπου η προ-ενεργητική διανομή και παράδοση έχει εξελιχθεί και επικεντρωθεί στα δίκτυα διανομής περιεχομένου (CDNs – Content Delivery Networks), η θέση της προσομοίωσης ως εργαλείο έρευνας έχει επίσης αναβαθμιστεί, δεδομένης της πολυπλοκότητας τέτοιων συστημάτων. Η μελέτη τέτοιων συστημάτων πρέπει να λάβει υπόψη τις πολλές παραμέτρους, όπως είναι η υποδομή του δικτύου διανομής περιεχομένου, η γενικότερη δικτυακή τοπολογία στην οποία λειτουργεί αυτό, η αναπαράσταση ενός δικτυακού τύπου και η εξομοίωση των συναλλαγών των χρηστών [Sid08].

Αυτό το κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην προσομοίωση εφαρμογών αντιδραστικής διανομής και παράδοσης του περιεχομένου στον παγκόσμιο ιστό, η οποία χρησιμοποιεί αρχεία με ίχνη διαδικτυακής δραστηριότητας για τη μοντελοποίηση του φόρτου εργασίας του προσομοιωμένου συστήματος.

Στο πρώτο μέρος του κεφαλαίου πραγματοποιείται η ανάλυση της λειτουργίας των εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης και περιγράφονται όλα τα στάδια, τα οποία πρέπει να προσομοιώνει ένα εργαλείο προσομοίωσης. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα βασικότερα πακέτα προσομοίωσης που έχουν κατά καιρούς αναπτυχθεί, για να υποστηρίξουν τις εργασίες πάνω στο αντικείμενο.

Στο δεύτερο μέρος του παρόντος κεφαλαίου, πραγματοποιείται μια περιπτωσιολογική μελέτη, σχετική με την αναβάθμιση του προσομοιωτή εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού, του Wisconsin¹⁵ [Cao97b]. Στην αναβαθμισμένη του έκδοση [Kast09b], ο προσομοιωτής αποτελεί μια πειραματική πλατφόρμα εκτίμησης της επίδοσης και αξιολόγησης στρατηγικών αντικατάστασης αντικειμένων, η οποία εξομοιώνει τα βασικότερα στάδια λειτουργίας μιας εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης, η οποία είναι απαλλαγμένη από την πρόσθετη επιβάρυνση για αναπαράσταση των λεπτομερειών σε επίπεδο δικτύου.

Σε πρώτη φάση παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία του προσομοιωτή, όπως η ενεργοποίησή του, η απαιτούμενη δομή του αρχείου εισόδου με τα ίχνη και η δομή του παραγόμενου αρχείου εξόδου με τους δείκτες επίδοσης. Στη συνέχεια, αναλύεται η αρχιτεκτονική του και τα βασικά δομικά στοιχεία αυτής. Ακολουθεί η παρουσίαση της

¹⁵ Ο προσομοιωτής εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης του Wisconsin, στην αρχική του έκδοση, είναι διαθέσιμος από το δικτυακό τόπο <http://pages.cs.wisc.edu/~cao/webcache-simulator.html>

διαδραστικής διεπαφής χρήστη και των υποστηριζόμενων στρατηγιών αντικατάστασης αντικειμένων, καθώς και του τρόπου με τον οποίο τις προσομοιώνει.

Αυτό το κεφάλαιο κλείνει με την πραγματοποίηση δύο ξεχωριστών πειραμάτων προσομοίωσης για την αξιολόγηση της λειτουργίας του αναβαθμισμένου προσομοιωτή. Για τις ανάγκες των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν προ-επεξεργασμένα αρχεία με ίχνη, τα οποία προέρχονται από τους πληρεξούσιους εξυπηρετητές, οι οποίοι διατηρούνται στα πλαίσια του έργου IRCache [Nat07] για να εξυπηρετούν αυτό το σκιοπό.

Το πρώτο πείραμα αφορά στην επίδραση του μηχανισμού προθέρμανσης (Warm-Up) της προσομοιωμένης εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης στα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Θα αποδειχθεί ότι, η μόνη επίδραση που επιφέρει η προθέρμανση κατά την προσομοίωση περιορίζεται στην τελική διαμόρφωση των τιμών των δεικτών επίδοσης, χωρίς όμως αυτή να είναι καθοριστική, όσον αφορά στη συγκριτική αξιολόγηση των υπό μελέτη στρατηγιών.

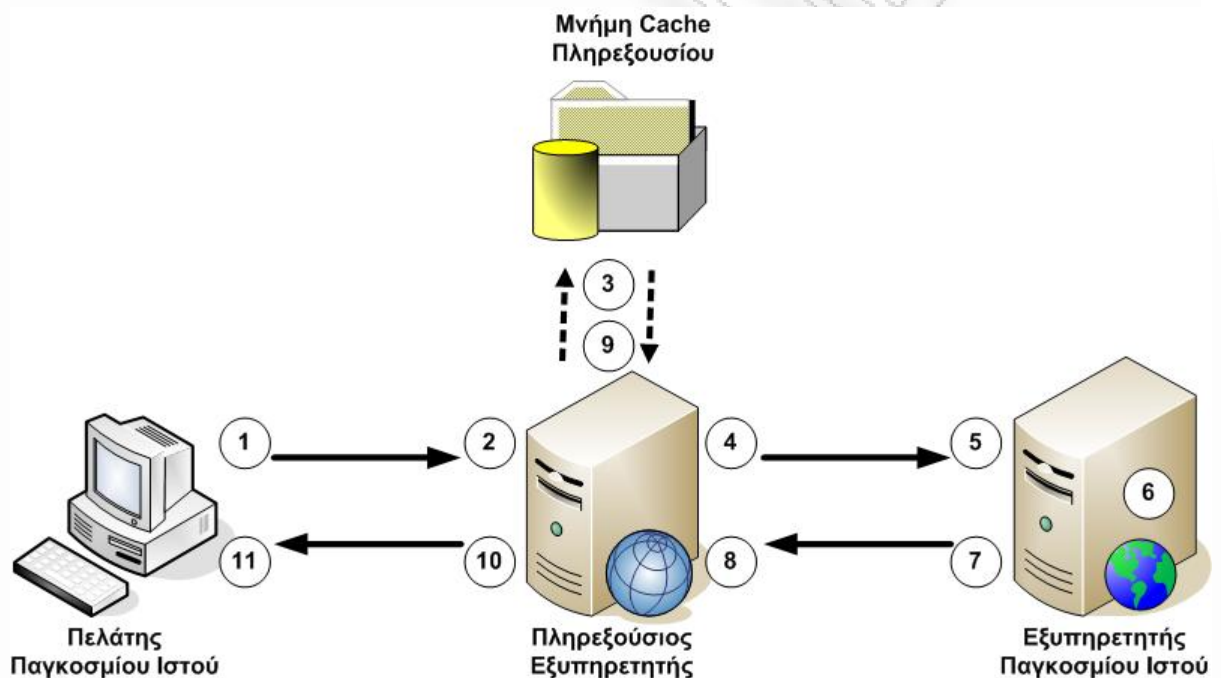
Στο δεύτερο πείραμα, εκτελείται μια σειρά προσομοιώσεων, με σκιοπό την αξιολόγηση της επίδρασης του μηχανισμού του κατωτάτου υδατοσήμου (Low Watermark) κατά τη διαγραφή αντικειμένων από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Θα αποδειχθεί ότι, η ενσωμάτωση αυτού του κατωτάτου ορίου μνήμης είναι καθοριστική για τη μελέτη των περισσότερων πολύπλοκων στρατηγιών, των οποίων η πολυπλοκότητα οφείλεται αποκλειστικά στη διαδικασία διαγραφής αντικειμένων. Τέλος, θα αποδειχθεί ότι η επίδραση του κατωτάτου αυτού υδατοσήμου στις διαμορφωμένες τιμές των δεικτών και στη συγκριτική αξιολόγηση των στρατηγιών είναι ανεπαίσθητη.

4.2 Ανάλυση της Λειτουργίας της Ενδιάμεσης Αποθήκευσης

Ως γνωστό, μια εφαρμογή για ενδιάμεση αποθήκευση στον παγκόσμιο ιστό μπορεί να είναι εγκατεστημένη στον πελάτη, στον πηγαίο εξυπηρετητή, αλλά και σε πληρεξούσιους εξυπηρετητές που λειτουργούν είτε για λογαριασμό των πελατών, είτε για λογαριασμό των πηγαίων εξυπηρετητών. Η μεγαλύτερη ωφελιμότητα παρουσιάζεται στους ενδιάμεσους κόμβους, δηλαδή στους πληρεξούσιους, εξαιτίας του φαινομένου της έντονης τοπικότητας ως προς την αναφορά των αντικειμένων, η οποία οφείλεται είτε στο μεγάλο αριθμό συναλλαγών, λόγω της παρουσίας πολλών πελατών, είτε στη μικρή ποικιλία των αντικειμένων που είναι αποθηκευμένα στη μνήμη της εφαρμογής – περίπτωση ανάστροφης ενδιάμεσης αποθήκευσης (Reverse Caching). Είναι φυσικό, λοιπόν, η έρευνα να συγκλίνει στην

προσομοίωση των εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης που είναι εγκατεστημένες σε πληρεξούσιους εξυπηρετητές.

Γενικά, για την καλύτερη κατανόηση του σχεδιασμού ενός προσομοιωτή είναι απαραίτητη η κατανόηση της λειτουργίας του συστήματος που καλείται να προσομοιώσει. Στο σχήμα 4.1 απεικονίζονται όλα τα στάδια μιας συναλλαγής στον παγκόσμιο ιστό, όπου ένας πληρεξούσιος εξυπηρετητής, που τρέχει εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, μεσολαβεί μεταξύ του πελάτη και του πηγαίου εξυπηρετητή. Οι διακεκομμένες γραμμές δηλώνουν εσωτερική λειτουργία της μηχανής, ενώ οι συμπαγείς γραμμές αφορούν στο κυκλοφοριακό στο δίκτυο που μεσολαβεί ανάμεσα στις μηχανές.

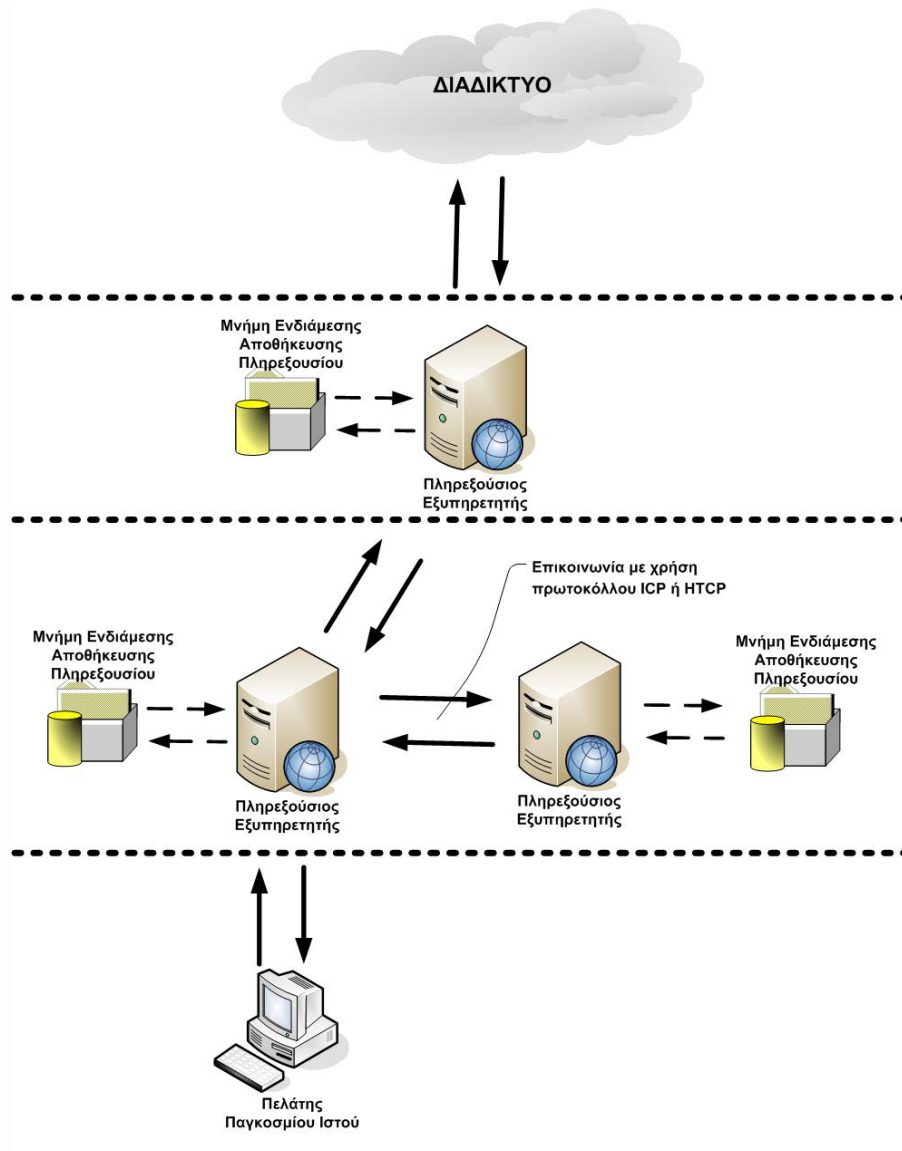


Σχήμα 4.1. Λειτουργία εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης για την περίπτωση ενός απλού πληρεξουσίου εξυπηρετητή

Όταν παρεμβάλλεται πληρεξούσιος, που τρέχει μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, μια συναλλαγή στον παγκόσμιο ιστό περιλαμβάνει όλα ή κάποια από τα παρακάτω διακριτά γεγονότα:

Γεγονός 1. Ο πελάτης αποστέλλει ένα αίτημα HTTP για εξυπηρέτηση. Το αίτημα αυτό, είτε απευθύνεται προς τον πληρεξούσιο εξυπηρετητή, στην περίπτωση που ο πελάτης είναι ενήμερος για την ύπαρξή του, είτε προς τον πηγαίο εξυπηρετητή. Στη δεύτερη περίπτωση, ο πληρεξούσιος λαμβάνει το μήνυμα εν αγνοία του πελάτη.

- Γεγονός 2.** Ο πληρεξούσιος εξυπηρετητής δέχεται το αίτημα HTTP του πελάτη.
- Γεγονός 3.** Η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης που βρίσκεται στον πληρεξούσιο, αφού αναλύσει το αίτημα, ελέγχει στη μνήμη της για το ζητούμενο αντικείμενο του παγκοσμίου ιστού.
- Γεγονός 4.** Η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης στον πληρεξούσιο στέλνει ένα αίτημα HTTP προς τον πηγαίο εξυπηρετητή. Εδώ διακρίνονται δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη, η εφαρμογή δεν έχει το ζητούμενο αντικείμενο, οπότε διαβιβάζει το αίτημα για λογαριασμό του πελάτη. Στη δεύτερη, η εφαρμογή έχει αντίγραφο του αντικειμένου στη μνήμη της, αλλά έχει αμφιβολίες για το αν είναι ακριβές αντίγραφο αυτού που βρίσκεται στον πηγαίο εξυπηρετητή.
- Γεγονός 5.** Ο πηγαίος εξυπηρετητής δέχεται το αίτημα από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης στον πληρεξούσιο εξυπηρετητή.
- Γεγονός 6.** Ο πηγαίος εξυπηρετητής αναλύει το αίτημα της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης του πληρεξουσίου και δημιουργεί το μήνυμα απόκρισης HTTP.
- Γεγονός 7.** Ο πηγαίος αποστέλλει το μήνυμα απόκρισης στον πληρεξούσιο.
- Γεγονός 8.** Η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης στον πληρεξούσιο δέχεται το μήνυμα απόκρισης HTTP.
- Γεγονός 9.** Αν το μήνυμα απόκρισης περιέχει το αντικείμενο και επιτρέπει την αποθήκευσή του στη μνήμη της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης, η αποθήκευση πραγματοποιείται και ακολουθείται κάποια στρατηγική αντικατάστασης αντικειμένων, εφόσον απαιτείται. Αν το μήνυμα επιβεβαιώνει την καλή ποιότητα ενός ήδη αποθηκευμένου αντιγράφου, η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης απλώς ενημερώνει τυχόν μετα-πληροφορίες για το αντικείμενο αυτό.
- Γεγονός 10.** Η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης στον πληρεξούσιο εξυπηρετητή στέλνει μια απόκριση στον πελάτη με το αντικείμενο του παγκοσμίου ιστού.
- Γεγονός 11.** Ο πελάτης λαμβάνει το ζητούμενο αντικείμενο του παγκοσμίου ιστού.



Σχήμα 4.2. Λειτουργία εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης για την περίπτωση ιεραρχικής αρχιτεκτονικής από πολλούς πληρεξούσιους εξυπηρετητές

Στην περίπτωση όπου το αντικείμενο της μελέτης είναι μια αρχιτεκτονική από πληρεξούσιους εξυπηρετητές που τρέχουν εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης, η λειτουργία του συστήματος είναι περισσότερο πολύπλοκη. Όταν πρόκειται για μια καθαρά ιεραρχική δομή, έπειτα από μια αποτυχία της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης, το αίτημα HTTP μπορεί να μεταφέρεται από τον πληρεξούσιο του χαμηλότερου επιπέδου στον πληρεξούσιο του υψηλότερου, προτού φθάσει στον πηγαιό εξυπηρετητή. Η δομή ενδέχεται να είναι περισσότερο κατανεμημένη, με τους πληρεξούσιους στο κάθε επίπεδο να συνεργάζονται, με χρήση κάποιου πρωτοκόλλου ενδοεπικοινωνίας, όπως είναι το ICP

[Wess97] και το HTCP [Vix00]. Στο σχήμα 4.2 απεικονίζεται ένα απλό παράδειγμα μιας ιεραρχικής αρχιτεκτονικής δύο επιπέδων.

4.3 Προσομοιωτές Εφαρμογών Ενδιάμεσης Αποθήκευσης στον Παγκόσμιο Ιστό

Η επιστημονική κοινότητα έχει κατά καιρούς σχεδιάσει και υλοποιήσει διάφορα πακέτα προσομοίωσης εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης παγκοσμίου ιστού. Το καθένα από αυτά έχει τις δικές του ιδιαιτερότητες, όσον αφορά στο βαθμό της λεπτομέρειας στην αναπαράσταση της λειτουργίας των συστημάτων, όπως αυτή περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Παρακάτω, παρατίθενται και αναλύονται τα κυριότερα εργαλεία προσομοίωσης.

Ο προσομοιωτής εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού του Wisconsin [Cao97a] σχεδιάστηκε για την υποστήριξη της εργασίας των Cao και Irani [Cao97b] σχετικά με την οικογένεια στρατηγικών αντικατάστασης αντικειμένων Greedy-Dual. Ο προσομοιωτής είναι κωδικοποιημένος σε γλώσσα προγραμματισμού C και προσομοιώνει το σύστημα που απεικονίζεται στο σχήμα 4.1. Ο πληρεξούσιος θεωρείται ότι βρίσκεται στο ίδιο δίκτυο με τον πελάτη και για το λόγο αυτό η επικοινωνία μεταξύ τους γίνεται με αμελητέα – τυπικά μηδενική – καθυστέρηση.

Ο DavisSim [Barn00] είναι το αποτέλεσμα μιας προσπάθειας για αναβάθμιση του προσομοιωτή του Wisconsin. Ως «απόγονος» του δεύτερου, στηρίζεται στην αρχιτεκτονική του, αποσκοπεί στη μελέτη των στρατηγικών αντικατάστασης αντικειμένων και δεν υποστηρίζει αρχιτεκτονικές πολλαπλών πληρεξουσίων, όπως αυτή στο σχήμα 4.2. Έχει, όμως, υλοποιηθεί σε γλώσσα C++ και ακολουθεί διαφορετική μεθοδολογία στην απόδοση της παλαιότητας του αντιγράφου, που είναι αποθηκευμένο στην εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Ο προσομοιωτής PROXIM [Cac98] μπορεί να εξομοιώσει ένα απλό σύστημα, σαν αυτό του σχήματος 4.1, αλλά και την περίπτωση μη ύπαρξης πληρεξουσίου. Χρησιμοποιεί ως είσοδο αρχεία ιχνών τα οποία δίνουν πληροφορίες μέχρι και σε επίπεδο πακέτου TCP. Αποτελεί το αποτέλεσμα μιας προσπάθειας να καταγραφούν οι επιδράσεις των συναλλαγών σε επίπεδο TCP και HTTP στην επίδοση της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης, σε περιβάλλοντα ανισοκατανομής του εύρους ζώνης [Feld99]. Ως εκ τούτου, υλοποιεί μόνο την πολιτική LRU για αντικατάσταση δεδομένων.

Ο προσομοιωτής WebCASE [Zha99a] είναι κωδικοποιημένος σε γλώσσα προγραμματισμού Perl. Προορίζεται για τη μελέτη στρατηγικών αντικατάστασης αντικειμένων σε συστήματα, όπως αυτό που απεικονίζεται στο σχήμα 4.1. Πρόκειται για ένα πολύ ευέλικτο εργαλείο προσομοίωσης, με πλεονέκτημα το φιλικό περιβάλλον προς το χρήστη, καθώς του δίνει τη δυνατότητα να παρακολουθεί στιγμιότυπα στην εξέλιξη της προσομοίωσης. Δηλαδή, οποιαδήποτε στιγμή, ο χρήστης μπορεί να παγώσει την προσομοίωση και να δει ποια αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού είναι αποθηκευμένα στη μνήμη της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης, την τρέχουσα τιμή των δεικτών επίδοσης, καθώς και άλλα διαγνωστικά στοιχεία.

Ο Williamson [Will99a] αναφέρει το σχεδιασμό και την υλοποίηση δύο προσομοιωτών για τη μελέτη συστοιχιών από πληρεξούσιους εξυπηρετητές με εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης και ευρύτερα κατανεμημένων αρχιτεκτονικών αντίστοιχα. Αποκλειστικός σκοπός των εν λόγω προσομοιωτών είναι η έρευνα πάνω σε θέματα διαχείρισης για την καλύτερη εξισορρόπηση του φόρτου ανάμεσα στους πληρεξούσιους και για τη βελτίωση της συνολικής επίδοσης.

Μια σειρά από εργαλεία για προσομοίωση, αλλά και για μέτρηση των επιδόσεων πραγματικών πληρεξούσιων που τρέχουν μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, είναι το ProxyCizer [Gadd01]. Τα περισσότερα εργαλεία του είναι κωδικοποιημένα σε γλώσσα C++. Μια από τις δυνατότητες του ProxyCizer είναι ότι μπορεί να αντιληφθεί όλα τα γνωστά αρχεία ιχνών, για είσοδο σε προσομοίωση. Επιπλέον, είναι σε θέση να αναπαριστά αρχιτεκτονικές πληρεξούσιων εξυπηρετητών.

Οι Sosa και Navarro [Sos01] προχώρησαν στην αναβάθμιση των βιβλιοθηκών του ProxyCizer, ώστε να συνεργάζεται με το πακέτο προσομοίωσης δικτύων NS [Fall010]. Με αυτόν τον τρόπο δημιούργησαν ένα σύνθετο πακέτο προσομοίωσης, το οποίο είναι σε θέση να αναπαριστά τις επιδόσεις των αρχιτεκτονικών πληρεξούσιων εξυπηρετητών με εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης, αλλά και γενικότερων συστημάτων αντιγραφής αντικειμένων. Επιπλέον, έχει την ικανότητα να καταγράφει τις επιδράσεις αυτών των συστημάτων στη γενικότερη λειτουργία του δικτύου που τα περιβάλλει.

Ο προσομοιωτής NCS [Dav01] κωδικοποιήθηκε σε γλώσσα C, με σκοπό να υπολογίζει την καθυστέρηση που βιώνουν οι χρήστες κατά την εξυπηρέτησή τους. Λαμβάνει υπόψη του λεπτομέρειες σε επίπεδο δικτύου και αναπαριστά τόσο συστήματα, όπως αυτό του σχήματος 4.1, όσο και συστήματα που δεν περιλαμβάνουν κάποια εφαρμογή

ενδιάμεσης αποθήκευσης. Επιπλέον, περιλαμβάνει πρόσθετες λειτουργίες για την πρόβλεψη και την προ-ανάκτηση αντικειμένων. Μπορεί εύκολα να αναβαθμιστεί, ώστε να προσομοιώνει αρχιτεκτονικές πληρεξουσίων με εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Οι Brandao και Anido [Bran01] δημιούργησαν ένα εργαλείο που μπορεί να προσομοιώνει δικτυακά κατανεμημένες εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης, οι οποίες συνεργάζονται μεταξύ τους, όπως αυτή που φαίνεται στο σχήμα 4.2. Χρησιμοποίησαν τον προσομοιωτή τους στη μελέτη του εθνικού ερευνητικού δικτύου της Βραζιλίας. Ο εν λόγω προσομοιωτής λαμβάνει υπόψη του τη χωρητικότητα των γραμμών, που συνδέουν τους πληρεξούσιους και την υπολογιστική δύναμη του επεξεργαστή στον πληρεξούσιο. Μόνο τρεις πολιτικές αντικατάστασης μπορούν να αναπαρασταθούν, η LRU, η SIZE και μια δυναμική στρατηγική, η οποία συνδυάζει τις δύο προηγούμενες και την LFU. Το εργαλείο δίνει τη δυνατότητα για διαμερισμό της μνήμης της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης (Cache Partitioning), με το κάθε διαμέρισμα να ακολουθεί τη δική του πολιτική. Μια από τις βασικότερες καινοτομίες του προσομοιωτή είναι ότι μπορεί να τρέχει σε συστήματα παράλληλης επεξεργασίας.

Το πακέτο προσομοίωσης που είναι ενσωματωμένο στο WebTraff [Mar02] είναι σχεδιασμένο να εξομοιώνει κάποιες βασικές πολιτικές αντικατάστασης σε μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, χρησιμοποιώντας τα τεχνητά αρχεία ιχνών που παράγονται από την, επίσης, ενσωματωμένη μηχανή ProWGen [Bus02]. Ο προσομοιωτής είναι υλοποιημένος σε γλώσσα C++.

Οι Cardenas et al [Card04] σχεδίασαν και υλοποίησαν έναν προσομοιωτή για να βοηθήσει την έρευνα πάνω σε στρατηγικές αντικατάστασης αντικειμένων, σε γλώσσα C++. Το εργαλείο παρέχει μια καινοτόμα λύση στην εκτίμηση του χρονικού κόστους από μια αποτυχία ανεύρεσης του ζητούμενου αντικειμένου στην εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Ο προσομοιωτής είναι σε θέση να αναπαραστήσει διατάξεις πολλαπλών εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης [Card05b]. Περαιτέρω έρευνα [Card05a, Card05b] έδειξε ότι, οι μικρές αποκλίσεις του, σε επίπεδο ποσοστού επιτυχίας και συνολικού αριθμού διαγραφών αντικειμένων, σε σύγκριση με την πραγματική εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης Squid [Wess04] σε λειτουργία κάτω από ακριβώς τον ίδιο φόρτο εργασίας, τεκμηριώνει την ορθή λειτουργία του στην αναπαραστάση της πραγματικότητας.

4.4 Η Αναβαθμισμένη Έκδοση του Προσομοιωτή Εφαρμογών Ενδιάμεσης Αποθήκευσης στον Παγκόσμιο Ιστό του Wisconsin

4.4.1 Κίνητρα, Προδιαγραφές και Σύγκριση με την Αρχική Έκδοση

Η βαθύτερα αιτία πίσω από την αναβάθμιση του προσομοιωτή του Wisconsin είναι η υποστήριξη της αξιολόγησης των στρατηγικών αντικατάστασης αντικειμένων σε μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού, οι οποίες έχουν προταθεί κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας. Ανάμεσα στις βασικότερες προδιαγραφές που θέσαμε, ώστε να καταλήξουμε στην επιλογή του συγκεκριμένου προσομοιωτή, είναι η απλότητά του (Simplicity) – δηλαδή, η ευκολία στην αναβάθμιση και ενημέρωση με νέες στρατηγικές από άποψη προγραμματισμού, – η ελαφρότητά του (Lightness) – δηλαδή, η ικανότητά του να επικεντρώνει κυρίως στη δραστηριότητα σε επίπεδο εφαρμογής και να αποικρύπτει την πολυπλοκότητα σε επίπεδο μεταφοράς και δικτύου – και η ικανότητά του να προσομοιώνει μια ποικιλία υπαρχόντων και προτεινόμενων στρατηγικών αντικατάστασης περιεχομένου. Ο προσομοιωτής εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης του Wisconsin, στην αρχική του έκδοση, εκπληρώνει όλες τις παραπάνω προ-απαιτήσεις. Ως εκ τούτου, τα χαρακτηριστικά του αυτά κληροδοτούνται και στην αναβαθμισμένη του έκδοση.

Δυστυχώς, η πρωταρχική έκδοση του προσομοιωτή του Wisconsin ήταν περιορισμένη στην προσομοίωση ενός μικρού αριθμού αλγορίθμων αντικατάστασης, κυρίως μικρής πολυπλοκότητας, υπό τη σχετικά αραιή διαδικτυακή δραστηριότητα, που χαρακτήριζε τον παγκόσμιο ιστό στα μέσα της δεκαετίας του 1990. Ως εκ τούτου, παρατηρήθηκαν κάποια σχεδιαστικά και λειτουργικά ψεγάδια και ανεπάρκειες στην αρχική έκδοση, τα οποία αποτέλεσαν τη βάση για τις πιο λεπτομερείς προδιαγραφές της προτεινόμενης αναβαθμισμένης έκδοσης.

Συγκεκριμένα, τα κυριότερα μειονεκτήματα της αρχικής έκδοσης, που διορθώνονται από την αναβαθμισμένη έκδοση του προσομοιωτή, είναι τα ακόλουθα:

- Η αδυναμία στην υποστήριξη των στρατηγικών αντικατάστασης περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού, οι οποίες βασίζονται στην τυχαία επιλογή [Pod03].
- Η έλλειψη αξιόπιστου μηχανισμού για την υποστήριξη στρατηγικών πολύ υψηλής πολυπλοκότητας, με ταυτόχρονη μείωση του χρόνου προσομοίωσης.
- Η αδυναμία στην εξασφάλιση προτεραιοτήτων στην αλληλουχία των αποκρίσεων, σε σχέση με τη χρονική αλληλουχία των αντίστοιχων αιτημάτων και την παρατηρούμενη

καθυστερήση. Εξαιτίας της, ο προσομοιωτής έχει λάθος αντίληψη ως προς τα αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού, που είναι αποθηκευμένα στην εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Αυτό σημαίνει ότι ο προσομοιωτής μπορεί εν δυνάμει να δώσει λάθος αναφορά για το αν κάποιο αίτημα εξυπηρετήθηκε ή όχι από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Κάτι τέτοιο οδηγεί σε εσφαλμένη διαμόρφωση των τιμών στους δείκτες επίδοσης.

- Η απουσία διαδραστικής διεπαφής για επικοινωνία με το χρήστη. Η δημιουργία μιας διεπαφής για αλληλεπίδραση με το χρήστη αποδείχθηκε πολύ ευεργετική κατά την ενημέρωση του προσομοιωτή με νέες στρατηγικές.
- Η έλλειψη κάποιου μηχανισμού «προθέρμανσης» (Warm-up) της προσομοίωσης, ώστε να αποφεύγεται η επίδραση της μεταβατικής περιόδου, κατά την οποία η μνήμη της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης γεμίζει με αντικείμενα του ιστού, πάνω στις τιμές των δεικτών επίδοσης.

4.4.2 *Επισκόπηση της Λειτουργίας του Προσομοιωτή του Wisconsin*

Στο σχήμα 4.3 απεικονίζεται η εκτέλεση του προγράμματος του προσομοιωτή. Για να τεθεί σε λειτουργία ο προσομοιωτής, ο χρήστης θα πρέπει να πληκτρολογήσει την ακόλουθη εντολή:

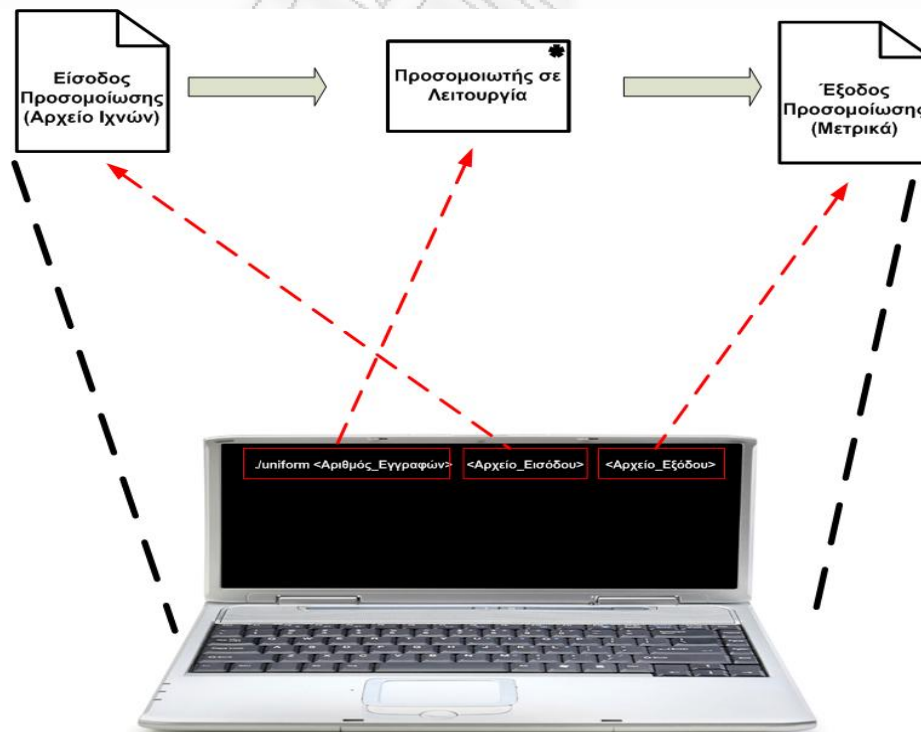
```
./uniform <αριθμός_εγγραφών> <Αρχείο_Εισόδου> <Αρχείο_Εξόδου>
```

Στην ουσία, ο χρήστης καλεί τον προσομοιωτή και ενημερώνει το πρόγραμμα σχετικά με τον αριθμό των εγγραφών, που περιέχονται στο αρχείο εισόδου. Με τον τρόπο αυτό, ο προσομοιωτής γνωρίζει τη μνήμη που πρέπει να δεσμεύσει για την αποθήκευση των ίχνών της δραστηριότητας του παγκοσμίου ιστού, ώστε να αποφεύγονται οι χρονικές καθυστερήσεις από τις συνεχόμενες κλήσεις προς το αρχείο εισόδου. Τέλος, ο χρήστης καλείται να πληκτρολογήσει το όνομα του αρχείου εισόδου με τα ίχνη της διαδικτυακής δραστηριότητας παγκοσμίου ιστού και το όνομα του αρχείου εξόδου, όπου αποθηκεύονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

4.4.2.1 *Δομή του Αρχείου Εισόδου*

Η κάθε γραμμή στο αρχείο εισόδου αφορά μια ξεχωριστή συναλλαγή, που πρέπει να επεξεργαστεί ο προσομοιωτής. Οι πληροφορίες που δίνονται σχετικά με τη συναλλαγή είναι οι παρακάτω:

- Η μοναδική ταυτότητα (ακέραιος αριθμός) του πηγαίου εξυπηρετητή, στον οποίο αναφέρεται η συναλλαγή.
- Η μοναδική ταυτότητα (ακέραιος αριθμός) του μονοπατιού στον πηγαίο εξυπηρετητή, όπου βρίσκεται το αντικείμενο.
- Το μέγεθος του αντικειμένου σε byte.
- Η χρονική καθυστέρηση στην εξυπηρέτηση σε μικρο-δευτερόλεπτα (μsec). Ο προσομοιωτής θεωρεί ότι οι καθυστερήσεις στην επικοινωνία μεταξύ του πελάτη και του πληρεξουσίου είναι αμελητέες. Επομένως, η χρονική καθυστέρηση αφορά εξ ολοκλήρου την επικοινωνία ανάμεσα στον πληρεξούσιο και τον πηγαίο εξυπηρετητή.
- Η τιμή της επικεφαλίδας «Last-Modified» στην απόκριση HTTP. Σε περίπτωση όπου δε δίνονται στοιχεία από το φόρτο εργασίας, η τιμή είναι μηδέν.
- Ο χρόνος στον οποίο έγινε το αίτημα HTTP. Δεδομένου ότι οι καθυστερήσεις μεταξύ πελάτη και πληρεξούσιου είναι αμελητέες, τυπικά ο χρόνος αυτός δηλώνει τη στιγμή στην οποία το αίτημα έγινε αντιληπτό στον πληρεξούσιο.



Σχήμα 4.3. Η εκτέλεση του προγράμματος του προσομοιωτή εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης του

4.4.2.2 Δομή του Αρχείου Εξόδου

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, ο προσομοιωτής εκτυπώνει τους δείκτες επίδοσης στο αρχείο εξόδου. Σε πρώτη φάση, εκτυπώνει τις βέλτιστες δυνατές τιμές που μπορεί να δώσει το κάθε αρχείο ιχνών εισόδου, προσομοιώνοντας την περίπτωση ενός απεριόριστου μεγέθους μνήμης στην εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Στη συνέχεια, για την κάθε στρατηγική υπολογίζει και εκτυπώνει τις τιμές των δεικτών επίδοσης, για κάποιο συγκεκριμένο μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Οι τιμές αυτές αναγράφονται τόσο ως απόλυτοι αριθμοί, όσο και ως σχετικοί αριθμοί έχοντας ως μέτρο σύγκρισης τις αντίστοιχες τιμές του απεριόριστου μεγέθους μνήμης.

Οι δείκτες επίδοσης που υπολογίζει ο προσομοιωτής είναι οι εξής:

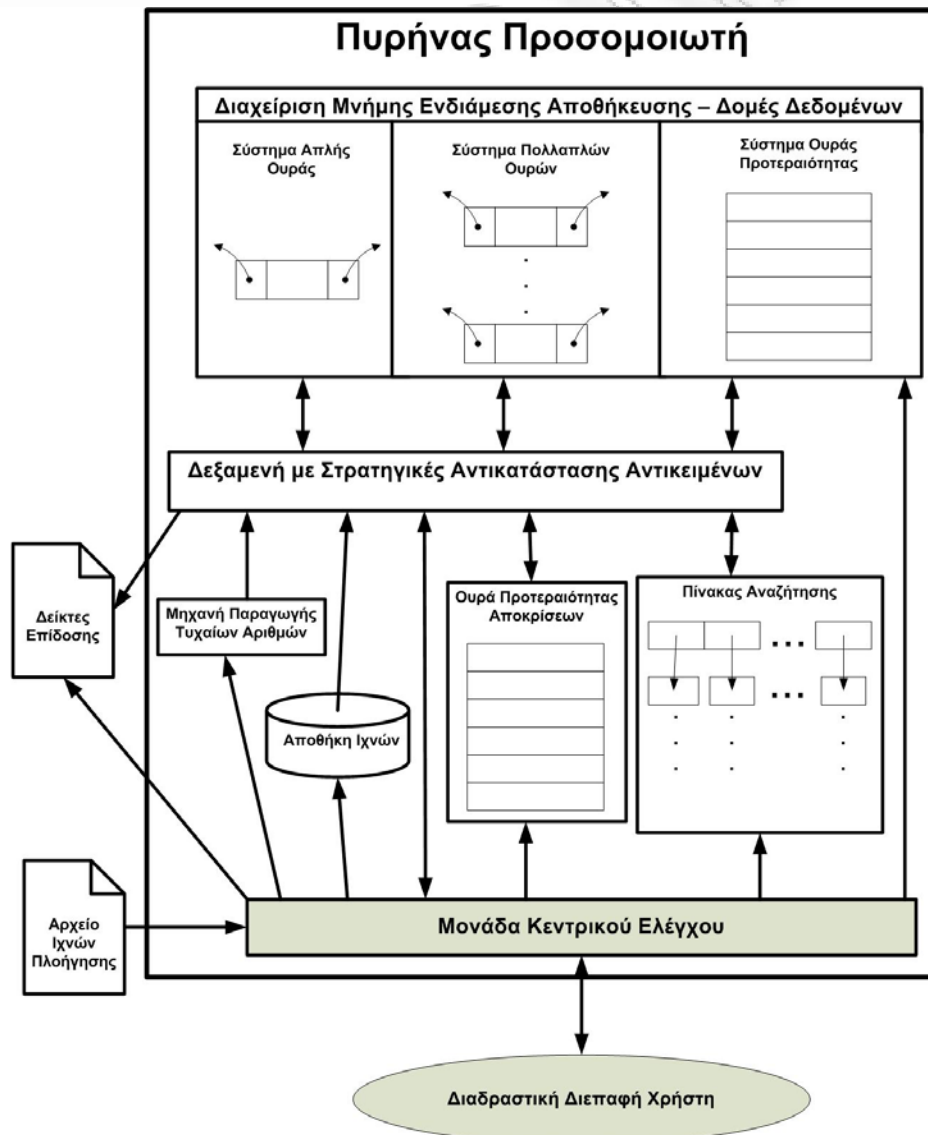
- Δείκτης επιτυχίας (Hit Ratio ή HR): Το ποσοστό των αιτημάτων HTTP που απαντήθηκαν απευθείας από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης.
- Δείκτης επιτυχίας σε μονάδες πληροφορίας (Byte Hit Ratio ή BHR): Ο αριθμός των byte που επιστράφηκαν απευθείας από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης προς το συνολικό αριθμό των byte.
- Δείκτης μείωσης καθυστέρησης (Latency Reduction ή LR): Ο λόγος της συνολικής καθυστέρησης, όταν το σύστημα αξιοποιεί την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης προς τη συνολική καθυστέρηση, όταν η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης είναι απενεργοποιημένη. Υποτίθεται ότι η καθυστέρηση από μια επιτυχία της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης είναι αμελητέα, τυπικά μηδέν.
- Δείκτης μείωσης πακέτων δικτύου (Network Packet Reduction ή NPR): Ο λόγος των συνολικών πακέτων δικτύου που διακινήθηκαν μεταξύ πληρεξούσιου και πηγαίου διακομιστή, όταν το σύστημα χρησιμοποιεί την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, προς το σύνολο των πακέτων, όταν η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης είναι απενεργοποιημένη. Υποτίθεται ότι το σύνολο των πακέτων για το κάθε αίτημα HTTP ισούται με $2 + \text{Μέγεθος_Αρχείου} / 536$.
- Δείκτης μείωσης διαδικτυακών κόμβων (Hops Reduction ή HoR): Ο λόγος των συνολικών ενδιάμεσων διαδικτυακών κόμβων από τους οποίους ταξίδεψαν τα πακέτα, όταν το σύστημα χρησιμοποιεί την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, προς το σύνολο των ενδιάμεσων κόμβων, όταν η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης δε

χρησιμοποιείται. Για τον υπολογισμό αυτό λαμβάνεται υπόψη ότι μια στις οκτώ αποκρίσεις πρέπει να ταξιδέψει διαμέσου υπερωκεάνιων γραμμών και ο αριθμός των ενδιάμεσων κόμβων είναι 32.

- Δείκτης σταθμισμένης μείωσης διαδικτυακών κόμβων (Weighted Hop Reduction ή WHR): Το ίδιο με παραπάνω με τη μόνη διαφορά ότι το ποσοστό αναφέρεται σε επίπεδο byte και όχι απόκρισης HTTP.

4.4.3 Αρχιτεκτονική του Πυρήνα της Αναβαθμισμένης Έκδοσης του Προσομοιωτή του Wisconsin

Η αρχιτεκτονική του πυρήνα του αναβαθμισμένου προσομοιωτή εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης του Wisconsin απεικονίζεται στο σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4. Η αρχιτεκτονική του πυρήνα του αναβαθμισμένου προσομοιωτή εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης στον παγκόσμιο ιστό του Wisconsin

4.4.3.1 Ο Μονάδα Κεντρικού Ελέγχου

Το βασικότερο λειτουργικό τμήμα του προσομοιωτή είναι η *μονάδα κεντρικού ελέγχου*. Από τη στιγμή που ο χρήστης ενεργοποιεί τον προσομοιωτή, η μονάδα κεντρικού ελέγχου είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία και ενεργοποίηση όλων των υπόλοιπων λειτουργικών τμημάτων. Εκτελεί την προσομοίωση για απεριόριστη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης και εκτυπώνει τα βέλτιστα αποτελέσματα για το εισαγόμενο αρχείο ιχνών στο αρχείο εξόδου. Είναι υπεύθυνη για την αλληλεπίδραση του χρήστη με το υπόλοιπο σύστημα, παρέχοντας τη διαδραστική διεπαφή. Έτσι, επιτρέπει στο χρήστη να μεταφέρει όλες τις επιθυμητές ρυθμίσεις στις παραμέτρους και να επιλέγει τη στρατηγική αντικατάστασης προς προσομοίωση. Μετά το πέρας μιας προσομοίωσης, τα αποτελέσματα εκτυπώνονται στο αρχείο εξόδου και ο έλεγχος του συστήματος επανέρχεται στην κεντρική μονάδα, η οποία αναμένει την επόμενη εντολή του χρήστη.

4.4.3.2 Η Αποθήκη Ιχνών Πλοήγησης

Η *αποθήκη ιχνών* κρατάει όλα τα ίχνη του αρχείου εισόδου στη μνήμη του συστήματος. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται οι χρονοβόρες κλήσεις προς το αρχείο εισόδου.

4.4.3.3 Μηχανή Παραγωγής Τυχαίων Αριθμών

Η *μηχανή παραγωγής τυχαίων αριθμών* χρησιμοποιείται από τις στρατηγικές που βασίζονται στον παράγοντα τύχη [Pod03], ώστε να αποφασίσουν τα αντικείμενα, που πρέπει να αντικατασταθούν από κάποιο εισερχόμενο. Για την παραγωγή των τυχαίων αριθμών χρησιμοποιείται η ρουτίνα 'rand()', της γλώσσας προγραμματισμού C. Ως αφετηρία στη γραμμή παραγωγής των τυχαίων αριθμών χρησιμοποιείται ο τρέχων χρόνος του συστήματος.

4.4.3.4 Ο Πίνακας Αναζήτησης

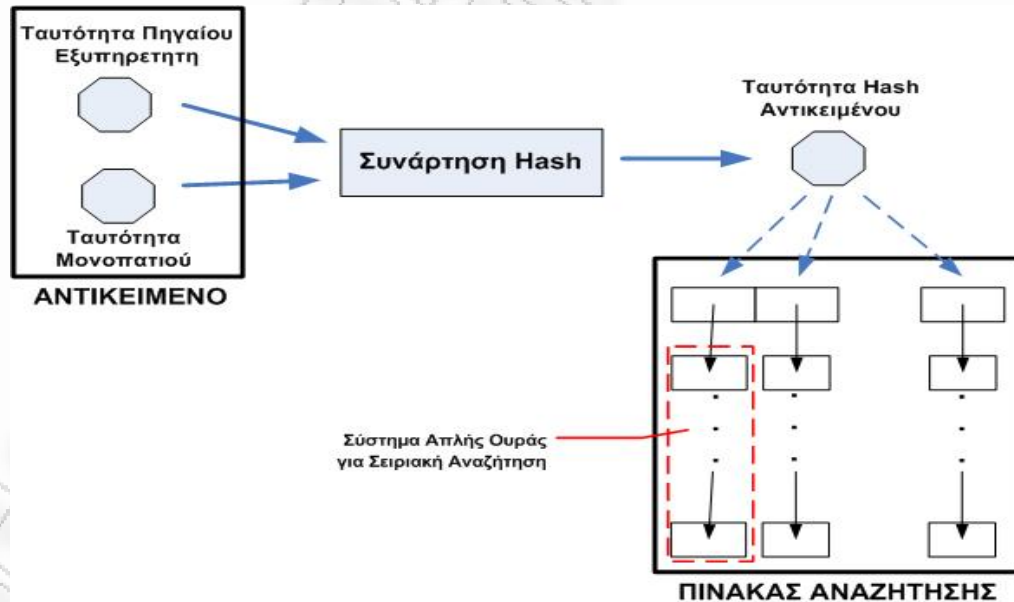
Ο *πίνακας αναζήτησης* αποτελεί μια δομή δεδομένων ταχείας αναζήτησης, η οποία χρησιμοποιεί την τεχνολογία κατακερματισμού hashing για την ανεύρεση ή όχι ενός αντικειμένου στη μνήμη της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η συνάρτηση hash που χρησιμοποιείται δέχεται στην είσοδό της τη μοναδική ταυτότητα πηγαίου εξυπηρετητή και μονοπατιού και παράγει έναν ακέραιο αριθμό, την ταυτότητα hash (hash_id), η οποία προσδιορίζει τη θέση του αντικειμένου μέσα στη μνήμη της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης (σχήμα 4.5). Σε περίπτωση όπου δύο αντικείμενα αποκτούν την ίδια

ταυτότητα hash, ο πίνακας αναζήτησης επεκτείνεται σε μια απλή ουρά. Αυτό σημαίνει ότι για την εύρεση αντικειμένων με την ίδια ταυτότητα hash, ενδέχεται να πραγματοποιηθεί σειριακή αναζήτηση.

Η συνάρτηση hash είναι η ίδια με την πρωτότυπη έκδοση του προσομοιωτή και εκφράζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{Hash_id} = (\text{Server_id} + \text{Path_id}) \bmod 99.999 + 1,$$

όπου, *Hash_id* είναι η ταυτότητα hash του αντικειμένου, *Server_id* είναι η ταυτότητα του πηγαίου εξυπηρετητή, *Path_id* είναι η ταυτότητα του μονοπατιού και η πράξη *mod* δηλώνει υπόλοιπο διαίρεσης. Η εν λόγω συνάρτηση αποτελεί μια πολύ απλή και καλή λύση, που καλύπτει ικανοποιητικά τις ανάγκες των πειραμάτων μας, στα οποία ο αριθμός των μοναδικών αντικειμένων είναι μικρότερος από 2.000.000. Για ακόμα μεγαλύτερο φόρτο εργασίας και πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα αναζήτησης, ο προσομοιωτής θα μπορούσε να αναβαθμιστεί, ώστε να χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο hash MD5 (Message Digest) [Riv92], με ταυτόχρονη χρήση δυαδικής αναζήτησης στη σπάνια περίπτωση αντικειμένων με ίδια ταυτότητα hash [Card04].



Σχήμα 4.5. Η λειτουργία της αναζήτησης μέσω της συνάρτησης hash

4.4.3.5 Η Ουρά Προτεραιότητας Αποκρίσεων

Λαμβάνοντας υπόψη την αλληλουχία των γεγονότων, όπως παρουσιάζονται στο σχήμα 4.1, η καθυστέρηση που αφορά τη μετάβαση 1→2 και 10→11 θεωρείται μηδενική, από τον προσομοιωτή. Αντίθετα, ο προσομοιωτής διαβάζει από το αρχείο εισόδου την καθυστέρηση

που αφορά τη μετάβαση 4→5→6→7→8, προκειμένου να υπολογίσει την τιμή στη μείωση της καθυστέρησης.

Ένα από τα βασικά μειονεκτήματα στη λειτουργία της πρωτότυπης έκδοσης του προσομοιωτή αφορά στη χρονική στιγμή, στην οποία τα αντικείμενα των αποκρίσεων του πηγαίου διακομιστή αποθηκεύονται στη μνήμη της ενδιάμεσης εφαρμογής του πληρεξούσιου. Αυτή η χρονική στιγμή ταυτίζεται, λανθασμένα, με το χρόνο στον οποίο καταφθάνει το αίτημα στον πληρεξούσιο, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η καθυστέρηση. Κάτι τέτοιο μπορεί να έχει επιπτώσεις στο σωστό υπολογισμό των δεικτών επίδοσης. Για παράδειγμα, ένα αίτημα μπορεί να θεωρηθεί ότι εξυπηρετήθηκε από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, ενώ στην πραγματικότητα το αντικείμενο να μην είναι καν αποθηκευμένο στη μνήμη της, αλλά να βρίσκεται σε εξέλιξη η μεταφορά του από τον πηγαίο διακομιστή.

Για τη σωστή απόδοση της αλληλουχίας των γεγονότων δημιουργήθηκε η ουρά προτεραιότητας των αποκρίσεων. Για τα αιτήματα που δε μπορούν να εξυπηρετηθούν από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, δημιουργούνται αποκρίσεις, οι οποίες εισάγονται και ταξινομούνται κατά φθίνουσα σειρά στην ουρά, με βάση τον εκτιμώμενο χρόνο, στον οποίο η απόκριση επιστρέφει στον πληρεξούσιο. Ο εκτιμώμενος χρόνος δίνεται από τη σχέση:

$$T_{\text{απόκρισης}} = T_{\text{αιτήματος}} + \Delta T_{\text{καθυστερήσης}}$$

όπου, $T_{\text{απόκρισης}}$ είναι η χρονική στιγμή που καταφθάνει η απόκριση στον πληρεξούσιο, $T_{\text{αιτήματος}}$ είναι η χρονική στιγμή στην οποία καταφθάνει το αίτημα από τον πελάτη και $\Delta T_{\text{καθυστερήσης}}$ είναι η καθυστέρηση μεταξύ πληρεξούσιου και πηγαίου.

Κάθε φορά που ο προσομοιωτής πρόκειται να χειριστεί κάποιο αίτημα, ελέγχει αν προηγείται χρονικά κάποια απόκριση. Αν ναι, χειρίζεται πρώτα την απόκριση. Σε περιπτώσεις όπου η χρονική σήμανση του αιτήματος και κάποιας απόκρισης ταυτίζονται, ο προσομοιωτής χειρίζεται πρώτα την απόκριση, προσβλέποντας στην καλύτερη δυνατή επίδοση του προσομοιωμένου συστήματος.

4.4.3.6 Διαχείριση της Μνήμης της Εφαρμογής Ενδιάμεσης Αποθήκευσης – Δομές Δεδομένων

Ο προσομοιωτής χρησιμοποιεί τρεις διαφορετικές δομές δεδομένων για να καλύψει τις διαχειριστικές ανάγκες της μνήμης στην εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, ανάλογα με την εκάστοτε στρατηγική αντικατάστασης αντικειμένων. Η απλή ουρά (single queue) είναι

αριετή για την αναπαράσταση της λειτουργίας των πολιτικών χαμηλής πολυπλοκότητας, όπως η FIFO και η LRU [Abra95]. Ένα σύστημα πολλαπλών ουρών (multiple single queues) χρησιμοποιείται για τις πολιτικές που αφορούν διαμερισμό της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, με το κάθε διαμέρισμα να εκτελεί απλή ταξινόμηση τύπου LRU. Παράδειγμα τέτοιων πολιτικών είναι η PSS [Agg99], η LRU-SP [Chen00] και η PART-LRU [Murt98]. Τέλος, για τις συναρτησιακές, κυρίως, πολιτικές χρησιμοποιείται μια ουρά προτεραιότητας (Priority Queue) για την ταξινόμηση των αντικειμένων με βάση την τιμή στη συνάρτηση προτεραιότητας. Η ουρά προτεραιότητας χρησιμοποιείται επίσης από την LFU [Will96] και τη SIZE [Will96].

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι στρατηγικές ανάλογα με τη δομή δεδομένων που χρησιμοποιεί η καθεμία. Οι περισσότερες στρατηγικές διατηρούν τις δομές δεδομένων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και αλληλεπιδρούν με αυτές, κάθε φορά που απαιτείται μια εισαγωγή ή διαγραφή αντικειμένου, ή μια απλή ενημέρωση από αλλαγή προτεραιότητας, λόγω κάποιας επιτυχούς εξυπηρέτησης από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η RAND [Pod03] είναι η μόνη στρατηγική που δε χρησιμοποιεί κάποια από τις παραπάνω δομές δεδομένων, δεδομένου ότι επιλέγει τυχαία τα αντικείμενα προς διαγραφή, οπότε δε χρειάζεται να κρατήσει κάποια προτεραιότητα. Τέλος, οι συναρτησιακές στρατηγικές υψηλής πολυπλοκότητας – της τάξεως $O(n)$, λόγω της εξάρτησής τους από τον τρέχοντα χρόνο – κατά τους Bahn et al [Bahn02], χρησιμοποιούν την ουρά προτεραιότητας περιστασιακά, οποτεδήποτε απαιτείται να γίνει κάποια διαγραφή.

ΑΠΛΗ ΟΥΡΑ	ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΟΥΡΕΣ	ΟΥΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ	ΚΑΜΙΑ
FIFO LRU, LRU-MIN LRU-THOLD, LRU* LRU-S, LRU-C, LRU-CS	PSS PSS-LAT LRU-SP LRU-SP-LAT PART-LRU Segmented LRU	SIZE LFU (In-cache, Perfect) LFU-AGING (In-cache, Perfect) A-AGING (In-cache, Perfect) LFU-DA, LLF (ή, LAT), HYBRID, BH, LRV, EXP1 GDS, GDSF, GDF, GD*, g-GDSF M-Metric, MIX, TSP, LUV Rand-MIX	RAND

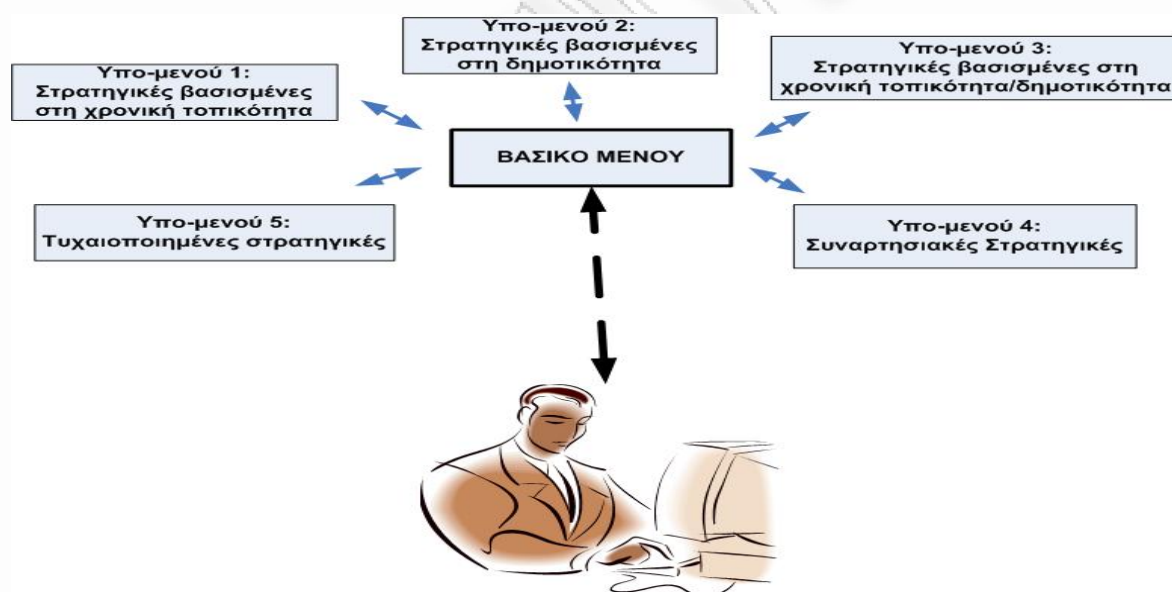
Πίνακας 4.1. Υποστηριζόμενες στρατηγικές με βάση τη χρησιμοποιούμενη δομή δεδομένων

Οι Cardenas et al [Card04] πρότειναν τη χρήση ενός τριαδικού δένδρου για την κάλυψη των αναγίων όλων των πολιτικών. Αν και η λύση τους αυτή είναι πολύ καλή στην αντιμετώπιση των στρατηγικών, που βασίζονται σε πολλαπλά κλειδιά για την έξωση

αντικειμένων, εντούτοις προσθέτει πολυπλοκότητα κατά την υλοποίηση των απλών στρατηγικών, όπως είναι η LRU. Πάντως, η περαιτέρω αναβάθμιση του προσομοιωτή με προσθήκη μιας τέτοιας δομής δεδομένων αποτελεί μια καλή ιδέα για την προσθήκη στρατηγικών με πολλαπλά κλειδιά.

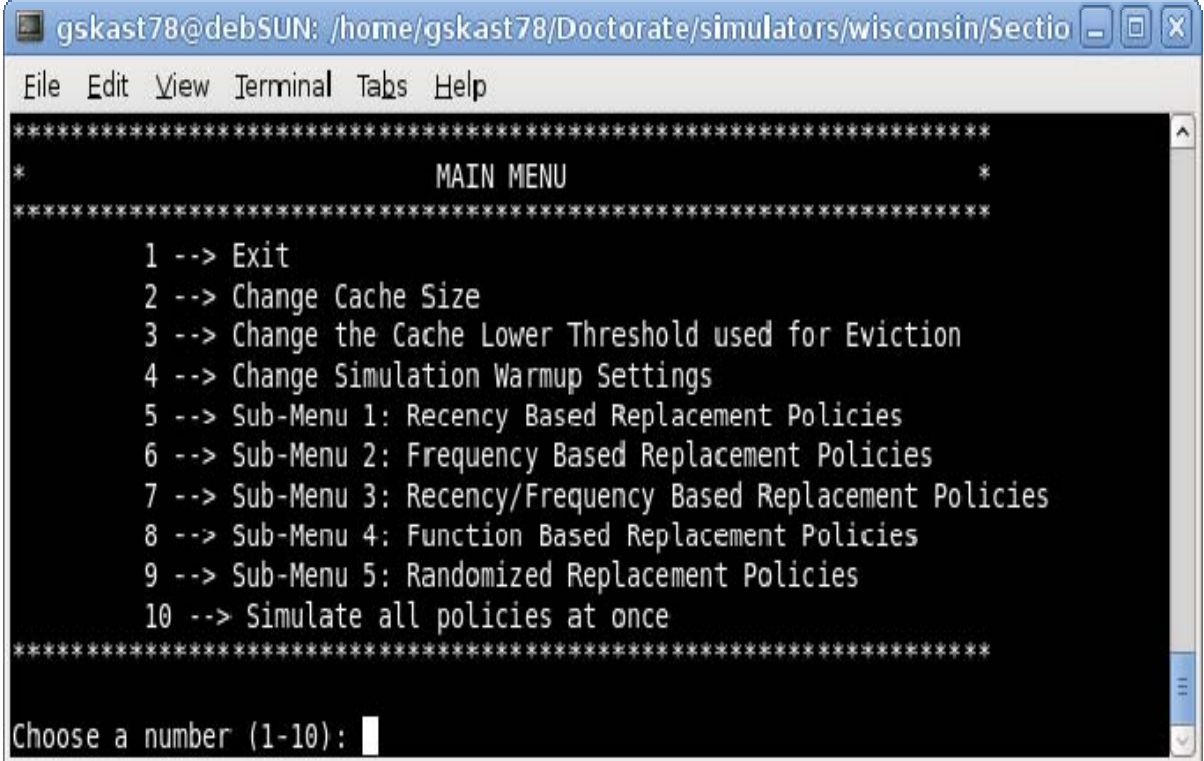
4.4.4 Η Διαδραστική Διεπαφή Χρήστη

Μια από τις καινοτομίες του αναβαθμισμένου προσομοιωτή είναι η διαδραστική διεπαφή για επικοινωνία με το χρήστη. Ένα από τα κυριότερα οφέλη της διεπαφής είναι η δυνατότητα απομόνωσης μιας συγκεκριμένης πολιτικής, πράγμα πολύτιμο κατά την προσθήκη και αποσφαλμάτωση νέων πολιτικών, στον προσομοιωτή. Στο σχήμα 4.6 παρουσιάζεται μια δενδρική δομή της αρχιτεκτονικής της διεπαφής του χρήστη. Το σχήμα 4.7 παρουσιάζει το βασικό διαλογικό μενού που προσφέρεται στο χρήστη.



Σχήμα 4.6. Η αρχιτεκτονική της διαδραστικής διεπαφής χρήστη, του προσομοιωτή

Το βασικό μενού δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να αλλάξει το μέγεθος της μνήμης της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης για την προσομοίωση. Ο χρήστης μπορεί να δηλώσει το μέγεθος τόσο ως απόλυτο νούμερο, σε byte, όσο και ως ποσοστό με βάση το απεριόριστο μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, δηλαδή, το ελάχιστο μέγεθος που απαιτείται, ώστε να μη χρειαστεί να πραγματοποιηθεί κάποια αντικατάσταση.



```

gskast78@debSUN: /home/gskast78/Doctorate/simulators/wisconsin/Seccio
File Edit View Terminal Tabs Help
*****
*                               *
*                               *
*****
1 --> Exit
2 --> Change Cache Size
3 --> Change the Cache Lower Threshold used for Eviction
4 --> Change Simulation Warmup Settings
5 --> Sub-Menu 1: Recency Based Replacement Policies
6 --> Sub-Menu 2: Frequency Based Replacement Policies
7 --> Sub-Menu 3: Recency/Frequency Based Replacement Policies
8 --> Sub-Menu 4: Function Based Replacement Policies
9 --> Sub-Menu 5: Randomized Replacement Policies
10 --> Simulate all policies at once
*****
Choose a number (1-10): █

```

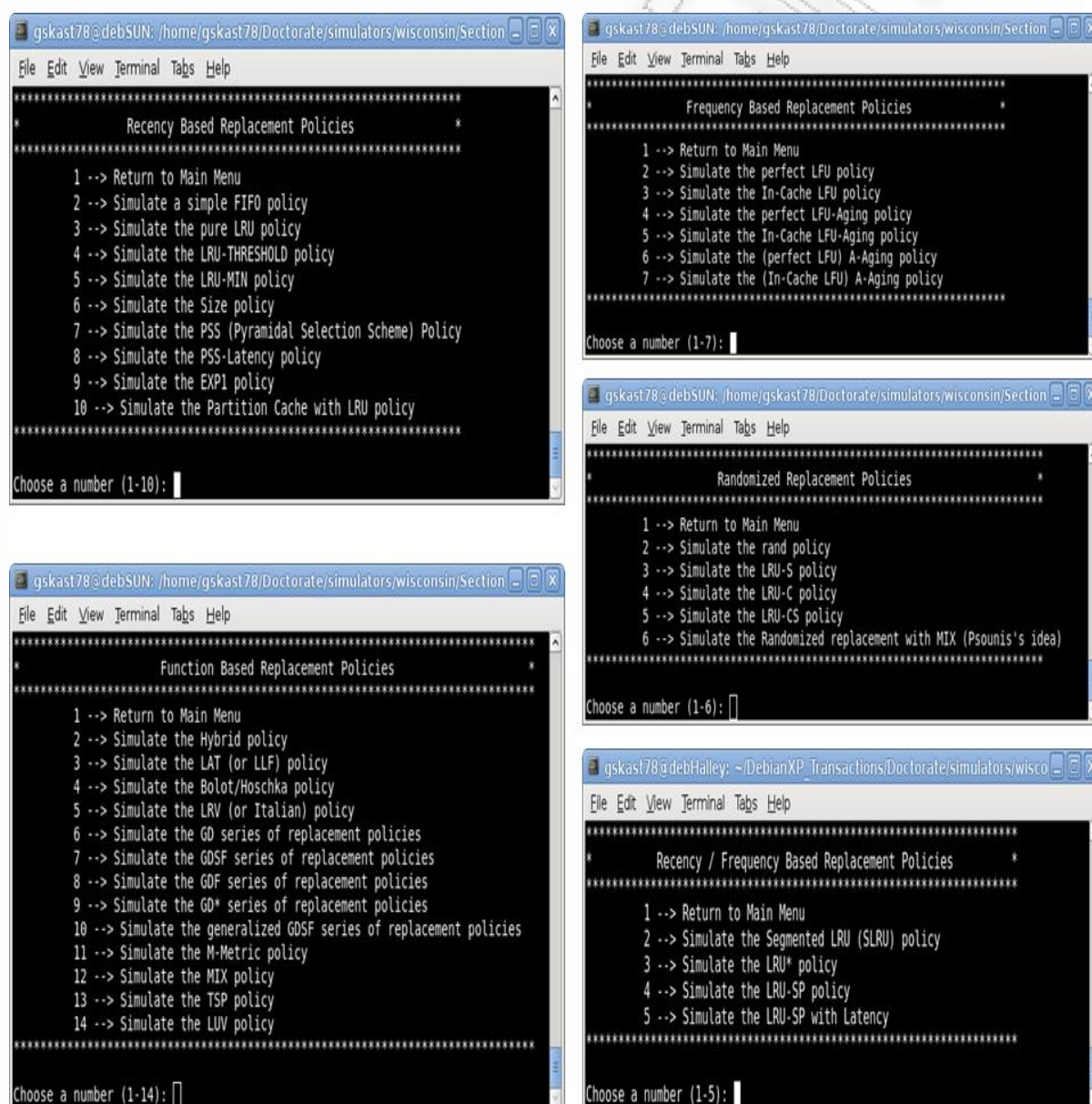
Σχήμα 4.7. Διαδραστική διεπαφή χρήστη – βασικό μενού

Ο χρήστης μπορεί να δηλώσει και ένα κατώτατο όριο, το οποίο να χρησιμοποιείται στην περίπτωση όπου χρειάζεται να πραγματοποιηθεί κάποια έξωση αντικειμένων από τη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης. Το κατώτατο αυτό όριο δηλώνεται ως ποσοστό του μεγέθους της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Τυπικά, είναι ένας αριθμός που ανήκει στο διάστημα (0,1]. Πρόκειται για το αντίστοιχο του κάτω υδατόσημου (low watermark) κατά την ορολογία του Squid [Vak00, Wess04]. Χρησιμοποιώντας, λοιπόν, το μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης ως άνω υδατόσημο (high watermark) είναι δυνατό να προσομοιωθεί η λειτουργία μιας πραγματικής εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης, όπως είναι ο Squid. Με αυτήν την τεχνική επιτυγχάνεται μείωση στο χρόνο επεξεργασίας των πολυπλοκότερων πολιτικών από τον προσομοιωτή.

Ο χρήστης μπορεί, επίσης, να επιλέξει αν επιθυμεί ή όχι την προθέρμανση της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης, προτού ξεκινήσει ο πραγματικός υπολογισμός των δεικτών επίδοσης. Με αυτόν τον τρόπο η προσομοίωση επικεντρώνεται στη σταθερή συμπεριφορά (steady-state behavior) κατά τη λειτουργία της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης, παραλείποντας το μεταβατικό στάδιο στο οποίο η μνήμη της γεμίζει με αντικείμενα.

Τα υπο-μενού περιέχουν τις στρατηγικές αντικατάστασης που υποστηρίζει ο προσομοιωτής. Είναι οργανωμένα με βάση την ταξινόμηση των στρατηγικών, που πρότειναν οι Podlipnig και Boszormenyi [Pod03]. Στα σχήμα 4.8 παρουσιάζονται τα υπο-μενού με τις αντίστοιχες στρατηγικές που υποστηρίζονται από την τρέχουσα έκδοση του αναβαθμισμένου προσομοιωτή.

Τέλος, το βασικό μενού δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να εκτελέσει όλες τις στρατηγικές μαζί, χωρίς να χρειαστεί να προσπελάσει όλα τα υπο-μενού.



Σχήμα 4.8. Τα υπο-μενού του προσομοιωτή

4.4.5 Υποστηριζόμενες Στρατηγικές Αντικατάστασης Περιεχομένου Παγκοσμίου Ιστού

Ένα από τα βασικά προτερήματα αυτού του προσομοιωτή είναι η υποστήριξη μιας ευρείας γκάμας πολιτικών αντικατάστασης αντικειμένων. Μέχρι και τη στιγμή της συγγραφής του παρόντος κεφαλαίου, υποστηρίζονται πάνω από σαράντα διαφορετικές πολιτικές και εκδοχές πολιτικών. Η προσπάθεια ενημέρωσης του προσομοιωτή με νέες πολιτικές είναι διαρκής και βρίσκεται σε εξέλιξη.

Ο πίνακας 4.1 παρουσιάζει τις υποστηριζόμενες από τον προσομοιωτή στρατηγικές αντικατάστασης αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού με βάση τη δομή δεδομένων που χρησιμοποιεί η καθεμία, ενώ στον πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι ίδιες στρατηγικές, ταξινομημένες κατά κατηγορία, με βάση την κατηγοριοποίηση των Podlipnig και Boszormenyi [Pod03].

Χρονική Τοπικότητα	Δημοτικότητα	Χρον. Τοπικότητα / Δημοτικότητα	Συναρτησιακές	Τυχαιότητα
FIFO LRU LRU-MIN LRU-THOLD SIZE PSS PSS-LAT EXP1 PART-LRU	LFU (In-cache, Perfect) LFU-AGING (In-cache, Perfect) A-AGING (In-cache, Perfect) LFU-DA	Segmented LRU LRU* LRU-SP LRU-SP-LAT	LAT (LLF) HYBRID BH LRV GDS GDSF GDF GD* g-GDSF M-Metric MIX TSP LUV	RAND LRU-S LRU-C LRU-CS Rand-MIX

Πίνακας 4.2. Υποστηριζόμενες στρατηγικές αντικατάστασης αντικειμένων ανά κατηγορία

Όταν επιλεγθεί από το χρήστη κάποια στρατηγική προς προσομοίωση, τότε η διαδικασία που ακολουθείται απεικονίζεται στο διάγραμμα ροής του σχήματος 4.9. Στον πίνακα 4.3 δίνονται οι αναγκαίες παράμετροι για τον ορισμό των στρατηγικών αντικατάστασης περιεχομένου παγκοσμίου ιστού, που υποστηρίζονται από τον προσομοιωτή, οι οποίες αναλύονται διεξοδικά παρακάτω.

4.4.5.1 Στρατηγικές Αντικατάστασης βάσει Χρονικής Τοπικότητας

Οι στρατηγικές αυτής της κατηγορίας βασίζονται στην παρατήρηση ότι υπάρχει μεγάλη χρονική τοπικότητα στις αναφορές κάποιων αντικειμένων στον παγκόσμιο ιστό. Δηλαδή, κατά την πλοήγηση των χρηστών παρατηρείται μεγάλη συγκέντρωση αναφορών

προς κάποια αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού σε σχετικά μικρά χρονικά διαστήματα. Επομένως, οι στρατηγικές αυτής της κατηγορίας δείχνουν την προτίμησή τους να κρατούν στη μνήμη της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης εκείνα τα αντικείμενα που έχουν ζητηθεί πιο πρόσφατα στο παρελθόν.

Παρακάτω, παρουσιάζονται και αναλύονται οι στρατηγικές της κατηγορίας, που υποστηρίζονται από την τρέχουσα έκδοση του αναβαθμισμένου προσομοιωτή του Wisconsin.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
s_i	Μέγεθος του αντικειμένου i .
f_i	Αριθμός αιτημάτων για το αντικείμενο i .
t_i	Ο χρόνος του τελευταίου αιτήματος προς το αντικείμενο i .
$t_{i,old}$	Ο χρόνος στον οποίο πραγματοποιήθηκε το αίτημα με αύξοντα αριθμό old προς το αντικείμενο i . Ισχύει $1 \leq old \leq f_i$ και $t_{i,1} = t_i$.
t_c	Ο τρέχων χρόνος.
$t_{i,p}$	Ο προβλεπόμενος χρόνος στον οποίο αναμένεται να πραγματοποιηθεί το επόμενο αίτημα για το αντικείμενο i .
$T_{i,p}$	Το προβλεπόμενο χρονικό διάστημα στο οποίο αναμένεται να πραγματοποιηθεί το επόμενο αίτημα για το αντικείμενο i .
p_i	Η πιθανότητα να ζητηθεί στο μέλλον το αντικείμενο i .
T_i	Χρονικό διάστημα από το τελευταίο αίτημα για το αντικείμενο i .
ΔT_i	Αριθμός προσπελάσεων από τη στιγμή που το αντικείμενο i προσπελάθηκε για τελευταία φορά.
l_i	Καθυστερήση αποφόρτωσης για το αντικείμενο i .
c_i	Κόστος αποφόρτωσης του αντικειμένου i από τον πηγαίο εξυπηρετητή.
C_s	Καθυστερήση σύνδεσης με τον πηγαίο εξυπηρετητή s , για το αντικείμενο i .
B_s	Μέσο εύρος ζώνης της σύνδεσης με τον πηγαίο εξυπηρετητή s , για το αντικείμενο i .
L	Παράγοντας γήρανσης.

Πίνακας 4.3. Βασικές παράμετροι για τον ορισμό των στρατηγικών αντικατάστασης

- LRU (Least Recently Used)

Η στρατηγική LRU [Abra95] πραγματοποιεί την άμεση εφαρμογή των όσων αναφέρθηκαν παραπάνω. Δηλαδή, όταν ένα νέο αντικείμενο καταφθάσει στην εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης και η μνήμη είναι γεμάτη, η εφαρμογή διαγράφει αποθηκευμένα αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού, που δεν έχουν ζητηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, μέχρι να ελευθερωθεί αρκετός χώρος στη μνήμη για να αποθηκευτεί το νέο αντικείμενο.

▪ LRU – THOLD

Η LRU-THOLD [Abra95] αποτελεί μια προσαρμοσμένη έκδοση της LRU που λαμβάνει υπόψη το μέγεθος των αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού. Στην ουσία πρόκειται για ένα συνδυασμό μιας πολιτικής εισόδου περιεχομένου στην εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης – η οποία περιορίζει το μέγεθος των αντικειμένων που εισάγονται, θέτοντας ένα άνω όριο – και της στρατηγικής αντικατάστασης LRU. Μικρές τιμές στο όριο έχουν ως αποτέλεσμα να αποθηκεύονται στην ενδιάμεση μνήμη πολλά μικρά αντικείμενα. Αυτό σημαίνει αυξημένο δείκτη επιτυχίας (HR), δεδομένου ότι είναι αυξημένη η πιθανότητα να βρεθεί το αιτούμενο αντικείμενο στην εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Στην περίπτωση αυτή, ο δείκτης επιτυχίας σε μονάδες πληροφορίας (BHR) τείνει να εμφανίζει μικρές τιμές, δεδομένου ότι το μέγεθος των αντικειμένων είναι μικρό. Αντίθετα, μεγάλες τιμές στο όριο επιφέρουν αύξηση στο δείκτη επιτυχίας σε μονάδες πληροφορίας (BHR) και μείωση στο δείκτη επιτυχίας (HR). Είναι φανερό ότι η τιμή του άνω ορίου αποτελεί ένα αντικείμενο προς διαπραγμάτευση.

Είναι φανερό ότι η LRU-THOLD αποτελούσε πολύ καλή επιλογή στις πρώτες εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης, την εποχή όπου οι διαθέσιμες μνήμες και οι σκληροί δίσκοι αποτελούσαν ακριβά προϊόντα και η χωρητικότητά τους σε ποσότητα πληροφορίας ήταν περιορισμένη. Επομένως, απαιτούνταν μια σχετική απαγόρευση, όσον αφορά στην αποθήκευση των πολύ μεγάλων αντικειμένων. Αντίθετα, στη σημερινή εποχή οι μονάδες αποθήκευσης έχουν μεγαλύτερη αποθηκευτική ικανότητα και πωλούνται σε σχετικά προσιτές τιμές.

Σήμερα, υπάρχει ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή του ορίου. Αυτός είναι ο παράγοντας της καθυστέρησης στην εγγραφή και ανάκτηση της πληροφορίας στη μονάδα αποθήκευσης. Αν και οι ταχύτητες εισόδου/εξόδου (I/O) στους δίσκους έχουν βελτιωθεί σε μεγάλο βαθμό, οι καθυστερήσεις I/O για τα πολύ μεγάλα αντικείμενα είναι απαγορευτικές, ιδιαίτερα για μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, η οποία καλείται να χειριστεί δεκάδες ή και εκατοντάδες αιτήματα ταυτόχρονα.

▪ LRU – MIN

Η στρατηγική LRU-MIN [Abra95] αποτελεί μια ακόμη προσαρμογή της LRU που λαμβάνει υπόψη το μέγεθος των αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού. Η LRU-MIN

ταξινομεί με βάση το δείκτη LRU εκείνα τα αντικείμενα, το μέγεθος των οποίων είναι κοντά στο μέγεθος του εισερχόμενου αντικειμένου. Με αυτόν τον τρόπο, η LRU-MIN ελαχιστοποιεί τον αριθμό των προς έξωση αντικειμένων, κάνοντας καλύτερη διαχείριση της διαθέσιμης μνήμης για ενδιάμεση αποθήκευση.

▪ PART-LRU

Πρόκειται για την εκτέλεση της στρατηγικής LRU σε διαμερισμένη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης. Σύμφωνα με τη στρατηγική PART-LRU, όπως προτάθηκε από την ομάδα Murta [Murt98], η μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης χωρίζεται σε τρία διαμερίσματα, στα οποία αποθηκεύονται αντικείμενα μικρού, μεσαίου και μεγάλου μεγέθους αντιστοίχως. Το μέγεθος των διαμερισμάτων προσδιορίζεται ως ποσοστό του συνολικού μεγέθους της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Ένα άλλο πρόβλημα σχετικά με αυτήν τη στρατηγική είναι ο προσδιορισμός των μεγεθών των αντικειμένων που θα αποθηκεύονται στο κάθε διαμέρισμα μνήμης. Η λύση που δόθηκε από την ομάδα Murta [Murt98] αφορά την αξιοποίηση της διαμέσου και της μέσης τιμής των μεγεθών των αντικειμένων, που παρατηρήθηκαν στους διαδικτυακούς φόρτους των πειραμάτων τους.

▪ FIFO (First In, First Out)

Πρόκειται για την άμεση υλοποίηση της πολιτικής FIFO [Wess01] για τη σελιδοποίηση στις μνήμες υπολογιστικών συστημάτων ως στρατηγική αντικατάστασης αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης. Σύμφωνα με τη FIFO, το αντικείμενο που εισάγεται πρώτο στην εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης αναμένεται να διαγραφεί πρώτο. Σε περίπτωση που η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης καταφέρει να εξυπηρετήσει κάποιο αίτημα, η FIFO αφήνει το αντικείμενο στη θέση που ήδη κατέχει στην ουρά. Αυτή είναι και η διαφορά της με την LRU, η οποία τοποθετεί το αντικείμενο στο τέλος της ουράς.

Η στρατηγική FIFO δεν αναφέρεται στην έρευνα των Podlipnig and Boszormenyi [Pod03]. Αποφασίσαμε την κατάταξή της σε αυτήν την κατηγορία στρατηγικών, με το σκεπτικό ότι ο τρόπος με τον οποίο διαχειρίζεται τη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης σχετίζεται με το χρόνο αναφοράς των αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού.

▪ SIZE

Σύμφωνα με τη στρατηγική SIZE [Will96] όλα τα αποθηκευμένα αντικείμενα στην εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης ταξινομούνται με βάση το μέγεθος πληροφορίας που κατέχουν. Τα αντικείμενα με το μεγαλύτερο μέγεθος πληροφορίας διαγράφονται πρώτα. Είναι φανερό πως η στρατηγική SIZE επικεντρώνεται στην εξοικονόμηση χωρητικότητας στο μέσο αποθήκευσης. Ο Wessels [Wess01] αναφέρει ότι ένας αλγόριθμος που στηρίζεται αποκλειστικά στο μέγεθος της πληροφορίας δε μπορεί να σταθεί χωρίς την παρουσία ενός μηχανισμού γήρανσης των αποθηκευμένων αντικειμένων, γιατί η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης θα κινδύνευε να γεμίσει με πολύ μικρά και γερασμένα αντικείμενα.

Αν και η στρατηγική SIZE δεν ανήκει ξεκάθαρα στην κατηγορία των στρατηγιών αντικατάστασης βάσει της χρονικής τοπικότητας, οι Podlipning και Boszormenyi [Pod03] την κατατάσσουν εκεί. Μια λογική εξήγηση είναι ότι τα αντικείμενα με το ίδιο μέγεθος πληροφορίας υποτίθεται ότι διαγράφονται ακολουθώντας το δείκτη LRU, ως δευτερεύον κλειδί.

▪ EXP1

Οι Reddy και Fletcher [Redd98] εισήγαγαν αυτήν τη στρατηγική που χρησιμοποιεί τεχνικές εκθετικής εξομάλυνσης για να βελτιώσει περαιτέρω τις επιδόσεις της καθαρής LRU. Αν συμβολίσουμε με μ_i το μέσο χρόνο για το επόμενο αίτημα προς το αντικείμενο i , τότε το αντικείμενο με τη μικρότερη τιμή στην ποσότητα $1/\mu_i$ διαγράφεται πρώτο από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η τιμή του μ_i προσδιορίζεται αναδρομικά με χρήση του ακόλουθου μαθηματικού τύπου:

$$\mu_i = \begin{cases} 1/t_0, & i = 0 \\ \alpha \times t_i + (1 - \alpha) \times \mu_{i-1}, & i > 0. \end{cases} \quad (4.1)$$

Σύμφωνα με τη μελέτη [Redd98], η βέλτιστη τιμή του συντελεστή α είναι ίση με 0,1.

▪ PSS (Pyramidal Selection Scheme)

Αυτή η στρατηγική, η οποία προτάθηκε στην εργασία [Agg99], αποτελεί μια ακόμα προσπάθεια βελτίωσης πάνω στη γνήσια LRU. Η PSS στηρίζεται στη δημιουργία μιας πολυεπίπεδης διαβάθμισης της μνήμης στην εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης σύμφωνα με την

χωρητικότητά της. Πιο αναλυτικά, μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης με μέγεθος μνήμη M bytes χωρίζεται σε N ομάδες, όπου

$$N = \log_2(M + 1). \quad (4.2)$$

Ένα εισερχόμενο αντικείμενο του παγκοσμίου ιστού με μέγεθος μεταξύ 2^{k-1} και $2^k - 1$ byte θα αποθηκευτεί στην ομάδα k . Στην κάθε ομάδα, τα αντικείμενα διατάσσονται με βάση τον δείκτη LRU. Το υποψήφιο για έξωση επιλέγεται ανάμεσα στα λιγότερο πρόσφατα προσπελασμένα αντικείμενα της κάθε ομάδας, για το οποίο το γινόμενο $s_i \times \Delta T_i$ είναι μέγιστο.

▪ PSS - LAT

Πρόκειται για μια παραλλαγή της PSS [Agg99], όπου λαμβάνεται υπόψη η καθυστέρηση αποφόρτωσης των αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού.

4.4.5.2 Στρατηγικές Αντικατάστασης βάσει Δημοτικότητας

Οι στρατηγικές της συγκεκριμένης κατηγορίας στηρίζουν τη διαχείριση της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης αποκλειστικά στη δημοτικότητα των αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού. Ως εκ τούτου, τα αντικείμενα μεγάλης δημοτικότητας παραμένουν στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης, ενώ τα μη δημοφιλή αντικείμενα είναι αυτά που επιλέγονται για έξωση από τη μνήμη, οποτεδήποτε είναι απαραίτητο. Για να μπορέσει η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης να ακολουθήσει κάποια από αυτές τις στρατηγικές είναι απαραίτητο να κρατάει μετα-δεδομένα – μετρητές – σχετικά με τον αριθμό των αναφορών προς τα αντικείμενα που ζητούνται. Στο σημείο αυτό διακρίνονται δύο περιπτώσεις:

- Η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης κρατάει μετρητές μόνο για όσα αντικείμενα είναι αποθηκευμένα στη μνήμη της.
- Η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης κρατάει μετρητές για όσα αντικείμενα της έχουν ζητηθεί, χωρίς να είναι απαραίτητα αποθηκευμένα στη μνήμη της.

Είναι φανερό ότι η δεύτερη περίπτωση απαιτεί περισσότερη μνήμη για την αποθήκευση των μετα-δεδομένων.

Παρακάτω, παρουσιάζονται και αναλύονται οι στρατηγικές της κατηγορίας αυτής, που υποστηρίζονται από την τρέχουσα έκδοση του αναβαθμισμένου προσομοιωτή του Wisconsin.

- LFU (Least Frequently Used)

Αυτή η στρατηγική [Will96] αποτελεί την άμεση υλοποίηση των όσων αναφέρθηκαν παραπάνω. Λαμβάνει υπόψη αποκλειστικά τον αριθμό των αναφορών σε ένα έγγραφο του παγκοσμίου ιστού. Ο προσομοιωτής υποστηρίζει και τις δύο εκδοχές της, όσον αφορά στα μετα-δεδομένα που χρησιμοποιούνται.

Το γεγονός ότι η στρατηγική LFU διαγράφει από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης τα αντικείμενα με τη μικρότερη τιμή στο μετρητή αποτελεί τη μοναδική αδυναμία της στρατηγικής αυτής, ιδιαίτερα όταν οι μετρητές αφορούν μόνο στα αποθηκευμένα αντικείμενα. Στην ουσία, η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης τείνει να γεμίζει με πεπαλαιωμένα αντικείμενα, τα οποία είχαν μεγάλη ζήτηση στο παρελθόν. Για το λόγο αυτό κρίνεται άκρως απαραίτητη η αξιοποίηση ενός μηχανισμού γήρανσης των αποθηκευμένων αντικειμένων, ο οποίος να αξιοποιεί το χρονικό διάστημα που έχει παρέλθει από το τελευταίο αίτημα προς το κάθε αντικείμενο [Wess01].

- LFU-AGING

Αυτή η στρατηγική [Arl00b] αποτελεί παραλλαγή της LFU που χρησιμοποιεί τον παρακάτω μηχανισμό γήρανσης για τα αποθηκευμένα αντικείμενα: Κάθε φορά που η μέση τιμή όλων των μετρητών υπερβαίνει ένα άνω όριο, η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης πραγματοποιεί υποδιπλασιασμό όλων των μετρητών. Επιπλέον, επιβάλλεται μια ανώτατη τιμή, την οποία απαγορεύεται να ξεπεράσουν οι μετρητές.

Ο προσομοιωτής υλοποιεί και τις δύο εκδοχές της στρατηγικής LFU-AGING, όσον αφορά στα μετα-δεδομένα που χρησιμοποιούνται.

- A-AGING

Η στρατηγική A-AGING [Zha99b] ακολουθεί τη λογική της LFU και χρησιμοποιεί μια διαφορετική μέθοδο γήρανσης από την LFU-AGING. Όταν περάσει ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα που καθορίζεται από το διαχειριστή, η εφαρμογή ενδιάμεσης

αποθήκευσης ελαττώνει τις τιμές των μετρητών με βάση ένα συντελεστή. Δηλαδή, κάθε φορά που περνάει το χρονικό διάστημα, ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

$$\forall i: f_i^{new} = a \times f_i^{old}, \quad 0 \leq a \leq 1. \quad (4.3)$$

Ο προσομοιωτής υλοποιεί και τις δύο εκδοχές της στρατηγικής A-AGING, όσον αφορά στα μετα-δεδομένα που χρησιμοποιούνται.

- LFU-DA (LFU – Dynamic Aging)

Μια ενδιαφέρουσα παραλλαγή της LFU είναι η LFU με δυναμική γήρανση, ή LFU-DA [Arl00b]. Η στρατηγική αυτή διαγράφει το αντικείμενο με την ελάχιστη τιμή της παραμέτρου H_i , η οποία υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$H_i = c_i \times f_i + L. \quad (4.4)$$

Δεδομένου ότι πρόκειται για μια ιδιαίτερη περίπτωση στρατηγικής που ανήκει στην οικογένεια Greedy-Dual Frequency – που αποκαλείται επίσης GDF(1) – επιλέξαμε να την κατατάξουμε ως μια ειδική περίπτωση της συναρτησιακής οικογένειας πολιτικών GDF (Βλέπε παρακάτω τις περιπτώσεις στρατηγικών της σειράς Greedy-Dual). Επιπλέον, οι μετρητές συχνότητας για αυτήν την περίπτωση αφορούν μόνο στα αποθηκευμένα αντικείμενα.

4.4.5.3 Στρατηγικές Αντικατάστασης βάσει Χρονικής Τοπικότητας και Δημοτικότητας

Δεδομένου ότι η χρονική τοπικότητα των αιτημάτων και η δημοτικότητα του περιεχομένου αποτελούν τους δύο παράγοντες κλειδιά, που λαμβάνει υπόψη μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης για τη διαχείριση της μνήμης της, κατά καιρούς έχουν προταθεί στρατηγικές αντικατάστασης αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού, που να αξιοποιούν και τις δύο αυτές παραμέτρους. Οι Podlipning και Boszormenyi [Pod03] κατατάσσουν αυτές τις στρατηγικές σε ξεχωριστή κατηγορία.

Παρακάτω, παρουσιάζονται και αναλύονται οι στρατηγικές της κατηγορίας, που υποστηρίζονται από την τρέχουσα έκδοση του αναβαθμισμένου προσομοιωτή του Wisconsin.

- SLRU (Segmented LRU)

Η στρατηγική SLRU προτάθηκε από τους Arlitt et al [Arl00a]. Κατά την SLRU η μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης χωρίζεται σε δύο τμήματα: ένα μη προστατευμένο τμήμα

και ένα προστατευμένο τμήμα, το οποίο αφορά τα δημοφιλή αντικείμενα. Στο πρώτο αίτημα για ένα αντικείμενο του παγκοσμίου ιστού, το αντικείμενο εισάγεται στο μη προστατευμένο τμήμα. Σε περίπτωση επιτυχούς εξυπηρέτησης του αιτήματος από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, με το αντικείμενο να βρίσκεται στο μη προστατευόμενο τμήμα, το αντικείμενο μεταφέρεται στο προστατευμένο τμήμα. Και στα δύο τμήματα ακολουθείται η στρατηγική LRU, αλλά μόνο τα αντικείμενα από το μη προστατευμένο τμήμα διαγράφονται οριστικά από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Αντίθετα, όσα αντικείμενα διαγράφονται βάσει της LRU από το προστατευόμενο τμήμα, αυτά εισέρχονται στο μη προστατευόμενο. Το ποσοστό της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, που λαμβάνεται υπόψη ως προστατευόμενο τμήμα, καθορίζεται από ένα συντελεστή.

- LRU*

Κατά την LRU* [Chan99], όλα τα αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού αποθηκεύονται σε μια ουρά LRU. Κάθε αντικείμενο διαθέτει ένα μετρητή αιτημάτων. Όταν η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης έχει το ζητούμενο αντικείμενο στη μνήμη και εξυπηρετήσει επιτυχώς ένα αίτημα, το αντικείμενο μετακινείται στο τέλος της ουράς και ο αντίστοιχος μετρητής αιτημάτων αυξάνεται κατά ένα. Σε περίπτωση αντικατάστασης ελέγχεται ο μετρητής αιτημάτων του αντικειμένου στην αρχή της ουράς. Αν είναι μηδέν, το αντικείμενο διαγράφεται. Διαφορετικά, ο αριθμός των επιτυχών αιτημάτων μειώνεται κατά ένα και το αντικείμενο μετακινείται στο τέλος της ουράς.

- LRU-SP (Size-adjusted, Popularity-aware LRU)

Η LRU-SP [Chen00] αποτελεί επέκταση της στρατηγικής PSS [Agg99]. Στη στρατηγική LRU-SP, η μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης διαβαθμίζεται σε διάφορα επίπεδα, ενώ το επίπεδο στο οποίο πρέπει να αποθηκευτεί ένα αντικείμενο i καθορίζεται από τον παράγοντα $\log_2(s_i / f_i)$. Κάθε επίπεδο διατηρεί μια ξεχωριστή ουρά LRU. Ένα αίτημα σε κάποιο αποθηκευμένο αντικείμενο i μπορεί να προκαλέσει τη διευθέτησή του σε διαφορετική ουρά. Το υποψήφιο για έξωση επιλέγεται ανάμεσα στα λιγότερο πρόσφατα προσπελασμένα αντικείμενα του κάθε επιπέδου, για το οποίο η παράμετρος $\Delta T_i \times s_i / f_i$ είναι μέγιστη.

- LRU-SP-LAT

Πρόκειται για μια παραλλαγή της LRU-SP [Chen00], όπου λαμβάνεται υπόψη η καθυστέρηση αποφόρτωσης των αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού.

4.4.5.4 Συναρτησιακές Στρατηγικές Αντικατάστασης

Οι συναρτησιακές στρατηγικές αντικατάστασης αποτέλεσαν μια κατηγορία στρατηγικών αντικατάστασης περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού, οι οποίες προσπαθούν να εκτιμήσουν την αξία – έστω H_i – του κάθε αντικειμένου – έστω i – που είναι αποθηκευμένο στην εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης συναρτήσει κάποιων θεμελιωδών παραμέτρων, όπως είναι η δημοτικότητα, η χρονική τοπικότητα, το κόστος αποφόρτωσης και το μέγεθος των αντικειμένων. Αυτές οι στρατηγικές είναι γνωστές ως συναρτησιακές [Pod03] και η βασική διαφοροποίησή τους αφορά στη συνάρτηση υπολογισμού της αξίας H_i . Σε όλες τις περιπτώσεις το αντικείμενο με τη μικρότερη αξία H_i διαγράφεται από τη μνήμη.

Παρακάτω, παρουσιάζονται και αναλύονται οι στρατηγικές της κατηγορίας αυτής, που υποστηρίζονται από την τρέχουσα έκδοση του αναβαθμισμένου προσομοιωτή του Wisconsin.

- M-METRIC

Η στρατηγική M-METRIC [Wess95] αποτέλεσε την πρώτη προσπάθεια για συναρτησιακή προσέγγιση στο πρόβλημα της αντικατάστασης αντικειμένων παγκοσμίου ιστού, σε μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Για τον υπολογισμό της αξίας του κάθε αντικειμένου χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση:

$$H_i = f_i^f \times T_i^r \times s_i^s, \quad (4.5)$$

όπου f , r και s είναι ρυθμιζόμενοι από το διαχειριστή σταθμιστές, οι οποίοι αντικατοπτρίζουν τη βαρύτητα των θεμελιωδών παραμέτρων. Με την προϋπόθεση ότι πρέπει να δοθεί έμφαση στη δημοτικότητα και στη χρονική τοπικότητα, οι σταθμιστές f και r έχουν θετική και αρνητική τιμή αντίστοιχα. Ο σταθμιστής s μπορεί να είναι θετικός ή αρνητικός. Μια θετική τιμή δίνει περισσότερη βαρύτητα στα μεγαλύτερα αντικείμενα, ενώ μια αρνητική τιμή δίνει περισσότερη βαρύτητα στα μικρότερα αντικείμενα. Οι παράμετροι f_i και T_i υπολογίζονται για τη διάρκεια συγκεκριμένου χρονικού παραθύρου και αυτό είναι μια βασική διαφορά με

τις άλλες στρατηγικές που τις χρησιμοποιούν. Ο Wessels [Wess95] προτείνει το παράθυρο αυτό να έχει διάρκεια μια ημέρα.

▪ BH (BOLOT/HOSCHKA)

Η στρατηγική BH [Bol96] αποτέλεσε μια πρώτη προσπάθεια στην κατασκευή ενός συναρτησιακού αλγόριθμου που να λαμβάνει υπόψη το χρόνο ανάκτησης αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού. Σε αυτήν την περίπτωση, η αξία των αποθηκευμένων αντικειμένων στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$H_i = W_1 \times l_i + W_2 \times s_i + \frac{W_3 + W_4 \times s_i}{T_i}, \quad (4.6)$$

όπου οι W_1 , W_2 , W_3 και W_4 είναι σταθμιστές που αποτυπώνουν τη βαρύτητα του κάθε θεμελιώδους χαρακτηριστικού.

▪ LLF (Lowest Latency First) ή LAT

Η στρατηγική LLF [Woos97] αποτελεί μια προσπάθεια για διαχείριση της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης με βάση αποκλειστικά την εκτιμώμενη καθυστέρηση στην αποφόρτωση του αντικείμενου από τον πηγαίο εξυπηρετητή. Κάτω από αυτό το πρίσμα, τα αντικείμενα με υψηλές εκτιμώμενες καθυστερήσεις έχουν και μεγαλύτερη αξία για την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης και πρέπει να παραμένουν αποθηκευμένα στη μνήμη της, δηλαδή $H_i = l_i$.

Η εκτιμώμενη καθυστέρηση l_i υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$l_i = C_s + s_i / B_s, \quad (4.7)$$

όπου C_s είναι η εκτιμώμενη καθυστέρηση για τη σύνδεση προς τον πηγαίο εξυπηρετητή s , στον οποίο ανήκει το αντικείμενο i , και B_s είναι το εκτιμώμενο εύρος ζώνης μεταξύ της μηχανής, όπου τρέχει η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, και του πηγαίου εξυπηρετητή s . Η όλη διαδικασία υπολογισμού των παραμέτρων C_s , B_s και κατά επέκταση του l_i είναι εμπνευσμένη από τον τρόπο με τον οποίο μια δικτυακή οντότητα TCP (Transport Control Protocol) εκτιμά το χρόνο αναμετάδοσης πακέτων.

Η βασική διαφορά με τη στρατηγική BH είναι ότι η στρατηγική LLF υποβιβάζει τον υπολογισμό της καθυστέρησης αποφόρτωσης των αντικειμένων σε επίπεδο πηγαίου

εξυπηρετητή. Αυτό σημαίνει ότι τα σχετικά μεταδεδομένα αποθηκεύονται σε επίπεδο εξυπηρετητή, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση σε μνήμη.

▪ HYBRID

Η HYBRID αποτελεί μια επέκταση της LLF, ώστε να συμπεριληφθεί η παράμετρος δημοτικότητα στην εξίσωση. Οι Wooster και Abrams [Woos97] δεν συμπεριέλαβαν την παράμετρο χρονική τοπικότητα στην εξίσωσή τους, θεωρώντας την ασήμαντη για τη διαχείριση της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η αξία ενός αντικειμένου i του παγκοσμίου ιστού για την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$H_i = (C_s + W_B / B_s) \times f_i^{W_N} / s_i, \quad (4.8)$$

όπου οι W_B και W_N είναι σταθμιστές που υποδηλώνουν τη βαρύτητα του εύρους ζώνης και της δημοτικότητας στην εξίσωση.

▪ Η Οικογένεια Στρατηγιών GD (Greedy-Dual)

Αρχικά, η στρατηγική GD (Greedy-Dual) προτάθηκε ως μια γενίκευση της LRU [Youn94] για την επίλυση του προβλήματος της σελιδοποίησης σε λειτουργικά συστήματα, για περιπτώσεις ανομοιομορφίας στο κόστος ανάκτησης των σελίδων μνήμης σταθερού μεγέθους. Έκτοτε, έχει μελετηθεί και προταθεί μια οικογένεια στρατηγιών GD [Cao97b, Cher98, Arl00b] για την επίλυση του προβλήματος της αντικατάστασης αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Σε πρώτη φάση μελετήθηκαν τρεις κύριες παραλλαγές: η GDS (Greedy-Dual-Size), η GDF (Greedy-Dual-Frequency) και η GDSF (Greedy-Dual-Size-Frequency). Σε όλες τις περιπτώσεις, σε κάθε αντικείμενο i αποδίδεται μια αξία H_i , όσον αφορά στην εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Οι αντίστοιχοι τύποι για την κάθε παραλλαγή παρουσιάζονται παρακάτω:

$$H_i = c_i / s_i + L, \quad (4.9)$$

$$H_i = f_i \times c_i + L, \quad (4.10)$$

$$H_i = f_i \times c_i / s_i + L. \quad (4.11)$$

Το κόστος c_i μπορεί να εκφραστεί με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους. Πρώτα, έχουμε την περίπτωση σταθερού κόστους, όπου οι αντίστοιχες πολιτικές είναι η GDS(1), η GDF(1) – ή, LFU-DA – και η GDSF(1). Το κόστος μπορεί, επίσης, να εκφραστεί με τον αριθμό των πακέτων που πρέπει να μεταφερθούν κατά μήκος του Διαδικτύου – η περίπτωση των GDS(packets), GDF(packets) και GDSF(packets). Επιπλέον, μπορεί να εκφραστεί από την καθυστέρηση αποφόρτωσης των αντικειμένων – οι περιπτώσεις των GDS(latency), GDF(latency) και GDSF(latency) – ή από τον αριθμό των ενδιάμεσων κόμβων – οι περιπτώσεις των GDS(hops), GDF(hops) και GDSF(hops).

Στις παραπάνω εξισώσεις, η παράμετρος L αυξάνεται σταδιακά συναρτήσει της αξίας των διαγραφόμενων αντικειμένων, προσδίδοντας υπεραξία στα εισερχόμενα. Με αυτόν τον τρόπο αποδίδεται η χρονική τοπικότητα των αιτημάτων με το λιγότερο δυνατό υπολογιστικό κόστος.

- GD* (Greedy-Dual*)

Η στρατηγική GD* [Jin01a] αποτελεί μια παραλλαγή της GDSF, στην οποία η αξία του αντικειμένου για την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης στον παγκόσμιο ιστό υπολογίζεται από τον τύπο:

$$H_i = \left(\frac{f_i \times c_i}{s_i} \right)^{1/\beta} + L. \quad (4.12)$$

Ο σταθμιστής β στην εξίσωση ελέγχει το ρυθμό γήρανσης του αντικειμένου i και αντιπροσωπεύει το βαθμό της επιρροής του συσχετισμού μεταξύ των αιτημάτων προς το αντικείμενο, σε αντιδιαστολή με τη συνολική δημοτικότητά του.

Κατά αναλογία με την οιογένεια στρατηγιών GD, ο προσομοιωτής λαμβάνει υπόψη τέσσερις διαφορετικές εκφράσεις του κόστους c_i . Επομένως, προσομοιώνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις: GD*(1), GD*(packets), GD*(latency) και GD*(hops).

- gGDSF (generalized Greedy-Dual-Size-Frequency)

Η gGDSF [Cher01] αποτελεί μια γενίκευση της GDSF, όπου η αξία του κάθε αντικειμένου για την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης καθορίζεται από την παρακάτω συνάρτηση:

$$H_i = \frac{f_i^\alpha}{s_i^\beta} + L. \quad (4.13)$$

Οι σταθμιστές a και β καθορίζουν τη βαρύτητα της δημοτικότητας και του μεγέθους του αντικειμένου i στον υπολογισμό της αξίας του. Δεδομένου ότι το κόστος στην παραπάνω εξίσωση θεωρείται σταθερό, η gGDSF θα μπορούσε να θεωρηθεί ως γενίκευση της GDSF(1). Ο προσομοιωτής υποστηρίζει και την περίπτωση όπου δίνεται έμφαση σε μη σταθερό κόστος. Επομένως, γίνεται διάκριση σε τέσσερις περιπτώσεις gGDSF(1), gGDSF(packets), gGDSF(latency) και gGDSF(hops). Τότε, η παραπάνω εξίσωση λαμβάνει τη γενικότερη μορφή:

$$H_i = \frac{f_i^\alpha}{s_i^\beta} \times c_i + L. \quad (4.14)$$

▪ MIX

Κατά τη στρατηγική MIX [Niel98], το κάθε αντικείμενο i του παγκοσμίου ιστού παίρνει μια τιμή H_i , σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$H_i = \frac{I_i^{r_1} * f_i^{r_2}}{T_i^{r_3} * s_i^{r_4}}, \quad (4.15)$$

όπου r_1 , r_2 , r_3 και r_4 είναι ρυθμιζόμενοι σταθμιστές, που υποδηλώνουν τη σχετική βαρύτητα των θεμελιωδών παραμέτρων στον υπολογισμό της αξίας του κάθε αντικειμένου.

▪ TSP (Taylor Series Prediction)

Η στρατηγική TSP [Yang01] πρωτοτυπεί στο γεγονός ότι ο υπολογισμός της αξίας του κάθε αντικειμένου για την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης στηρίζεται στην πρόβλεψη του χρόνου, στον οποίο θα πραγματοποιηθεί το επόμενο αίτημα προς το αντικείμενο. Για την TSP ισχύει η εξίσωση:

$$H_i = \frac{f_i \times c_i}{s_i \times T_{i,p}}. \quad (4.16)$$

Για το προβλεπόμενο χρονικό διάστημα $T_{i,p}$ στο οποίο αναμένεται να πραγματοποιηθεί το επόμενο αίτημα προς το αντικείμενο i ισχύει: $T_{i,p} = t_{i,p} - t_c$. Ο χρόνος $t_{i,p}$ στον οποίο αναμένεται να παρατηρηθεί το επόμενο αίτημα προς το αντικείμενο i βασίζεται στους

χρόνους των δύο τελευταίων αιτημάτων προς το αντικείμενο i και εκτιμάται από την ακολουθία Taylor δευτέρου βαθμού, με χρήση της εξίσωσης:

$$t_{i,p} = (5 \times t_c - 4 \times t_i + t_{i,2}) / 2. \quad (4.17)$$

▪ LUV (Least Unified Value)

Για τη στρατηγική LUV [Bahn02] ισχύει η παρακάτω συνάρτηση υπολογισμού της αξίας του κάθε αντικειμένου για την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης:

$$H_i = \frac{c_i}{s_i} \times p_i. \quad (4.18)$$

Η πιθανότητα p_i υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$p_i = \sum_{old=1}^{f_i} \left(\frac{1}{2} \right)^{\lambda(t_c - t_{i,old})}, \quad 0 \leq \lambda \leq 1. \quad (4.19)$$

Η παράμετρος λ σταθμίζει τη βαρύτητα της δημοτικότητας σε σχέση με τη βαρύτητα της χρονικής τοπικότητας. Ουσιαστικά, για μικρές τιμές του λ , δίνεται περισσότερο έμφαση στη δημοτικότητα του αντικειμένου i , ενώ για μεγάλες τιμές δίνεται έμφαση στη χρονική τοπικότητα.

4.4.5.5 Στρατηγικές Τυχαίας Αντικατάστασης

Οι στρατηγικές αυτής της κατηγορίας ενσωματώνουν τον παράγοντα τύχη στη διαδικασία επιλογής των υποψηφίων αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού προς αντικατάσταση σε μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Ο αναβαθμισμένος προσομοιωτής του Wisconsin αξιοποιεί την ενσωματωμένη μηχανή παραγωγής τυχαίων αριθμών για να υποστηρίξει τις συγκεκριμένες στρατηγικές.

Παρακάτω, παρουσιάζονται και αναλύονται οι στρατηγικές της κατηγορίας, οι οποίες υποστηρίζονται από την τρέχουσα έκδοση του αναβαθμισμένου προσομοιωτή του Wisconsin.

▪ RAND

Η στρατηγική RAND επιλέγει εντελώς στην τύχη το αντικείμενο που πρέπει να διαγραφεί από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, ώστε να αντικατασταθεί από κάποιο νέο αντικείμενο.

- LRU-S

Η στρατηγική LRU-S [Star01] αποτελεί μια τυχαιοποιημένη έκδοση της LRU. Έστω s_{\min} το ελάχιστο μέγεθος αντικειμένου από αυτά που βρίσκονται αποθηκευμένα στην εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Τότε, σε περίπτωση επιτυχούς εξυπηρέτησης κάποιου αιτήματος από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, το εμπλεκόμενο αντικείμενο i μετακινείται στο τέλος της ουράς LRU με πιθανότητα $p = s_{\min}/s_i$. Αλλιώς, η ουρά LRU παραμένει αμετάβλητη.

- LRU-C

Πρόκειται για μια ακόμη τυχαιοποιημένη έκδοση της LRU [Star01]. Έστω c_{\max} το μέγιστο κόστος αποφόρτωσης αντικειμένου από αυτά που βρίσκονται αποθηκευμένα στην εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Τότε, σε περίπτωση επιτυχούς εξυπηρέτησης κάποιου αιτήματος από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, το εμπλεκόμενο αντικείμενο i μετακινείται στο τέλος της ουράς LRU με πιθανότητα $p = c_i/c_{\max}$. Αλλιώς, η ουρά LRU παραμένει αμετάβλητη.

- LRU-CS

Η στρατηγική LRU-CS [Star01] είναι συνδυασμός των LRU-S και LRU-C. Σε περίπτωση επιτυχούς εξυπηρέτησης κάποιου αιτήματος από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, το διαπλεκόμενο αντικείμενο i μετακινείται στο τέλος της ουράς LRU με

πιθανότητα $p = \frac{c_i/s_i}{\max_j \{c_j/s_j\}}$. Αλλιώς, η ουρά LRU παραμένει αμετάβλητη.

- RAND-MIX

Πρόκειται για την τυχαιοποιημένη έκδοση της συναρτησιακής στρατηγικής MIX [Nicl98] με τη χρήση της μεθοδολογίας που προτάθηκε από τους Psounis και Prabhakar [Psou01, Psou02]. Σύμφωνα με την RAND-MIX, η στρατηγική MIX δε λαμβάνει υπόψη

όλα τα αντικείμενα, που είναι αποθηκευμένα στην εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, αλλά βρίσκει τα προς διαγραφή αντικείμενα μέσα από ένα τυχαία επιλεγμένο δείγμα.

Αυτή η μεθοδολογία έχει ως στόχο να μειώσει στο ελάχιστο την πολυπλοκότητα των εξαιρετικά πολύπλοκων αλγορίθμων, ενώ έχει παρατηρηθεί [Psou02] ότι οδηγεί σε επιδόσεις παραπλήσιες με αυτές των κλασικών στρατηγιών. Μπορεί να εφαρμοστεί για όλες τις γνωστές στρατηγιές. Η επιλογή της RAND-MIX για ενσωμάτωση στον προσομοιωτή οφείλεται σε δύο βασικούς λόγους:

- Η MIX ανήκει στην κατηγορία των εξαιρετικά πολύπλοκων στρατηγιών.
- Προκαταρκτικά πειράματα έδειξαν ότι η MIX εμφανίζει τις καλύτερες επιδόσεις από όλες τις στρατηγιές που ανήκουν στην κατηγορία πολύ υψηλής πολυπλοκότητας. Επιπλέον, οι επιδόσεις της είναι ανταγωνιστικές προς αυτές των κορυφαίων στρατηγιών, με αποτέλεσμα η RAND-MIX να θέσει μια σοβαρή υποψηφιότητα ως η στρατηγική με τη μεγαλύτερη αποδοτικότητα, μεταξύ όλων.

4.5 Πειράματα Αξιολόγησης της Λειτουργίας του Αναβαθμισμένου Προσομοιωτή του Wisconsin

Τα πειράματα προσομοίωσης πραγματοποιήθηκαν όλα στον ίδιο ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος διέθετε επεξεργαστή τύπου Pentium IV, 64-bit, με χρονισμό 3.2 GHz και μνήμη RAM ίση με 1 GB. Ο προσομοιωτής έτρεχε πάνω σε πλατφόρμα Ubuntu Linux, με μεταγλωττιστή GNU C.

4.5.1 Πείραμα 1: Αξιολόγηση του Μηχανισμού Προθέρμανσης

Πολλές από τις ερευνητικές προσπάθειες του παρελθόντος [Tat98, Arl00a, Arl00b, Kha05, Gonz07] που στηρίχθηκαν στην προσομοίωση για τη μελέτη των στρατηγιών αντικατάστασης αντικειμένων, έδιναν έμφαση στην προσομοίωση της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης σε σταθερή κατάσταση λειτουργίας (steady-state behavior). Για αυτόν το λόγο, ένα τμήμα του φόρτου εργασίας χρησιμοποιούνταν για την προθέρμανση (warm-up) της προσομοιωμένης εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης, ενώ το υπόλοιπο χρησιμοποιούνταν για πραγματική αξιολόγηση των στρατηγιών.

Η χρήση της προθέρμανσης στοχεύει στην αποφυγή της καταγραφής των αποτυχιών στην εξυπηρέτηση αιτημάτων, που οφείλονται στο μεταβατικό στάδιο της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης, εξαιτίας της άδειας μνήμης της. Κάτι τέτοιο θα έχει ως

αποτέλεσμα να παρουσιάζονται όλοι οι δείκτες επίδοσης μειωμένοι κατά ένα ποσοστό. Επιπλέον, ο μηχανισμός προθέρμανσης θα πρέπει να είναι κατασκευασμένος με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην επηρεάζει στο παραμικρό τη συγκριτική αντιπαράθεση των στρατηγιών ως προς τους διάφορους δείκτες επίδοσης.

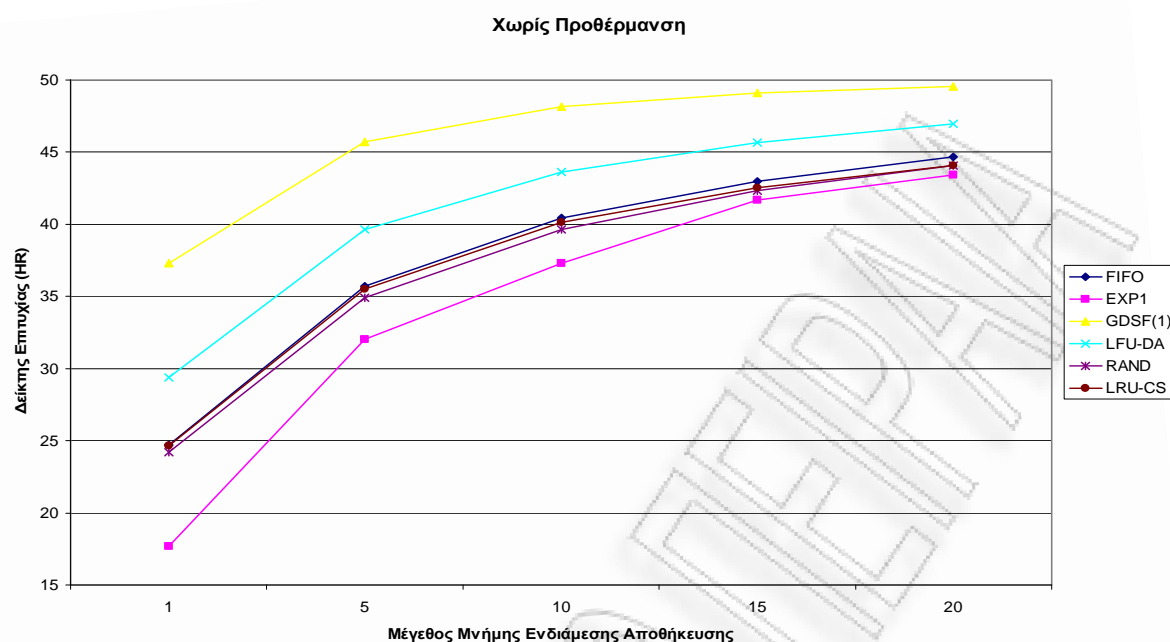
Μια από τις καινοτομίες στη νέα έκδοση του προσομοιωτή του Wisconsin είναι η προσθήκη ενός τέτοιου μηχανισμού προθέρμανσης. Αυτός ενεργοποιείται από το χρήστη, στο κυρίως μενού της διαδραστικής διεπαφής. Όταν είναι ενεργοποιημένος, ο προσομοιωτής δεν καταγράφει τα στατιστικά στοιχεία, που είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό των δεικτών επίδοσης, μέχρις ότου η μνήμη της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης γεμίσει με αντικείμενα. Όταν η μνήμη γεμίσει, μια σημαία υψώνεται, η οποία ενημερώνει την έναρξη της καταγραφής των στατιστικών.

Σε αυτό το πείραμα αναλύεται αυτή η επίδραση του μηχανισμού προθέρμανσης στους βασικούς δείκτες επίδοσης, HR και BHR, των στρατηγιών αντικατάστασης δεδομένων. Το πείραμα πραγματοποιείται σε δύο επαναλήψεις. Σε κάθε επανάληψη χρησιμοποιείται διαφορετικό αρχείο ιχνών δραστηριότητας παγκοσμίου ιστού και λαμβάνεται υπόψη ένα διαφορετικό σύνολο στρατηγιών, οι οποίες αξιολογούνται ως προς τους δείκτες HR και BHR συναρτήσει των διαφόρων μεγεθών μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για περιπτώσεις όπου η προθέρμανση είναι απενεργοποιημένη και ενεργοποιημένη.

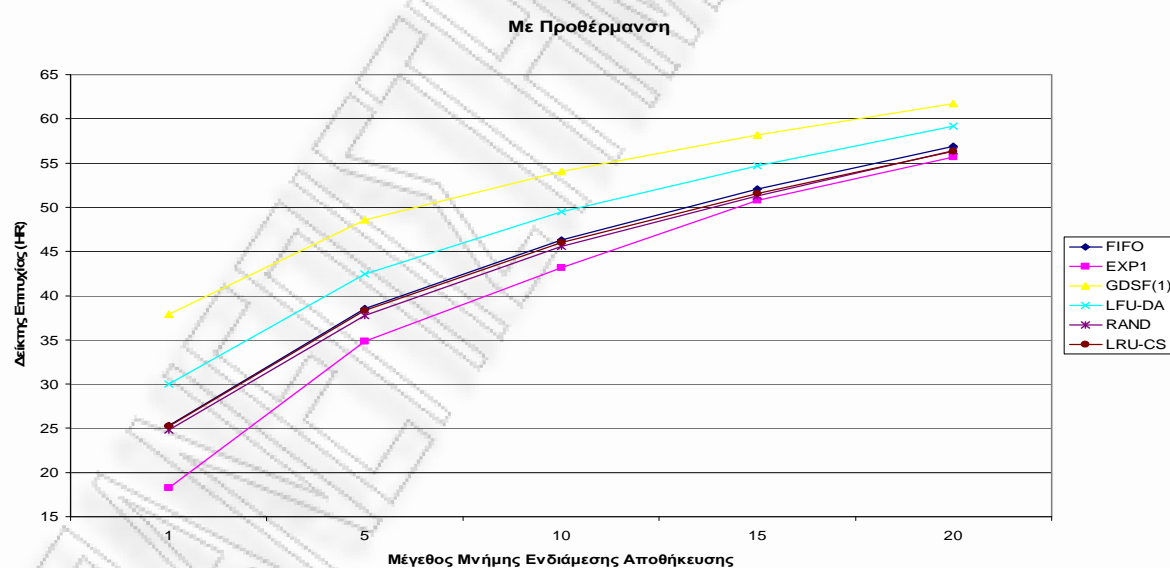
4.5.1.1 Πείραμα 1 – Επανάληψη 1

Στην πρώτη επανάληψη του πειράματος, το αρχείο ιχνών αφορά στη δραστηριότητα που καταγράφηκε σε δύο πληρεξούσιους της εταιρείας Digital Equipment, από την 5^η μέχρι την 11^η Σεπτεμβρίου 1996. Το αρχείο ιχνών περιλαμβάνει 4.284.782 αιτήματα προς εξυπηρέτηση, που αφορούσαν 52.145 εξυπηρετητές και 1.598.496 αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού. Οι στρατηγικές αντικατάστασης αντικειμένων που λήφθηκαν υπόψη είναι οι FIFO, EXP1, GDSE(1), LFU-DA, RAND και LRU-CS.

Τα σχήματα 4.10 και 4.11 απεικονίζουν τη σχετική διάταξη των στρατηγιών ως προς το δείκτη επιτυχίας (HR) για τις περιπτώσεις, όπου ο μηχανισμός προθέρμανσης είναι απενεργοποιημένος και ενεργοποιημένος αντίστοιχα.



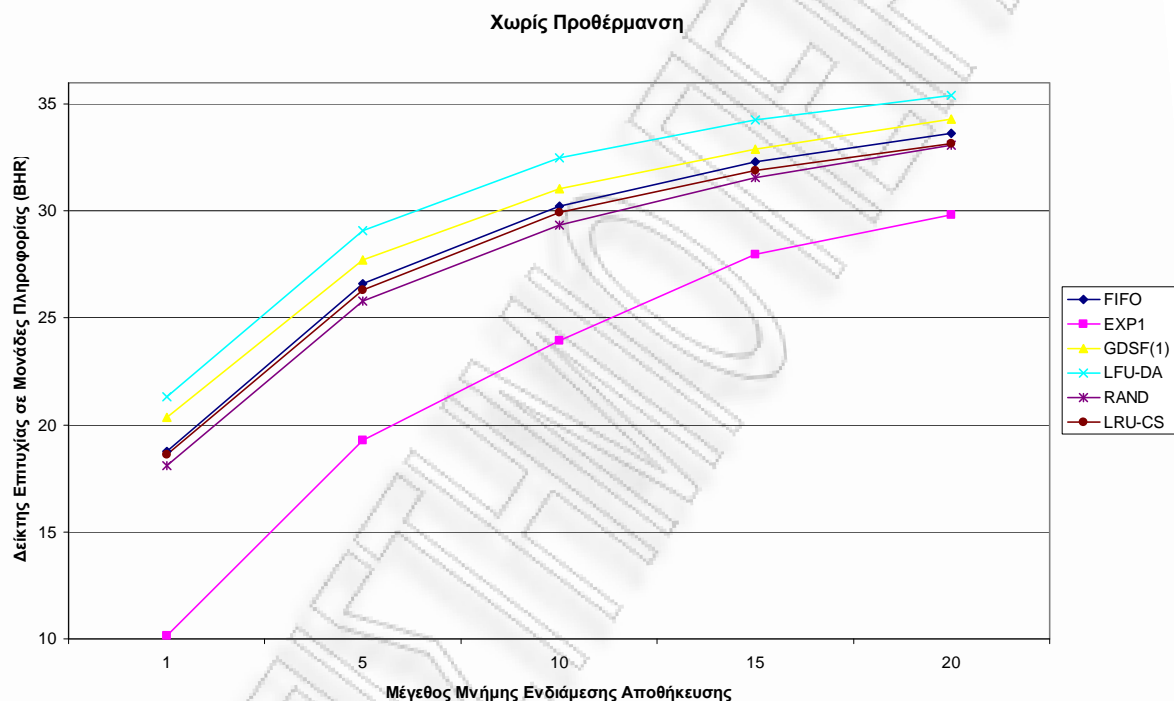
Σχήμα 4.10. Διάταξη των στρατηγικών FIFO, EXP1, CDSF(1), LFU-DA, RAND και LRU-CS ως προς το δείκτη επιτυχίας (HR), συναρτήσει του μεγέθους μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών της Digital, με το μηχανισμό προθέρμανσης απενεργοποιημένο



Σχήμα 4.11. Διάταξη των στρατηγικών FIFO, EXP1, CDSF(1), LFU-DA, RAND και LRU-CS ως προς το δείκτη επιτυχίας (HR), συναρτήσει του μεγέθους μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών της Digital, με το μηχανισμό προθέρμανσης ενεργοποιημένο

Αντιπαραθέτοντας τα σχήματα 4.10 και 4.11 παρατηρούμε ότι ο μηχανισμός προθέρμανσης που υλοποιεί η αναβαθμισμένη έκδοση του προσομοιωτή επιτυγχάνει να μην αλλοιώσει τη διάταξη των στρατηγικών ως προς το δείκτη επιτυχίας HR, στα διάφορα

μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Το μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης δίνεται ως ποσοστό του μέγιστου δυνατού μεγέθους μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης που δίνει τα βέλτιστα αποτελέσματα για το συγκεκριμένο αρχείο ιχνών. Απλώς, προκαλείται μια προσαύξηση των τιμών, που στην περίπτωση του αρχείου ιχνών της Digital και για τα συγκεκριμένα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, κυμαίνεται μεταξύ 1,6% και 27,86%.



Σχήμα 4.12. Διάταξη των στρατηγιών FIFO, EXP1, CDSF(1), LFU-DA, RAND και LRU-CS ως προς το δείκτη επιτυχίας σε μονάδες πληροφορίας (BHR), συναρτήσει του μεγέθους μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών της Digital, με το μηχανισμό προθέρμανσης απενεργοποιημένο

Τα σχήματα 4.12 και 4.13 απεικονίζουν τη σχετική διάταξη των στρατηγιών ως προς το δείκτη επιτυχίας σε μονάδες πληροφορίας (BHR) για τις περιπτώσεις, όπου ο μηχανισμός προθέρμανσης είναι απενεργοποιημένος και ενεργοποιημένος αντίστοιχα. Η αντιπαράθεση των σχημάτων οδηγεί στο ίδιο συμπέρασμα. Δηλαδή, ο μηχανισμός προθέρμανσης που υλοποιεί η αναβαθμισμένη έκδοση του προσομοιωτή επιτυγχάνει να μην αλλοιώσει τη διάταξη των στρατηγιών ως προς το δείκτη επιτυχίας σε μονάδες πληροφορίας BHR, στα διάφορα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Απλώς, προκαλεί μια προσαύξηση των τιμών, που στην περίπτωση του αρχείου ιχνών της Digital και

για τα συγκεκριμένα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης κυμαίνεται μεταξύ 3% και 50,49%.

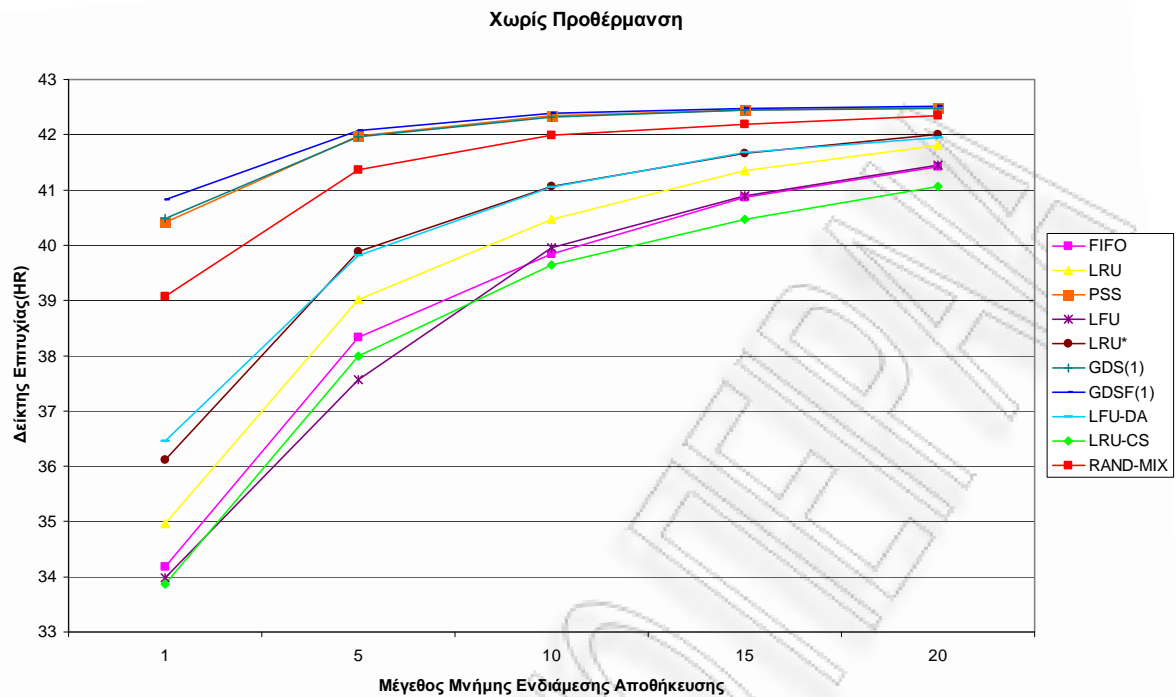


Σχήμα 4.13. Διάταξη των στρατηγικών FIFO, EXP1, CDSF(1), LFU-DA, RAND και LRU-CS ως προς το δείκτη επιτυχίας σε μονάδες πληροφορίας (BHR), συναρτήσει του μεγέθους μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών της Digital, με το μηχανισμό προθέρμανσης ενεργοποιημένο

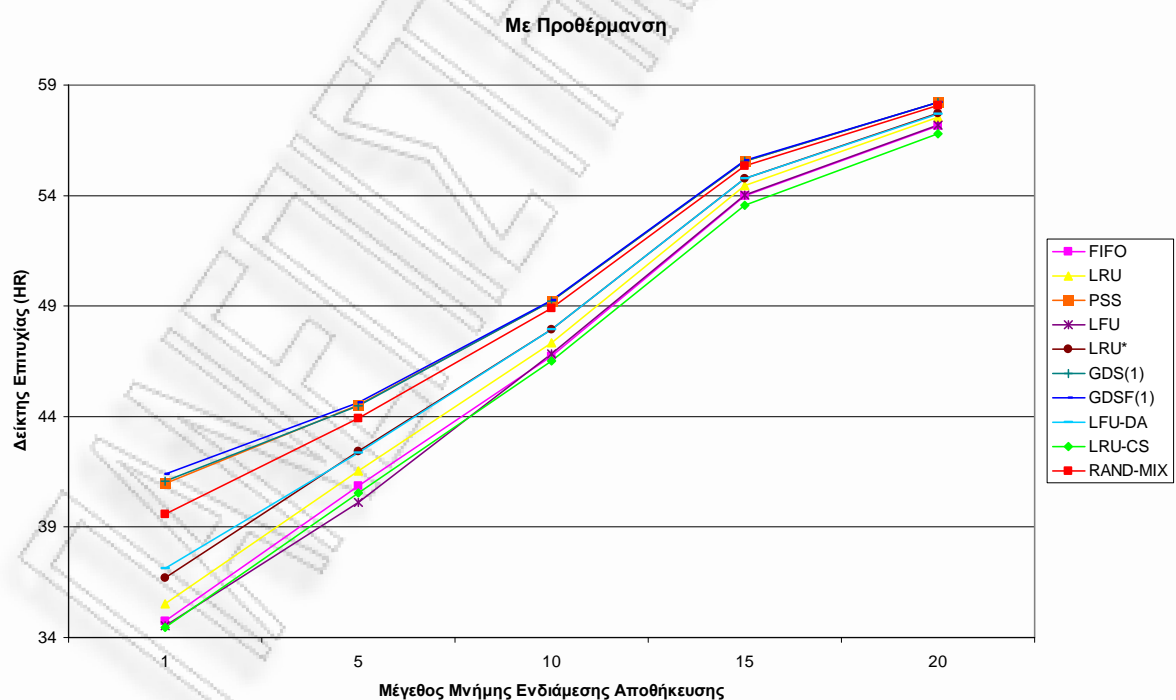
4.5.1.2 Πείραμα 1 – Επανάληψη 2

Στη δεύτερη επανάληψη του πειράματος, το αρχείο ιχνών προέρχεται από τη συλλογή στοιχείων της δραστηριότητας του πληρεξούσιου εξυπηρετητή sv.us.ircache.net, κατά την 9^η και 10^η Ιανουαρίου 2007. Ο συγκεκριμένος πληρεξούσιος βρίσκεται στη Silicon Valley στη Καλιφόρνια [Nat07]. Το αρχείο ιχνών περιλαμβάνει 825.458 αιτήματα προς εξυπηρέτηση που αφορούσαν 19.892 εξυπηρετητές και 292.023 αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού. Λήφθηκε υπόψη ένα μεγαλύτερο σύνολο στρατηγικών που περιλαμβάνει τις FIFO, LRU, PSS, LFU, LRU*, GDS, GDSF, LFU-DA, LRU-CS και RAND-MIX.

Τα σχήματα 4.14 και 4.15 απεικονίζουν τη σχετική διάταξη των στρατηγικών ως προς το δείκτη επιτυχίας (HR) για τις περιπτώσεις, όπου ο μηχανισμός προθέρμανσης είναι απενεργοποιημένος και ενεργοποιημένος αντίστοιχα.

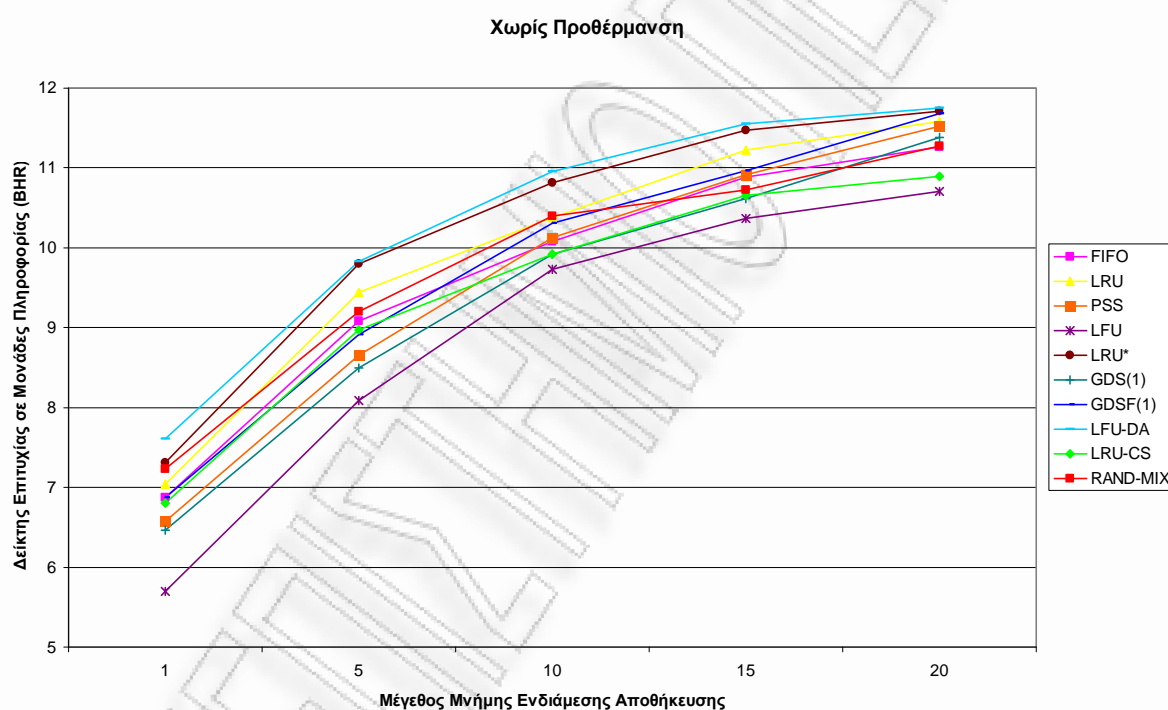


Σχήμα 4.14. Διάταξη των στρατηγικών FIFO, LRU, PSS, LFU, LRU*, GDS(1), CDSF(1), LFU-DA, LRU-CS και RAND-MIX ως προς το δείκτη επιτυχίας (HR), συναρτήσει του μεγέθους μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών sv.us.ircache.net, με το μηχανισμό προθέρμανσης απενεργοποιημένο



Σχήμα 4.15. Διάταξη των στρατηγικών FIFO, LRU, PSS, LFU, LRU*, GDS(1), CDSF(1), LFU-DA, LRU-CS και RAND-MIX ως προς το δείκτη επιτυχίας (HR), συναρτήσει του μεγέθους μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών sv.us.ircache.net, με το μηχανισμό προθέρμανσης ενεργοποιημένο

Αντιπαραθέτοντας τα σχήματα 4.14 και 4.15 παρατηρούμε ότι ο μηχανισμός προθέρμανσης, που υλοποιεί η αναβαθμισμένη έκδοση του προσομοιωτή, επιτυγχάνει να μην αλλοιώσει τη διάταξη των στρατηγικών ως προς το δείκτη επιτυχίας HR, στα διάφορα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Το μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης δίνεται ως ποσοστό του μέγιστου δυνατού μεγέθους μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, που δίνει τα βέλτιστα αποτελέσματα για το συγκεκριμένο αρχείο ιχνών. Απλώς, προκαλείται μια προσαύξηση των τιμών, που στην περίπτωση του αρχείου ιχνών της sv.us.ircache.net και για τα συγκεκριμένα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης κυμαίνεται μεταξύ 1,28% και 38,29%.



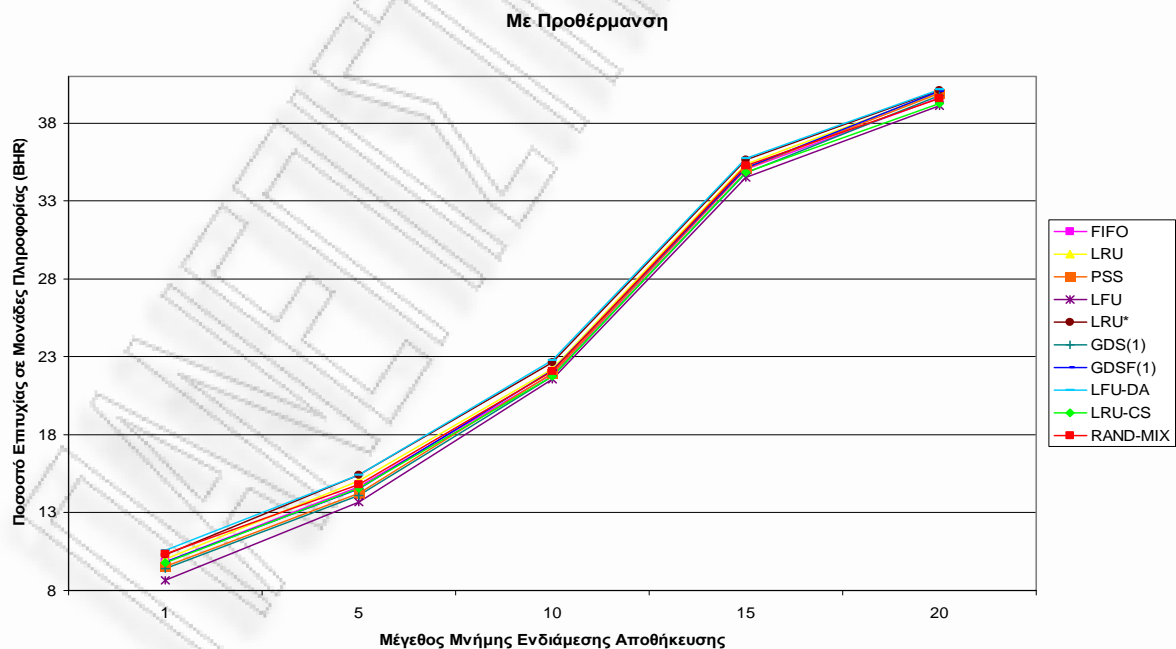
Σχήμα 4.16. Διάταξη των στρατηγικών FIFO, LRU, PSS, LFU, LRU*, GDS(1), CDSF(1), LFU-DA, LRU-CS και RAND-MIX ως προς το δείκτη επιτυχίας σε μονάδες πληροφορίας (BHR), συναρτήσει του μεγέθους μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών sv.us.ircache.net, με το μηχανισμό προθέρμανσης απενεργοποιημένο

Τα σχήματα 4.16 και 4.17 απεικονίζουν τη σχετική διάταξη των στρατηγικών ως προς το δείκτη επιτυχίας σε μονάδες πληροφορίας (BHR) για τις περιπτώσεις όπου ο μηχανισμός προθέρμανσης είναι απενεργοποιημένος και ενεργοποιημένος αντίστοιχα. Επειδή η αντιπαραθέση των δύο σχημάτων είναι δύσκολη έως αδύνατη οπτικά, τα σχήματα συνοδεύονται από τους αντίστοιχους πίνακες τιμών από τους οποίους προήλθαν.

Με τη βοήθεια των συμπληρωματικών πινάκων 4.4 και 4.5 παρατηρείται ότι, ο μηχανισμός προθέρμανσης, που υλοποιεί η αναβαθμισμένη έκδοση του προσομοιωτή, επιτυγχάνει να μην αλλοιώσει τη διάταξη των στρατηγικών ως προς το δείκτη επιτυχίας σε μονάδες πληροφορίας BHR, στα διάφορα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η προσαύξηση που παρατηρείται στις τιμές για την περίπτωση του αρχείου ιχνών sv.us.ircache.net και για τα συγκεκριμένα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης κυμαίνεται μεταξύ 39,29% και 265,08%. Δηλαδή, η ενεργοποίηση του μηχανισμού προθέρμανσης μπορεί να προκαλέσει τον υπερδιπλασιασμό των τιμών του δείκτη BHR.

		ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ				
		1	5	10	15	20
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ	FIFO	6,87	9,08	10,08	10,88	11,26
	LRU	7,04	9,44	10,38	11,22	11,58
	PSS	6,57	8,65	10,13	10,91	11,52
	LFU	5,7	8,09	9,73	10,37	10,71
	LRU*	7,31	9,8	10,82	11,47	11,71
	GDS(1)	6,46	8,5	9,92	10,62	11,38
	GDSF(1)	6,87	8,91	10,31	10,96	11,68
	LFU-DA	7,61	9,83	10,95	11,55	11,75
	LRU-CS	6,8	8,97	9,92	10,66	10,89
	RAND-MIX	7,23	9,2	10,4	10,73	11,27

Πίνακας 4.4. Οι τιμές του δείκτη BHR που αντιστοιχούν στο σχήμα 4.16



Σχήμα 4.17. Διάταξη των στρατηγικών FIFO, LRU, PSS, LFU, LRU*, GDS(1), CDSF(1), LFU-DA, LRU-CS και RAND-MIX ως προς το δείκτη επιτυχίας σε μονάδες πληροφορίας (BHR), συναρτήσει του μεγέθους μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών sv.us.ircache.net, με το μηχανισμό προθέρμανσης ενεργοποιημένο

		ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ				
		1	5	10	15	20
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ	FIFO	9,83	14,68	21,9	35,04	39,65
	LRU	10,01	15,05	22,2	35,39	39,97
	PSS	9,54	14,26	21,95	35,08	39,92
	LFU	8,67	13,7	21,55	34,53	39,1
	LRU*	10,28	15,41	22,64	35,64	40,11
	GDS(1)	9,43	14,11	21,74	34,79	39,77
	GDSF(1)	9,84	14,52	22,13	35,13	40,07
	LFU-DA	10,6	15,44	22,77	35,72	40,14
	LRU-CS	9,77	14,58	21,74	34,83	39,28
	RAND-MIX	10,36	14,81	22,07	35,26	39,57

Πίνακας 4.5. Οι τιμές του δείκτη BHR που αντιστοιχούν στο σχήμα 4.17

4.5.2 Πείραμα 2: Αξιολόγηση του Μηχανισμού του Κάτω Υδατοσήμου

Η έννοια του κάτω υδατοσήμου (Low Watermark) προέρχεται από την ορολογία του Squid [Vak00, Wess04], ίσως της γνωστότερης εφαρμογής ανοιχτού κώδικα για ενδιάμεση αποθήκευση στον παγκόσμιο ιστό. Το κάτω υδατόσημο δηλώνεται ως ποσοστό της συνολικής μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης και αποτελεί ένα όριο που καθορίζει την παύση της διαδικασίας διαγραφής αντικειμένων. Δηλαδή, όταν η μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης κινδυνεύει να υπερχειλίσει με την είσοδο κάποιου νέου αντικειμένου, η εφαρμογή διαγράφει αντικείμενα μέχρι η στάθμη της κατειλημμένης μνήμης να φθάσει το κάτω υδατόσημο.

Με την ενσωμάτωση ενός μηχανισμού κάτω υδατοσήμου στον αναβαθμισμένο προσομοιωτή επιδιώκουμε τα ακόλουθα:

- Να προσεγγίσει ο προσομοιωτής ακόμη περισσότερο τη λειτουργία μιας πραγματικής εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης, όπως είναι το Squid.
- Να ελαττωθεί σημαντικά ο χρόνος προσομοίωσης κυρίως για τις πολυπλοκότερες στρατηγικές αντικατάστασης αντικειμένων κατά τους Bahn et al [Bahn02], χωρίς να επηρεαστούν σημαντικά οι επιδόσεις τους.

Όσον αφορά στη δεύτερη επιδίωξή μας, ο χρόνος προσομοίωσης αναμένεται να μειωθεί, δεδομένου ότι η ενεργοποίηση του μηχανισμού του κάτω υδατοσήμου θα σημάνει τη μείωση των κλήσεων της ρουτίνας διαγραφής αντικειμένων, η εκτέλεση της οποίας κοστίζει περισσότερο από κάθε άλλη σε επεξεργαστική δύναμη, ιδιαίτερα στην περίπτωση των πολυπλοκότερων στρατηγιών. Επιπλέον, οι επιδόσεις των στρατηγιών αναμένεται να επηρεαστούν ελάχιστα δεδομένου ότι, αν και κατά την κλήση της ρουτίνας διαγράφονται

περισσότερα αντικείμενα με το μηχανισμό του κάτω υδατοσήμου ενεργοποιημένο, τα διαγραφόμενα αντικείμενα θα έχουν τη μικρότερη αξία για την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Για να κατανοηθεί καλύτερα η ευεργετική παρέμβαση του μηχανισμού του κάτω υδατοσήμου στη λειτουργία του προσομοιωτή, θα πρέπει να βρεθεί ένας τρόπος, ώστε να αποδοθεί η χρονική διάρκεια της προσομοίωσης των διαφόρων στρατηγιών αντικατάστασης αντικειμένων και κυρίως των πολυπλοκότερων εξ αυτών. Έτσι, για τις ανάγκες του πειράματος επιστρατεύθηκε η ρουτίνα 'clock()' της C, η οποία αξιοποιήθηκε στον υπολογισμό του χρονικού διαστήματος, για το οποίο ο επεξεργαστής ήταν απασχολημένος με την προσομοίωση της κάθε στρατηγικής αντικατάστασης αντικειμένων.

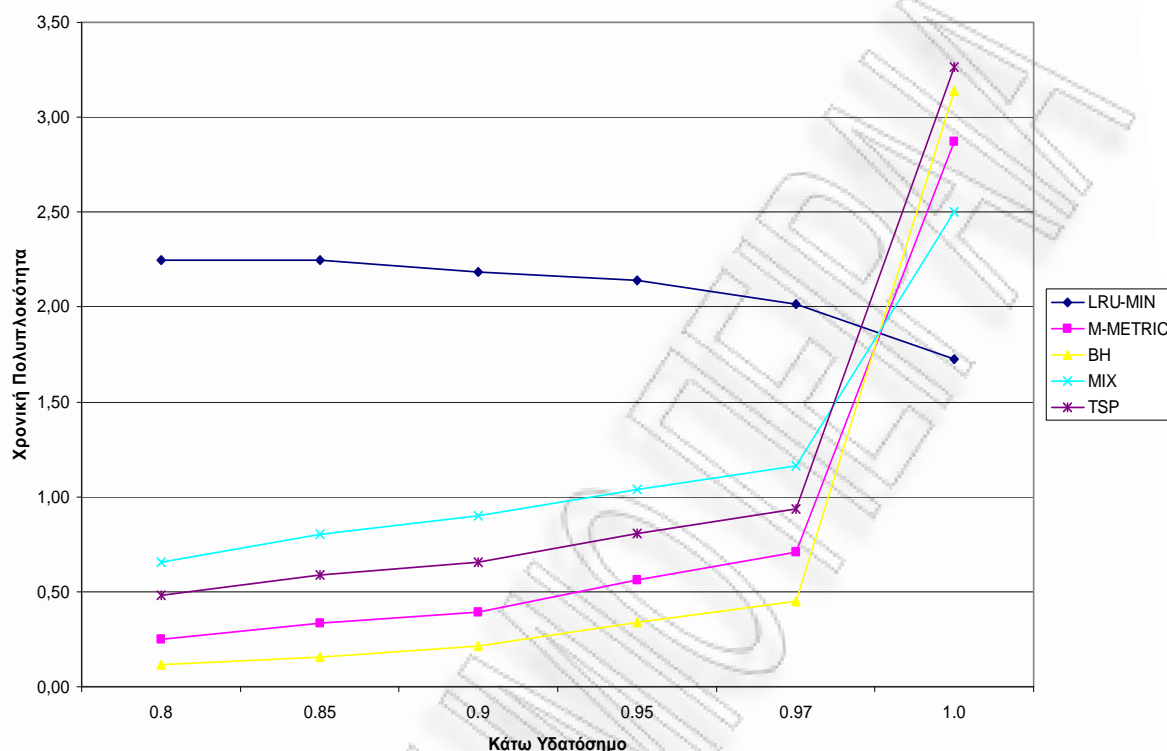
Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε τρεις επαναλήψεις, όπου για την καθεμία χρησιμοποιήθηκε διαφορετικό αρχείο εισόδου με ίχνη δραστηριότητας παγκοσμίου ιστού. Σε όλες τις επαναλήψεις, ακολουθήθηκε η διαδικασία προθέρμανσης της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης και μόνο οι στρατηγικές εξαιρετικά υψηλής χρονικής πολυπλοκότητας κατά τους Bahn et al [Bahn02] λήφθηκαν υπόψη. Αυτές είναι οι M-METRIC, MIX, TSP, BH και η LRU-MIN.

4.5.2.1 Πείραμα 2 – Επανάληψη 1

Στην πρώτη επανάληψη του πειράματος, χρησιμοποιήθηκε ένα αρχείο ιχνών, το οποίο αφορά στη διαδικτυακή δραστηριότητα στον πληρεξούσιο εξυπηρετητή 'bo.us.ircache.net', που βρίσκεται στο Boulder, του Κολοράντο [Nat07]. Η καταγραφή της δραστηριότητας πραγματοποιήθηκε κατά την 9^η και 10^η ημέρα του Ιανουαρίου του έτους 2007. Το αρχείο ιχνών της εισόδου περιλαμβάνει 344.353 διαδικτυακές συναλλαγές, προς 31.873 διαφορετικούς πηγαίους εξυπηρετητές και 200.299 αντικείμενα παγκοσμίου ιστού. Το μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης κατά την προσομοίωση είναι περίπου 697 Mbytes, δηλαδή, ίσο με το 15% του μέγιστου δυνατού μεγέθους μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, που δίνει τα βέλτιστα αποτελέσματα για το συγκεκριμένο αρχείο ιχνών.

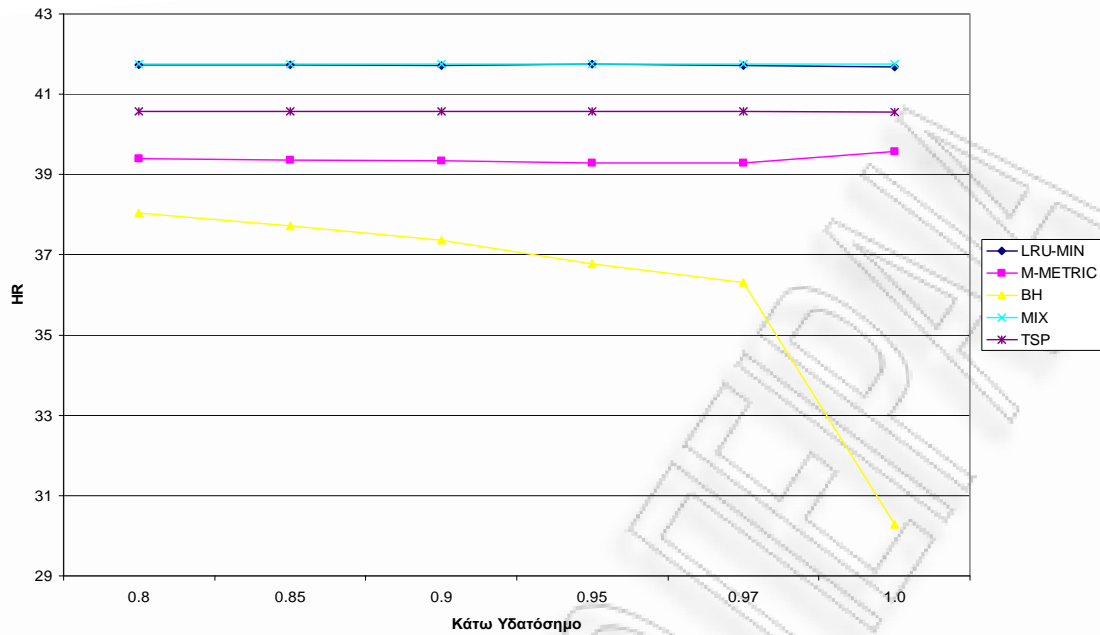
Στο σχήμα 4.18 παρουσιάζεται η μετρημένη χρονική πολυπλοκότητα σε σχέση με το κάτω υδατόσημο για καθεμία από τις υπό μελέτη στρατηγικές. Η χρονική πολυπλοκότητα εκτιμήθηκε ως δευτερόλεπτα απασχόλησης της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας του Η/Υ με την προσομοίωση της κάθε στρατηγικής. Στο σχήμα 4.10, η χρονική πολυπλοκότητα έχει τροποποιηθεί λογαριθμικά για την επίτευξη του καλύτερου δυνατού οπτικού

αποτελέσματος. Το κάτω υδατόσημο εκφράζεται ως ποσοστό του συνολικού μεγέθους μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης.



Σχήμα 4.18. Η χρονική πολυπλοκότητα των στρατηγιών LRU-MIN, M-METRIC, BH, MIX και TSP, συναρτήσει του κάτω υδατοσήμου, για το αρχείο ιχνών bo.us.ircache.net

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.18, οι στρατηγιές M-METRIC, BH, MIX και TSP επιδεικνύουν ακριβώς την ίδια συμπεριφορά, δηλαδή, η πολυπλοκότητά τους ακολουθεί την αύξηση του κάτω υδατοσήμου και εκτοξεύεται, όταν αυτό εξισωθεί με το μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Αυτή η συμπεριφορά τους είναι αναμενόμενη, δεδομένου ότι ακολουθούν την ίδια διαδικασία διαγραφής αντικειμένων, η οποία είναι αποκλειστικά υπεύθυνη για την υψηλή πολυπλοκότητα των εν λόγω στρατηγιών. Συγκεκριμένα, δεδομένου ότι η ρουτίνα διαγραφής και αντικατάστασης αντικειμένων λαμβάνει υπόψη της τον τρέχοντα χρόνο, αυτές οι στρατηγιές είναι αναγκασμένες να γεμίζουν και να αδειάζουν την ουρά προτεραιοτήτων σε κάθε διαγραφή. Με την αύξηση του κάτω υδατοσήμου, η ρουτίνα διαγραφής καλείται περισσότερες φορές, με αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση της χρονικής πολυπλοκότητας.

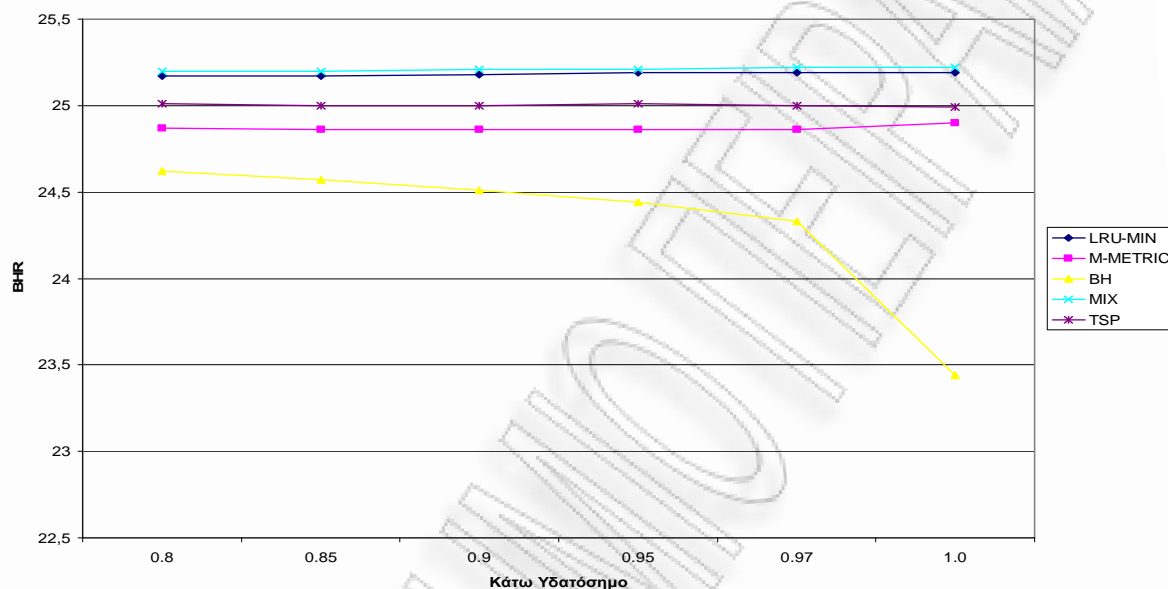


Σχήμα 4.19. Η διακύμανση του δείκτη επιτυχίας (HR) της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης συναρτήσει της τιμής του κάτω υδατοσήμου, για τις στρατηγικές LRU-MIN, M-METRIC, BH, MIX και TSP, υπό το αρχείο ιχνών bo.us.ircache.net

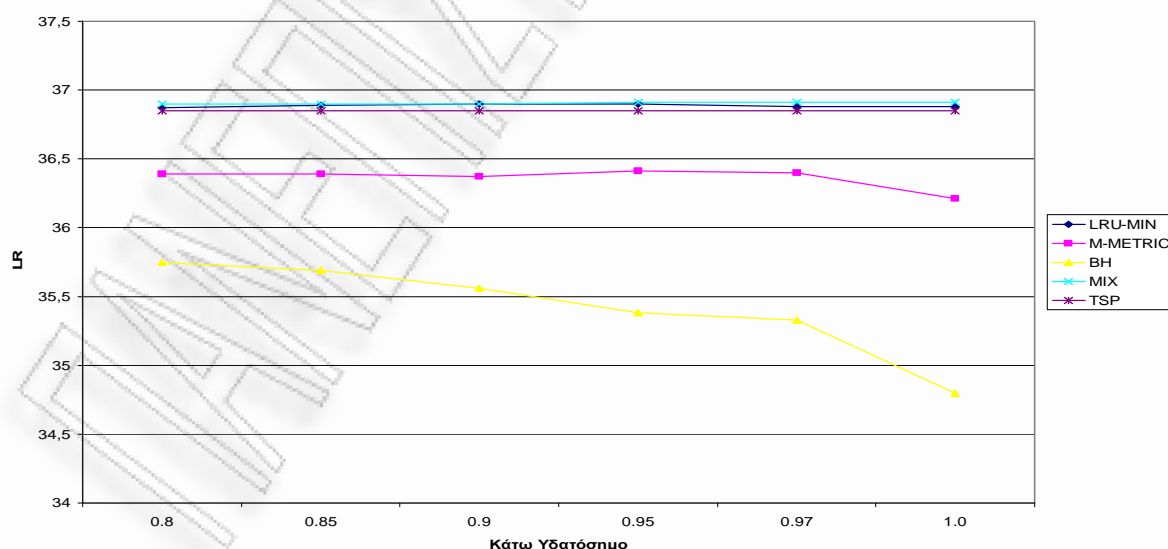
Αντίθετα, η περίπτωση της στρατηγικής LRU-MIN είναι διαφορετική. Σε αυτή, η διαδικασία διαγραφής αντικειμένων βασίζεται στην επαναλαμβανόμενη διάσχιση της ουράς LRU, μέχρι να απορριφθεί ο αναγκαίος αριθμός αντικειμένων από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Από τη μια πλευρά, η αύξηση στην τιμή του κάτω υδατοσήμου επιφέρει μείωση του αριθμού των αποβαλλόμενων αντικείμενων. Αυτό σημαίνει μειωμένη πιθανότητα να απαιτηθούν πολλές διασχίσεις στην ουρά LRU. Από την άλλη πλευρά, ο αριθμός των διαγραφόμενων αντικειμένων εξαρτάται από το μέγεθος του νεο-εισερχόμενου αντικειμένου. Ως εκ τούτου, ένα υπερβολικά μεγάλο εισερχόμενο αντικείμενο, σε σχέση πάντα με τα αποθηκευμένα αντικείμενα, είναι η αιτία για την αύξηση της χρονικής πολυπλοκότητας της διαδικασίας διαγραφής, ανεξαρτήτως της τιμής του κάτω υδατοσήμου. Στο συνδυασμό αυτών των δύο παραπάνω παρατηρήσεων αποδίδεται η συμπεριφορά της LRU-MIN, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 4.18. Δηλαδή, η πολυπλοκότητά της είναι σχετικά μεγάλη για τις διάφορες τιμές του κάτω υδατοσήμου.

Στο σημείο αυτό, το ερώτημα που τίθεται αφορά στην επίδραση του κάτω υδατοσήμου στην επίδοση των στρατηγιών. Τα σχήματα 4.19, 4.20 και 4.21 απεικονίζουν την τιμή των δεικτών HR, BHR και LR συναρτήσει της τιμής του κάτω υδατοσήμου. Σε

αυτά τα σχήματα παρατηρείται ότι, με εξαίρεση τη στρατηγική ΒΗ, το κάτω υδατόσημο έχει αμελητέα επίδραση πάνω στη διαμόρφωση των τιμών των βασικών δεικτών επίδοσης των στρατηγικών. Όσον αφορά στην ΒΗ, η μείωση της τιμής του κάτω υδατοσήμου δείχνει να ευνοεί την επίδοσή της σε όρους HR, BHR και LR.



Σχήμα 4.20. Η διακύμανση του δείκτη επιτυχίας σε μονάδες πληροφορίας (BHR) της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης συναρτῆσει της τιμής του κάτω υδατοσήμου, για τις στρατηγικές LRU-MIN, M-METRIC, BH, MIX και TSP, υπό το αρχείο ιχνών bo.us.ircache.net

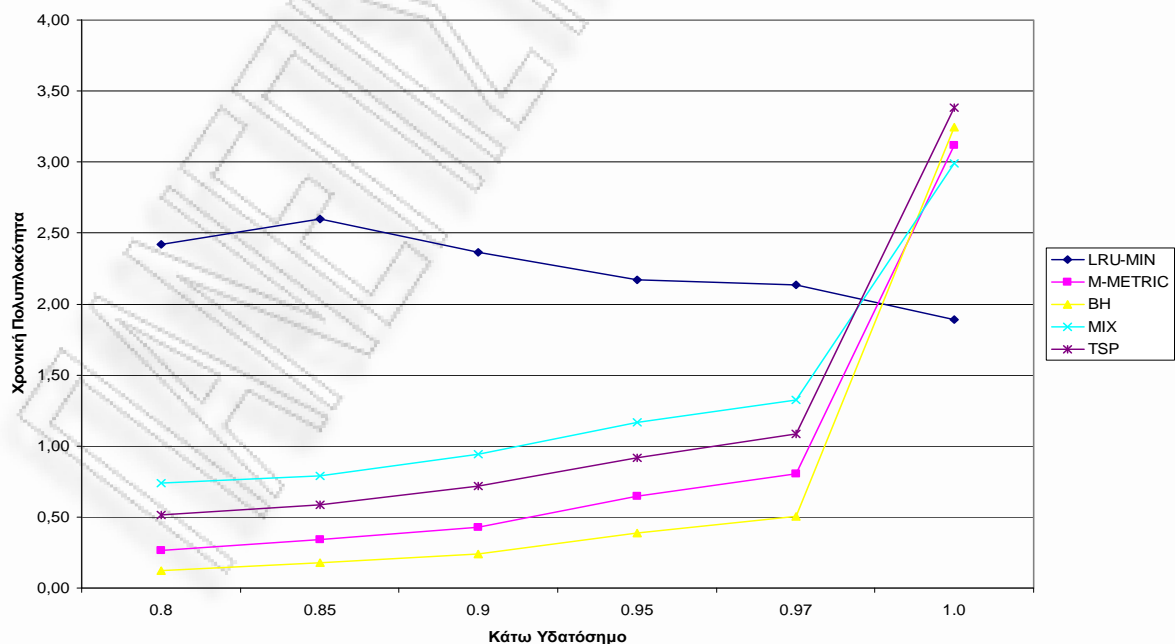


Σχήμα 4.21. Η διακύμανση του δείκτη μείωσης καθυστέρησης (LR) της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης συναρτῆσει της τιμής του κάτω υδατοσήμου, για τις στρατηγικές LRU-MIN, M-METRIC, BH, MIX και TSP, για το αρχείο ιχνών bo.us.ircache.net

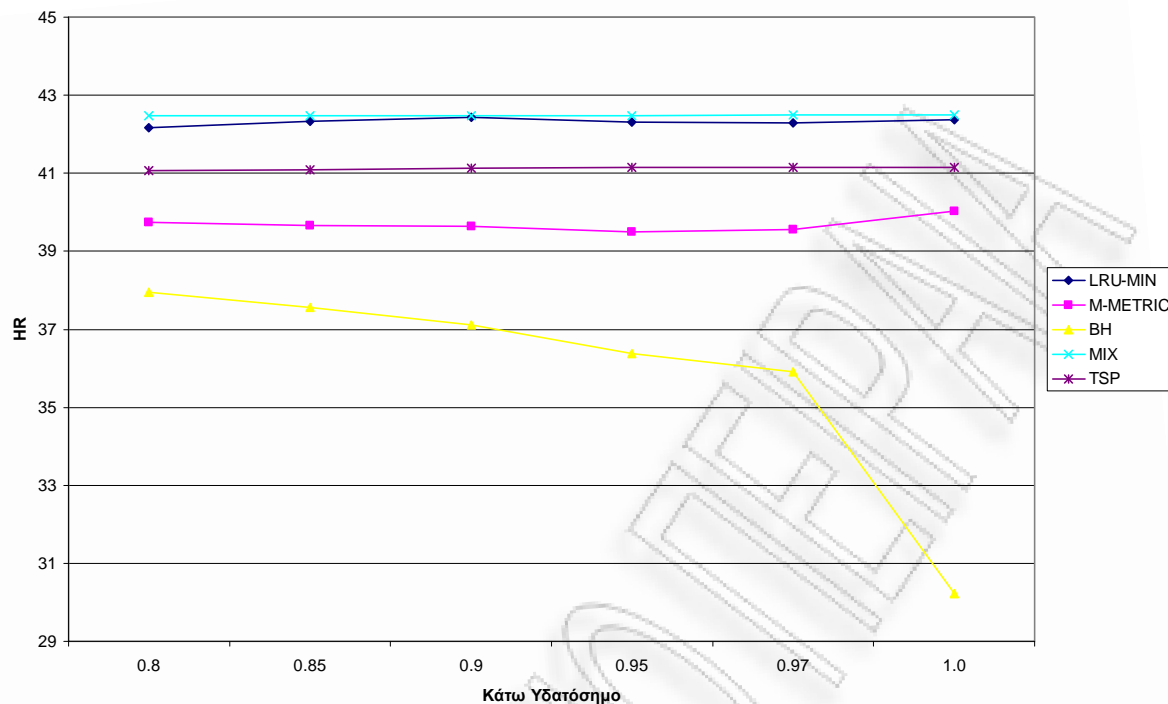
4.5.2.2 Πείραμα 2 – Επανάληψη 2

Στη δεύτερη επανάληψη του πειράματος, χρησιμοποιήθηκε ένα αρχείο ιχνών, το οποίο αφορά στη διαδικτυακή δραστηριότητα στον πληρεξούσιο εξυπηρετητή 'ra.us.ircache.net', που βρίσκεται στο Palo Alto της Καλιφόρνιας [Nat07]. Η καταγραφή της δραστηριότητας πραγματοποιήθηκε κατά την 9^η και 10^η ημέρα του Ιανουαρίου του έτους 2007. Το αρχείο ιχνών της εισόδου περιλαμβάνει 407.166 διαδικτυακές συναλλαγές, προς 33.586 διαφορετικούς πηγαίους εξυπηρετητές και 228.951 αντικείμενα παγκοσμίου ιστού. Το μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης κατά την προσομοίωση είναι περίπου 636 Mbytes, δηλαδή, ίσο με το 15% του μέγιστου δυνατού μεγέθους μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης που δίνει τα βέλτιστα αποτελέσματα για το συγκεκριμένο αρχείο ιχνών.

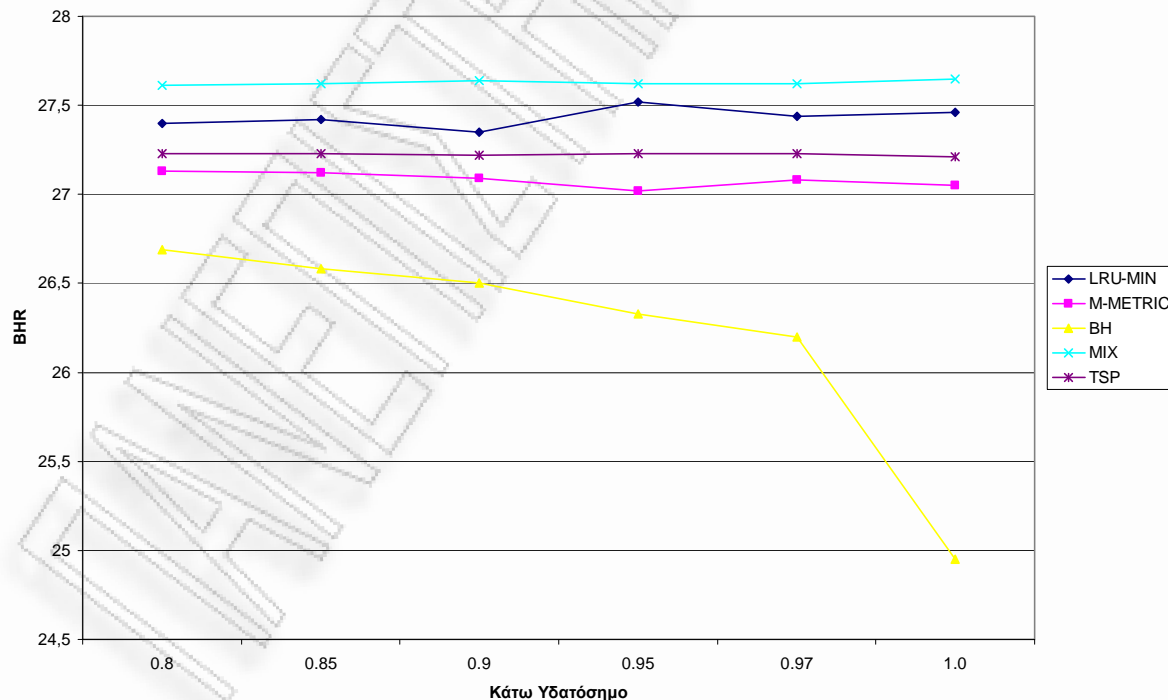
Στο σχήμα 4.22 παρουσιάζεται η μετρημένη χρονική πολυπλοκότητα σε σχέση με το κάτω υδατόσημο για καθεμία από τις υπό μελέτη στρατηγικές. Τα σχήματα 4.23, 4.24 και 4.25 απεικονίζουν την τιμή των δεικτών HR, BHR και LR συναρτήσει της τιμής του κάτω υδατοσήμου. Οι βασικές παρατηρήσεις παραμένουν ίδιες με την πρώτη επανάληψη. Η επίδραση του κάτω υδατοσήμου στις τιμές των δεικτών επίδοσης είναι αρκετά μικρή σε βαθμό που μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.



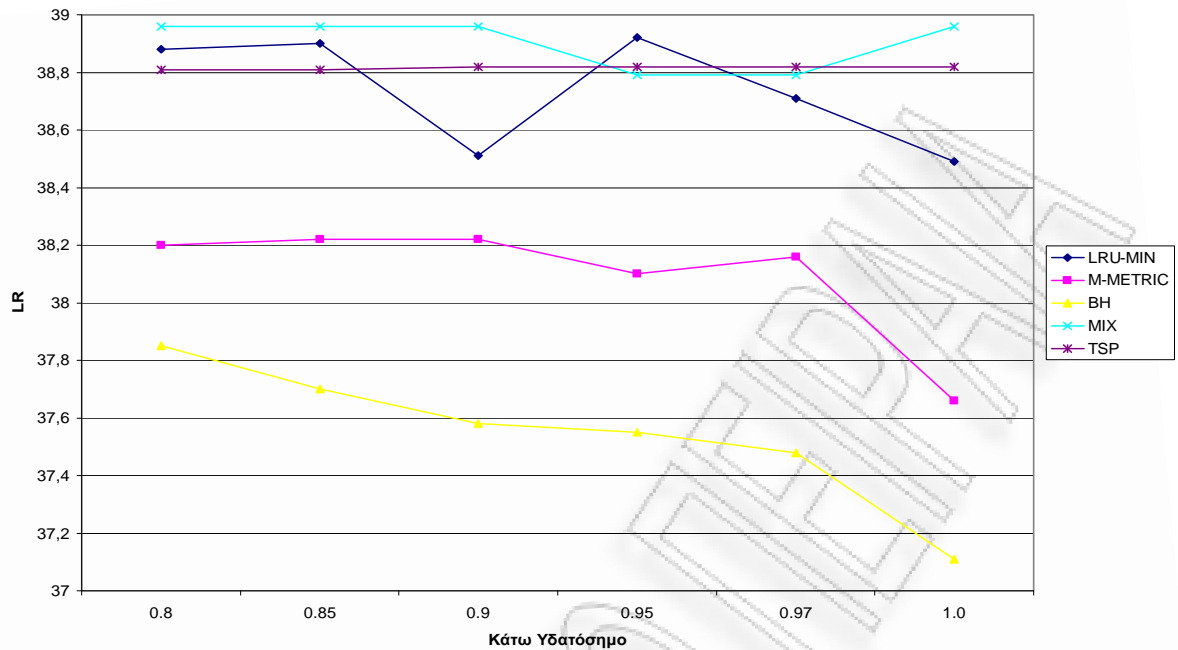
Σχήμα 4.22. Η χρονική πολυπλοκότητα των στρατηγικών LRU-MIN, M-METRIC, BH, MIX και TSP, συναρτήσει του κάτω υδατοσήμου, για το αρχείο ιχνών ra.us.ircache.net



Σχήμα 4.23. Η διακύμανση του δείκτη επιτυχίας (HR) της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης συναρτῆσει της τιμῆς του κάτω υδατοσήμου, για τις στρατηγικῆς LRU-MIN, M-METRIC, BH, MIX και TSP, για το αρχείο ιχνῶν ra.us.irccache.net



Σχήμα 4.24. Η διακύμανση του δείκτη επιτυχίας σε μονάδες πληροφορίας (BHR) της εφαρμογῆς ενδιάμεσης αποθήκευσης συναρτῆσει της τιμῆς του κάτω υδατοσήμου, για τις στρατηγικῆς LRU-MIN, M-METRIC, BH, MIX και TSP, για το αρχείο ιχνῶν ra.us.irccache.net



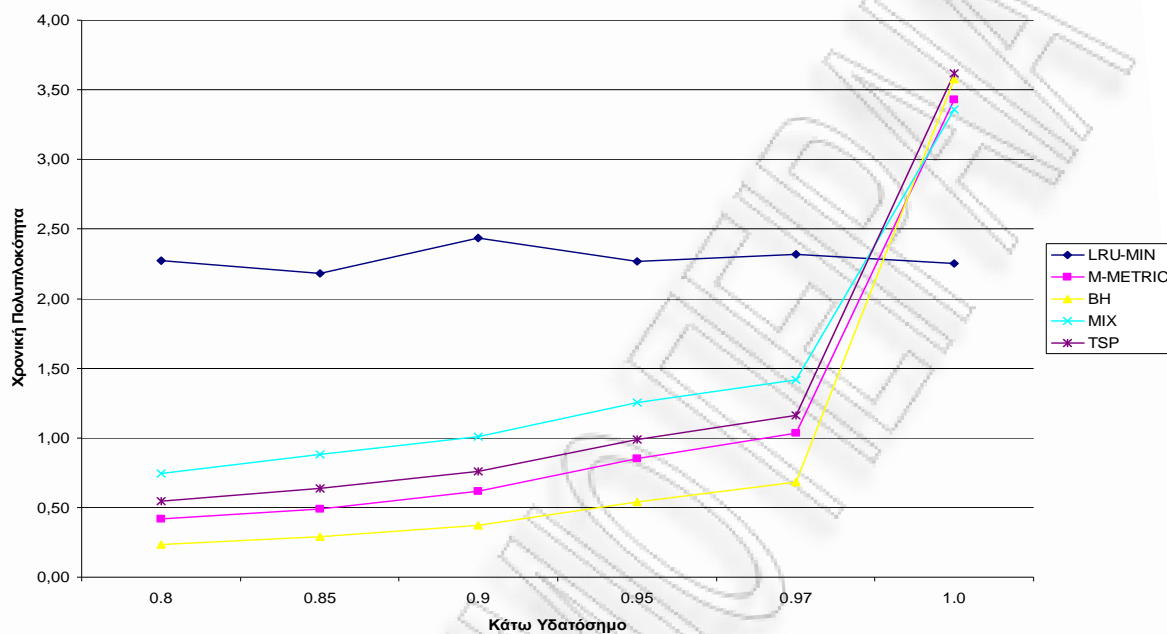
Σχήμα 4.25. Η διακύμανση του δείκτη μείωσης καθυστέρησης (LR) της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης συναρτήσει της τιμής του κάτω υδατοσήμου, για τις στρατηγικές LRU-MIN, M-METRIC, BH, MIX και TSP, για το αρχείο ιχνών ra.us.ircache.net

4.5.2.3 Πείραμα 2 – Επανάληψη 3

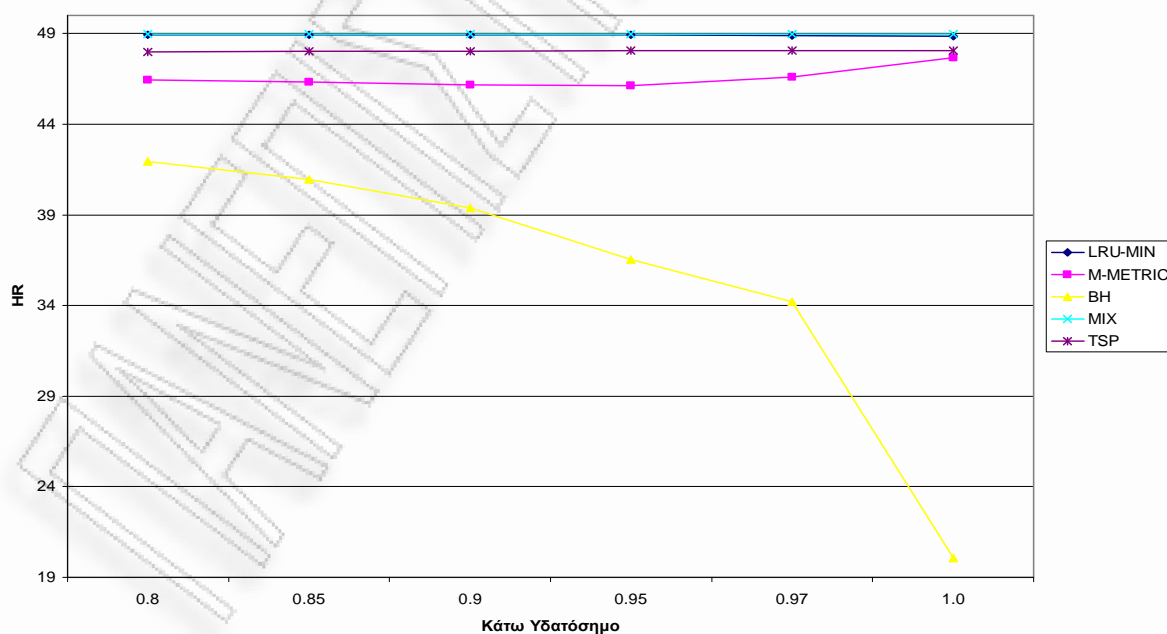
Δεδομένου ότι το μέγεθος του αρχείου ιχνών παίζει σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό του χρόνου προσομοίωσης, στην τρίτη επανάληψη του πειράματος, χρησιμοποιήθηκε ένα μεγαλύτερο αρχείο ιχνών, το οποίο αφορά στη διαδικτυακή δραστηριότητα στον πληρεξούσιο εξυπηρετητή 'sj.us.ircache.net', που βρίσκεται στο San Jose, της Καλιφόρνια [Nat07]. Η καταγραφή της δραστηριότητας πραγματοποιήθηκε κατά την 9^η και 10^η ημέρα του Ιανουαρίου του έτους 2007. Το αρχείο ιχνών της εισόδου περιλαμβάνει 616.746 διαδικτυακές συναλλαγές, προς 20.967 διαφορετικούς πηγαίους εξυπηρετητές και 229.594 αντικείμενα παγκοσμίου ιστού. Το μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης κατά την προσομοίωση είναι περίπου 712 Mbytes, δηλαδή, ίσο με το 15% του μέγιστου δυνατού μεγέθους μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης που δίνει τα βέλτιστα αποτελέσματα για το συγκεκριμένο αρχείο ιχνών.

Στο σχήμα 4.26 παρουσιάζεται η μετρημένη χρονική πολυπλοκότητα σε σχέση με το κάτω υδατόσημο για καθεμία από τις υπό μελέτη στρατηγικές. Τα σχήματα 4.27, 4.28 και 4.29 απεικονίζουν την τιμή των δεικτών HR, BHR και LR συναρτήσει της τιμής του κάτω υδατοσήμου. Για ακόμα μία φορά οι βασικές παρατηρήσεις παραμένουν ίδιες με τις δύο

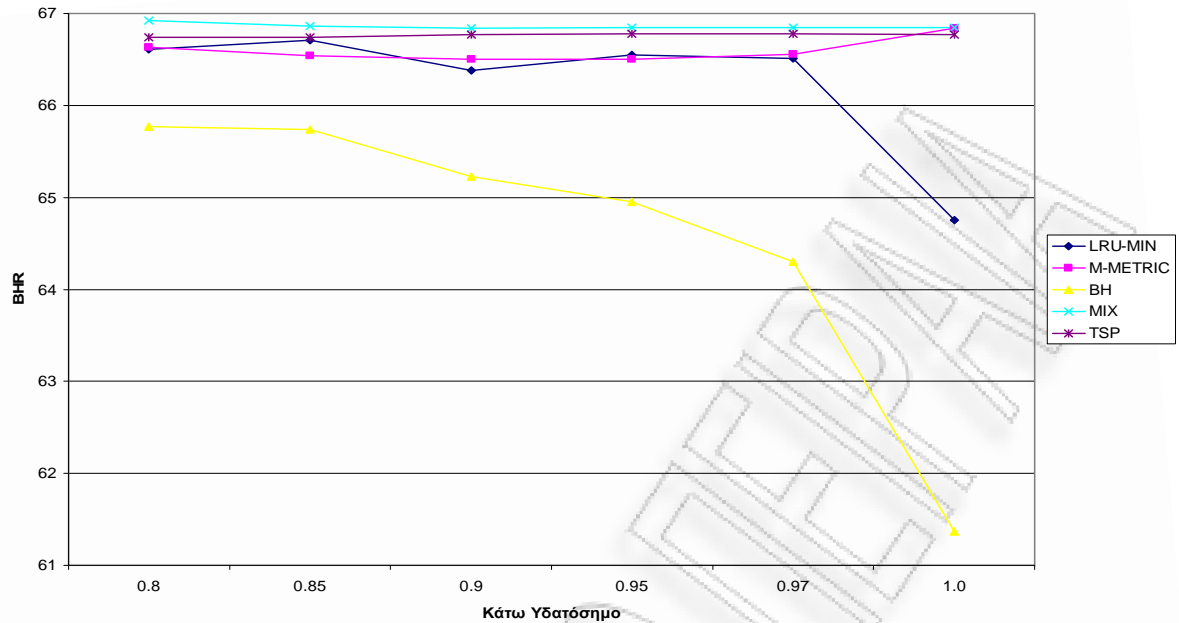
πρώτες επαναλήψεις του πειράματος. Η επίδραση του κάτω υδατοσήμου στις τιμές των δεικτών επίδοσης είναι αρκετά μικρή σε βαθμό που μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα.



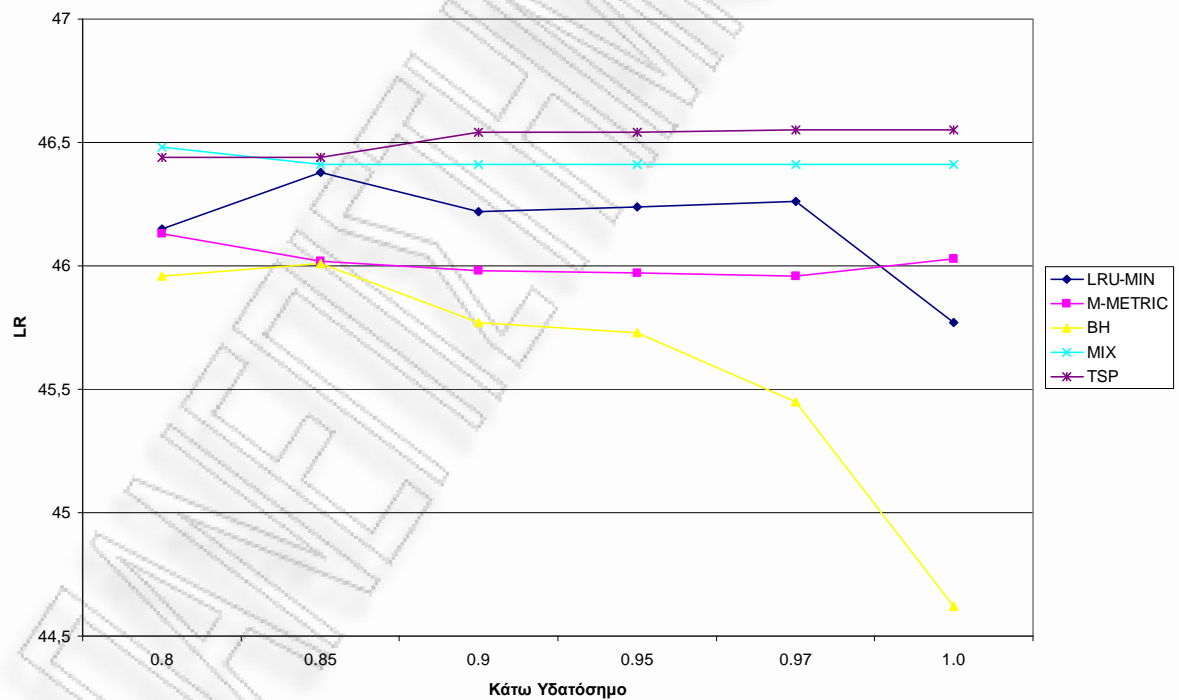
Σχήμα 4.26. Η χρονική πολυπλοκότητα των στρατηγιών LRU-MIN, M-METRIC, BH, MIX και TSP, συναρτήσει του κάτω υδατοσήμου, για το αρχείο ιχνών sj.us.ircache.net



Σχήμα 4.27. Η διακύμανση του δείκτη επιτυχίας (HR) της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης συναρτήσει της τιμής του κάτω υδατοσήμου, για τις στρατηγιές LRU-MIN, M-METRIC, BH, MIX και TSP, για το αρχείο ιχνών sj.us.ircache.net



Σχήμα 4.28. Η διακύμανση του δείκτη επιτυχίας σε μονάδες πληροφορίας (BHR) της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης συναρτήσει της τιμής του κάτω υδατόσημου, για τις στρατηγικές LRU-MIN, M-METRIC, BH, MIX και TSP, για το αρχείο ιχνών sj.us.ircache.net



Σχήμα 4.29. Η διακύμανση του δείκτη μείωσης καθυστέρησης (LR) της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης συναρτήσει της τιμής του κάτω υδατόσημου, για τις στρατηγικές LRU-MIN, M-METRIC, BH, MIX και TSP, για το αρχείο ιχνών sj.us.ircache.net

4.6 Συμπεράσματα

Σήμερα, η προσομοίωση αποτελεί το μοναδικό, αξιόπιστο εργαλείο στην έρευνα και αξιολόγηση των τεχνολογιών αντιδραστικής και προ-ενεργητικής διανομής και παράδοσης του περιεχομένου στον παγκόσμιο ιστό και το Διαδίκτυο. Η ευρεία και σχεδόν καθολική χρήση της είναι συνέπεια των πλεονεκτημάτων που προσφέρει. Καταρχήν, παρέχει ένα πειραματικό περιβάλλον που επιτρέπει την ταυτόχρονη και παράλληλη αξιολόγηση των διαφόρων ανταγωνιστικών τεχνολογιών του κλάδου, κάτω από τις ίδιες συνθήκες και προϋποθέσεις. Το μεγάλο της προτέρημα είναι ότι ως μέθοδος πειραματισμού δεν απαιτεί καμία συμμετοχή από τα πραγματικά συστήματα, δηλαδή τις υπάρχουσες δικτυακές υποδομές, οι οποίες μπορούν να αφοσιωθούν απερίσπαστες στο έργο τους.

Αυτό το κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην προσομοίωση συστημάτων και εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης στον παγκόσμιο ιστό, η οποία βασίζεται σε αρχεία ιχνών διαδικτυακής δραστηριότητας. Παρουσιάστηκαν τα κυριότερα σημεία της λειτουργίας αυτών των συστημάτων, στα οποία οφείλει να επικεντρώνει ένας επίδοξος προσομοιωτής. Αναπτύχθηκε μια λίστα με πακέτα προσομοίωσης και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, τα οποία έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί στην έρευνα πάνω στο αντικείμενο.

Το μεγαλύτερο μέρος του κεφαλαίου αφιερώθηκε στην αναβάθμιση του προσομοιωτή εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης του Wisconsin. Ο προσομοιωτής χρησιμοποιείται στη μελέτη και αξιολόγηση των στρατηγικών αντικατάστασης αντικειμένων από μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Αναλύθηκε η αρχιτεκτονική της νέας έκδοσης του προσομοιωτή, καθώς και η διαδραστική διεπαφή χρήστη, που αποτελεί επίσης μια καινοτομία σε σύγκριση με την παλιά έκδοση αυτού. Η προσθήκη νέων αλγορίθμων τον έχει μετατρέψει στο μοναδικό προσομοιωτή του είδους, που είναι σε θέση να εξομοιώνει μια τόσο μεγάλη συλλογή στρατηγικών αντικατάστασης δεδομένων, χρησιμοποιώντας μια ποικιλία δομών δεδομένων για τη διαχείρισή τους.

Μια σειρά προσομοιώσεων έδειξαν ότι η προθέρμανση της προσομοιωμένης εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης κατά την προσομοίωση έχει καθοριστική επίδραση πάνω στις τιμές των δεικτών επίδοσης. Παρόλα αυτά δεν παρατηρήθηκε καμία διαφορά, όσον αφορά στην ουσία των αποτελεσμάτων, δηλαδή τη συγκριτική αξιολόγηση των υπό μελέτη στρατηγικών. Συγκεκριμένα, ενώ οι δείκτες επίδοσης εμφανίστηκαν αυξημένοι με τη προθέρμανση της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης, δεν παρατηρήθηκε καμία αλλαγή στη διάταξη των στρατηγικών, με βάση την επίδοσή τους.

Ένα δεύτερο πείραμα έδειξε ότι ο μηχανισμός του κάτω υδατοσήμου που είναι ενσωματωμένος στον προσομοιωτή είναι ευεργετικός, όσον αφορά στη μείωση του χρόνου προσομοίωσης ακόμα και για τα πιο απαιτητικά αρχεία ιχνών εισόδου, χωρίς την παραμικρή αλλοίωση των παραγόμενων αποτελεσμάτων. Για την ακρίβεια, η όποια επίδραση πάνω στις τιμές των δεικτών επίδοσης που παρατηρήθηκε ήταν ευεργετική για τις αντίστοιχες στρατηγικές.

Η ουδετερότητα του μηχανισμών προθέρμανσης και κάτω υδατοσήμου στη συγκριτική αξιολόγηση των στρατηγιών, σε συνδυασμό με την καθοριστική συμβολή του δεύτερου στη μείωση της ταχύτητας προσομοίωσης καθιστούν τον αναβαθμισμένο προσομοιωτή του Wisconsin ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την έρευνα πάνω στο συγκεκριμένο επιστημονικό κλάδο.

Κεφάλαιο 5

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥ ΙΣΤΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Ανάμεσα στους διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία της ενδιάμεσης αποθήκευσης περιεχομένου στον παγκόσμιο ιστό [Wang99, Wess01], οι στρατηγικές αντικατάστασης αντικειμένων [Pod03, Bal04, Wong06] αποτέλεσαν ένα από τα κλειδιά, με καθοριστική επίδραση πάνω στην επίδοση των εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης, ειδικότερα στα πρώτα χρόνια, όπου η χωρητικότητα των μέσων αποθήκευσης ήταν περιορισμένη και το κόστος τους υψηλό. Διάφοροι αλγόριθμοι έχουν προταθεί, αναλυθεί και προσομοιωθεί κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαπενταετίας, σε μια προσπάθεια για την ανάδειξη του κορυφαίου. Μια λεπτομερής – αλλά, όχι εξαντλητική – λίστα αυτών των αλγορίθμων παρουσιάζεται στην εργασία των Podlipnig και Boszormenyi [Pod03].

Διαχρονικά, το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας πάνω στην αντικατάσταση του περιεχομένου σε μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης αναλώνεται στο κυνήγι της ‘πρωταθλήτριας’ στρατηγικής, η οποία να ξεπερνά σε επιδόσεις τις υπόλοιπες, όσον αφορά κάποιους συγκεκριμένους δείκτες επίδοσης. Οι εργασίες των: Pitkow και Recker [Pitk94], Abrams et al [Abra95], Williams et al [Will96], Scheuermann et al [Sche97], Cohen et al [Coh98], Kelly et al [Kell99], Rizzo and Vicisano [Rizz00], Yang et al [Yang01], Bahn et al [Bahn02], Koskela et al [Kosk03], Selvakumar et al [Selv04], Chen [Chen05], Leong και Guan [Leon06], Patil και Pawar [Pat07, Pat08], Cobb και ElAarag [Cobb08], ElAarag και Romano [ElAa09a], και όχι μόνο [Pod03], είναι ενδεικτικές αυτής της διαχρονικότητας στη διάρκεια της τελευταίας δεκαπενταετίας.

Η εξαντλητική μελέτη και εμβάθυνση πάνω σε αυτές τις έρευνες σχετικά με τις στρατηγικές αντικατάστασης περιεχομένου σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού, μάς έχει οδηγήσει σε μια σειρά από βασικά συμπεράσματα:

Καταρχήν, οι εικάστοτε ερευνητές τεκμηριώνουν την υπεροχή των προτεινόμενων στρατηγικών τους, ύστερα από τη σύγκρισή τους με ένα μικρό σύνολο στρατηγικών – οι περισσότερες περιπτώσεις αφορούσαν μόνο στις απλές στρατηγικές, όπως η LRU, η SIZE και η LFU – οι οποίες θεωρούνταν πως δίνουν καλά αποτελέσματα ως προς τους εξεταζόμενους δείκτες – που στις περισσότερες των περιπτώσεων ήταν ο HR και ο BHR. Καθώς η έρευνα προχωρούσε, νέοι, καινοτόμοι αλγόριθμοι – όπως, ο HYBRID και ο GD – εισήλθαν στην ομάδα των στρατηγικών, που μπορούσαν να θεωρηθούν ως πρότυπα σύγκρισης. Οι Podlipnig και Boszormenyi [Pod03] εισάγουν τον όρο: “αρκετά-καλές (Good-Enough) στρατηγικές” για να περιγράψουν τα μέλη αυτής της ομάδας.

Μέχρι πρόσφατα δεν είχε επιδιωχθεί καμία ερευνητική προσπάθεια με στόχο την εξαντλητική σύγκριση όλων, ή, τουλάχιστον, των περισσότερων στρατηγικών κάτω από ενιαίες και ομοιογενείς συνθήκες προσομοίωσης και λαμβάνοντας υπόψη τους ίδιους δείκτες επίδοσης. Η αρχική εργασία μας, Kastaniotis et al [Kast07], αποτέλεσε την πρώτη ερευνητική προσπάθεια προς αυτήν την κατεύθυνση, ώστε να αποκτηθεί μια περισσότερο περιεκτική εικόνα γύρω από τις επιδόσεις ενός μεγάλου συνόλου, βασικών στρατηγικών. Οι Romano και ElAarag, αφού έλαβαν υπόψη την κατηγοριοποίηση των στρατηγικών κατά Podlipnig και Boszormenyi [Pod03], δημοσίευσαν δύο ανάλογες, περιεκτικές μελέτες, όσον αφορά στη συγκριτική αντιπαράθεσή τους. Στην πρώτη δημοσίευσή τους [Rom08], συμπεριέλαβαν τις στρατηγικές που αξιοποιούν είτε τη χρονική τοπικότητα, είτε τη δημοτικότητα, ή και τα δύο αυτά χαρακτηριστικά μαζί. Στη δεύτερη δημοσίευσή τους [ElAa09b], συμπεριέλαβαν τις συναρτησιακές στρατηγικές.

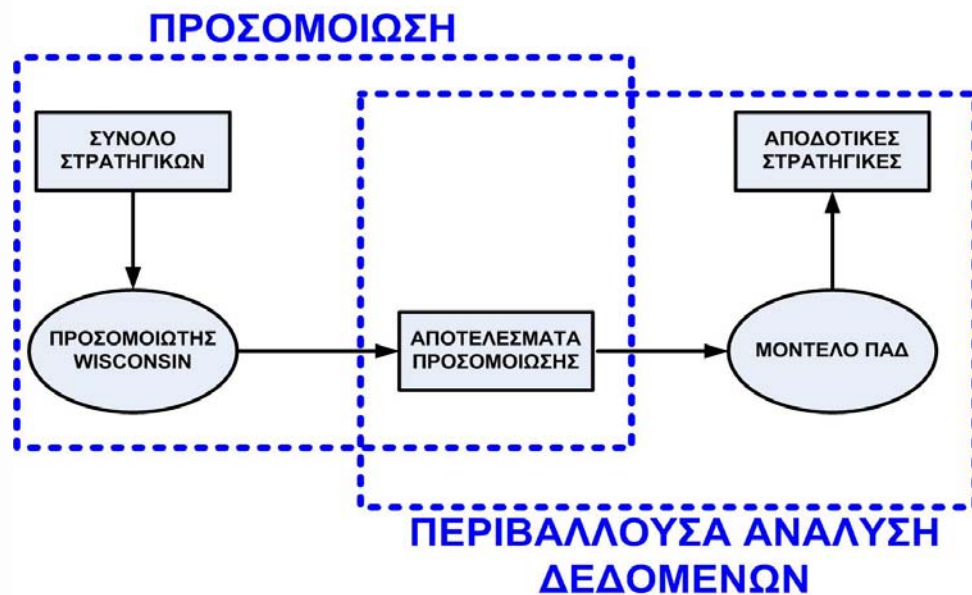
Παρόλο που έχει εφευρεθεί ένας μεγάλος αριθμός, ποικίλων στρατηγικών αντικατάστασης, δεν έχει βρεθεί ακόμη μια στρατηγική, που να βελτιστοποιεί τους βασικούς δείκτες επίδοσης HR και BHR. Αντίθετα, οι βασικές παράμετροι, δηλαδή η δημοτικότητα, το μέγεθος και η χρονική τοπικότητα, που συνθέτουν τις στρατηγικές, συμβάλλουν με τον τρόπο τους περισσότερο ή λιγότερο προς τη βελτιστοποίηση του ενός εκ των δύο δεικτών, με αποτέλεσμα να απαιτείται πάντα μια διαπραγμάτευση, όσον αφορά στη βαρύτητά τους, σε σχέση με το δείκτη επίδοσης προς βελτιστοποίηση [Cao97b, Rom08, Pat08]. Το συγκεκριμένο πρόβλημα επιδεινώνεται ακόμη περισσότερο, αν ληφθούν υπόψη πρόσθετοι δείκτες επίδοσης, όπως είναι για παράδειγμα ο δείκτης μείωσης καθυστέρησης LR και ο ρυθμός διαγραφής αντικειμένων (Object Removal Rate), κατά τους ElAarag και Romano [ElAa09b].

Κατά την αξιολόγηση των στρατηγιών, δε λαμβάνεται σοβαρά υπόψη το κόστος για την υποστήριξη της κάθε στρατηγικής από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης και, γενικότερα, από τη μηχανή – που, συνήθως, είναι ένας πληρεξούσιος εξυπηρετητής του παγκοσμίου ιστού – πάνω στην οποία εκτελείται η συγκεκριμένη στρατηγική. Στην ουσία, όλες οι στρατηγικές είναι αλγόριθμοι, το κόστος των οποίων μεταφράζεται ως χρονική και χωρική πολυπλοκότητα. Επιπλέον, η ποσότητα της μνήμης της υπό μελέτη μηχανής, που απαιτείται για την υποστήριξη της ενδιάμεσης αποθήκευσης, μπορεί να θεωρηθεί ένας παράγοντας κόστους. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η αύξηση του κόστους λειτουργίας της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης – δηλαδή, η αύξηση της πολυπλοκότητας των στρατηγιών και της ποσότητας μνήμης για ενδιάμεση αποθήκευση – αποσκοπεί αποκλειστικά στη βελτίωση των επιδόσεων.

Σε όλες τις προτάσεις για στρατηγικές που έχουν γίνει στο παρελθόν, πραγματοποιείται μόνο η επιφανειακή τεκμηρίωσή τους με βάση τους δείκτες επίδοσης. Το ερώτημα που τίθεται, λοιπόν, στο σημείο αυτό διατυπώνεται ως εξής: Είναι μια στρατηγική με υψηλές επιδόσεις ως προς τους υπό μελέτη δείκτες επίδοσης πραγματικά αποδοτική με βάση το κόστος για την υποστήριξη της από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης και κατ' επέκταση από τον πληρεξούσιο εξυπηρετητή, αν ληφθεί υπόψη το εύρος του κυκλοφοριακού, που καλούνται τις περισσότερες φορές να αντιμετωπίσουν; Ή, αν θέλουμε να γενικεύσουμε το ερώτημα, μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική η βελτίωση της επίδοσης της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης, αν ληφθεί υπόψη η αύξηση του κόστους λειτουργίας της; Το σίγουρο είναι ότι, η μεθοδολογία της προσομοίωσης βάσει των αρχείων ιχνών κυκλοφοριακού παγκοσμίου ιστού δεν μπορεί από μόνη της να δώσει απάντηση σε αυτό το ερώτημα.

Στο κεφάλαιο αυτό προτείνουμε την αξιοποίηση της μεθοδολογίας της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (ΠΑΔ), μετά την προσομοίωση, για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των στρατηγιών αντικατάστασης αντικειμένων σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού. Η ΠΑΔ είναι σε θέση να διακρίνει τις πραγματικά αποδοτικές στρατηγικές, δηλαδή, τις στρατηγικές που έχουν πολύ καλές επιδόσεις βάσει των υπό μελέτη δεικτών επίδοσης – κυρίως, των ευρύτερα αποδεκτών HR και BHR, – ενώ, ταυτόχρονα, το κόστος για την υποστήριξή τους, σε όρους ποσότητας μνήμης για ενδιάμεση αποθήκευση, ελαχιστοποιείται. Είναι ξεκάθαρο ότι με την ΠΑΔ προχωράμε ένα βήμα παραπέρα από την πολύ καλά δοκιμασμένη μεθοδολογία της

προσομοίωσης, με απώτερο σκοπό να απαντήσουμε στα παραπάνω ερωτήματα. Το σχήμα 5.1 παρουσιάζει συνοπτικά τη σύνθετη μεθοδολογία που ακολουθούμε σε αυτό το κεφάλαιο, με την αξιοποίηση των δύο εργαλείων – δηλαδή, της προσομοίωσης σε πρώτο χρόνο και της ΠΑΔ σε δεύτερο – για την ανίχνευση των πραγματικά αποδοτικών στρατηγικών αντικατάστασης περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού.



Σχήμα 5.1. Συνοπτική παρουσίαση της μεθοδολογίας για την ανίχνευση των αποδοτικών στρατηγικών

Συνοπτικά, με την ΠΑΔ εκπληρώνουμε τους ακόλουθους στόχους:

- Καταρχήν, να προτείνουμε μια νέα και πανίσχυρη μεθοδολογία, με μεγάλη επιτυχία στον τομέα της επιχειρησιακής έρευνας, ως συμπληρωματικό εργαλείο της προσομοίωσης. Με την αξιοποίηση της ΠΑΔ, ο ερευνητής μπορεί να αποκτήσει μια νέα οπτική γωνία και να δώσει άλλη διάσταση στη μελέτη των στρατηγικών αντικατάστασης περιεχομένου, αλλά και στην έρευνα της λειτουργίας των εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης στον παγκόσμιο ιστό, γενικότερα.
- Να μελετήσουμε το σύνολο των στρατηγικών αντικατάστασης περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού, αφού όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος των στρατηγικών που λαμβάνεται υπόψη, τόσο μεγαλύτερη γίνεται η διακριτική ικανότητα της ΠΑΔ.
- Να δώσουμε ιδανικές, βιώσιμες και πραγματικά αποδοτικές λύσεις για τις πραγματικές εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης στον παγκόσμιο ιστό, όπως είναι ο Squid [Wess04],

και, κυρίως, εκείνες που επιδιώκουν να διατηρήσουν μια ισορροπία μεταξύ των στόχων που καλούνται να εκπληρώσουν – δηλαδή, μείωση του χρόνου εξυπηρέτησης του απλού χρήστη, μείωση του εύρους ζώνης, που καταναλώνεται, και μείωση του φόρτου προς τους πηγαίους εξυπηρετητές.

- Να καθορίσουμε τις στρατηγικές που μπορούν – τειμηρωμένα, πλέον, ως πιο αποδοτικές – να θεωρηθούν ως πρότυπα λειτουργίας και σύγκρισης. Το σύνορο αποδοτικότητας (Efficient Frontier) της ΠΑΔ – δηλαδή, το όριο πάνω στο οποίο κινούνται οι αποδοτικές στρατηγικές – αποτελεί, ταυτόχρονα, τη λεπτή γραμμή πάνω στην οποία βρίσκονται οι, κατά Podlipnig και Boszormenyi, “αρκετά-καλές στρατηγικές” [Kast07]. Οποιαδήποτε μελλοντική πρόταση θέλει να θεωρείται μέλος αυτής της ομάδας, θα πρέπει να είναι σε θέση να αλλάξει το χάρτη των πιο αποδοτικών στρατηγιών.
- Να δώσουμε στο ίδιο το πρόβλημα της ανεύρεσης της πρωταθλήτριας στρατηγικής την πραγματική του διάσταση. Δηλαδή, πρωταθλήτρια είναι εκείνη η στρατηγική που θα καταφέρει να βελτιστοποιήσει, αν όχι όλους, τους βασικούς δείκτες επίδοσης – δηλαδή, τους HR και BHR – επιβαρύνοντας με το μικρότερο δυνατό κόστος λειτουργίας το ευρύτερο σύστημα μέσα στο οποίο δραστηριοποιείται. Αν μια τέτοια στρατηγική υπάρξει, η ΠΑΔ είναι σίγουρο ότι θα μπορέσει να τη διακρίνει και να της δώσει την αναγνώριση που της αξίζει, ως της αποδοτικότερης όλων.

Το παρόν κεφάλαιο είναι οργανωμένο ως εξής: Στην παράγραφο 5.2 κάνουμε μια εισαγωγή στη μεθοδολογία και την ορολογία της ΠΑΔ, και περιγράφουμε τόσο τα βασικά μοντέλα της ΠΑΔ, όσο και το μοντέλο που χρησιμοποιούμε για την αξιολόγηση των στρατηγιών αντικατάστασης αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού. Στην παράγραφο 5.3 πραγματοποιείται η ανάλυση της οργάνωσης των πειραμάτων προσομοίωσης που μας τροφοδοτούν με τα απαραίτητα δεδομένα για την αξιολόγηση με την ΠΑΔ. Συγκεκριμένα, περιγράφονται τα αρχεία ιχνών δραστηριότητας του παγκοσμίου ιστού, που χρησιμοποιούνται ως είσοδος στην προσομοίωση και ο ιδιαίτερος τρόπος δημιουργίας τους. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η μεθοδολογία με την οποία αναλύουμε τις υψηλά παραμετροποιημένες στρατηγικές και δίνουμε ανά περίπτωση τις τιμές εκείνες των παραμέτρων για τις οποίες εμφανίζονται οι καλύτερες επιδόσεις. Η παράγραφος 5.4 αφορά στην εκτέλεση του μοντέλου ΠΑΔ για κάθε μια περίπτωση αρχείου ιχνών δραστηριότητας

του παγκοσμίου ιστού και στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων ανά περίπτωση. Στην παράγραφο 5.5, περιγράφουμε τη μελλοντική έρευνά μας πάνω στο αντικείμενο με την αξιοποίηση της πολυπλοκότητας των στρατηγικών ως πρόσθετου παράγοντα κόστους. Ως εκ τούτου, πραγματοποιείται η εκτίμηση της χρονικής και χωρικής πολυπλοκότητας των στρατηγικών, που θα μας απασχολήσουν στο μέλλον. Τέλος, όλα τα συμπεράσματα που εξάγονται στο παρόν κεφάλαιο περιλαμβάνονται στην παράγραφο 5.6.

5.2 Η Μεθοδολογία της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων

Η μεθοδολογία της περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων (Data Envelopment Analysis, DEA), που στο εξής θα την αναφέρουμε με το αρχικιόλεξό της ΠΑΔ, αναπτύχθηκε, με σκοπό τη μέτρηση και αξιολόγηση της σχετικής αποδοτικότητας πάσης φύσεως παραγωγικών μονάδων – π.χ. από τα υποκαταστήματα μιας τράπεζας [Drak94, Cam05] ως το τραπεζικό σύστημα [Sir010] μιας χώρας, τους πράκτορες μιας ταξιδιωτικής εταιρείας [Koks07], τις σχολικές μονάδες [Smir06], κλπ. – στα πλαίσια της επιχειρησιακής έρευνας. Η ΠΑΔ καλύπτει περιπτώσεις όπου το κόστος και το όφελος (ή κέρδος) της παραγωγικής διαδικασίας των μονάδων είναι πολλαπλά και εκφράζονται από πολλές παραμέτρους, ενώ δεν υπάρχει κάποια γνωστή συνάρτηση, που να περιγράφει την ίδια την παραγωγική διαδικασία και να συνδέει τις παραμέτρους του κόστους και του οφέλους.

Στη γλώσσα της ΠΑΔ, οι παράμετροι του κόστους ονομάζονται εισροές (Inputs) και οι παράμετροι του οφέλους/κέρδους ονομάζονται εκροές (Outputs). Οι παραγωγικές μονάδες είναι γνωστές ως μονάδες λήψης απόφασης (Decision Making Units, DMUs) και στο εξής θα αναφερόμαστε σε αυτές με το αρχικιόλεξό τους ΜΛΑ. Τέλος, η συνάρτηση που συνδέει τις εισροές με τις εκροές είναι γνωστή ως συνάρτηση παραγωγής (Production Function).

Για την περίπτωση μιας απλής εισροής και μιας εκροής, η αποδοτικότητα δίνεται από τη μαθηματική εξίσωση:

$$\text{Αποδοτικότητα} = \frac{\text{Εκροή}}{\text{Εισροή}}.$$

Η ύπαρξη πολλαπλών εισροών και εκροών στο πρόβλημα της μέτρησης της αποδοτικότητας των ΜΛΑ καθιστά αδύνατη τη χρήση της παραπάνω απλουστευμένης μαθηματικής εξίσωσης. Για τέτοιες περιπτώσεις, ισχύει η παρακάτω μαθηματική εξίσωση:

$$\text{Αποδοτικότητα} = \frac{\text{Σταθμισμένο Άθροισμα Εκροών}}{\text{Σταθμισμένο Άθροισμα Εισροών}},$$

όπου τόσο οι εισροές, όσο και οι εκροές έχουν τη δική τους βαρύτητα μέσα στην εξίσωση. Οι Charnes et al [Char78] αναγνώρισαν και έδωσαν το δικαίωμα στις προς αξιολόγηση ΜΛΑ να σταθμίσουν τις εισροές και τις εκροές τους προς το καλύτερο δυνατό συμφέρον τους, ώστε να αποκτήσουν συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι των υπολοίπων. Αυτή η εργασία των Charnes et al οδήγησε στο πρώτο μοντέλο ΠΑΔ.

Έστω ότι το ζητούμενο είναι ο υπολογισμός της αποδοτικότητας της ΜΛΑ j_0 , με βάση το μοντέλο που προτάθηκε από τους Charnes et al. Με y_{rj_0} και x_{ij_0} συμβολίζουμε τις τιμές μιας οποιασδήποτε εκροής r και εισροής i για τη j_0 , ενώ με y_{rj} και x_{ij} συμβολίζουμε τις τιμές μιας οποιασδήποτε εκροής r και εισροής i για μια οποιαδήποτε ΜΛΑ j . Με m και s συμβολίζουμε το συνολικό αριθμό των εισροών και των εκροών για όλες τις ΜΛΑ. Τότε, η μαθηματική αποτύπωση του μοντέλου για την αποδοτικότητα της ΜΛΑ j_0 είναι η ακόλουθη:

$$\max h_{j_0} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0}},$$

υπό την προϋπόθεση

(5.1)

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon > 0 \quad \forall r, i,$$

όπου τα u_r και v_i αντιπροσωπεύουν τα βάρη των εκροών και των εισροών αντίστοιχα, ενώ το ε είναι ένας πολύ μικρός θετικός αριθμός, που αποτρέπει το μοντέλο από το να αγνοήσει κάποια εισροή ή εκροή.

Το παραπάνω μοντέλο ΠΑΔ ονομάστηκε CCR από τα αρχικά των ονομάτων των ερευνητών της ομάδας που το πρότεινε. Όσον αφορά στη μορφή που παίρνει η συνάρτηση παραγωγής, το μοντέλο CCR υποθέτει ότι αυτή ακολουθεί κλίμακα σταθερών αποδόσεων (Constant Return to Scales, CRS). Αυτό σημαίνει ότι μια οποιαδήποτε μεταβολή στις εισροές οδηγεί σε ανάλογη μεταβολή των εκροών, για όλες τις ΜΛΑ – π.χ. ο διπλασιασμός

των εισροών οδηγεί σε διπλασιασμό των εκροών. Με χρήση του μαθηματικού προγραμματισμού, το μοντέλο CCR μετατρέπεται στη μορφή των παρακάτω εξισώσεων 5.2:

$$\begin{aligned} \max h_{j_0} &= \sum_{r=1}^s u_r y_{rj_0} \\ \text{υπό την προϋπόθεση} & \\ \sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0} &= 1, \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{ij} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0, \quad j = 1, \dots, n \\ u_r, v_i &\geq \varepsilon > 0 \quad \forall r, i \end{aligned} \quad (5.2)$$

Με την παραπάνω διατύπωσή του, όπως φαίνεται στις εξισώσεις 5.2, το μοντέλο CCR της ΠΑΔ είναι πιο εύκολο ως προς την επίλυσή του. Για ακόμη περισσότερη διευκόλυνση ως προς την επίλυσή του μοντέλου CCR, αξιοποιείται η δυϊκή μορφή των εξισώσεων 5.2, η οποία αποτυπώνεται από το παρακάτω σύνολο των εξισώσεων 5.3:

$$\begin{aligned} \min \theta & \\ \text{υπό την προϋπόθεση} & \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - \theta x_{j_0i} + S_{j_0i} &= 0, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - y_{j_0r} + S'_{j_0r} &= 0, \quad r = 1, 2, \dots, s \\ \lambda_j \geq 0, \quad S_{j_0i} \geq 0, \quad S'_{j_0r} \geq 0, &\quad \forall j, j_0, i, r \end{aligned} \quad (5.3)$$

Στο μοντέλο CCR όπως εκφράζεται μέσω των εξισώσεων 5.3, η μεταβλητή θ εκφράζει τη τιμή του δείκτη αποδοτικότητας (Efficiency Score) για την υπό μελέτη ΜΛΑ j_0 . Οι χαλαρές μεταβλητές (Slack Variables) S_{j_0i} και S'_{j_0r} οφείλουν το όνομά τους στο γεγονός ότι 'χαλαρώνουν' τις ανισώσεις σε εξισώσεις. Η υπό μελέτη ΜΛΑ j_0 είναι αποδοτική, όταν η τιμή στο δείκτη απόδοσης της είναι ίση με τη μονάδα και όλες οι χαλαρές μεταβλητές έχουν τιμή ίση με μηδέν. Όταν μια ΜΛΑ παρουσιάζει τιμή στο δείκτη αποδοτικότητας ίση με ένα και κάποιες μόνο από τις χαλαρές μεταβλητές ισούνται με μηδέν, η ΜΛΑ χαρακτηρίζεται ως ασθενώς αποδοτική (Weakly Efficient). Για όλες τις περιπτώσεις, όπου η τιμή στο δείκτη αποδοτικότητας είναι μικρότερη της μονάδας, η ΜΛΑ χαρακτηρίζεται ως μη αποδοτική.

Στην ουσία, το μοντέλο CCR των εξισώσεων 5.3 επιχειρεί να μειώσει τις εισροές κρατώντας σταθερές τις εκροές. Δηλαδή, ακολουθεί τη λογική ότι, οι αποδοτικές ΜΛΑ παρουσιάζουν το ελάχιστο κόστος για το ίδιο παραγόμενο όφελος/κέρδος, σε σύγκριση με τις μη αποδοτικές. Για το λόγο αυτό, το μοντέλο CCR των εξισώσεων 5.3 λέγεται ότι ακολουθεί προσανατολισμό εισρών (Input-Oriented).

Κατά παρόμοιο τρόπο με αυτόν που περιγράφηκε παραπάνω μπορούμε να φθάσουμε σε ένα μοντέλο CCR, το οποίο να ακολουθεί προσανατολισμό εκρών (Output-Oriented). Σε αυτό το μοντέλο, οι αποδοτικές ΜΛΑ παρουσιάζουν το μέγιστο όφελος/κέρδος για το ίδιο δαπανώμενο κόστος, σε σύγκριση με τις μη αποδοτικές. Οι εξισώσεις 5.4 περιγράφουν το συγκεκριμένο μοντέλο:

$$\begin{aligned} & \max \theta \\ & \text{υπό την προϋπόθεση} \end{aligned} \tag{5.4}$$

$$\theta y_{j_0r} - \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j + S_{j_0r} = 0, \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - x_{j_0i} + S'_{j_0i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad S'_{j_0i} \geq 0, \quad S_{j_0r} \geq 0, \quad \forall j, j_0, i, r$$

Στην περίπτωση των εξισώσεων 5.4, ισχύουν ακριβώς τα ίδια με τις εξισώσεις 5.3. Για την ακρίβεια, οι τιμές στο δείκτη αποδοτικότητας για τις μη αποδοτικές ΜΛΑ στα δύο μοντέλα CCR ταυτίζονται. Επίσης, στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι οι τιμές στο δείκτη αποδοτικότητας για τις μη αποδοτικές ΜΛΑ είναι σχετικές ως προς αυτές των αποδοτικών. Για το λόγο αυτό, λέμε ότι η ΠΑΔ μετράει τη σχετική αποδοτικότητα των ΜΛΑ.

Με βάση τη συνάρτηση παραγωγής που υποθέτει το μοντέλο CCR, η οποία ακολουθεί τη λογική των σταθερών αποδόσεων, όλες οι ΜΛΑ περιορίζονται στην ίδια ικανότητα ως προς τη μετατροπή των εισρών σε εκροές. Οι Banker et al [Bank84] πρότειναν ένα βελτιωμένο μοντέλο ΠΑΔ, το οποίο ονομάστηκε BCC από τα αρχικά των ονομάτων των δημιουργών του. Το μοντέλο BCC υποθέτει ότι η συνάρτηση παραγωγής ακολουθεί την κλίμακα μεταβλητών αποδόσεων (Variable Returns to Scale, VRS) και είναι προσανατολισμένο προς τη γενικότερη αντίληψη ότι το μέγεθος των ΜΛΑ είναι καθοριστικό, όσον αφορά στην ικανότητά τους να μετατρέπουν τις εισροές σε εκροές [Drak94].

Οι εξισώσεις που περιγράφουν το μοντέλο BCC για τις περιπτώσεις του προσανατολισμού σε εισροές και του προσανατολισμού σε εκροές προκύπτουν από τις εξισώσεις 5.3 και 5.4 αντίστοιχα, με την προσθήκη ενός επιπρόσθετου περιορισμού, του:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \forall j.$$

Στην περίπτωση των δύο μοντέλων BCC που προκύπτουν, θα πρέπει να τονιστεί ότι:

- Για το προσανατολισμένο σε εισροές BCC μοντέλο, οι τιμές στο δείκτη αποδοτικότητας των μη αποδοτικών ΜΛΑ είναι πάντοτε μικρότερες από τη μονάδα ή από 100%, αν εκφράζονται ως ποσοστά.
- Για το προσανατολισμένο σε εκροές BCC μοντέλο, οι τιμές στο δείκτη αποδοτικότητας των μη αποδοτικών ΜΛΑ είναι πάντοτε μεγαλύτερες από τη μονάδα ή από 100%, αν εκφράζονται ως ποσοστά.
- Και στις δύο περιπτώσεις, οι αποδοτικές ΜΛΑ έχουν τιμές στο δείκτη αποδοτικότητας ίσες με τη μονάδα ή με 100%, αν εκφράζονται ως ποσοστά.

5.2.1 Περιγραφή του Μοντέλου ΠΑΔ για την Αξιολόγηση των Στρατηγικών

Για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των στρατηγικών αντικατάστασης αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού, που θα λάβουμε υπόψη μας στα πειράματα του παρόντος κεφαλαίου, θα χρησιμοποιήσουμε το προσανατολισμένο στις εκροές μοντέλο BCC της ΠΑΔ, το οποίο εκφράζεται από τις παρακάτω μαθηματικές εξισώσεις:

$$\begin{aligned} & \max \theta \\ & \text{υπό την προϋπόθεση} \end{aligned} \tag{5.5}$$

$$\theta y_{j_0r} - \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j + S_{j_0r} = 0, \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - x_{j_0i} + S'_{j_0i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad S'_{j_0i} \geq 0, \quad S_{j_0r} \geq 0, \quad \forall j, j_0, i, r$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \quad \forall j.$$

Στην έρευνα αξιολόγησης της αποδοτικότητας των στρατηγικών που διεξάγεται στο παρόν κεφάλαιο, η μοναδική εισροή που λαμβάνουμε υπόψη μας είναι η ποσότητα της

μνήμης του συστήματος, που παρέχεται για ενδιάμεση αποθήκευση, προς την υποστήριξη των στρατηγιών. Επομένως, για το μοντέλο BCC που μελετάμε, ισχύει $m=1$ στις παραπάνω εξισώσεις 5.5. Η επιλογή της ποσότητας της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης ενισχύεται από την ευρεία χρήση της στις προηγούμενες ερευνητικές προσπάθειες για την ανάδειξη της κορυφαίας στρατηγικής, ως το βασικό παράγοντα συναρτήσεως του οποίου γίνεται η αξιολόγηση των δεικτών επίδοσης.

Επιπλέον, λαμβάνουμε υπόψη δύο εκροές στο παραπάνω μοντέλο BCC, οι οποίες αντιστοιχούν στους δύο βασικούς δείκτες επίδοσης των εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης, δηλαδή το δείκτη επιτυχίας HR και το δείκτη επιτυχίας σε μονάδες πληροφορίας BHR. Επομένως, ισχύει ότι $s=2$ στις παραπάνω εξισώσεις 5.5. Η επιλογή των συγκεκριμένων δεικτών για το ρόλο των εκροών στηρίχθηκε στην ευρεία αποδοχή τους από το μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας, ότι είναι οι πλέον καταλληλότεροι για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την επιτυχία μιας εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης στην επίτευξη των τριών βασικών στόχων της, δηλαδή τη μείωση του χρόνου απόκρισης στο χρήστη, τη μείωση του καταναλωμένου εύρους ζώνης ευρείας περιοχής και τη μείωση του φόρτου στους πηγαίους εξυπηρετητές.

Το ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί στο σημείο αυτό αφορά στην τεκμηρίωση της προτίμησής μας στο μοντέλο BCC έναντι του μοντέλου CCR. Η επιλογή μας αυτή βασίστηκε αποκλειστικά στην παρατήρηση ότι δεν υπάρχει ίχνος γραμμικής εξάρτησης ανάμεσα στους δείκτες επίδοσης και την ποσότητα της μνήμης, που χρησιμοποιείται για ενδιάμεση αποθήκευση, ώστε να μπορεί να δικαιολογηθεί η χρήση του μοντέλου CCR. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα στα πειράματα που διεξήχθησαν στο προηγούμενο κεφάλαιο 4. Για παράδειγμα, στα σχήματα 4.10-4.17 είναι ξεκάθαρη αυτή η έλλειψη της γραμμικότητας ανάμεσα στους βασικούς δείκτες επίδοσης και το μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η απουσία κλιμακας σταθερών αποδόσεων στις παρατηρήσεις, ή αντίστοιχα, η παρατήρηση κλιμακας μεταβλητών αποδόσεων στη συνάρτηση παραγωγής του προβλήματος συνηγορεί υπέρ της χρήσης του μοντέλου BCC.

Όσον αφορά στην αξιολόγηση της αποδοτικότητας και την εύρεση των πραγματικά αποδοτικών στρατηγιών, ακολουθούμε δύο διαφορετικές τεχνικές κατά την εκτέλεση του μοντέλου BCC της ΠΑΔ. Η πρώτη τεχνική παρουσιάστηκε σε παλαιότερη εργασία μας [Kast07] και μελετάει όλες τις στρατηγικές, ομαδοποιημένες κατά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Δηλαδή, για το κάθε μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης,

υπολογίζεται η αποδοτικότητα και αναζητούνται οι πραγματικά αποδοτικές στρατηγιές. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, αναδείχθηκαν, κυρίως, οι στρατηγιές PSS, MIX και LFU-DA, μέσα από ένα σύνολο 29 στρατηγιών. Τα βασικά σημεία και συμπεράσματα της παλαιότερης εργασίας μας [Kast07] θα τα αναλύσουμε στην παράγραφο 5.4.1.1 του παρόντος κεφαλαίου. Επιπλέον, στο παρόν κεφάλαιο, θα προχωρήσουμε στη βελτίωση του συγκεκριμένου μοντέλου, η οποία συνοψίζεται στα ακόλουθα βασικά σημεία:

- Στην παλαιότερη εργασία μας, τα αρχεία ιχνών στα οποία στηρίχθηκαν οι προσομοιώσεις αφορούσαν στην πρώιμη διαδικτυακή δραστηριότητα, που παρατηρήθηκε στα πρώτα στάδια του παγκοσμίου ιστού. Αντίθετα, σε αυτή την εργασία χρησιμοποιούμε αρχεία ιχνών με τη διαδικτυακή δραστηριότητα, που παρατηρείται στη σημερινή εποχή. Κατά αυτόν τον τρόπο, επιχειρούμε να αποκτήσουμε μια καθαρότερη εικόνα ως προς τις αποδοτικές στρατηγιές αντικατάστασης αντικειμένων στις εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης του σημερινού παγκοσμίου ιστού.
- Το σύνολο των στρατηγιών που λαμβάνονται υπόψη είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο της προηγούμενης εργασίας μας. Συγκριτικά με την προηγούμενη εργασία μας, μελετάμε, ως προς την αποδοτικότητά τους, τις επιπρόσθετες στρατηγιές: A-AGING, SLRU, LRU*, LRU-SP, LRU-SP-LAT, GD*, gGDSF, TSP, LUV, LRU-S, LRU-C, LRU-CS, RAND-MIX. Συνολικά, ο αριθμός τους ανέρχεται σε 45 στρατηγιές και περιπτώσεις στρατηγιών.
- Στα πειράματα που πραγματοποιούμε σε αυτήν την αναβαθμισμένη εργασία μας, ρυθμίζουμε τις παραμέτρους των παραμετροποιημένων στρατηγιών ξεχωριστά για τον κάθε διαδικτυακό φόρτο που προσομοιώνουμε, με γνώμονα την επίτευξη της καλύτερης, δυνατής επίδοσης για τις στρατηγιές αυτές. Αντίθετα, στην παλαιότερη εργασία μας χρησιμοποιήσαμε εκείνες τις τιμές των παραμέτρων, όπως ακριβώς προτάθηκαν από προηγούμενες έρευνες.
- Στην παλαιότερη εργασία μας, λάβαμε υπόψη το δείκτη μείωσης καθυστέρησης LR ως μια επιπρόσθετη εκροή – δηλαδή ισχυρε $s = 3$, όσον αφορά στο μοντέλο ΠΑΔ των εξισώσεων 5.5. Στο βελτιωμένο μοντέλο μας, επιλέγουμε να μη λάβουμε υπόψη τη συγκεκριμένη εκροή, δεδομένου ότι οι δείκτες HR και BHR αποτελούν μια έμμεση ένδειξη του μειωμένου χρόνου που αντιλαμβάνεται ο χρήστης και – το σημαντικότερο –

οι τιμές τους παραμένουν σταθερές και είναι ανεξάρτητες από τις ευμετάβλητες συνθήκες που επηρεάζουν τις καθυστερήσεις στο Διαδίκτυο.

- Περιορίζουμε το εύρος των τιμών που μπορεί να πάρει το μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Ως γνωστό, οι στρατηγικές λειτουργούν εύρυθμα μόνο στην περίπτωση που η μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης είναι αρκετά μικρή, ώστε η λειτουργία της αντικατάστασης των διαδικτυακών αντικειμένων να θεωρείται καθοριστική για τις επιδόσεις, αλλά και την αποδοτικότητα, της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης. Στην περίπτωση όπου το μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης ξεπεράσει κάποιο άνω φράγμα, σε σχέση με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του αρχείου ιχνών, η λειτουργία της αντικατάστασης περιεχομένου τερματίζεται. Το φαινόμενο αυτό γίνεται αντιληπτό κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων με την ΠΑΔ, όταν όλες οι υπό μελέτη στρατηγικές εμφανίζονται να είναι αποδοτικές¹⁶. Ένα τρανταχτό παράδειγμα αυτού του φαινομένου παρατηρούμε στον πίνακα 5.14, για την περίπτωση όπου το μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης είναι ίσο με το 50% του απεριόριστου μεγέθους μνήμης – δηλαδή, του ελάχιστου μεγέθους μνήμης που απαιτείται, ώστε να μην απαιτηθεί η χρήση κάποιας στρατηγικής – για το αρχείο ιχνών BERKELEY.
- Χρησιμοποιούμε το τροποποιημένο, προσανατολισμένο στις ειροές, μοντέλο BCC της ΠΑΔ, το οποίο είναι σε θέση να εκτιμήσει την υπερ-αποδοτικότητα (super-efficiency) των ΜΛΑ. Η εκτίμηση της υπερ-αποδοτικότητας μας δίνει τη δυνατότητα για επιπλέον κατάταξη των αποδοτικών ΜΛΑ [And93, Cook09]. Με αυτόν τον τρόπο, ξεπερνάμε την αδυναμία του κλασικού μοντέλου ΠΑΔ, που περιγράφεται από τις εξισώσεις 5.5, να διαχωρίσει περαιτέρω τις αποδοτικές ΜΛΑ, δηλαδή τις αποδοτικές στρατηγικές. Η μοναδική διαφορά της μαθηματικής έκφρασης του μοντέλου της υπερ-αποδοτικότητας σε σχέση με αυτή του συμβατικού μοντέλου ΠΑΔ, που εκφράζεται από τις εξισώσεις 5.5, εντοπίζεται στην εξαίρεση της υπό εκτίμηση ΜΛΑ στους περιορισμούς. Έτσι, το προσανατολισμένο στις ειροές μοντέλο BCC της ΠΑΔ για την εκτίμηση της υπερ-αποδοτικότητας δίνεται από τις παρακάτω εξισώσεις 5.6:

¹⁶ Αυτό το φαινόμενο συνιστά έναν ακόμη λόγο, ώστε να ακολουθήσουμε την τεχνική της ομαδοποίησης ανά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, κατά την αξιολόγηση μέσω της ΠΑΔ. Όπως θα δούμε κατά την αξιολόγηση με χρήση του γενικευμένου μοντέλου ΠΑΔ, στην παράγραφο 5.4.2, ένας μεγάλος αριθμός στρατηγιών εμφανίζονται να είναι αποδοτικές στο μεγαλύτερο μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης – δηλαδή 35% – για κάποια αρχεία ιχνών, γεγονός που υπονοεί ότι ίσως προσεγγίσαμε το όριο της ομαλής λειτουργίας των στρατηγιών.

$$\max \theta$$

υπό την προϋπόθεση (5.6)

$$\theta y_{j_0 r} - \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j + S_{j_0 r} = 0, \quad r = 1, 2, \dots, s, \quad j \neq j_0$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - x_{j_0 i} + S'_{j_0 i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j \neq j_0$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad S'_{j_0 i} \geq 0, \quad S_{j_0 r} \geq 0, \quad \forall j, j_0, i, r$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \quad \forall j \neq j_0.$$

Αυτή η πρώτη τεχνική αξιολόγησης της αποδοτικότητας των στρατηγιών, αν και είναι πολύ χρήσιμη για να δώσει απάντηση στο βασικό ερώτημα που μας απασχολεί και αφορά στην ανεύρεση των πραγματικά αποδοτικών στρατηγιών, παρουσιάζει ένα μικρό μειονέκτημα. Δεν επιτρέπει τη σύγκριση της αποδοτικότητας μιας στρατηγικής με τον εαυτό της στα διαφορετικά μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Κατά αυτόν τον τρόπο, μας δίνεται η δυνατότητα να απομονώσουμε μια ή περισσότερες αποδοτικές στρατηγικές, αλλά και να αξιολογήσουμε κάτω από ποιες ακριβώς συνθήκες κόστους λειτουργούν αυτές. Ως εκ τούτου, μπορούμε να προτείνουμε μια πληρέστερη επίλυση του προβλήματος.

Έτσι, για να αποκτήσουμε μια πληρέστερη εικόνα σχετικά με την αποδοτικότητα των στρατηγιών, καταφεύγουμε στην επίλυση ενός γενικευμένου, προσανατολισμένου στις εκροές μοντέλου BCC της ΠΑΔ, όπου ξεχνάμε την ομαδοποίηση κατά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η μαθηματική έκφραση αυτού του γενικευμένου μοντέλου ΠΑΔ είναι αυτή των εξισώσεων 5.5. Όσον αφορά σε αυτή τη δεύτερη τεχνική αξιολόγησης της αποδοτικότητας των στρατηγιών, εκτελούμε το μοντέλο ΠΑΔ τόσο για τα παλιά, όσο και για τα σύγχρονα αρχεία ιχνών, ώστε να αποκομίσουμε μια διαχρονική εικόνα.

5.3 Οργάνωση Πειραμάτων Αξιολόγησης των Στρατηγιών Αντικατάστασης

Όλα τα πειράματα προσομοίωσης που αφορούν στην αξιολόγηση της αποδοτικότητας των στρατηγιών αντικατάστασης περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού με χρήση της ΠΑΔ πραγματοποιήθηκαν στον ίδιο ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος διέθετε επεξεργαστή τύπου Pentium IV, 64-bit, με χρονισμό 3.2 GHz και μνήμη RAM ίση με 1 GB. Πραγματοποιήθηκαν στον αναβαθμισμένο προσομοιωτή του Wisconsin για στρατηγικές

αντικατάστασης αντικειμένων σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού, ο οποίος ‘έτρεχε’ πάνω σε πλατφόρμα Ubuntu Linux, με μεταγλωττιστή GNU C.

ΑΠΛΗ ΟΥΡΑ	ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΟΥΡΕΣ	ΟΥΡΑ ΠΡΟΤΕΡΑΙΟΤΗΤΑΣ	ΚΑΜΙΑ
FIFO LRU, LRU-MIN LRU* LRU-S, LRU-C, LRU-CS	PSS PSS-LAT LRU-SP LRU-SP-LAT PART-LRU SLRU	SIZE LFU (In-cache) A-AGING (In-cache), LFU-DA LLF (ή, LAT), HYBRID, EXP1 GDS, GDSF, GDF, GD*, g-GDSF M-METRIC, MIX, TSP, LUV RAND-MIX	RAND

Πίνακας 5.1. Οι στρατηγιές που λαμβάνονται υπόψη στα πειράματα, ταξινομημένες ως προς τη δομή δεδομένων που χρησιμοποιούν για τη διαχείριση της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης

Ο πίνακας 5.1 παρουσιάζει τις στρατηγιές που αξιολογούνται ως προς την απόδοσή τους βάσει της περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων. Συνολικά, 45 στρατηγιές και εκδοχές στρατηγιών – δηλαδή, GDS(1), GDF(latency), GDSF(hops), GD*(packets), g-GDSF(1) κλπ. – λαμβάνονται υπόψη στα παρακάτω πειράματα.

5.3.1 Αρχεία Εισόδου Προσομοίωσης με Ίχνη Δραστηριότητας Παγκοσμίου Ιστού

5.3.1.1 Δραστηριότητα του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου στη Βοστώνη

Η δραστηριότητα που καταγράφηκε στο τμήμα πληροφορικής του πανεπιστημίου στη Βοστώνη [Cunh95] είναι η παλιότερη γνωστή καταγεγραμμένη δραστηριότητα που αφορά στην έρευνα πάνω στην ενδιάμεση αποθήκευση περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού. Η καταγραφή και οργάνωσή της σε αρχεία ιχνών αποσκοπούσε στην ταυτοποίηση μιας σειράς στατιστικών στοιχείων και χαρακτηριστικών, που σχετίζονταν με τη χρήση και την πλοήγηση στον πρώιμο παγκόσμιο ιστό της εποχής.

Σύμφωνα με τους Cunha et al. [Cunh95], δύο εργαστήρια του τμήματος πληροφορικής του πανεπιστημίου της Βοστώνης – με ονόματα Αίθουσα 272 και Αίθουσα B19 – αξιοποιήθηκαν στη διαδικασία συλλογής των δεδομένων για τη δημιουργία των αρχείων ιχνών.

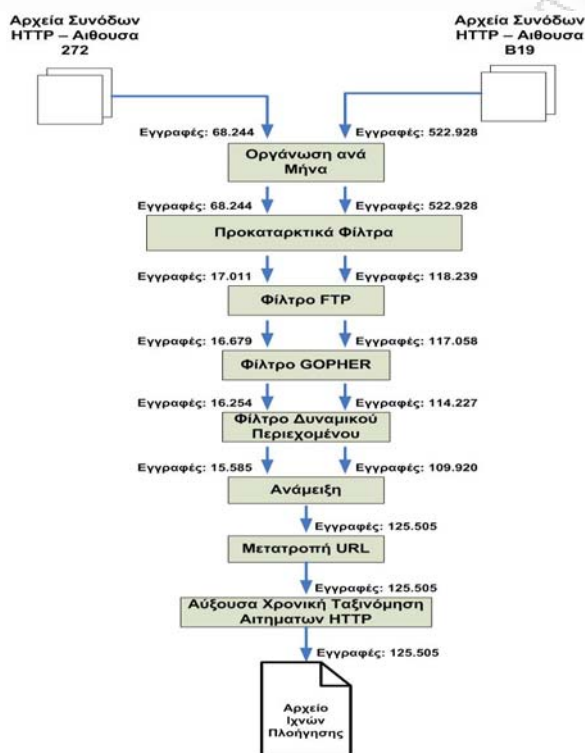
Όσον αφορά στη μεθοδολογία συλλογής των ιχνών της δραστηριότητας, ο φυλλομετρητής Mosaic τροποποιήθηκε, ώστε να αποθηκεύει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με την πλοήγηση των χρηστών. Τα παραγόμενα αρχεία μεταφέρονταν σε κεντρικές μονάδες αποθήκευσης για περαιτέρω στατιστική ανάλυση και επεξεργασία.

Κατά τη διάρκεια της συλλογής παρουσιάστηκε ένα αναπόφευκτο εμπόδιο: ο Mosaic έπαψε να αποτελεί τον κυρίαρχο φυλλομετρητή και ο Netscape πήρε τη θέση του στις προτιμήσεις των περισσότερων χρηστών. Το γεγονός αυτό οδήγησε σε μια τμηματική αντίληψη της πλοήγησης των χρηστών στον παγκόσμιο ιστό, για μια χρονική περίοδο της τάξεως των 2 ½ μηνών. Για αυτό το πείραμα λήφθηκε υπόψη μόνο το κομμάτι του καταγεγραμμένου φόρτου που αφορούσε στην περίοδο υπεροχής του Mosaic. Αυτή η περίοδος καλύπτει το χρονικό διάστημα μεταξύ 21 Νοεμβρίου 1994 και 28 Φεβρουαρίου 1995 για το εργαστήριο 272 και από 1 Ιανουαρίου 1995 μέχρι 28 Φεβρουαρίου 1995 για το εργαστήριο B19.

Με τον τρόπο που καταγράφηκε η διαδικτυακή δραστηριότητα του τμήματος πληροφορικής του πανεπιστημίου στη Βοστώνη, υπήρξαν κάποια προβλήματα, που έπρεπε να ξεπεραστούν. Τα προβλήματα αυτά απαριθμούνται και παρουσιάζονται στην παρακάτω λίστα:

- Ο καταγεγραμμένος φόρτος ήταν κατακερματισμένος σε μια σειρά από διάσπαρτα αρχεία συνόδων HTTP οργανωμένα ανά μήνα, μέσα σε δύο κύριους καταλόγους, έναν για κάθε εργαστήριο. Απαιτήθηκε, λοιπόν, μια καλύτερη οργάνωσή του, ώστε να γίνει περισσότερο αποδοτική η επεξεργασία που θα τον έφερε στην τελική μορφή του ενός μοναδικού αρχείου εισόδου προς προσομοίωση.
- Οι φοιτητές του τμήματος πληροφορικής χρησιμοποιούσαν διάφορες εφαρμογές του Διαδικτύου, εκτός από τον παγκόσμιο ιστό. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκαν ίχνη δραστηριότητας FTP και GOPHER.
- Ο φόρτος περιλάμβανε πολλά δυναμικά αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού, τα οποία είναι αδύνατο να γίνουν αποδεκτά από μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, με αποτέλεσμα η προσομοίωσή τους να είναι ανούσια.
- Πολλά από τα αιτήματα που καταγράφηκαν εξυπηρετήθηκαν από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης του φυλλομετρητή. Υπήρχαν ελλιπή στοιχεία για όλα τα αντικείμενα που αφορούσαν τα εν λόγω αιτήματα και για αυτό έπρεπε να απομακρυνθούν από το τελικό αρχείο.
- Υπήρχε μεγάλη ασυμβατότητα με τον προσομοιωτή εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης του Wisconsin. Η ασυμβατότητα αυτή ήταν τόσο τυπική, που αφορούσε

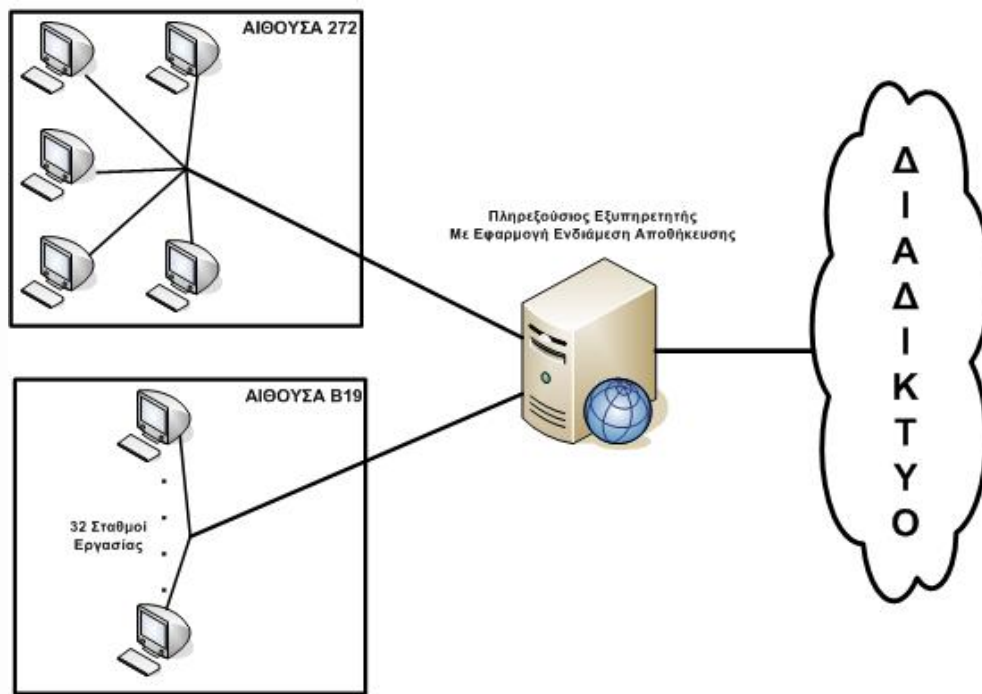
στην οργάνωση των πεδίων στη σωστή σειρά μέσα στις εγγραφές, όσο και ουσιαστική που απαιτούσε τη μετατροπή του κάθε ομοιόμορφου εντοπιστή πόρων (Uniform Resource Locator - URL) σε ταυτότητα εξυπηρετητή και μονοπατιού εντός του εξυπηρετητή, ώστε να μπορεί να τα διαβάσει ο προσομοιωτής.



Σχήμα 5.2. Τα στάδια της επεξεργασίας της καταγεγραμμένης διαδικτυακής δραστηριότητας στο τμήμα πληροφορικής του πανεπιστημίου στη Βοστώνη

Το σχήμα 5.2 περιγράφει λεπτομερώς όλα τα στάδια της επεξεργασίας που πραγματοποιήθηκε πάνω στον αρχικό, καταγεγραμμένο φόρτο, ώστε να προκύψει το τελικό αρχείο προσομοίωσης. Τελικά, ύστερα από την επεξεργασία που έλαβε χώρα, προέκυψε το τελικό αρχείο με ίχνη δραστηριότητας του παγκοσμίου ιστού, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως είσοδος, για τον προσομοιωτή του Wisconsin. Κάποια βασικά στατιστικά στοιχεία για το αρχείο αυτό – το οποίο θα ονομάζουμε BOSTON για το υπόλοιπο του κεφαλαίου – είναι τα ακόλουθα: Στην αίθουσα 272 παρατηρήθηκαν 527 σύνοδοι παγκοσμίου ιστού από 42 μεταπτυχιακούς φοιτητές με 5 διαθέσιμους σταθμούς εξυπηρέτησης. Στην αίθουσα Β19 παρατηρήθηκαν 4.173 σύνοδοι παγκοσμίου ιστού από 558 πτυχιακούς φοιτητές με 32 διαθέσιμους σταθμούς εξυπηρέτησης. Αθροιστικά, πραγματοποιήθηκαν 125.505 αιτήματα HTTP προς 2.580 πηγαίους εξυπηρετητές.

Το σχήμα 5.3 απεικονίζει το τελικό δικτυακό περιβάλλον, που θα προσομοιωθεί από τον αναβαθμισμένο προσομοιωτή του Wisconsin. Στην ουσία προσομοιώνουμε μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης που βρίσκεται ανάμεσα στα δύο εργαστήρια και το Διαδίκτυο.



Σχήμα 5.3. Το δίκτυο προς προσομοίωση του τμήματος πληροφορικής του πανεπιστημίου στη Βοστώνη, από όπου συγκεντρώθηκαν τα ίχνη της δραστηριότητας του παγκοσμίου ιστού

5.3.1.2 Δραστηριότητα από Πληρεξούσιους Εξυπηρετητές Παγκοσμίου Ιστού της Digital

Το αρχείο ιχνών από τους πληρεξούσιους εξυπηρετητές της εταιρείας Digital Equipment [Kro96] που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα προσομοίωσης για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των στρατηγικών αντικατάστασης αντικειμένων καλύπτει μια περίοδο 4 ημερών – από 19 έως 22 Σεπτεμβρίου 1996 – με συναλλαγές που αφορούσαν μια μεγάλη ποικιλία διαδικτυακών πρωτοκόλλων εφαρμογής. Οι συναλλαγές συγκεντρώθηκαν από δύο πληρεξούσιους εξυπηρετητές, που εκτελούσαν μια τροποποιημένη έκδοση του λογισμικού Squid [Wess04]. Στην ουσία, προσομοιώνουμε ένα φανταστικό πληρεξούσιο εξυπηρετητή, που υποκαθιστά αυτούς τους δύο πληρεξούσιους εξυπηρετητές από τους οποίους λήφθηκε ο αρχικός φόρτος.

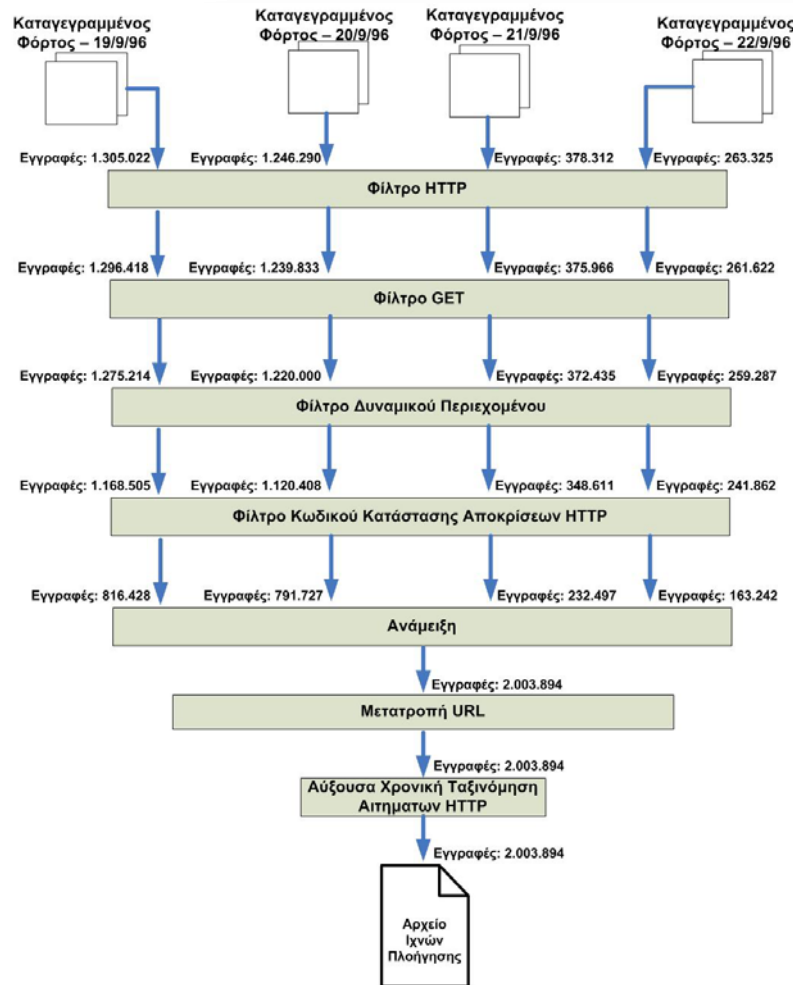
Προβήκαμε στην επεξεργασία και το φιλτράρισμα του αρχικού καταγεγραμμένου φόρτου, ώστε να αποκτήσουμε το τελικό αρχείο ιχνών δραστηριότητας παγκοσμίου ιστού για είσοδο στον προσομοιωτή του Wisconsin. Η επεξεργασία και το φιλτράρισμα

βασίστηκαν στις πληροφορίες που παρείχε ο αρχικός φόρτος και ακολούθησε τους παρακάτω κανόνες, οι περισσότεροι από τους οποίους προκύπτουν από τα επίσημα διαδικτυακά πρότυπα RFC1945 [Bern96] και RFC2616 [Fiel99] του παγκοσμίου ιστού:

- Από όλα τα πρωτόκολλα εφαρμογής λαμβάνεται υπόψη μόνο το πρωτόκολλο HTTP στις διάφορες εκδόσεις του, το οποίο αφορά τον παγκόσμιο ιστό.
- Μόνο τα αίτημα HTTP που περιέχουν τη μέθοδο GET αφορούν αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού, που μπορούν να αποθηκευτούν από μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού. Όλες οι συναλλαγές που σχετίζονται με διαφορετική μέθοδο – π.χ. POST, HEAD – δε λαμβάνονται υπόψη.
- Όλες οι συναλλαγές που αφορούν δυναμικό περιεχόμενο, το οποίο είναι πρακτικά ανώφελο να αποθηκευτεί από μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης – φιλτράρονται και αποκλείονται. Η ανίχνευση του δυναμικού περιεχομένου στις συναλλαγές στηρίχθηκε, κυρίως, στην παρουσία των γραμματοσειρών ".cgi", "cgi-bin" ή "?" στα URL των αιτημάτων HTTP.
- Από τις αποκρίσεις HTTP, μόνο όσες περιέχουν τους κωδικούς κατάστασης 200 (OK), 203 (Non-Authoritative Information), 206 (Partial Content), 300 (Multiple Choices), 301 (Moved Permanently) and 410 (Gone) θεωρούνται ότι μπορούν να αποθηκευτούν από μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Το τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας του αρχικού φόρτου περιλάμβανε τη μετατροπή του κάθε URL σε κωδικό πηγαίου εξυπηρετητή και κωδικό μονοπατιού αντίστοιχα, ώστε να υπάρχει συμβατότητα με τον προσομοιωτή. Πραγματοποιήθηκε, επίσης, η ταξινόμηση κατά αύξουσα χρονική σειρά όλων των αιτημάτων HTTP. Το σχήμα 5.4 δίνει τη συνολική εικόνα με όλα τα στάδια της επεξεργασίας και του φιλτραρίσματος στον αρχικό φόρτο, με τη σειρά που πραγματοποιήθηκαν.

Το τελικό αρχείο ιχνών δραστηριότητας παγκοσμίου ιστού, που χρησιμοποιήθηκε ως είσοδος στον προσομοιωτή Wisconsin – το οποίο θα ονομάζουμε DIGITAL για το υπόλοιπο του κεφαλαίου – αποτελείται από 2.003.894 συναλλαγές, που αφορούν σε 33.334 πηγαίους εξυπηρετητές και 885.231 διαφορετικά αντικείμενα.



Σχήμα 5.4. Τα στάδια της επεξεργασίας της καταγεγραμμένης διαδικτυακής δραστηριότητας στους πληρεξούσιους της εταιρείας Digital Equipment

5.3.1.3 Δραστηριότητα του Πανεπιστημίου Berkeley

Ο διαδικτυακός φόρτος του Πανεπιστημίου Berkeley [Grib97] συγκεντρώθηκε κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 20 ημερών – από την 1^η έως τη 19^η Νοεμβρίου 1996. Ο φόρτος αφορά στη δραστηριότητα στον παγκόσμιο ιστό από την κατ' οίκον παροχή διαδικτυακών υπηρεσιών. Κατά τη διάρκεια των συναλλαγών στον παγκόσμιο ιστό, το πρωτόκολλο HTTP/1.0 ήταν το κυρίαρχο, αν και οι εκδόσεις HTTP/1.1 και HTTP/0.9 χρησιμοποιήθηκαν επίσης, αλλά σε αμελητέα κλίμακα.

Για τη δημιουργία του τελικού αρχείου ιχνών δραστηριότητας παγκοσμίου ιστού προς προσομοίωση, πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία και το φιλτράρισμα του αρχικού φόρτου, που βασίστηκαν στις πληροφορίες που παρείχε ο αρχικός φόρτος, στις επίσημες προδιαγραφές του πρωτοκόλλου HTTP [Bern96, Fiel99], και στις λεπτομερείς οδηγίες του Wessels [Wess01], σχετικά με τα αντικείμενα που μπορούν να αποθηκευτούν από μια

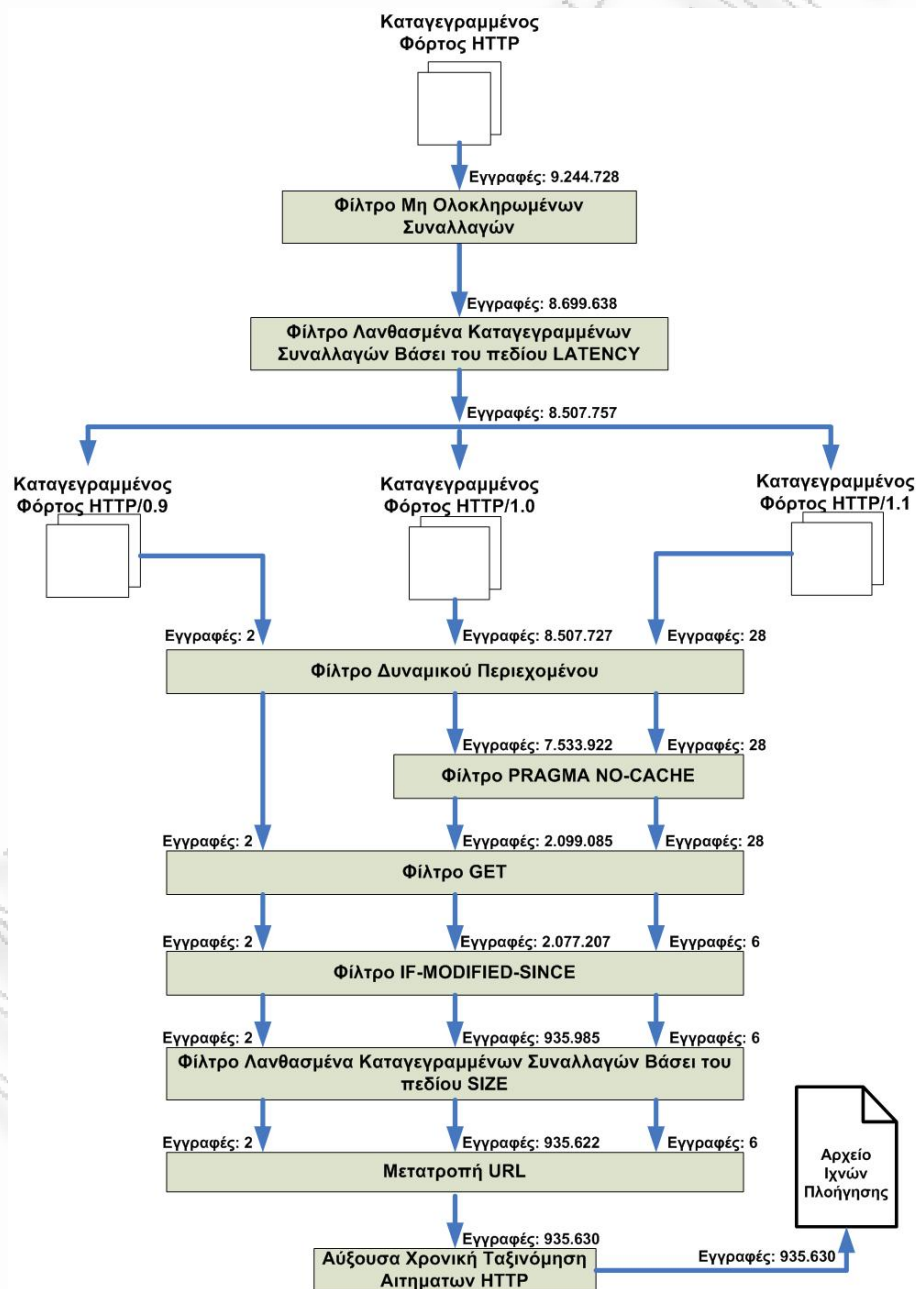
εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Οι βασικοί κανόνες για το φιλτράρισμα αναφέρθηκαν προηγουμένως, στην παράγραφο 5.3.1.2 για την περίπτωση του αρχείου DIGITAL. Κάποιοι πρόσθετοι κανόνες, που στηρίζονται στην αναλυτικότερη πληροφόρηση, που δίνει ο συγκεκριμένος φόρτος, είναι οι παρακάτω:

- Καταρχήν, διαγράφονται όλες οι συναλλαγές που έχουν καταγραφεί λανθασμένα από το σύστημα καταγραφής του φόρτου.
- Ό,τι αφορά στο πρωτόκολλο HTTP/0.9 θεωρείται πως μπορεί να αποθηκευτεί από μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, δεδομένου ότι το εν λόγω πρωτόκολλο ακολουθεί μόνο τη μέθοδο GET. Ως εκ τούτου, όλα τα σχετικά αιτήματα λαμβάνονται υπόψη στο τελικό αρχείο ιχνών.
- Στην περίπτωση του HTTP/1.0, η ύπαρξη της οδηγίας PRAGMA με τιμή NO-CACHE στις επικεφαλίδες HTTP του αιτήματος ή της απόκρισης παραπέμπουν σε αντικείμενο του παγκοσμίου ιστού, που δε μπορεί να αποθηκευτεί από μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Αντίθετα, αν το πρωτόκολλο είναι το HTTP/1.1, η συγκεκριμένη οδηγία δεν έχει καμία επίδραση στην περίπτωση των αποκρίσεων. Επομένως, το αντικείμενο μπορεί να αποθηκευτεί στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης. Στην περίπτωση των αιτημάτων HTTP/1.1 με οδηγία PRAGMA NO-CACHE, το αντικείμενο θεωρείται ως μη αποθηκεύσιμο.
- Όλα τα υπό συνθήκη αιτήματα HTTP – δηλαδή, αυτά που περιέχουν την επικεφαλίδα IF-MODIFIED-SINCE – που παράγουν αποκρίσεις χωρίς κυρίως σώμα μηνύματος – δηλαδή, ισχύει για την επικεφαλίδα DATALENGTH=0 – ή που οδηγούν σε αποκρίσεις με αμελητέου μεγέθους κύριο σώμα – δηλαδή, ισχύει για την επικεφαλίδα DATALENGTH=1 – διαγράφονται από το φόρτο. Αυτός ο κανόνας επιτρέπει, μεταξύ άλλων, την ανίχνευση και τον αποκλεισμό όλων των αιτημάτων που εξυπηρετήθηκαν απευθείας από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης του φυλλομετρητή.
- Διαγράφονται όλες οι συναλλαγές για τις οποίες το πρωτόκολλο είναι το HTTP/1.0 και υπάρχει η επικεφαλίδα EXPIRES με μηδενική τιμή. Αυτός ο συνδυασμός απαγορεύει την αποθήκευση του αντικειμένου από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Το τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας του αρχικού φόρτου περιλάμβανε τη μετατροπή του κάθε URL σε κωδικό πηγαίου εξυπηρετητή και κωδικό μονοπατιού

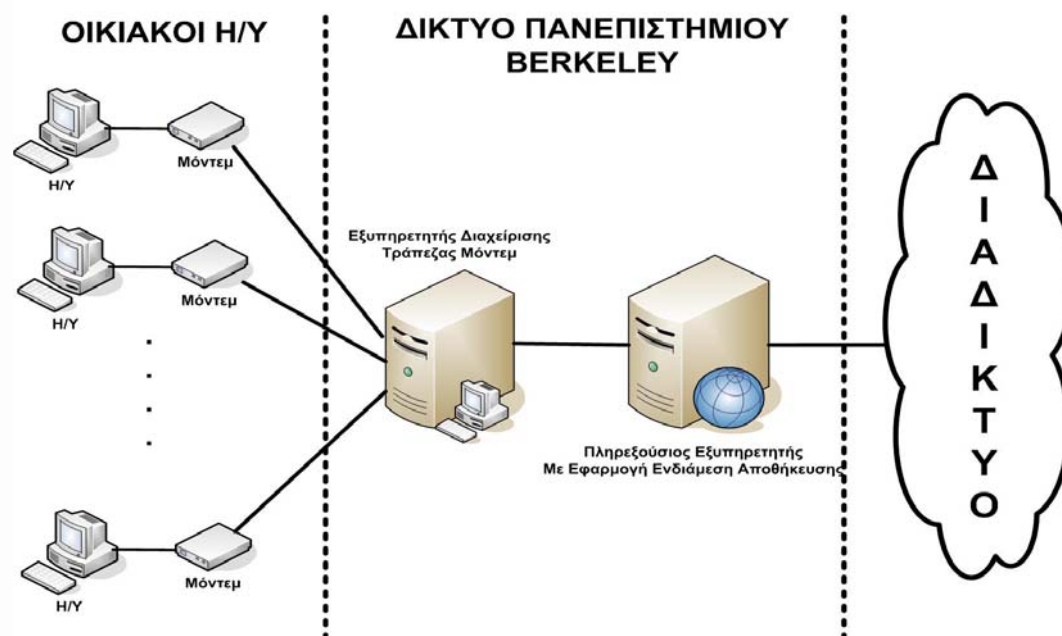
αντίστοιχα, ώστε να υπάρχει συμβατότητα με τον προσομοιωτή. Πραγματοποιήθηκε, επίσης, η ταξινόμηση κατά αύξουσα χρονική σειρά όλων των αιτημάτων HTTP.

Το σχήμα 5.5 δίνει τη συνολική εικόνα με όλα τα στάδια της επεξεργασίας και του φιλτραρίσματος στον αρχικό φόρτο, με τη σειρά που πραγματοποιήθηκαν. Το τελικό αρχείο ιχνών δραστηριότητας παγκοσμίου ιστού – και το οποίο στο εξής θα ονομάζουμε BERKELEY – αποτελείται από 935.630 συναλλαγές, που αφορούν σε 27.674 μοναδικούς πηγαίους εξυπηρετητές και 341.760 διαφορετικά αντικείμενα.



Σχήμα 5.5. Τα στάδια της επεξεργασίας της καταγεγραμμένης διαδικτυακής δραστηριότητας του πανεπιστημίου Berkeley

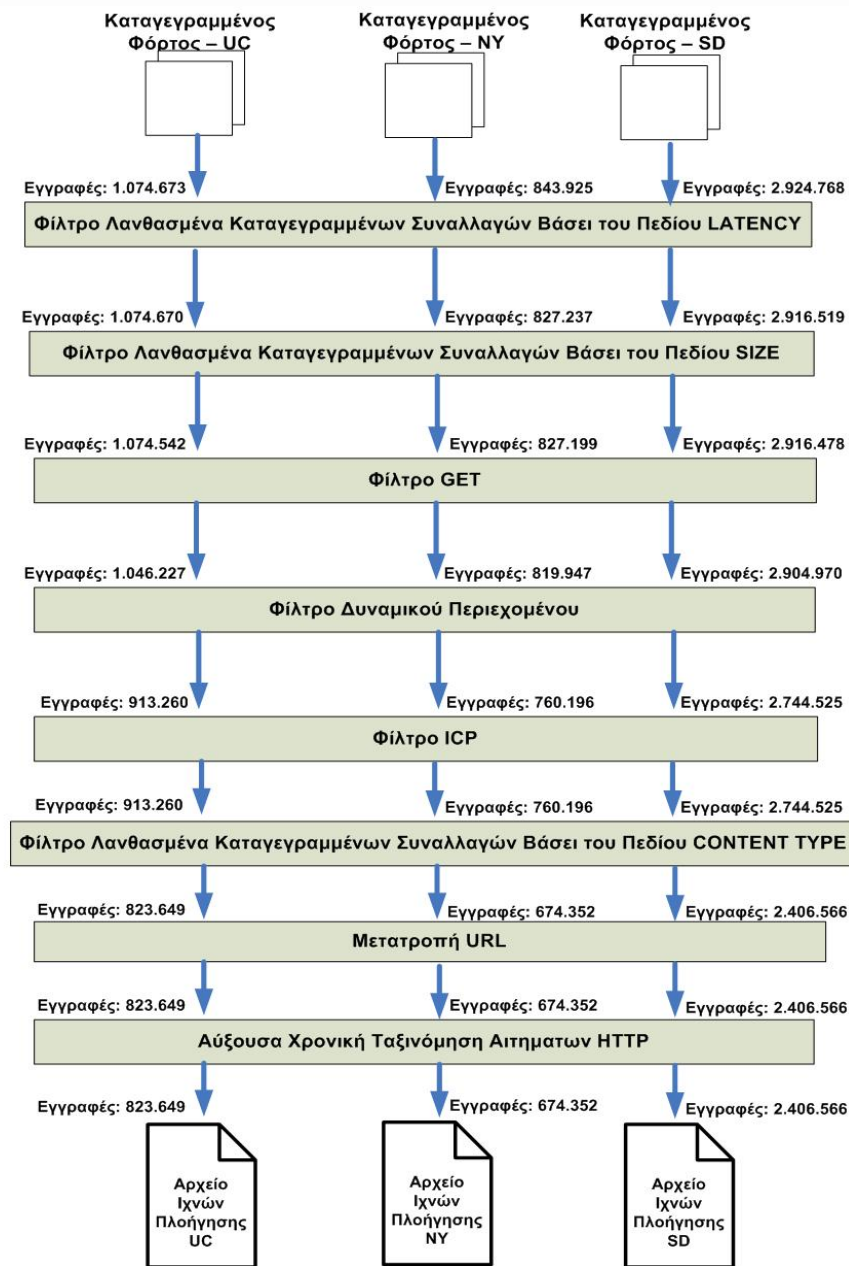
Το σχήμα 5.6 απεικονίζει το τελικό δικτυακό περιβάλλον που θα προσομοιωθεί από τον αναβαθμισμένο προσομοιωτή του Wisconsin. Στην ουσία προσομοιώνουμε μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, που βρίσκεται αμέσως μετά από έναν εξυπηρετητή, ο οποίος διαχειρίζεται τις συνδέσεις μέσω μόντεμ, που πραγματοποιούνται από τους οικιακούς υπολογιστές των φοιτητών του πανεπιστημίου.



Σχήμα 5.6. Το δίκτυο του Berkeley που προσομοιώνεται από τον προσομοιωτή του Wisconsin

5.3.1.4 Δραστηριότητα Παγκοσμίου Ιστού από τους Πληρεξούσιους του Δικτύου NLANR

Ο φόρτος που καταγράφηκε από τους πληρεξούσιους εξυπηρετητές του δικτύου NLANR [Nat07] αφορά σε δραστηριότητα παγκοσμίου ιστού. Σε αντίθεση με τις παραπάνω περιπτώσεις φόρτων, η περίπτωση του εν λόγω φόρτου αντιπροσωπεύει σε πολύ μεγάλο βαθμό τη δραστηριότητα του παγκοσμίου ιστού που παρατηρείται στη σημερινή εποχή, δεδομένου ότι η συλλογή του πραγματοποιήθηκε κατά την 9^η και 10^η Ιανουαρίου 2007. Για τις ανάγκες των πειραμάτων για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των στρατηγικών αντικατάστασης περιεχομένου δημιουργήθηκαν τρία αρχεία ιχνών προς προσομοίωση, που προέρχονται από την επεξεργασία και το φιλτράρισμα του φόρτου, που καταγράφηκε στους πληρεξούσιους εξυπηρετητές: uc.us.ircache.net, που βρίσκεται στην περιοχή Urbana-Campaign του Illinois, ny.us.ircache.net, που βρίσκεται στην πόλη της Νέας Υόρκης και sd.us.ircache.net, που βρίσκεται στο Σαν Ντιέγκο της Καλιφόρνια.



Σχήμα 5.7. Τα στάδια της επεξεργασίας της καταγεγραμμένης δραστηριότητας παγκοσμίως ιστού από τους τρεις πληρεξούσιους του δικτύου NLANR

Στο σχήμα 5.7 απεικονίζονται όλα τα στάδια της επεξεργασίας και του φιλτραρίσματος των καταγεγραμμένων φόρτων, με τη σειρά που πραγματοποιήθηκαν. Και στην περίπτωση αυτή, το φιλτράρισμα στηρίχθηκε στην πληροφόρηση που παρείχε ο ίδιος ο καταγεγραμμένος φόρτος. Το τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας των αρχικών φόρτων περιλάμβανε τη μετατροπή του κάθε URL σε κωδικό πηγαίου εξυπηρετητή και κωδικό μονοπατιού αντίστοιχα, ώστε να υπάρχει συμβατότητα με τον προσομοιωτή.

Πραγματοποιήθηκε, επίσης, η ταξινόμηση κατά αύξουσα χρονική σειρά όλων των αιτημάτων HTTP.

Τα βασικά στατιστικά στοιχεία των τριών παραγόμενων αρχείων ιχνών, τα οποία στο εξής θα ονομάζουμε UC, NY και SD αντίστοιχα, είναι τα ακόλουθα: Το αρχείο ιχνών UC περιλαμβάνει 823.649 αιτήματα προς εξυπηρέτηση που αφορούν σε 47.210 εξυπηρετητές και 390.525 αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού. Το αρχείο ιχνών NY περιλαμβάνει 674.352 αιτήματα προς εξυπηρέτηση, που αφορούν σε 59.139 εξυπηρετητές και 451.779 αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού. Το αρχείο ιχνών SD περιλαμβάνει 2.406.556 αιτήματα προς εξυπηρέτηση, που αφορούν σε 77.092 εξυπηρετητές και 1.456.777 αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού.

5.3.2 Αντιμετώπιση των Παραμετροποιημένων Στρατηγικών

Από τις στρατηγικές αντικατάστασης περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού που έχουν προταθεί κατά καιρούς και που λαμβάνουμε υπόψη μας στα πειράματα που ακολουθούν, κάποιες παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό παραμετροποίησης. Στις περισσότερες των περιπτώσεων και με κάποιες εξαιρέσεις, οι στρατηγικές αυτές είναι συναρτησιακές και χρησιμοποιούν έναν ή περισσότερους σταθμιστές, που υποδηλώνουν τη βαρύτητα των βασικών παραμέτρων στον υπολογισμό τις αξίας των αντικειμένων για την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Όσον αφορά στην αντιμετώπιση των παραμετροποιημένων στρατηγικών, προσπαθούμε να βρούμε εκείνο το συνδυασμό στις τιμές των σταθμιστών που δίνει τις καλύτερες τιμές στους υπό μελέτη δείκτες επίδοσης HR και BHR. Δεδομένου ότι οι δείκτες HR και BHR έχουν την ίδια βαρύτητα ως προς την αναζήτηση της αποδοτικότερης στρατηγικής, χρησιμοποιούμε την απλή μεθοδολογία του μέσου όρου, ώστε να αποφασίσουμε για το συνδυασμό τιμών που δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα. Δηλαδή, για κάθε τιμή ή συνδυασμό τιμών στους σταθμιστές της εκάστοτε παραμετροποιημένης στρατηγικής που προσομοιώνεται, υπολογίζεται ο κοινός μέσος όρος των τιμών HR και BHR για όλα τα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Στο τέλος, επιλέγεται εκείνος ο συνδυασμός τιμών, ή η τιμή που δίνει το μέγιστο μέσο όρο. Στην εξαιρετικά σπάνια περίπτωση που ο μέγιστος μέσος όρος παρατηρηθεί για περισσότερες από μια φορές, επιλέγεται εκείνος ο συνδυασμός τιμών, ή η τιμή που εμφανίζει τα περισσότερα τοπικά μέγιστα ανά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης που προσομοιώνεται.

ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΜΝΗΜΗΣ								
		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
3	HR	43,25	43,51	43,63	43,68	43,56	43,48	43,32	42,92	41,89
	BHR	24,88	25	25,05	24,95	24,95	24,9	25,37	24,94	24,29
5	HR	45,16	45,28	45,39	45,46	45,47	45,41	45,16	44,87	44,25
	BHR	27,28	27,35	27,53	27,83	27,88	27,72	27,89	27,89	27,37
10	HR	49,33	49,48	49,53	49,56	49,64	49,6	49,52	49,46	49,39
	BHR	33,82	34,04	34,39	34,21	34,39	34,39	34,39	34,35	34,21
15	HR	52,78	52,86	52,95	52,99	53,03	53,03	53,01	53	53
	BHR	38,69	38,97	39,19	39,22	39,25	39,25	39,23	39,23	39,23
20	HR	57,06	57,18	57,21	57,22	57,22	57,23	57,23	57,23	57,23
	BHR	44	44,25	44	44,03	44,03	44,04	44,04	44,04	44,04
25	HR	61,24	61,29	61,26	61,27	61,28	61,28	61,28	61,28	61,28
	BHR	48,96	48,85	48,85	48,86	48,86	48,86	48,86	48,86	48,86
30	HR	64,7	64,75	64,72	64,74	64,74	64,74	64,74	64,74	64,74
	BHR	53,6	53,64	53,55	53,55	53,55	53,55	53,55	53,55	53,55
35	HR	69,49	69,49	69,48	69,48	69,48	69,48	69,48	69,48	69,48
	BHR	58,69	58,7	58,7	58,7	58,7	58,7	58,7	58,7	58,7
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ =		48,31	48,42	48,46	48,48	48,50	48,48	48,49	48,41	48,22

Πίνακας 5.2. Παράδειγμα της μεθοδολογίας των μέσων όρων για την επιλογή της καλύτερης τιμής στο ποσοστό του προστατευόμενου τμήματος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για την SLRU

Στον πίνακα 5.2 δίνεται ένα παράδειγμα της μεθοδολογίας των μέσων όρων που περιγράφτηκε παραπάνω. Το παράδειγμα αφορά στη στρατηγική SLRU και συγκεκριμένα την επιλογή του ποσοστού της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης που χρησιμοποιείται ως προστατευόμενο τμήμα. Με έντονο χρώμα τονίζεται η μέγιστη τιμή στον κοινό μέσο όρο των δεικτών HR και BHR, η οποία επιτυγχάνεται για προστατευόμενο τμήμα ίσο με το 50% της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Με λιγότερο έντονο χρώμα τονίζονται τα τοπικά μέγιστα για τις τιμές των HR και BHR στα διάφορα μεγέθη της μνήμης.

Παρακάτω ακολουθεί μια λίστα από τις παραμετροποιημένες στρατηγικές που λαμβάνουμε υπόψη στα πειράματα αξιολόγησης της αποδοτικότητας. Για την καθεμία από τις στρατηγικές αυτές αναλύουμε και αιτιολογούμε τον ξεχωριστό τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζουμε την παραμετροποίησή της.

5.3.2.1 PART-LRU

Σχετικά με τη στρατηγική PART-LRU, οι Murta et al [Murt98] αναφέρουν δύο ρυθμιστικούς παράγοντες: το μέγεθος του κάθε διαμερίσματος ως προς το συνολικό μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης και το μέγεθος των αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού, που επιτρέπεται να αποθηκευτεί στο κάθε διαμέρισμα.

Όσον αφορά στο δεύτερο πρόβλημα σχετικά με το ποια αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού θα πρέπει να θεωρούνται μικρού, μεσαίου και μεγάλου μεγέθους, οι Murta et al [Murt98] πρότειναν τη διάμεσο και τη μέση τιμή των μεγεθών των αντικειμένων, που παρατηρήθηκαν στους διαδικτυακούς φόρτους των πειραμάτων τους, ως ρυθμιστικές παραμέτρους. Κατά αυτόν τον τρόπο, τα μικρά αντικείμενα έχουν μέγεθος μικρότερο από τη διάμεσο και τη μέση τιμή, ενώ τα μεγάλα έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από τη διάμεσο και τη μέση τιμή. Όσα αντικείμενα έχουν μέγεθος μεταξύ της διαμέσου και του μέσου όρου θεωρούνται μεσαίου μεγέθους. Στον πίνακα 5.3 δίνονται οι διάμεσοι και οι μέσες τιμές των μεγεθών των αντικειμένων για τα αρχεία ιχνών της δραστηριότητας παγκοσμίου ιστού, που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα αξιολόγησης της αποδοτικότητας των στρατηγικών.

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ	ΔΙΑΜΕΣΟΣ ΤΙΜΗ (σε byte)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (σε byte)
BOSTON	2.070	13.820
BERKELEY	2.238	5.852
DIGITAL	3.751	10.981
UC	2.814	41.651
NY	209	17.440
SD	652	53.312

Πίνακας 5.3. Διάμεσος και μέση τιμή (σε byte) του μεγέθους των αντικειμένων ανά αρχείο ιχνών δραστηριότητας παγκοσμίου ιστού

Όσον αφορά στο μέγεθος του κάθε διαμερίσματος ως προς το συνολικό μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, οι Murta et al [Murt98], ύστερα από μια σειρά πειραμάτων προσομοίωσης, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο καλύτερος συνδυασμός ποσοστών είναι 10%, 20% και 70% για τα διαμερίσματα των μικρών, μεσαίων και μεγάλων αντικειμένων, αντίστοιχα. Πραγματοποιήσαμε μια σειρά αντίστοιχων πειραμάτων για τα αρχεία ιχνών, που λάβαμε υπόψη στην αξιολόγηση της αποδοτικότητας των στρατηγικών. Συνοπτικά, τα συμπεράσματα βάσει της μεθοδολογίας των μέσων όρων ως προς τους καλύτερους συνδυασμούς ανά αρχείο ιχνών παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΩΝ ΩΣ ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ		
	ΜΙΚΡΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ	ΜΕΣΑΙΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ	ΜΕΓΑΛΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ
BOSTON	10%	10%	80%
BERKELEY	10%	20%	70%
DIGITAL	10%	20%	70%
UC	10%	20%	70%
NY	10%	10%	80%
SD	10%	20%	70%

Πίνακας 5.4. Οι συνδυασμοί των ποσοστών (%) για τα μεγέθη των τριών διαμερισμάτων της PART-LRU που προέκυψαν από τη μεθοδολογία των μέσων όρων για τα διάφορα αρχεία ιχνών

5.3.2.2 *A-AGING*

Σχετικά με τη στρατηγική A-AGING [Zha99b], τόσο ο συντελεστής a – βλέπε, εξίσωση 4.3, κεφάλαιο 4 – με τον οποίο ελαττώνονται οι μετρητές των αναφορών προς τα αντικείμενα στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης, όσο και το χρονικό διάστημα μετά το πέρας του οποίου ενεργοποιείται ο σχετικός μηχανισμός αποτελούν κρίσιμες παραμέτρους προς ρύθμιση.

Κατά την έρευνά μας με τη μεθοδολογία των μέσων όρων, μελετήθηκαν τέσσερις διαφορετικές τιμές χρονικών διαστημάτων, οι οποίες αντιστοιχούσαν σε ποσοστά 1%, 5%, 10% και 25% του συνολικού χρονικού διαστήματος, που καλύπτει το κάθε αρχείο ιχνών δραστηριότητας παγκοσμίου ιστού. Δεδομένου ότι $a \in [0,1]$, μελετήθηκαν τιμές του a από 0,5 έως 0,95 ακολουθώντας βήμα της τάξεως του 0,05. Οι ακραίες περιπτώσεις όπου $a = 0$ και $a = 1$ δε λαμβάνονται υπόψη, δεδομένου ότι μεταλλάσσουν την A-AGING στις στρατηγικές LRU και LFU αντίστοιχα [Zha99b], οι οποίες μελετώνται ξεχωριστά.

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ	ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ α
BOSTON	25% = 2.138.400 sec	0,5
BERKELEY	25% = 380.296 sec	0,7
DIGITAL	25% = 79.436 sec	0,9
UC	25% = 44.933 sec	0,8
NY	25% = 45.664 sec	0,9
SD	25% = 43.476 sec	0,7

Πίνακας 5.5. Οι συνδυασμοί τιμών στις δύο κρίσιμες παραμέτρους της A-AGING που προέκυψαν από τη μεθοδολογία των μέσων όρων για τα διάφορα αρχεία ιχνών

Ο πίνακας 5.5 δίνει μια συνοπτική εικόνα των καλύτερων τιμών των δύο παραμέτρων της A-AGING για τα διάφορα αρχεία ιχνών, όπως προέκυψαν από τη μεθοδολογία των μέσων όρων.

5.3.2.3 SLRU

Η κρίσιμη παράμετρος προς ρύθμιση για την SLRU είναι το ποσοστό του προστατευόμενου τμήματος ως προς το συνολικό μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Ύστερα από δοκιμαστικές προσομοιώσεις, οι Arlitt et al [Arl00a] διαπίστωσαν ότι μια τιμή ίση με 60% για το εν λόγω ποσοστό δίνει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα.

Στον πίνακα 5.6 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα, στα οποία μας οδήγησε η μεθοδολογία των μέσων όρων σχετικά με τα ποσοστά του προστατευόμενου και του μη προστατευόμενου τμήματος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για τα διάφορα αρχεία ιχνών. Ο παραπάνω πίνακας 5.2 αφορά στην αναλυτική εφαρμογή της μεθοδολογίας των μέσων όρων για την περίπτωση του αρχείου ιχνών BOSTON.

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΑ ΤΩΝ ΔΥΟ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	
	ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΟ ΤΜΗΜΑ	ΜΗ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΟ ΤΜΗΜΑ
BOSTON	50%	50%
BERKELEY	60%	40%
DIGITAL	50%	50%
UC	60%	40%
NY	50%	50%
SD	60%	40%

Πίνακας 5.6. Τα ποσοστά των δύο τμημάτων ως προς το μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης για την SLRU, όπως προέκυψαν από τη μεθοδολογία των μέσων όρων για τα διάφορα αρχεία ιχνών

5.3.2.4 M-METRIC

Όσον αφορά στους ρυθμιζόμενους σταθμιστές f , r και s , ο Wessels [Wess95] προτείνει τις τιμές 1, -1 και -0,005 αντίστοιχα. Επιπλέον, αναφέρει ότι το f θα πρέπει να είναι θετικό, το r αρνητικό και το s μπορεί να είναι είτε θετικό, είτε αρνητικό, ανάλογα με το αν θα πρέπει να δοθεί έμφαση στα μεγαλύτερα ή τα μικρότερα αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού. Μια επιπρόσθετη παράμετρος, που πρέπει να ληφθεί υπόψη, είναι το χρονικό παράθυρο εντός του οποίου υπολογίζονται οι βασικές παράμετροι f_i και T_i – βλέπε

συνάρτηση 4.5, του κεφαλαίου 4. Ο Wessels [Wess95] προτείνει το παράθυρο αυτό να είναι μια ημέρα (ή, 86.400 sec).

Στα πειράματά μας, λαμβάνουμε υπόψη τις περιπτώσεις, όπου η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης μπορεί να δώσει έμφαση σε μικρότερα και μεγαλύτερα μεγέθη αντικειμένων – δηλαδή, $s \in \{-0,005, 0,005\}$ – και μπορεί να δώσει μεγαλύτερη ή μικρότερη έμφαση στη χρονική τοπικότητα και τη συχνότητα – δηλαδή, $r \in \{-0,5, -1\}$ και $f \in \{0,5, 1\}$. Επιπλέον, επαναλαμβάνουμε τις προσομοιώσεις για χρονικά παράθυρα 1, 4, 12 και 24 ωρών.

Τα πειράματα προσομοίωσης που πραγματοποιήσαμε έδειξαν ότι ο καλύτερος συνδυασμός τιμών των παραπάνω παραμέτρων, με βάση τη μέθοδο των μέσων τιμών για όλα τα αρχεία ιχνών, είναι ο ακόλουθος: $f=1$, $r=-0,5$, $s=-0,005$ και χρονικό παράθυρο ίσο με μια ημέρα. Δηλαδή, θα πρέπει να δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στη συχνότητα από ό,τι στη χρονική τοπικότητα για το συγκεκριμένο χρονικό παράθυρο, και θα πρέπει να δίνεται έμφαση στα μικρότερα αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού.

5.3.2.5 GD*

Όπως φαίνεται στην εξίσωση 4.12 του 4^{ου} κεφαλαίου, η στρατηγική GD* περιλαμβάνει το σταθμιστή β . Οι Jin και Bestavros [Jin01a] προσδιορίζουν ότι το τυπικό πεδίο τιμών της συγκεκριμένης παραμέτρου είναι το κλειστό διάστημα $[0,3, 0,7]$.

Εφαρμόσαμε τη μεθοδολογία των μέσων όρων για καθένα από τις τέσσερις διαφορετικές εκφράσεις του κόστους c_i – δηλαδή, GD*(1), GD*(packets), GD*(latency) και GD*(hops) – και για τιμές της β από 0,3 έως και 0,7 με βήμα 0,05. Ο πίνακας 5.7 παρουσιάζει την καλύτερη τιμή β ανά περίπτωση κόστους για καθένα από τα αρχεία ιχνών.

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ	ΣΤΑΘΜΙΣΤΗΣ β ΑΝΑ ΕΚΦΡΑΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΤΗ GD*			
	GD*(1)	GD*(packets)	GD*(latency)	GD*(hops)
BOSTON	0,7	0,4	0,7	0,7
BERKELEY	0,7	0,6	0,7	0,7
DIGITAL	0,7	0,35	0,7	0,7
UC	0,7	0,4	0,7	0,65
NY	0,7	0,35	0,7	0,7
SD	0,65	0,4	0,7	0,7

Πίνακας 5.7. Οι τιμές του σταθμιστή β για τις τέσσερις εκφράσεις του κόστους της GD*, όπως προέκυψαν από τη μεθοδολογία των μέσων όρων για τα διάφορα αρχεία ιχνών

5.3.2.6 *gGDSF*

Αντίθετα από τη GD*, η στρατηγική *gGDSF* έχει δύο σταθμιστές: a και β , όπως φαίνεται από τη γενικευμένη εξίσωση 4.14, του 4ου κεφαλαίου. Οι σταθμιστές αυτοί καθορίζουν την έμφαση στη συχνότητα και στο μέγεθος των αντικειμένων στην εξίσωση, αντίστοιχα. Οι Cherkasova και Ciardo [Cher01] επισημαίνουν τον κίνδυνο υπερχείλισης κατά τον υπολογισμό της αξίας των αντικειμένων για την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης, εξαιτίας της εκθετικής βαρύτητας των βασικών παραμέτρων και, κυρίως, της συχνότητας.

Για να αποφύγουμε τυχόν προβλήματα υπερχείλισης, μελετάμε τα ενδεχόμενα $\{a, \beta\} = \{1, 2\}$ και $\{a, \beta\} = \{2, 1\}$ για καθεμία από τις τέσσερις διαφορετικές εκφράσεις του κόστους c_i . Ο πίνακας 5.8 παρουσιάζει το καλύτερο ενδεχόμενο ανά περίπτωση κόστους για καθένα από τα αρχεία ιχνών.

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ	ΣΤΑΘΜΙΣΤΕΣ $\{a, \beta\}$ ΑΝΑ ΕΚΦΡΑΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΤΗ <i>gGDSF</i>			
	<i>gGDSF</i> (1)	<i>gGDSF</i> (packets)	<i>gGDSF</i> (latency)	<i>gGDSF</i> (hops)
BOSTON	{2,1}	{2,1}	{2,1}	{2,1}
BERKELEY	{2,1}	{2,1}	{1,2}	{2,1}
DIGITAL	{2,1}	{2,1}	{1,2}	{2,1}
UC	{2,1}	{2,1}	{1,2}	{2,1}
NY	{2,1}	{1,2}	{1,2}	{2,1}
SD	{2,1}	{2,1}	{1,2}	{2,1}

Πίνακας 5.8. Οι τιμές των σταθμιστών a και β για τις τέσσερις εκφράσεις του κόστους της *gGDSF*, όπως προέκυψαν από τη μεθοδολογία των μέσων όρων για τα διάφορα αρχεία ιχνών

5.3.2.7 *MIX*

Αν και η στρατηγική *MIX* περιλαμβάνει τέσσερις σταθμιστές, τους r_1 , r_2 , r_3 και r_4 – βλέπε, εξίσωση 4.15, κεφάλαιο 4 – οι Niclausse et al [Nicl98] παρατήρησαν ότι μόνο ο r_1 είναι παράγοντας κλειδί και η τιμή του πρέπει να είναι μικρότερη από αυτή των άλλων παραμέτρων. Ύστερα από μια σειρά πειραμάτων, κατέληξαν στις εξής τιμές: $r_1 = 0,1$, $r_2 = 1$, $r_3 = 1$ και $r_4 = 1$.

Ακολουθώντας τις παρατηρήσεις των Niclausse et al [Nicl98], πραγματοποιήσαμε προσομοιώσεις κρατώντας τις τιμές των r_2 , r_3 και r_4 ίσες με τη μονάδα, και δώσαμε στην παράμετρο-κλειδί r_1 διαδοχικά τις τιμές από 0,05 έως και 0,95, με βήμα 0,05. Ο πίνακας

5.9 παρουσιάζει την τιμή του r_1 , που δίνει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα ανά αρχείο ιχνών, βάσει της μεθοδολογίας των μέσων όρων.

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ	ΣΤΑΘΜΙΣΤΗΣ r_1	ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ	ΣΤΑΘΜΙΣΤΗΣ r_1
BOSTON	0,2	UC	0,3
BERKELEY	0,1	NY	0,05
DIGITAL	0,05	SD	0,25

Πίνακας 5.9. Οι τιμές του σταθμιστή r_1 για τη MIX, όπως προέκυψαν από τη μεθοδολογία των μέσων όρων για τα διάφορα αρχεία ιχνών

5.3.2.8 RAND-MIX

Αντιμετωπίσαμε την περίπτωση της RAND-MIX με τον ίδιο τρόπο, όπως τη MIX. Κατά αντιστοιχία με τον πίνακα 5.9, διαδοχικές προσομοιώσεις μας οδήγησαν στον πίνακα 5.10. Οι διαφορές μεταξύ των δύο πινάκων οφείλονται στον παράγοντα τύχη της RAND-MIX.

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ	ΣΤΑΘΜΙΣΤΗΣ r_1	ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ	ΣΤΑΘΜΙΣΤΗΣ r_1
BOSTON	0,15	UC	0,15
BERKELEY	0,1	NY	0,05
DIGITAL	0,05	SD	0,3

Πίνακας 5.10. Οι τιμές του σταθμιστή r_1 για τη RAND-MIX, όπως προέκυψαν από τη μεθοδολογία των μέσων όρων για τα διάφορα αρχεία ιχνών

5.3.2.9 LUV

Η παράμετρος προς ρύθμιση για την καλύτερη λειτουργία της LUV είναι η λ – βλέπε εξισώσεις 4.18 και 4.19, κεφάλαιο 4. Οι Bahn et al [Bahn02] προσδιορίζουν ως πεδίο ορισμού της λ το κλειστό σύνολο $[0,1]$. Επιπλέον, για $\lambda = 0$, η LUV μεταλλάσσεται στην LFU, ενώ για $\lambda = 1$, η LUV μεταλλάσσεται στην LRU.

Λαμβάνοντας υπόψη τις παρατηρήσεις της ομάδας Bahn [Bahn02], εφαρμόσαμε τη μεθοδολογία των μέσων όρων για τιμές του λ από 0,05 έως και 0,95 με βήμα 0,05 για όλα τα αρχεία ιχνών. Τα συμπεράσματα ως προς τις καλύτερες τιμές παρουσιάζονται στον πίνακα 5.11.

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ	ΣΤΑΘΜΙΣΤΗΣ λ	ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ	ΣΤΑΘΜΙΣΤΗΣ λ
BOSTON	0,7	UC	0,15
BERKELEY	0,05	NY	0,05
DIGITAL	0,5	SD	0,55

Πίνακας 5.11. Οι τιμές της παραμέτρου λ για τη LUV, όπως προέκυψαν από τη μεθοδολογία των μέσων όρων για τα διάφορα αρχεία ιχνών

5.4 Εκτέλεση & Αποτελέσματα Πειραμάτων ΠΑΔ

Για τα πειράματα της ΠΑΔ, που πραγματοποιήθηκαν πάνω στα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό EMS (Efficiency Measurement System) [Barr04].

Για την καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων, διακρίναμε συγκεκριμένες κατηγορίες μεγεθών για τη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης και κατατάξαμε τα διάφορα μεγέθη μνήμης, που λάβαμε υπόψη στα πειράματα, σε αυτές τις κατηγορίες. Συγκεκριμένα, οι κατηγορίες μεγεθών έχουν ως εξής:

- Κατηγορία 1: πολύ μικρά μεγέθη μνήμης που ανήκουν στο διάστημα ποσοστών (0,10).
- Κατηγορία 2: μικρά μεγέθη μνήμης που ανήκουν στο διάστημα ποσοστών [10,20).
- Κατηγορία 3: μεσαία μεγέθη μνήμης που ανήκουν στο διάστημα ποσοστών [20,30).
- Κατηγορία 4: μεγάλα μεγέθη μνήμης που ανήκουν στο διάστημα ποσοστών [30,40).
- Κατηγορία 5: πολύ μεγάλα μεγέθη μνήμης που ανήκουν στο διάστημα ποσοστών [40,50]. Αυτή η κατηγορία αφορά μόνο στα πειράματα με το αρχικό μοντέλο ΠΑΔ της παραγράφου 5.4.1.1.

5.4.1 Τεχνική 1: Ομαδοποίηση των Στρατηγικών κατά Μέγεθος Μνήμης Ενδιάμεσης Αποθήκευσης

Η βιβλιογραφία πάνω στην εύρεση της κορυφαίας ή πρωταθλήτριας στρατηγικής αντικατάστασης περιεχομένου επικεντρωνόταν πάντοτε στην αναζήτηση και ανάδειξη της στρατηγικής που έδινε καλύτερες τιμές σε κάποιους δείκτες επίδοσης για όλα τα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, που λαμβάνονταν υπόψη στα πειράματα προσομοίωσης που επιστρατεύονταν. Ακολουθώντας την ίδια λογική, προσπαθούμε να ανακαλύψουμε τις αποδοτικές στρατηγικές, δηλαδή αυτές που τείνουν να δίνουν καλύτερα αποτελέσματα για τους δύο βασικότερους δείκτες επίδοσης HR και BHR, στα διάφορα μεγέθη μνήμης

ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η μείωση του κόστους της μνήμης είναι ένας επιπρόσθετος παράγοντας, ώστε να υποβαθμίσουμε την επιρροή της ως εισροή στο μοντέλο ΠΑΔ που επιστρατεύουμε για την επίλυση του προβλήματος και να ακολουθήσουμε αυτήν την τεχνική της ομαδοποίησης των στρατηγικών σύμφωνα με το μέγεθος της μνήμης.

Έτσι, στις επόμενες δύο παραγράφους 5.4.1.1 και 5.4.1.2 παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα της έρευνας, που σχετίζεται με την τεχνική της ομαδοποίησης των στρατηγικών κατά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, που λαμβάνεται υπόψη στα πειράματα προσομοίωσης. Στην παράγραφο 5.4.1.1 παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα και τα βασικά συμπεράσματα από την πρώτη εργασία μας [Kast07], η οποία στηρίχθηκε σε αρχεία ιχνών δραστηριότητας του παγκοσμίου ιστού, που παραπέμπουν στα μέσα της δεκαετίας του 1990. Στην παράγραφο 5.4.1.2 παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα και τα βασικά συμπεράσματα, που αφορούν ένα αναβαθμισμένο μοντέλο ΠΑΔ σε σχέση με το προηγούμενο και αρχεία ιχνών σύγχρονης διαδικτυακής δραστηριότητας.

5.4.1.1 Αρχικό Μοντέλο ΠΑΔ – Αρχεία Ιχνών BOSTON, DIGITAL και BERKELEY

Σε αυτήν την παράγραφο, περιγράφουμε τα βασικά σημεία και συμπεράσματα από την παλαιότερη εργασία μας [Kast07] πάνω στην αξιολόγηση της αποδοτικότητας 29 στρατηγικών ενδιάμεσης αποθήκευσης, όπου θεωρήσαμε το μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης ως τη μοναδική εισροή και τους ακόλουθους τρεις δείκτες επίδοσης ως εκροές του μοντέλου ΠΑΔ: το δείκτη επιτυχίας HR, το δείκτη επιτυχίας σε μονάδες πληροφορίας BHR και το δείκτη μείωσης καθυστέρησης LR. Η αποδοτικότητα των στρατηγικών αυτών αξιολογήθηκε κάτω από τρία διαφορετικά σύνολα δεδομένων. Αυτά τα σύνολα δεδομένων δημιουργήθηκαν από τα αρχεία ιχνών BOSTON, DIGITAL και BERKELEY.

Οι πίνακες 5.12, 5.13 και 5.14 περιέχουν τους δείκτες αποδοτικότητας για διαφορετικά μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, μετά από την εκτέλεση του προσανατολισμένου στις εκροές μοντέλου BCC – βλέπε εξίσωση 5.5 – της ΠΑΔ, που χρησιμοποιήσαμε, για τα τρία αρχεία ιχνών. Οι μη αποδοτικές στρατηγιές έχουν δείκτη αποδοτικότητας μεγαλύτερο της μονάδας. Για τις αποδοτικές στρατηγιές, ο δείκτης αποδοτικότητας της μονάδας συνοδεύεται (σε παρένθεση) από τον αριθμό των μη αποδοτικών στρατηγικών που χρησιμοποιούν τις εν λόγω αποδοτικές ως πρότυπα για την περαιτέρω βελτίωσή τους. Στους πίνακες αυτούς, υπάρχει μια επιπλέον λεπτή διάκριση ανάμεσα στους δείκτες αποδοτικότητας. Για τις αποδοτικές στρατηγιές ο δείκτης – που

ισούνται με 1 – εκφράζεται με ακέραια τιμή. Όταν ο δείκτης εκφράζεται ως πραγματικός αριθμός, η αντίστοιχη στρατηγική είναι μη αποδοτική, αλλά το γεγονός αυτό δε μπορεί να γίνει ορατό με την ακρίβεια των 3 δεκαδικών ψηφίων που χρησιμοποιείται.

A/A	ΜΛΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ					
		5%	10%	20%	30%	40%	50%
1	FIFO	1,037	1,025	1,014	1,005	1,006	1,005
2	LRU	1,021	1,022	1,007	1(4)	1,005	1,004
3	LRU-THR	1,038	1,023	1,010	1,005	1,003	1,004
4	LRU-MIN	1,005	1,003	1(10)	1,001	1(12)	1,001
5	SIZE	1,084	1,028	1,006	1,002	1,000	1(5)
6	LFU (Perfect)	1,109	1,076	1,052	1,032	1,028	1,014
7	LFU (In-cache)	1,187	1,148	1,081	1,065	1,032	1,017
8	HYBRID	1,089	1,036	1,008	1,001	1,000	1,000
9	LLF	6,817	6,501	3,232	2,124	1,621	1,340
10	BH	1,426	1,326	1,212	1,140	1,089	1,048
11	PSS	1(16)	1(14)	1(17)	1(11)	1(12)	1(28)
12	PSS-LAT	1,002	1(3)	1,001	1(7)	1(7)	1,000
13	EXP1	1,192	1,148	1,083	1,078	1,031	1,014
14	PART	1,007	1,007	1,005	1,001	1,000	1,001
15	GDS(1)	2,135	1,919	1,572	1,329	1,204	1,109
16	GDS(latency)	1,015	1,010	1,012	1,003	1,002	1,002
17	GDS(hops)	2,135	1,919	1,572	1,329	1,204	1,109
18	GDS(packet)	2,135	1,919	1,572	1,329	1,204	1,109
19	GDSF(1)	2,135	1,919	1,534	1,299	1,194	1,097
20	GDSF(latency)	1,002	1,003	1,008	1(2)	1,000	1,001
21	GDSF(hops)	2,143	1,932	1,503	1,284	1,185	1,098
22	GDSF(packet)	2,135	1,913	1,463	1,262	1,182	1,091
23	GDF(1)	1(8)	1(8)	1(9)	1(1)	1,004	1,005
24	GDF(latency)	1,461	1,346	1,164	1,085	1,042	1,027
25	GDF(hops)	1,061	1,027	1,005	1,004	1,005	1,005
26	GDF(packet)	1,365	1,252	1,142	1,088	1,049	1,027
27	M-METRIC	1,146	1,114	1,073	1,041	1,021	1,013
28	MIX	1(12)	1(10)	1,001	1(8)	1,003	1,001
29	RAND	1,082	1,047	1,034	1,028	1,021	1,012

Πίνακας 5.12. Αρχικό μοντέλο ΠΑΔ – Δείκτες αποδοτικότητας των 29 στρατηγικών ανά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών BOSTON

Όσον αφορά στο αρχείο ιχνών BOSTON (βλέπε Πίνακα 5.12), η στρατηγική PSS μπορεί να θεωρηθεί ως ένας απόλυτα αποδοτικός αλγόριθμος για όλα τα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, δεδομένης της ισχυρής αποδοτικότητάς της. Η GDF(1) είναι αποδοτική για πολύ μικρά έως και μεγάλα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, δηλαδή για μεγέθη που κυμαίνονται από 5% έως και 30%. Η MIX παρουσιάζει ισχυρή αποδοτικότητα για πολύ μικρά, μικρά (έως 10%), αλλά και μεγάλα (30%) μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η PSS-LAT παρουσιάζεται να είναι αποδοτική σε περιπτώσεις όπου η διαθέσιμη μνήμη για ενδιάμεση αποθήκευση κυμαίνεται ανάμεσα στο 30% και 40%, ή στην περιοχή του 10%. Η LRU-MIN είναι ισχυρά αποδοτική στις περιοχές του 20% και

40%. Υπάρχουν επιπλέον κάποιες ενδιαφέρουσες περιπτώσεις ισχυρής αποδοτικότητας σε συγκεκριμένα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, δηλαδή η LRU και η GDSF(latency) στην περιοχή του 30%, καθώς και η SIZE στο 50%.

A/A	ΜΛΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ					
		5%	10%	20%	30%	40%	50%
1	FIFO	1,109	1,094	1,066	1,049	1,037	1,031
2	LRU	1,053	1,040	1,022	1,012	1,009	1,008
3	LRU-THR	1,041	1,033	1,029	1,032	1,018	1,007
4	LRU-MIN	1,088	1,040	1,023	1,010	1,005	1,004
5	SIZE	1,349	1,174	1,057	1,020	1,006	1,001
6	LFU (Perfect)	1,061	1,047	1,045	1,052	1,045	1,037
7	LFU (In-cache)	1,491	1,349	1,190	1,119	1,076	1,055
8	HYBRID	1,356	1,206	1,107	1,057	1,027	1,008
9	LLF	7,877	3,960	2,055	1,539	1,273	1,125
10	BH	1,894	1,574	1,315	1,189	1,110	1,059
11	PSS	1,022	1,011	1,005	1,002	1,001	1(5)
12	PSS-LAT	1,031	1,016	1,006	1,003	1,001	1,000
13	EXP1	1,500	1,347	1,191	1,119	1,076	1,055
14	PART	1,043	1,031	1,015	1,011	1,009	1,007
15	GDS(1)	5,355	3,232	2,026	1,585	1,369	1,190
16	GDS(latency)	1,123	1,093	1,048	1,030	1,018	1,011
17	GDS(hops)	5,377	3,228	2,032	1,583	1,369	1,189
18	GDS(packet)	5,355	3,232	2,026	1,585	1,369	1,190
19	GDSF(1)	5,355	3,232	2,026	1,589	1,368	1,188
20	GDSF(latency)	1,051	1,039	1,016	1,012	1,007	1,005
21	GDSF(hops)	5,127	3,151	2,003	1,582	1,359	1,184
22	GDSF(packet)	5,310	3,172	1,971	1,565	1,342	1,180
23	GDF(1)	1(11)	1(11)	1(12)	1(12)	1,006	1,006
24	GDF(latency)	1,652	1,425	1,202	1,105	1,057	1,031
25	GDF(hops)	1,132	1,080	1,020	1,005	1,007	1,007
26	GDF(packet)	1,512	1,319	1,153	1,078	1,044	1,026
27	M-METRIC	1,141	1,210	1,189	1,135	1,089	1,056
28	MIX	1(20)	1(21)	1(23)	1(21)	1(28)	1(24)
29	RAND	1,126	1,106	1,075	1,052	1,041	1,025

Πίνακας 5.13. Αρχικό μοντέλο ΠΑΔ – Δείκτες αποδοτικότητας των 29 στρατηγικών ανά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών DIGITAL

Για χαρακτηριστικά φόρτου εργασίας που μοιάζουν με εκείνα του αρχείου ιχνών της DIGITAL (βλέπε Πίνακα 5.13), η MIX εμφανίζεται να είναι η επικρατέστερη στρατηγική αντικατάστασης, σε όρους αποδοτικότητας. Πρόκειται για μια στρατηγική με απόλυτα ισχυρή αποδοτικότητα, με αποτέλεσμα όλες οι υπόλοιπες να την χρησιμοποιούν ως πρότυπο, ανεξαρτήτως του μεγέθους της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η GDF(1) ανήκει, επίσης, στο σύνολο των αποδοτικών αλγορίθμων για όλα τα μεγέθη μνήμης μέχρι και 30%. Η PSS παρουσιάζει ισχυρή αποδοτικότητα μόνο για την περίπτωση που η διαθέσιμη ποσότητα μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης ανέρχεται στο 50%.

Όταν ο φόρτος εργασίας στον πληρεξούσιο εξυπηρετητή μοιάζει με αυτόν του αρχείου ιχνών BERKELEY (βλέπε Πίνακα 5.14), η PSS και η MIX εμφανίζονται να είναι ανάμεσα στους αποδοτικούς αλγόριθμους για ακόμα μια φορά, με την εξαίρεση των πολύ μικρών μεγεθών μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης για την PSS (γύρω στο 5%) και των μεγάλων μεγεθών μνήμης μεταξύ 30% και 40% για την MIX. Ένα ενδιαφέρον φαινόμενο εμφανίζεται για τα πολύ μεγάλα μεγέθη μνήμης (γύρω στο 50%): Όλες οι στρατηγικές εμφανίζονται να παρουσιάζουν ισχυρή αποδοτικότητα. Μια πιθανή εξήγηση για αυτό το παράξενο φαινόμενο βρίσκεται στο ότι αυτό το μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να επιτρέψει σε όλες τις στρατηγικές να προσεγγίσουν την οριακή επίδοση της περίπτωσης του απεριόριστου μεγέθους μνήμης – δηλαδή το απαιτούμενο μέγεθος μνήμης, ώστε να μην είναι αναγκαία η χρήση κάποιας στρατηγικής.

Α/Α	ΜΑΛ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ					
		5%	10%	20%	30%	40%	50%
1	FIFO	1,082	1,054	1,028	1,013	1,005	1
2	LRU	1,046	1,027	1,012	1,003	1,002	1
3	LRU-THR	1,031	1,016	1,009	1,002	1,001	1
4	LRU-MIN	1,022	1,008	1,003	1,001	1,000	1
5	SIZE	1,132	1,062	1,014	1,002	1(28)	1
6	LFU (Perfect)	1,077	1,057	1,039	1,021	1,006	1
7	LFU (In-cache)	1,208	1,147	1,072	1,029	1,007	1
8	HYBRID	1,221	1,097	1,019	1,003	1,000	1
9	LLF	4,600	2,338	1,408	1,131	1,022	1
10	BH	1,499	1,321	1,130	1,044	1,007	1
11	PSS	1,000	1(10)	1(11)	1(28)	1(28)	1
12	PSS-LAT	1,011	1,006	1,001	1,000	1,000	1
13	EXP1	1,208	1,137	1,072	1,029	1,007	1
14	PART	1,038	1,022	1,009	1,002	1,001	1
15	GDS(1)	2,473	1,884	1,374	1,152	1,032	1
16	GDS(latency)	1,086	1,054	1,020	1,008	1,002	1
17	GDS(hops)	2,470	1,885	1,372	1,151	1,031	1
18	GDS(packet)	2,439	1,878	1,368	1,151	1,032	1
19	GDSF(1)	2,463	1,875	1,367	1,148	1,031	1
20	GDSF(latency)	1,035	1,029	1,011	1,005	1,001	1
21	GDSF(hops)	2,410	1,848	1,352	1,143	1,029	1
22	GDSF(packet)	2,422	1,837	1,349	1,137	1,028	1
23	GDF(1)	1,011	1,011	1,009	1,005	1,003	1
24	GDF(latency)	1,258	1,156	1,068	1,026	1,007	1
25	GDF(hops)	1,070	1,022	1,011	1,005	1,003	1
26	GDF(packet)	1,204	1,104	1,043	1,015	1,005	1
27	M-METRIC	1,275	1,197	1,094	1,035	1,006	1
28	MIX	1(28)	1(17)	1(18)	1,001	1,000	1
29	RAND	1,107	1,074	1,032	1,015	1,004	1

Πίνακας 5.14. Αρχικό μοντέλο ΠΑΔ – Δείκτες αποδοτικότητας των 29 στρατηγικών ανά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών BERKELEY

5.4.1.2 Βελτιωμένο Μοντέλο ΠΑΔ – Αρχεία Ιχνών UC, NY και SD

Στο σημείο αυτό εξετάζουμε την αποδοτικότητα του διευρυμένου συνόλου των 45 στρατηγικών αντικατάστασης περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού, κάνοντας χρήση του βελτιωμένου μοντέλου ΠΑΔ της υπερ-αποδοτικότητας, που εκφράζεται από τις εξισώσεις 5.6, και ακολουθώντας τις τροποποιήσεις στο όλο πείραμα, τις οποίες αναλύσαμε στην παράγραφο 5.2.1. Δηλαδή, προτιμήσαμε μόνο τα σύγχρονα αρχεία ιχνών, δεδομένου ότι αντιπροσωπεύουν καλύτερα τη σημερινή πραγματικότητα, όσον αφορά στα χαρακτηριστικά της δραστηριότητας του παγκοσμίου ιστού. Επιπλέον, δώσαμε εκείνες τις τιμές στις παραμέτρους των υψηλά παραμετροποιημένων στρατηγικών, που οδήγησαν στις καλύτερες επιδόσεις.

Όσον αφορά στην αναπαράσταση των αποτελεσμάτων με βάση το βελτιωμένο μοντέλο ΠΑΔ, χρησιμοποιήσαμε πίνακες της ίδιας μορφής με αυτούς της παραπάνω παραγράφου 5.4.1.1. Η μόνη διαφορά είναι ότι οι τιμές της υπερ-αποδοτικότητας εκφράζονται ως ποσοστά. Δεδομένου ότι η υπό εκτίμηση ΜΛΑ δεν λαμβάνει μέρος στους περιορισμούς – δηλαδή, της επιπλέον συνθήκης $j \neq j_0$ στις εξισώσεις 5.6, σε σχέση με τις εξισώσεις 5.5 του συμβατικού μοντέλου – η τιμή της υπερ-αποδοτικότητας μπορεί να είναι μικρότερη από τη μονάδα (ή 100%) για κάποιες από τις αποδοτικές – σύμφωνα με το συμβατικό μοντέλο – ΜΛΑ. Όσο μικρότερη από 100% είναι η τιμή της υπερ-αποδοτικότητας, τόσο καλύτερη είναι η θέση στην οποία κατέταξε το βελτιωμένο μοντέλο μας την αντίστοιχη αποδοτική ΜΛΑ, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες αποδοτικές ΜΛΑ.

Στο παράρτημα Β, «Πίνακες Αποδοτικότητας», της παρούσας διατριβής παρουσιάζουμε σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια τα αποτελέσματα, στα οποία μας οδήγησε η ανάλυση της αποδοτικότητας των στρατηγικών με το μοντέλο ΠΑΔ που επιστρατεύσαμε. Μεταξύ άλλων, φαίνονται και οι συντελεστές της βαρύτητας, που απέδωσε το μοντέλο μας στη μοναδική εισροή και τις δύο ειροές, κατά την αξιολόγηση της αποδοτικότητας. Ως εκ τούτου, όλες οι αναφορές μας στους συντελεστές αυτούς βασίζονται στην ανάλυση των αναλυτικών πινάκων αποδοτικότητας – ή, για την ακρίβεια, υπερ-αποδοτικότητας – του παραρτήματος Β.

Στον πίνακα 5.15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του βελτιωμένου μοντέλου ΠΑΔ για το αρχείο ιχνών UC. Τα κυριότερα συμπεράσματα για το αρχείο ιχνών UC είναι τα παρακάτω:

- Η στρατηγική gGDSF(1) είναι αποδοτική σε όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης και τρίτη από πλευράς υπερ-αποδοτικότητας στα πολύ μικρά μεγέθη μνήμης. Για όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης από 3% μέχρι και 30%, η ΠΑΔ δίνει βαρύτητα μόνο στην εκροή HR, ενώ για μνήμη 35%, δίνει βαρύτητα και στις δύο εκροές.
- Δύο στρατηγικές είναι αποδοτικές σε όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, εκτός από ένα. Για αυτές ισχύουν τα παρακάτω:
 - Η στρατηγική LRU-SP είναι αποδοτική στα μικρά, μεσαία και μεγάλα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Καταλαμβάνει, δε, την τέταρτη θέση από πλευράς υπερ-αποδοτικότητας για μεγέθη μνήμης της τάξεως του 5%. Η ΠΑΔ σταθμίζει μόνο την εκροή HR για την LRU-SP σε μέγεθος μνήμης 10%. Στα άλλα μεγέθη μνήμης σταθμίζονται και οι δύο εκροές.
 - Η στρατηγική MIX είναι αποδοτική στα πολύ μικρά, μεσαία και μεγάλα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, καθώς και σε μνήμη 10%. Καταλαμβάνει, δε, την πρώτη θέση σε υπερ-αποδοτικότητα για μνήμη 3% και τη δεύτερη θέση για μεγέθη μνήμης της τάξεως του 5%. Στα μεσαία μεγέθη μνήμης, η ΠΑΔ αγνοεί εντελώς την εκροή BHR, ενώ στα υπόλοιπα σταθμίζονται και οι δύο εκροές.
- Οκτώ στρατηγικές είναι αποδοτικές σε όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, εκτός από τα πολύ μικρά, χωρίς κανένα ίχνος υπερ-αποδοτικότητας. Πρόκειται για τις SIZE, PSS, PSS-LAT, LRU-SP-LAT, GDS(1), GDS(hops), GDSF(1) και GDSF(hops). Σχετικά με τον τρόπο που σταθμίζει η ΠΑΔ τις δύο εκροές ισχύουν τα παρακάτω:
 - Για τις στρατηγικές GDS(1), GDS(hops), GDSF(1) και GDSF(hops), δίνεται η απόλυτη βαρύτητα στην εκροή HR για μνήμη μεγέθους από 10% μέχρι και 30%. Για μνήμη 30%, δίνεται βαρύτητα και στις δύο εκροές.
 - Για τις SIZE και PSS-LAT, αγνοείται η εκροή BHR για μνήμη από 10% έως και 20%, ενώ σταθμίζονται και οι δύο εκροές για μνήμη από 25% μέχρι και 35%.
 - Για τη στρατηγική PSS, αγνοείται η εκροή BHR για τα μεγέθη μνήμης 10% και 15%, ενώ σταθμίζονται και οι δύο εκροές για μνήμη από 20% μέχρι και 35%.
 - Για τη στρατηγική LRU-SP-LAT, σταθμίζονται και οι δύο εκροές για όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης.

- Τέσσερις στρατηγικές είναι αποδοτικές σε όλα τα μεγέθη μνήμης, εκτός από τρία. Για αυτές τις στρατηγικές ισχύουν τα ακόλουθα:
 - Οι στρατηγικές HYBRID και gGDSF(hops) είναι αποδοτικές για τα μεγέθη μνήμης από 15% μέχρι και 35%. Για την HYBRID, η ΠΑΔ σταθμίζει μόνο την εκροή HR στα μεγέθη μνήμης από 15% έως 25%, ενώ στα μεγάλα μεγέθη, σταθμίζει και τις δύο εκροές. Για την gGDSF(hops), δίνεται βαρύτητα και στις δύο εκροές για μνήμη 35%, ενώ η ΠΑΔ σταθμίζει μόνο την εκροή HR σε όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης από 15% μέχρι και 30%.
 - Η στρατηγική GD*(packets) είναι αποδοτική για τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης από 25% μέχρι και 35%. Επιπλέον, είναι υπερ-αποδοτικότερη από όλες τις αποδοτικές στρατηγικές για μνήμη 5% και 10%, με την ΠΑΔ να δίνει την απόλυτη ή τη μέγιστη βαρύτητα στην εκροή BHR στα σημεία υπερ-αποδοτικότητας. Αντίθετα, δίνεται η απόλυτη βαρύτητα στην εκροή HR για μνήμη 25%, ενώ για μεγάλη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης, η ΠΑΔ σταθμίζει και τις δύο εκροές.
 - Η στρατηγική gGDSF(packets) είναι δεύτερη σε υπερ-αποδοτικότητα, μετά την MIX, για μνήμη 3% και είναι αποδοτική στις μνήμες 10% και 25%-35%. Η ΠΑΔ δίνει την απόλυτη βαρύτητα στην εκροή HR για μνήμη 25%, ενώ για μεγάλη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης, σταθμίζει και τις δύο εκροές. Στο σημείο υπερ-αποδοτικότητας, δίνεται μέγιστη βαρύτητα στην BHR, ενώ για μνήμη 10%, η BHR παίρνει την απόλυτη βαρύτητα.
- Τέσσερις στρατηγικές είναι αποδοτικές στα μισά από τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης. Για αυτές τις στρατηγικές ισχύουν τα ακόλουθα:
 - Οι στρατηγικές GD*(1) και GD*(hops) είναι αποδοτικές για τα μεγέθη μνήμης 10%, 20%, 30% και 35%. Και στις δύο περιπτώσεις στρατηγικών, η ΠΑΔ δίνει την απόλυτη βαρύτητα στην εκροή HR για τις μνήμες 10%, 20% και 30%, ενώ σταθμίζει και τις δύο εκροές για μνήμη 35%.
 - Η στρατηγική LRU-MIN είναι η μοναδική υπερ-αποδοτική για μνήμη 15% και είναι αποδοτική για μνήμη μεγέθους 20%, 30% και 35%. Σε όλες τις περιπτώσεις μνήμης, η ΠΑΔ σταθμίζει και τις δύο εκροές.
 - Η στρατηγική GDSF(packets) είναι αποδοτική για μνήμη μεγέθους 10%, με την ΠΑΔ να σταθμίζει μόνο την εκροή BHR. Είναι αποδοτική στη μνήμη 25%, με την

ΠΑΔ να σταθμίζει μόνο την εκροή HR. Τέλος, είναι αποδοτική για μνήμη μεγάλου μεγέθους, με την ΠΑΔ να δίνει βαρύτητα και στις δύο εκροές.

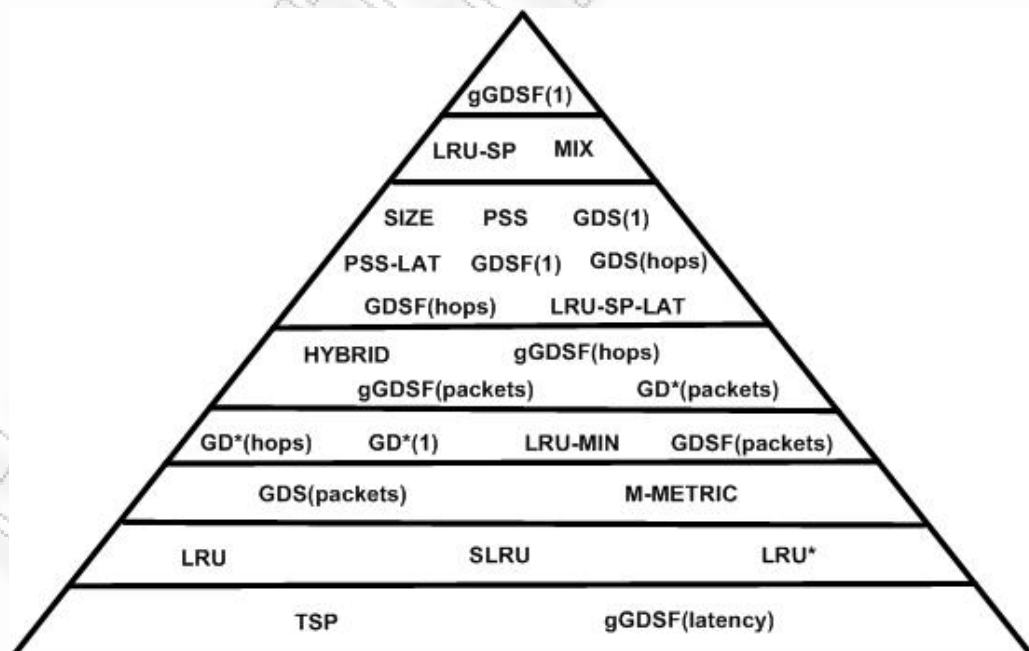
A/A	ΜΛΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ							
		3%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%
1	FIFO	101,44	100,88	100,29	100,17	100,11	100,04	100,01	100,01
2	LRU	101,03	100,48	100,13	100,11	100,05	100,01	100(22)	100(23)
3	LRU-MIN	100,39	100,12	100,04	99,94(28)	100(41)	100,01	100(33)	100(25)
4	SIZE	100,72	100,20	100(14)	100(13)	100(13)	100(44)	100(33)	100(25)
5	PSS	100,12	100,06	100(14)	100(13)	100(41)	100(44)	100(33)	100(25)
6	PSS-LAT	100,39	100,14	100(14)	100(13)	100(13)	100(44)	100(33)	100(25)
7	EXP1	101,70	101,51	100,63	100,41	100,31	100,13	100,06	100,01
8	PART-LRU	106,31	105,09	111,60	114,93	110,63	105,08	109,11	114,17
9	LFU (In-Cache)	101,81	101,51	100,63	100,41	100,31	100,13	100,01	100,01
10	A-Aging (In-Cache)	101,92	101,55	100,76	100,50	100,36	100,16	100,09	100,01
11	SLRU	100,15	100,18	100,03	100,11	100,05	100,01	100(22)	100(23)
12	LRU*	100,51	100,18	100,05	100,11	100,05	100,01	100(22)	100(23)
13	LRU-SP	100,02	99,98(4)	100(14)	100(15)	100(41)	100(44)	100(33)	100(25)
14	LRU-SP-LAT	100,21	100,09	100(17)	100(15)	100(41)	100(44)	100(33)	100(25)
15	HYBRID	102,04	100,95	100,10	100(13)	100(13)	100(17)	100(33)	100(25)
16	LLF	106,61	105,29	102,23	101,39	100,94	100,59	100,21	100,08
17	GDS(1)	100,15	100,06	100(14)	100(13)	100(13)	100(17)	100(9)	100(25)
18	GDS(latency)	103,04	101,92	100,76	100,34	100,25	100,18	100,04	100,10
19	GDS(hops)	100,33	100,12	100(14)	100(13)	100(13)	100(17)	100(9)	100(25)
20	GDS(packets)	100,92	100,44	100,05	100,06	100,02	100(17)	100(33)	100(25)
21	GDSF(1)	100,03	100,03	100(14)	100(13)	100(13)	100(17)	100(9)	100(25)
22	GDSF(latency)	101,97	101,24	100,44	100,13	100,09	100,06	100,01	100,01
23	GDSF(hops)	100,15	100,06	100(14)	100(13)	100(13)	100(17)	100(9)	100(25)
24	GDSF(packets)	100,04	100,13	100(24)	100,06	100,04	100(17)	100(33)	100(25)
25	GDF(1)	100,20	100,13	100,05	100,06	100,05	100,06	100,01	100,01
26	GDF(latency)	104,35	103,95	101,85	101,17	100,58	100,31	100,13	100,04
27	GDF(hops)	102,02	101,06	100,10	100,13	100,05	100,06	100,01	100,01
28	GDF(packets)	104,51	103,53	101,50	100,95	100,58	100,27	100,11	100,03
29	GD*(1)	100,03	100,03	100(14)	100,02	100(13)	100,01	100(9)	100(25)
30	GD*(latency)	102,23	101,37	100,47	100,37	100,18	100,06	100,01	100,01
31	GD*(hops)	100,15	100,06	100(14)	100,02	100(13)	100,01	100(9)	100(25)
32	GD*(packets)	100,37	99,81(26)	99,94(27)	100,06	100,02	100(17)	100(33)	100(25)
33	gGDSF(1)	99,97(15)	99,97(14)	100(14)	100(13)	100(13)	100(17)	100(9)	100(25)
34	gGDSF(latency)	101,15	100,73	100,32	100,16	100,08	100,06	100,01	100(23)
35	gGDSF(hops)	100,12	100,06	100,00	100(13)	100(13)	100(17)	100(9)	100(25)
36	gGDSF(packets)	99,95(27)	100,09	100(24)	100,06	100,04	100(17)	100(33)	100(25)
37	M-METRIC	100(22)	100,13	100,03	100,09	100,05	100,01	100(22)	100(23)
38	MIX	99,73(6)	99,85(2)	100(17)	100,00	100(13)	100(17)	100(33)	100(25)
39	TSP	101,70	101,15	100,42	100,21	100,05	100,03	100(22)	100,01
40	LUV	105,41	103,44	101,21	100,76	100,47	100,31	100,15	100,10
41	RAND	101,81	101,46	100,26	100,26	100,27	100,10	100,04	100,01
42	LRU-S	102,07	100,97	100,52	100,21	100,14	100,06	100,03	100,01
43	LRU-C	102,13	101,06	100,55	100,21	100,16	100,07	100,04	100,02
44	LRU-CS	102,18	101,02	100,55	100,21	100,16	100,07	100,04	100,02
45	RAND-MIX	100,49	100,35	100,09	100,04	100,05	100,03	100,01	100,00

Πίνακας 5.15. Βελτιωμένο μοντέλο ΠΑΔ – Δείκτες υπερ-αποδοτικότητας (%) των 45 στρατηγικών ανά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών UC

- Δύο στρατηγικές είναι αποδοτικές σε τρία από τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης. Για αυτές τις στρατηγικές ισχύουν τα ακόλουθα:

- Η στρατηγική GDS(packet) είναι αποδοτική για τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης 25%-35%. Στα μεγάλα μεγέθη, η ΠΑΔ δίνει βαρύτητα και στις δύο εκροές, ενώ στο μέγεθος 25% δίνει την απόλυτη βαρύτητα στην εκροή HR.
- Η στρατηγική M-METRIC είναι αποδοτική για μέγεθος μνήμης 3% και για τα μεγάλα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, με την ΠΑΔ να δίνει την απόλυτη βαρύτητα στην εκροή BHR σε όλες τις περιπτώσεις.
- Οι στρατηγικές LRU, SLRU και LRU* είναι αποδοτικές μόνο για τα μεγάλα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, με την ΠΑΔ να δίνει την απόλυτη βαρύτητα στην εκροή BHR σε όλες τις περιπτώσεις.
- Η στρατηγική TSP είναι αποδοτική για μνήμη μεγέθους 30%, με την ΠΑΔ να δίνει την απόλυτη βαρύτητα στην εκροή BHR. Το ίδιο ισχύει για τη στρατηγική gGDSF(latency) για μνήμη μεγέθους 35%.

Στο σχήμα 5.8 δίνεται μια αναλυτική, ιεραρχική ταξινόμηση των 26 στρατηγικών που βρέθηκαν αποδοτικές για το αρχείο ιχνών UC, με βάση την εξάπλωση της αποδοτικότητάς τους, ως προς τα εξεταζόμενα μεγέθη της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης.



Σχήμα 5.8. Ιεραρχική ταξινόμηση των αποδοτικών στρατηγικών για το αρχείο ιχνών UC, με βάση την εξάπλωση της αποδοτικότητάς τους, ως προς τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης

Στον πίνακα 5.16 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του βελτιωμένου μοντέλου ΠΑΔ για το αρχείο ιχνών NY. Τα κυριότερα συμπεράσματα για το αρχείο ιχνών NY είναι τα παρακάτω:

A/A	ΜΛΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ							
		3%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%
1	FIFO	103,23	101,97	101,30	100,65	100,50	100,35	100,23	100,15
2	LRU	102,57	101,62	100,91	100,61	100,43	100,29	100,15	100,09
3	LRU-MIN	102,24	100,59	100,32	99,91(28)	100,03	100(25)	100(28)	100,02
4	SIZE	101,87	100,93	100,17	100,03	100(41)	100(44)	100(44)	100(44)
5	PSS	100,55	100,20	100,04	100(17)	100(11)	100(13)	100(44)	100(44)
6	PSS-LAT	101,47	100,88	100,13	100,03	100(41)	100(13)	100(44)	100(44)
7	EXP1	107,21	103,03	102,57	101,27	100,94	100,58	100,30	100,21
8	PART-LRU	119,22	110,58	111,63	116,11	110,36	116,97	119,43	128,31
9	LFU (In-Cache)	106,32	103,03	102,57	101,27	100,94	100,58	100,33	100,23
10	A-Aging (In-Cache)	106,32	103,11	102,71	101,49	100,94	100,67	100,48	100,28
11	SLRU	101,75	101,27	100,65	100,43	100,40	100,26	100,15	100,11
12	LRU*	101,75	101,19	100,65	100,43	100,32	100,23	100,13	100,09
13	LRU-SP	99,92(40)	100(33)	99,94(44)	100(17)	100(11)	100(13)	100(44)	100(44)
14	LRU-SP-LAT	100,80	100,74	100,06	100(17)	100(41)	100(13)	100(44)	100(44)
15	HYBRID	105,97	102,23	100,78	100,30	100,04	100,02	100(28)	100(16)
16	LLF	115,55	108,27	105,78	103,25	102,50	101,64	101,17	100,86
17	GDS(1)	100,67	100,15	100,04	100(17)	100(11)	100(13)	100(44)	100(16)
18	GDS(latency)	104,93	102,49	101,77	100,83	100,61	100,41	100,28	100,19
19	GDS(hops)	102,40	100,76	100,09	100(17)	100(41)	100(44)	100(6)	100(16)
20	GDS(packets)	101,75	101,10	100,71	100,39	100,25	100,12	100,03	100(16)
21	GDSF(1)	100,02	100(9)	100(13)	100(17)	100(11)	100(44)	100(44)	100(16)
22	GDSF(latency)	104,58	102,05	101,17	100,69	100,50	100,35	100,23	100,17
23	GDSF(hops)	100,63	100,17	100,04	100(17)	100(11)	100(44)	100(44)	100(16)
24	GDSF(packets)	101,11	101,02	100,45	100,30	100,22	100,14	100,05	100,03
25	GDF(1)	101,75	101,10	100,71	100,48	100,43	100,26	100,15	100,13
26	GDF(latency)	112,30	106,71	104,71	102,70	102,09	101,47	101,07	100,75
27	GDF(hops)	103,23	101,45	100,78	100,48	100,40	100,23	100,13	100,11
28	GDF(packets)	112,70	106,71	105,00	102,88	102,16	101,50	101,10	100,77
29	GD*(1)	99,39(8)	100(9)	100(13)	100(6)	100(11)	100(13)	100(6)	100(16)
30	GD*(latency)	105,45	102,76	101,50	100,83	100,61	100,38	100,25	100,17
31	GD*(hops)	101,66	100,54	100,04	100(6)	100(11)	100(13)	100(6)	100(16)
32	GD*(packets)	100,95	100,85	100,39	100,22	100,18	100,09	100,03	100,02
33	gGDSF(1)	100(34)	99,96(44)	100(13)	100(17)	100(11)	100(44)	100(44)	100(16)
34	gGDSF(latency)	102,24	101,02	100,66	100,23	100,17	100,09	100,08	100,05
35	gGDSF(hops)	100,16	100(33)	100,04	100(17)	100(11)	100(13)	100(6)	100(16)
36	gGDSF(packets)	102,33	102,14	101,37	100,96	100,65	100,44	100,33	100,24
37	M-METRIC	101,11	100,93	100,52	100,39	100,32	100,23	100,13	100,09
38	MIX	100,31	100,08	100,04	100,00	100,03	100(13)	100,02	100(16)
39	TSP	104,07	101,71	101,11	100,56	100,43	100,29	100,20	100,15
40	LUV	112,90	105,77	103,74	101,80	101,05	100,67	100,41	100,28
41	RAND	103,73	102,94	101,50	101,05	100,65	100,46	100,28	100,19
42	LRU-S	103,90	101,79	101,44	100,65	100,54	100,41	100,28	100,17
43	LRU-C	103,57	101,88	101,50	100,74	100,58	100,41	100,28	100,19
44	LRU-CS	104,07	101,88	101,44	100,69	100,54	100,41	100,28	100,19
45	RAND-MIX	101,59	100,59	100,45	100,35	100,22	100,14	100,08	100,03

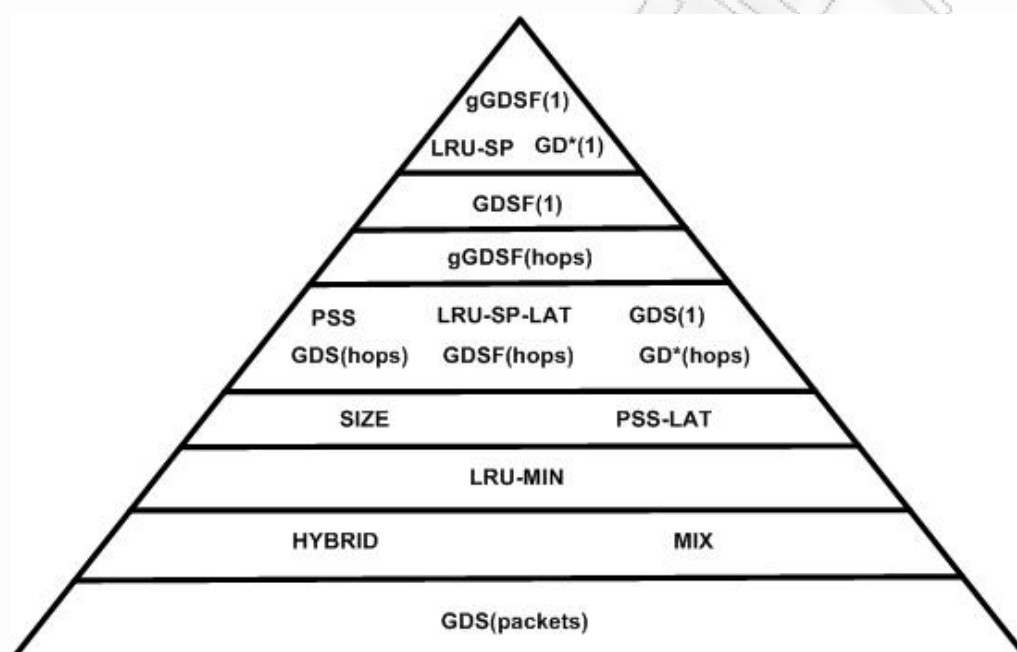
Πίνακας 5.16. Βελτιωμένο μοντέλο ΠΑΔ – Δείκτες υπερ-αποδοτικότητας (%) των 45 στρατηγικών ανά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών NY

- Τρεις στρατηγικές ξεχωρίζουν από τις υπόλοιπες για την αποδοτικότητά τους σε όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Αυτές είναι οι GD*(1), LRU-SP

και gGDSF(1). Επιπλέον, για μνήμη 3%, η GD*(1) είναι υπερ-αποδοτικότερη, με την LRU-SP να ακολουθεί. Για μνήμη 5%, η gGDSF(1) είναι υπερ-αποδοτικότερη, ενώ για μνήμη 10%, η LRU-SP είναι υπερ-αποδοτικότερη. Σημαντική είναι, επίσης, η παρατήρηση ότι για να καταστεί αποδοτική η GD*(1), η ΠΑΔ εξάλειψε την εκροή BHR σε όλα τα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Αντίθετα, για τις άλλες δύο στρατηγικές, τα συμπεράσματα, όσον αφορά στους συντελεστές βαρύτητας των εκροών, είναι ανάμεικτα.

- Με εξαίρεση την περίπτωση μνήμης της τάξεως του 3%, η στρατηγική GDSF(1) είναι αποδοτική σε όλα τα άλλα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Για περιπτώσεις μνήμης 5%, 10%, 20% και 35%, η ΠΑΔ σταθμίζει μόνο την εκροή HR, ενώ για τις υπόλοιπες σταθμίζει και τις δύο εκροές.
- Η στρατηγική gGDSF(hops) παρουσιάζεται αποδοτική, όταν η μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης είναι μέτριου και μεγάλου μεγέθους. Επίσης είναι αποδοτική, όταν η μνήμη είναι πολύ μικρή (της τάξεως του 5%) και μικρή (της τάξεως του 15%). Στα μέτρια και μεγάλα μεγέθη, η ΠΑΔ λαμβάνει υπόψη μόνο την εκροή HR, ενώ στο πολύ μικρό μέγεθος μνήμης, λαμβάνει υπόψη μόνο την εκροή BHR. Τέλος, στο μικρό μέγεθος μνήμης, η ΠΑΔ σταθμίζει και τις δύο εκροές.
- Οι στρατηγικές PSS, LRU-SP-LAT, GDS(1), GDS(hops), GDSF(hops) και GD*(hops) ακολουθούν ως προς τη συμπεριφορά της αποδοτικότητάς τους, αφού είναι αποδοτικές για μέτρια και μεγάλα μεγέθη μνήμης, αλλά και για μικρά μεγέθη μνήμης, της τάξεως του 15%. Για όλα αυτά τα μεγέθη μνήμης, η ΠΑΔ σταθμίζει μόνο την εκροή HR για τη στρατηγική GD*(hops). Για την LRU-SP-LAT, η ΠΑΔ σταθμίζει και τις δύο εκροές, με εξαίρεση τη μνήμη 25%, όπου σταθμίζει μόνο την εκροή HR. Για την PSS, οι περιπτώσεις όπου σταθμίζεται μόνο η εκροή HR αφορούν στα μεγέθη μνήμης 20% και 25%. Για την GDS(hops), οι περιπτώσεις όπου σταθμίζεται μόνο η εκροή HR αφορούν στα μεγέθη μνήμης 30% και 35%. Για την GDSF(hops), οι περιπτώσεις όπου σταθμίζεται μόνο η εκροή HR αφορούν στα μεγέθη μνήμης 20% και 35%. Τέλος, για την GDS(1), οι περιπτώσεις όπου σταθμίζεται μόνο η εκροή HR αφορούν στα μεγέθη μνήμης 20%, 25% και 35%. Για όλες τις άλλες περιπτώσεις μεγέθους μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης και για τις στρατηγικές PSS, GDS(hops), GDSF(hops) και GDS(1), η ΠΑΔ σταθμίζει και τις δύο εκροές.

- Οι στρατηγιές SIZE και PSS-LAT ακολουθούν, όσον αφορά στη συμπεριφορά της αποδοτικότητάς τους, αφού παρουσιάζονται αποδοτικές για τα μεσαία και μεγάλα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Για την SIZE, η ΠΑΔ σταθμίζει σχεδόν εξίσου και τις δύο εκροές σε όλα αυτά τα μεγέθη μνήμης. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση της PSS-LAT, με εξαίρεση το μέγεθος μνήμης 25%, όπου η ΠΑΔ αγνοεί εντελώς την εκροή BHR.



Σχήμα 5.9. Ιεραρχική ταξινόμηση των αποδοτικών στρατηγιών για το αρχείο ιχνών NY, με βάση την εξάπλωση της αποδοτικότητάς τους, ως προς τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης

- Η στρατηγική LRU-MIN είναι υπερ-αποδοτική για μνήμη της τάξεως του 15% και αποδοτική σε μεγέθη μνήμης 25% και 30%. Σε όλες τις περιπτώσεις, η ΠΑΔ αγνοεί εντελώς την εκροή HR.
- Η στρατηγική HYBRID είναι αποδοτική για τα μεγάλα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η ΠΑΔ αγνοεί την εκροή HR για μέγεθος της μνήμης 30%, ενώ αγνοεί την BHR για μέγεθος μνήμης 35%.
- Η στρατηγική MIX είναι αποδοτική για μεγέθη μνήμης 25% και 35%, με την ΠΑΔ να αγνοεί την εκροή BHR και στις δύο περιπτώσεις.

- Η στρατηγική GDS(packets) είναι αποδοτική για μέγεθος μνήμης 35%, με την ΠΑΔ να αγνοεί την εκροή BHR.

Στο σχήμα 5.9 δίνεται μια αναλυτική, ιεραρχική ταξινόμηση των 17 στρατηγικών που βρέθηκαν αποδοτικές για το αρχείο ιχνών NY, με βάση την εξάπλωση της αποδοτικότητάς τους, ως προς τα εξεταζόμενα μεγέθη της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης.

A/A	ΜΛΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ							
		3%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%
1	FIFO	100,84	100,45	100,57	100,39	100,43	100,34	100,31	100,18
2	LRU	100,67	100,32	100,48	100,36	100,38	100,30	100,26	100,16
3	LRU-MIN	100,37	100,25	100,06	100,05	100(16)	100(15)	100(20)	100,01
4	SIZE	101,65	100,36	100,03	100(16)	100(16)	100(15)	99,94(44)	99,92(44)
5	PSS	100,29	100,14	100(16)	100(16)	100(16)	100(15)	100(20)	100(22)
6	PSS-LAT	100,45	100,04	100(16)	99,87(44)	100(16)	100(15)	100(20)	100(22)
7	EXPI	102,23	101,50	101,41	100,98	100,86	100,76	100,43	100,26
8	PART-LRU	108,54	109,04	105,63	109,78	107,66	117,54	127,30	112,09
9	LFU (In-Cache)	101,62	101,50	101,50	101,01	100,86	100,76	100,43	100,26
10	A-Aging (In-Cache)	101,53	101,43	101,54	100,95	100,73	100,67	100,46	100,28
11	SLRU	100,25	100,13	100,26	100,16	100,21	100,25	100,28	100,16
12	LRU*	100,34	100,19	100,39	100,23	100,30	100,23	100,26	100,15
13	LRU-SP	99,98(3)	100,02	100(16)	100(16)	100(16)	100(15)	100(20)	100(22)
14	LRU-SP-LAT	100,20	100,04	100(16)	100(16)	100(16)	100(15)	100(20)	100(22)
15	HYBRID	102,94	101,62	100,15	100(16)	100(16)	100(15)	100(20)	100(22)
16	LLF	113,07	107,66	104,06	102,69	101,66	101,27	100,78	100,61
17	GDS(1)	100,41	100,04	100,03	100(16)	100(16)	100(15)	100(20)	100,01
18	GDS(latency)	103,02	101,83	101,03	100,55	100,43	100,32	100,26	100,25
19	GDS(hops)	100,74	100,61	100,03	100(16)	100(16)	100(15)	100(20)	100,01
20	GDS(packets)	100,59	100,19	100,41	100,39	100,27	100,12	100,13	100,01
21	GDSF(1)	100,04	100(16)	100(16)	100(16)	100(16)	100(15)	100(20)	100(22)
22	GDSF(latency)	101,10	101,10	100,76	100,39	100,32	100,32	100,30	100,21
23	GDSF(hops)	100,49	100,33	100(16)	100(16)	100(16)	99,98(44)	100(20)	100(22)
24	GDSF(packets)	100,42	100,06	100,19	100,16	100,21	100,16	100,13	100,09
25	GDF(1)	100,25	100(25)	100,35	100,36	100,30	100,16	100,26	100,25
26	GDF(latency)	104,01	103,04	102,12	101,51	101,16	100,81	100,59	100,44
27	GDF(hops)	101,10	100,97	100,65	100,39	100,27	100,16	100,26	100,25
28	GDF(packets)	103,74	103,10	102,31	101,71	101,11	100,76	100,56	100,41
29	GD*(1)	100,08	100(16)	100,03	100(16)	100(16)	100(15)	100(20)	100,01
30	GD*(latency)	101,79	101,23	100,89	100,32	100,32	100,32	100,31	100,21
31	GD*(hops)	100,70	100,40	100,03	100(16)	100(16)	100(15)	100(20)	100,01
32	GD*(packets)	100,34	100,26	100,18	100,13	100,19	100,21	100,06	100,07
33	gGDSF(1)	99,96(13)	100,13	100(16)	100(16)	100(16)	100(15)	100(20)	100(22)
34	gGDSF(latency)	101,95	101,23	100,83	100,57	100,45	100,21	100,14	100,12
35	gGDSF(hops)	100,39	100,35	100,00	100(16)	100,00	100(15)	100(20)	100(22)
36	gGDSF(packets)	100,17	100,26	100,06	100,13	100,21	100,23	100,13	100,09
37	M-METRIC	100,17	100(25)	99,91(26)	100,16	100,19	100,25	100,15	100,15
38	MIX	99,53(29)	99,79(6)	99,77(27)	100,00	99,95(44)	100,00	100(20)	100(22)
39	TSP	100,93	100,84	100,49	100,32	100,32	100,23	100,22	100,16
40	LUV	113,28	106,41	103,02	101,71	101,03	100,69	100,50	100,33
41	RAND	101,79	100,97	100,70	100,65	100,48	100,34	100,28	100,28
42	LRU-S	101,36	100,71	100,74	100,52	100,57	100,39	100,31	100,21
43	LRU-C	101,36	100,64	100,70	100,52	100,57	100,41	100,37	100,21
44	LRU-CS	101,36	100,71	100,74	100,59	100,57	100,41	100,35	100,21
45	RAND-MIX	100,08	99,92(26)	100,45	100,23	100,27	100,14	100,10	100,06

Πίνακας 5.17. Βελτιωμένο μοντέλο ΠΑΔ – Δείκτες υπερ-αποδοτικότητας (%) των 45 στρατηγικών ανά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών SD

Στον πίνακα 5.17 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του βελτιωμένου μοντέλου ΠΑΔ για το αρχείο ιχνών SD. Τα κυριότερα συμπεράσματα για το αρχείο ιχνών SD είναι τα παρακάτω:

- Τρεις στρατηγικές ξεχωρίζουν από τις υπόλοιπες για την αποδοτικότητά τους σε όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, εκτός από ένα. Αυτές είναι οι παρακάτω:
 - Η στρατηγική LRU-SP είναι αποδοτική στα μικρά, μεσαία και μεγάλα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Καταλαμβάνει, δε, την τρίτη θέση από πλευράς υπερ-αποδοτικότητας για μεγέθη μνήμης της τάξεως του 3%. Η ΠΑΔ σταθμίζει μόνο την εκροή HR για την LRU-SP σε όλα τα άλλα μεγέθη μνήμης, με εξαίρεση το μέγεθος μνήμης 3%, όπου δίνει βαρύτητα και στις δύο εκροές.
 - Η στρατηγική gGDSF(1) είναι αποδοτική στα μικρά, μεσαία και μεγάλα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Καταλαμβάνει, δε, τη δεύτερη θέση από πλευράς υπερ-αποδοτικότητας για μεγέθη μνήμης της τάξεως του 3%. Όμως, η ΠΑΔ αγνοεί εντελώς την εκροή BHR, για όλα αυτά τα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης.
 - Η στρατηγική GDSF(1) είναι αποδοτική για όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης από 5% και πάνω, με την ΠΑΔ να αγνοεί εντελώς την εκροή BHR.
- Υπάρχουν πέντε στρατηγικές, οι οποίες παρουσιάζονται αποδοτικές σε όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης εκτός από δύο. Για αυτές ισχύουν τα παρακάτω:
 - Η στρατηγική MIX είναι αποδοτική για τα πολύ μικρά και τα μεγάλα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Είναι, δε, πρώτη σε υπερ-αποδοτικότητα, όσον αφορά στα μεγέθη μνήμης 3%, 5%, 10% και 20%. Για τα μεγάλα μεγέθη μνήμης, η ΠΑΔ αγνοεί την εκροή BHR. Για μέγεθος μνήμης ίσο με 20%, η ΠΑΔ αγνοεί την εκροή HR. Για μικρά μεγέθη μνήμης και για μνήμη ίση με 3%, η ΠΑΔ δίνει αισθητά μεγαλύτερη βαρύτητα στην εκροή BHR.
 - Οι στρατηγικές PSS, PSS-LAT, LRU-SP-LAT και GDSF(hops) είναι αποδοτικές για όλα τα εξεταζόμενα, μικρά, μεσαία και μεγάλα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η PSS-LAT εμφανίζεται ως η μοναδική υπερ-αποδοτική για μνήμη ίση προς 15%. Σε όλα αυτά τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης, η ΠΑΔ δίνει την

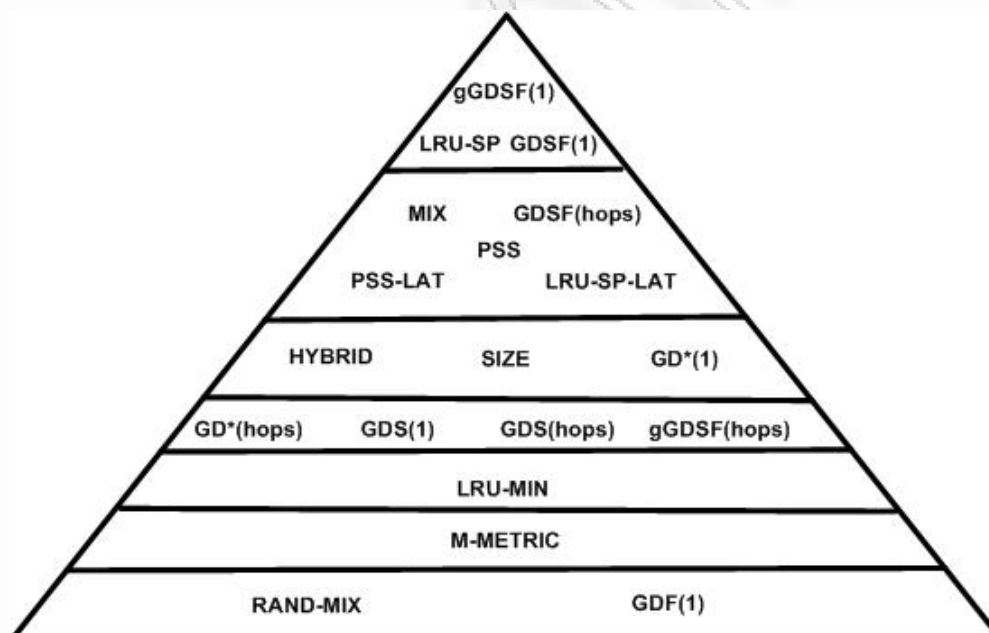
απόλυτη βαρύτητα στην εκροή HR και για τις τέσσερις στρατηγιές, με δύο μόνο εξαιρέσεις, στις οποίες δίνεται η απόλυτη βαρύτητα στην εκροή BHR. Αυτές αφορούν στη στρατηγική PSS-LAT και συγκεκριμένα στο σημείο υπερ-αποδοτικότητάς της (δηλαδή 15%), και στη στρατηγική GDSF(hops) για μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης της τάξεως του 25%.

- Υπάρχουν τρεις στρατηγιές, οι οποίες παρουσιάζονται αποδοτικές σε όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης εκτός από τρία. Για αυτές ισχύουν τα παρακάτω:
 - Οι SIZE και HYBRID είναι αποδοτικές για όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης από 15% και πάνω, με τη SIZE να είναι η μοναδική υπερ-αποδοτική στα μεγάλα μεγέθη μνήμης. Σε όλες τις περιπτώσεις, η ΠΑΔ σταθμίζει μόνο την εκροή HR, με εξαίρεση τα σημεία υπερ-αποδοτικότητας για τη SIZE – δηλαδή, τα μεγάλα μεγέθη μνήμης – όπου η ΠΑΔ δίνει την απόλυτη βαρύτητα στην εκροή BHR.
 - Η στρατηγική GD*(1) είναι αποδοτική για τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης 5% και από 15% έως και 30%. Σε όλες τις περιπτώσεις, η ΠΑΔ δίνει την απόλυτη βαρύτητα στην εκροή HR.
- Υπάρχουν τέσσερις στρατηγιές, οι οποίες παρουσιάζονται αποδοτικές στα μισά από τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Για αυτές ισχύουν τα παρακάτω:
 - Οι στρατηγιές GDS(1), GDS(hops) και GD*(hops) είναι αποδοτικές για τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης από 15% έως και 30%. Σε όλες τις περιπτώσεις, η ΠΑΔ δίνει την απόλυτη βαρύτητα στην εκροή HR.
 - Η στρατηγική gGDSF(hops) είναι αποδοτική για τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης 15% και από 25% έως και 35%. Σε όλες τις περιπτώσεις, η ΠΑΔ δίνει την απόλυτη βαρύτητα στην εκροή HR.
- Η στρατηγική LRU-MIN είναι αποδοτική για όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης από 20% έως και 30%. Σε όλες τις περιπτώσεις, η ΠΑΔ δίνει την απόλυτη βαρύτητα στην εκροή HR.
- Η στρατηγική M-METRIC είναι αποδοτική για μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης 5% και 10%, με την ΠΑΔ να σταθμίζει μόνο την εκροή BHR. Για

μέγεθος μνήμης ίσο με 10%, η στρατηγική αυτή είναι η δεύτερη σε υπερ-αποδοτικότητα μετά την MIX.

- Οι στρατηγιές RAND-MIX και GDF(1) είναι αποδοτικές για μνήμη 5%, με τη RAND-MIX να έρχεται δεύτερη σε υπερ-αποδοτικότητα μετά την MIX σε αυτό το μέγεθος μνήμης. Και στις δύο περιπτώσεις στρατηγιών, η ΠΑΔ δίνει την απόλυτη βαρύτητα στην εκροή BHR.

Στο σχήμα 5.10 δίνεται μια αναλυτική, ιεραρχική ταξινόμηση των 19 στρατηγιών που βρέθηκαν αποδοτικές για το αρχείο ιχνών SD, με βάση την εξάπλωση της αποδοτικότητάς τους, ως προς τα εξεταζόμενα μεγέθη της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης.



Σχήμα 5.10. Ιεραρχική ταξινόμηση των αποδοτικών στρατηγιών για το αρχείο ιχνών SD, με βάση την εξάπλωση της αποδοτικότητάς τους, ως προς τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης

5.4.1.3 Ανάλυση Αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα Τεχνικής 1

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα, τόσο από το αρχικό, όσο και από το αναβαθμισμένο μοντέλο ΠΑΔ, που προέκυψαν με βάση την τεχνική της ομαδοποίησης των στρατηγιών ανά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, μπορούμε να καταλήξουμε σε πολύ χρήσιμα, γενικευμένα συμπεράσματα.

Καταρχήν, η προσθήκη των επιπρόσθετων 16 στρατηγιών μεταξύ των δύο πειραμάτων αποδείχθηκε καθοριστική, αφού ανέτρεψε το σκηνικό, όσον αφορά στην ανεύρεση των πραγματικά αποδοτικών στρατηγιών. Η στρατηγική gGDSF(1) αποδείχθηκε η πλέον αποδοτική για όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης στα αρχεία ιχνών UC και NY, ενώ στο αρχείο ιχνών SD υστέρησε σε αποδοτικότητα μόνο για το μέγεθος μνήμης 5%. Ακολουθεί η στρατηγική LRU-SP, η οποία αποδείχθηκε αποδοτική για όλα τα μεγέθη μνήμης στο αρχείο ιχνών NY, ενώ υστέρησε σε αποδοτικότητα μόνο για τα μεγέθη μνήμης 3% και 5% στα αρχεία ιχνών UC και SD, αντίστοιχα. Τέλος, οι στρατηγιές MIX, GD*(1) και GDSF(1) αναδείχθηκαν μετά τις δύο παραπάνω στρατηγιές, όσον αφορά στην αποδοτικότητά τους, αλλά μόνο για τα αρχεία ιχνών UC, NY και SD, αντίστοιχα. Μάλιστα, η GDSF(1), που αποτελεί μια βασική επιλογή του Squid, αναδείχθηκε και για το αρχείο NY, ενώ καλή ήταν και η κατάταξή της για το αρχείο UC.

Το πρόβλημα που εγείρεται προς αμφισβήτηση της πρωτοκαθεδρίας των στρατηγιών gGDSF(1) και LRU-SP σχετικά με την αποδοτικότητά τους, όπως αυτή προέκυψε από την ΠΑΔ, εκφράζεται στο εξής ερώτημα: Ποιος είναι ο βαθμός αντικειμενικότητας αυτής της κατά τα άλλα υποκειμενικής – δεδομένου ότι η κάθε ΜΛΑ είχε το δικαίωμα στάθμισης της βαρύτητας της κάθε εκροής – εκτίμησης της αποδοτικότητας από την ΠΑΔ; Με άλλα λόγια, παρουσιάζουν αυτές οι δύο στρατηγιές τις καλύτερες, δυνατές επιδόσεις ως προς τους δύο δείκτες – δηλαδή τους δείκτες HR και BHR;

Για να εκτιμήσουμε την ποιότητα των αποτελεσμάτων του μοντέλου ΠΑΔ, που χρησιμοποιήσαμε, παραθέτουμε τους συγκριτικούς πίνακες 5.18, 5.19 και 5.20, που βασίζονται στα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τα αρχεία ιχνών UC, NY και SD. Σε καθένα από τους πίνακες παρουσιάζουμε την ελάχιστη, τη μέγιστη και τη μέση τιμή των δύο δεικτών επίδοσης για τα διάφορα μεγέθη μνήμης. Επιπλέον, παρουσιάζουμε τις αντίστοιχες τιμές των δεικτών επίδοσης για τις δύο αποδοτικότερες, κατά την ΠΑΔ, στρατηγιές gGDSF(1) και LRU-SP, τη θέση κατάταξης των στρατηγιών αυτών σε σχέση με την επίδοσή τους ως προς κάποιο δείκτη, με τη διαφορά από τη μέγιστη τιμή του δείκτη αυτού σε παρένθεση, και τη στάθμιση της ΠΑΔ για το δείκτη αυτό.

Από την ανάλυση του πίνακα 5.18 για το αρχείο ιχνών UC, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Για τη στρατηγική gGDSF(1), όσες φορές η ΠΑΔ έδωσε την απόλυτη βαρύτητα στην εκροή HR, η τιμή του δείκτη ήταν η βέλτιστη. Αντίθετα, η τιμή του δείκτη BHR για αυτές τις περιπτώσεις κυμάνθηκε από 6^η (για μέγεθος μνήμης 30%) έως 13^η (για μνήμη 15% και 20%) καλύτερη, με τη διαφορά της τιμής του δείκτη BHR από τη βέλτιστη τιμή να είναι κατά μέσο όρο της τάξεως των 0,13 ποσοστιαίων μονάδων, ενώ η μέγιστη (ελάχιστη) διαφορά είναι της τάξεως των 0,22 (0,06) ποσοστιαίων μονάδων. Τέλος, για μνήμη 35%, όπου η ΠΑΔ στάθμισε και τους δύο δείκτες επίδοσης, αυτοί είχαν βέλτιστη τιμή.

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ UC										
ΜΝΗΜΗ	ΕΚΡΟΗ	MIN (σε %)	MAX (σε %)	ΜΕΣΟΣ (σε %)	gGDSF(1)			LRU-SP		
					ΤΙΜΗ (σε %)	ΘΕΣΗ (ΔΙΑΦ.)	ΠΑΔ (σε %)	ΤΙΜΗ (σε %)	ΘΕΣΗ (ΔΙΑΦ.)	ΠΑΔ (σε %)
3%	HR	23,39	33,35	31,33	33,35	1 (0)	100	33,34	2 (0,01)	-
	BHR	17,76	19,69	19,29	19,47	11 (0,22)	0	19,47	11 (0,22)	-
5%	HR	25,68	34,71	33,12	34,71	1 (0)	100	34,70	2 (0,01)	81
	BHR	19,79	22,87	22,52	22,67	12 (0,20)	0	22,72	9 (0,15)	19
10%	HR	34,16	41,09	40,03	41,09	1 (0)	100	41,09	1 (0)	100
	BHR	27,68	38,51	38,11	38,42	9 (0,09)	0	38,42	9 (0,09)	0
15%	HR	41,79	50,70	49,84	50,70	1 (0)	100	50,70	1 (0)	89
	BHR	40,60	46,66	46,39	46,52	13 (0,14)	0	46,60	6 (0,06)	11
20%	HR	56,51	63,81	63,19	63,81	1 (0)	100	63,81	1 (0)	55
	BHR	50,51	55,88	55,66	55,75	13 (0,13)	0	55,88	1 (0)	45
25%	HR	67,47	70,9	70,53	70,9	1 (0)	100	70,9	1 (0)	52
	BHR	60,92	67,89	67,66	67,8	8 (0,09)	0	67,89	1 (0)	48
30%	HR	70,9	77,36	77,04	77,36	1 (0)	100	77,36	1 (0)	55
	BHR	67,88	79,76	79,46	79,70	6 (0,06)	0	79,76	1 (0)	45
35%	HR	75,10	85,74	85,42	85,74	1 (0)	70	85,74	1 (0)	70
	BHR	75,56	93,36	92,95	93,36	1 (0)	30	93,36	1 (0)	30

Πίνακας 5.18. Ανάλυση της ποιότητας των αποτελεσμάτων του μοντέλου ΠΑΔ, για το αρχείο ιχνών UC

- Όσον αφορά στη στρατηγική LRU-SP, για τα μεγέθη μνήμης από 20% έως και 35%, όπου αυτή εμφάνισε βέλτιστες επιδόσεις ως προς τους δύο δείκτες, η ΠΑΔ την ξεχώρισε ως αποδοτικότερη, σταθμίζοντας και τις δύο εκροές. Μια χαρακτηριστική περίπτωση είναι αυτή της μνήμης 5%, όπου η στρατηγική επιδεικνύει καλά πλασαρίσματα, όσον αφορά στην κατάταξη βάσει των επιδόσεών της, και η ΠΑΔ την ανταμείβει καθιστώντας την αποδοτική.
- Συγκρίνοντας τις δύο στρατηγικές για το αρχείο ιχνών UC, η LRU-SP παρουσιάζεται να έχει συνολικά καλύτερα πλασαρίσματα στην κατάταξη βάσει των επιδόσεών της, ακόμα και αν συμπεριλάβουμε την περίπτωση της μη αποδοτικότητάς της για μέγεθος μνήμης 3%.

Αν ακολουθήσουμε την ίδια ανάλυση για τους πίνακες 5.19 και 5.20, που αφορούν στα αρχεία ιχνών NY και SD αντίστοιχα, θα καταλήξουμε στα ίδια βασικά συμπεράσματα:

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ NY										
ΜΝΗΜΗ	ΕΚΡΟΗ	MIN (σε %)	MAX (σε %)	ΜΕΣΟΣ (σε %)	gGDSF(1)			LRU-SP		
					ΤΙΜΗ (σε %)	ΘΕΣΗ (ΔΙΑΦ.)	ΠΑΔ (σε %)	ΤΙΜΗ (σε %)	ΘΕΣΗ (ΔΙΑΦ.)	ΠΑΔ (σε %)
3%	HR	10,35	17,99	15,84	17,82	5 (0,17)	0	17,85	3 (0,14)	48
	BHR	5,36	6,39	6,14	6,39	1(0)	100	6,39	1(0)	52
5%	HR	13,35	20,52	18,70	20,52	1(0)	77	20,51	2 (0,01)	0
	BHR	10,78	11,92	11,68	11,92	1(0)	23	11,92	1(0)	100
10%	HR	16,66	23	21,61	23	1(0)	100	23	1(0)	0
	BHR	13,93	15,55	15,34	15,51	4 (0,04)	0	15,55	1(0)	100
15%	HR	24,91	30,42	29,32	30,42	1(0)	62	30,42	1(0)	62
	BHR	19,73	23,20	22,98	23,18	2 (0,02)	38	23,18	2 (0,02)	38
20%	HR	30,08	34,94	34,04	34,94	1(0)	100	34,94	1(0)	100
	BHR	25,28	27,9	27,71	27,87	4 (0,03)	0	27,87	4 (0,03)	0
25%	HR	35,2	42,92	42,09	42,92	1(0)	56	42,92	1(0)	100
	BHR	29,59	34,61	34,39	34,61	1(0)	44	34,57	5 (0,04)	0
30%	HR	39,54	48,83	48,03	48,83	1(0)	57	48,83	1(0)	57
	BHR	33,2	39,65	39,43	39,65	1(0)	43	39,65	1(0)	43
35%	HR	44,41	57,44	56,74	57,44	1(0)	100	57,44	1(0)	53
	BHR	36,59	46,95	46,65	46,94	2 (0,01)	0	46,95	1(0)	47

Πίνακας 5.19. Ανάλυση της ποιότητας των αποτελεσμάτων του μοντέλου ΠΑΔ, για το αρχείο ιχνών NY

- Οποτεδήποτε μια εκ των δύο στρατηγικών επέδειξε βέλτιστες επιδόσεις βάσει των δύο δεικτών, η ΠΑΔ το διέκρινε και στάθμιζε και τις δύο αντίστοιχες εκροές, με εξαίρεση την περίπτωση της στρατηγικής LRU-SP για μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης 10% και για το αρχείο ιχνών NY. Στην περίπτωση αυτή (βλέπε πίνακα 5.19), η ΠΑΔ στάθμιζε αποκλειστικά την εκροή BHR, παρόλο που η στρατηγική επέδειξε τη βέλτιστη τιμή και στις δύο εκροές.
- Η ΠΑΔ αναγνώρισε, επίσης, τα καλά πλασαρίσματα των στρατηγικών με βάση την κατάταξη των επιδόσεων. Εδώ διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:
 - Στην πρώτη περίπτωση, οι στρατηγικές παρουσιάζουν τη βέλτιστη επίδοση ως προς τον ένα δείκτη και μια καλή κατάταξη με βάση την επίδοση ως προς τον άλλο δείκτη, με την ΠΑΔ, όμως, να δίνει την απόλυτη βαρύτητα στον πρώτο δείκτη. Εδώ, υπάρχουν κάποιες εξαιρέσεις, που αφορούν στο αρχείο ιχνών NY, για μέγεθος μνήμης 15% και για τις δύο στρατηγικές, καθώς και για μέγεθος μνήμης 3% με τη στρατηγική LRU-SP.
 - Στη δεύτερη περίπτωση, που παρατηρείται στο αρχείων ιχνών SD για μέγεθος μνήμης 3% με τη στρατηγική LRU-SP, η στρατηγική παρουσιάζει καλή κατάταξη

με βάση τους δύο δείκτες επίδοσης, με την ΠΑΔ να την ανταμείβει σταθμίζοντας και τις δύο αντίστοιχες εκροές.

- Όσον αφορά στη γενικότερη, συγκριτική εικόνα μεταξύ των δύο στρατηγικών με βάση την αναλυτική προσέγγιση των επιδόσεων τους, η LRU-SP δείχνει να έχει ελαφρώς καλύτερα πλασαρίσματα, ακόμα και αν λάβουμε υπόψη τις περιπτώσεις μη αποδοτικότητας.

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ SD										
ΜΝΗΜΗ	ΕΚΡΟΗ	MIN (σε %)	MAX (σε %)	ΜΕΣΟΣ (σε %)	gGDSF(1)			LRU-SP		
					ΤΙΜΗ (σε %)	ΘΕΣΗ (ΔΙΑΦ.)	ΠΑΔ (σε %)	ΤΙΜΗ (σε %)	ΘΕΣΗ (ΔΙΑΦ.)	ΠΑΔ (σε %)
3%	HR	15,77	24,61	22,6	24,61	1(0)	100	24,6	2 (0,01)	70
	BHR	10,54	11,94	11,62	11,85	9 (0,09)	0	11,87	7 (0,07)	30
5%	HR	20,16	27,98	26,29	27,93	6 (0,05)	-	27,96	3 (0,02)	-
	BHR	14,11	15,61	15,37	15,53	9 (0,08)	-	15,55	7 (0,06)	-
10%	HR	26,52	32,81	31,64	32,81	1(0)	100	32,81	1(0)	100
	BHR	21,38	23,07	22,83	22,95	9(0,12)	0	22,98	6(0,09)	0
15%	HR	33,23	38,63	37,68	38,63	1(0)	100	38,63	1(0)	100
	BHR	26,89	30,9	30,64	30,79	8 (0,11)	0	30,86	2 (0,04)	0
20%	HR	37,6	42,33	41,55	42,33	1(0)	100	42,33	1(0)	100
	BHR	32,75	37,34	37,09	37,28	5 (0,06)	0	37,32	2 (0,02)	0
25%	HR	42,2	50,09	49,34	50,09	1(0)	100	50,09	1(0)	100
	BHR	37,23	43,76	43,49	43,75	2 (0,01)	0	43,72	5 (0,04)	0
30%	HR	48,93	62,29	61,56	62,29	1(0)	100	62,29	1(0)	100
	BHR	42,2	54,28	53,88	54,22	4 (0,06)	0	54,21	5 (0,07)	0
35%	HR	60,97	68,34	67,86	68,34	1(0)	100	68,34	1(0)	100
	BHR	52,07	61,37	61,04	61,28	5 (0,09)	0	61,32	2 (0,05)	0

Πίνακας 5.20. Ανάλυση της ποιότητας των αποτελεσμάτων του μοντέλου ΠΑΔ, για το αρχείο ιχνών SD

Ύστερα από αυτήν την αναλυτική προσέγγιση σχετικά με την ποιότητα των αποτελεσμάτων της ΠΑΔ, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι δύο αποδοτικότερες στρατηγικές, δηλαδή οι LRU-SP και gGDSF(1), αποδεικνύονται να είναι πολύ καλές περιπτώσεις, αν το πρόβλημα προσεγγίζεται στην αναζήτηση καλών επιδόσεων με βάση τους δύο βασικούς δείκτες, δηλαδή τους HR και BHR. Με βάση την παρούσα ανάλυση, μπορούμε να τις προτείνουμε ανεπιφύλακτα, τόσο ως πρότυπα λειτουργίας και σύγκρισης (Benchmarks), όσο και ως καλές επιλογές προς υλοποίηση σε πραγματικές εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης, δεδομένου, επίσης, ότι δεν ενσωματώνουν εξεζητημένες παραδοχές, όσον αφορά στη λειτουργία τους.

Επανερχόμαστε, τώρα, σε κάποιες άλλες γενικές παρατηρήσεις, όσον αφορά στα αποτελέσματα του αναβαθμισμένου μοντέλου ΠΑΔ, που χρησιμοποιήσαμε, και την τεχνική της ομαδοποίησης των στρατηγικών κατά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Ένα ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί αφορά στον τρόπο με τον οποίο το αναβαθμισμένο

μοντέλο ΠΑΔ αντιμετώπισε και έκρινε την αποδοτικότητα των στρατηγικών που αναδείχθηκαν μέσα από το πρωταρχικό μοντέλο μας.

Η στρατηγική PSS έδειξε να είναι αποδοτική στα μικρά, μεσαία και μεγάλα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, με μια εξαίρεση στο αρχείο ιχνών NY για μνήμη 10%. Όμως, για τα πολύ μικρά μεγέθη μνήμης, η PSS βρέθηκε μη αποδοτική. Η MIX αναδείχθηκε για την αποδοτικότητά της κυρίως στα αρχεία UC και SD, ιδιαίτερα στα πολύ μικρά και τα μεγάλα μεγέθη μνήμης. Τέλος, η στρατηγική GDF(1), που είναι γνωστή και ως LFU-DA, κρίθηκε μη αποδοτική παντού, με μια μοναδική εξαίρεση στο αρχείο ιχνών SD για μνήμη 5%.

Μια τελευταία παρατήρηση, ως προς τα αποτελέσματα του μοντέλου ΠΑΔ, αφορά στην καθοριστική επίδραση του μεγέθους της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Όσο το μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης αυξάνει, ο αριθμός των αποδοτικών στρατηγικών τείνει, επίσης, να αυξάνει. Αυτήν την καθοριστική επίδραση της μνήμης στα αποτελέσματα θα την αναδείξουμε περισσότερο στις παρακάτω παραγράφους, όπου εξετάζουμε ένα περισσότερο γενικευμένο μοντέλο, στο οποίο το μέγεθος της μνήμης έχει πιο ενεργό ρόλο ως παράγοντας εισροής.

Υστερα από αυτήν τη λεπτομερή και εξονυχιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων, που προέκυψαν από την τεχνική της ομαδοποίησης των στρατηγικών, με βάση το μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, συνοψίζουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η διεύρυνση του συνόλου των στρατηγικών, οι οποίες λαμβάνονται υπόψη από το μοντέλο ΠΑΔ, σε σχέση με την παλαιότερη εργασία μας [Kast07], επέφερε αλλαγές στο χάρτη της αποδοτικότητας.
- Πρωταθλήτριες στρατηγικές βάσει της αποδοτικότητάς τους αναδείχθηκαν η gGDSF(1) και η LRU-SP. Η πρώτη αποτελεί μια γενίκευση της GDSF(1), η οποία δίνει έμφαση στη δημοτικότητα των αντικειμένων, σε σχέση με το μέγεθός τους. Η δεύτερη αποτελεί μια γενίκευση της στρατηγικής PSS, που αναδείχθηκε στην πρωταρχική εργασία μας [Kast07], η οποία λαμβάνει υπόψη, επίσης, τον παράγοντα της δημοτικότητας, σε αντίθεση με τη στρατηγική PSS. Επομένως, καταλήγουμε στο επιπρόσθετο συμπέρασμα ότι οι αποδοτικές στρατηγικές δε μπορούν να παραβλέπουν την αξία της δημοτικότητας των αντικειμένων.

- Η περαιτέρω στατιστική ανάλυση των δύο κορυφαίων στρατηγικών κατά την ΠΑΔ δείχνει πως η LRU-SP υπερτερεί σε σημεία, όσον αφορά στις επιδόσεις της. Συγκεκριμένα, η LRU-SP δείχνει να πλησιάζει περισσότερο στις βέλτιστες επιδόσεις, ως προς τους δύο δείκτες επίδοσης, στα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Στο συμπέρασμα αυτό συμπεριλήφθηκαν και οι περιπτώσεις μη αποδοτικότητας των δύο στρατηγικών κατά την ΠΑΔ.
- Η ΠΑΔ είναι σε θέση να διακρίνει και να αναδειξει την κορυφαία στρατηγική, που θα δώσει τις βέλτιστες επιδόσεις για όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, ανεξαρτήτως της δραστηριότητας του παγκοσμίου ιστού που θα αντιμετωπίσει. Η πρόσθετη στατιστική ανάλυση έδειξε ότι, συνήθως, η ΠΑΔ σταθμίζει και τους δύο δείκτες επίδοσης, χωρίς, όμως, αυτό να είναι δεσμευτικό.
- Σε γενικές γραμμές, η στρατηγική GDSF(1), που αποτελεί μια βασική επιλογή για την επίλυση του προβλήματος της αντικατάστασης περιεχομένου σε πραγματικά συστήματα, όπως είναι το Squid, αποτελεί μια πολύ καλή λύση, μετά τις LRU-SP και gGDSF(1), όσον αφορά στην αποδοτικότητά της στα σύγχρονα αρχεία ιχνών.
- Η αύξηση της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης τείνει να αυξάνει τον αριθμό των αποδοτικών στρατηγικών, τουλάχιστον όσον αφορά σε σχέση με τα χαρακτηριστικά των μισών από τα αρχεία ιχνών που μελετάμε στην έρευνά μας.

5.4.2 Τεχνική 2: Γενικευμένο Μοντέλο ΠΑΔ για την Αξιολόγηση των Στρατηγικών

Σε αυτήν την παράγραφο εκτιμούμε την αποδοτικότητα των στρατηγικών αντικατάστασης περιεχομένου χρησιμοποιώντας ένα γενικευμένο και προσανατολισμένο στις εκροές μοντέλο BCC της ΠΑΔ, το οποίο δίνει τη δυνατότητα στην κάθε στρατηγική να ανταγωνιστεί τον εαυτό της για τα διάφορα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Ως εκ τούτου, το γενικευμένο μοντέλο ΠΑΔ δίνει μεγαλύτερη σημασία στο μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, ως ένα παράγοντα κόστους που μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία των στρατηγικών. Επιπλέον, στο γενικευμένο μοντέλο ΠΑΔ, δεδομένου ότι οι στρατηγικές ανταγωνίζονται τον ίδιο τους τον εαυτό, εξετάζονται 360 διαφορετικές ΜΛΑ, δηλαδή πολύ περισσότερες από τις ΜΛΑ του μοντέλου ΠΑΔ, που αναλύθηκε στην παράγραφο 5.4.1.

Για την παρουσίαση των αποδοτικών ΜΛΑ στις παραγράφους 5.4.2.1 και 5.4.2.2, χρησιμοποιούμε αναλυτικούς πίνακες μόνο για τις ισχυρά αποδοτικές, για τις οποίες όλες οι χαλαρές μεταβλητές στο μαθηματικό τύπο 5.5 μηδενίστηκαν. Στους πίνακες αυτούς, οι αποδοτικές ΜΛΑ κωδικοποιούνται από το όνομα της στρατηγικής και το μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, στο οποίο μετρήθηκε η αποδοτικότητα. Επιπλέον, οι πίνακες αυτοί εμφανίζουν τους συντελεστές βαρύτητας των δύο εκροών – δηλαδή, των δεικτών επίδοσης HR και BHR – και της μοναδικής εισροής – δηλαδή, του μεγέθους της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης – για τους οποίους η τιμή του δείκτη αποδοτικότητας των αποδοτικών ΜΛΑ έγινε ίση με τη μονάδα. Τέλος, αναγράφεται ο αριθμός των μη αποδοτικών ΜΛΑ, που μπορούν να θεωρήσουν τις αποδοτικές ΜΛΑ ως πρότυπα λειτουργίας.

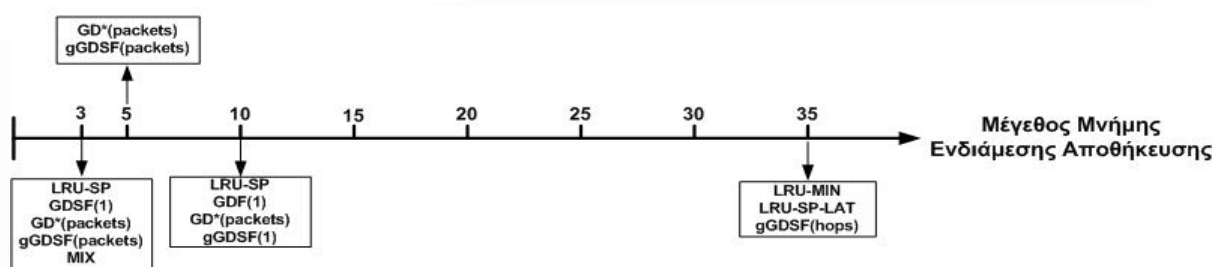
Η αναλυτικότερη ταξινόμηση των 360 ΜΛΑ ως προς το δείκτη απόδοσής τους, κατά φθίνουσα σειρά αποδοτικότητας, δηλαδή από τις αποδοτικές προς τις μη αποδοτικές, για όλα τα αρχεία ιχνών, δίνεται στο παράρτημα Β της παρούσας διατριβής.

5.4.2.1 Αρχεία Ιχνών BOSTON, DIGITAL και BERKELEY

Σε αυτήν την παράγραφο, λαμβάνουμε υπόψη τα αρχεία ιχνών, που παραπέμπουν στην πρώιμη δραστηριότητα του παγκοσμίου ιστού κατά τα μέσα της δεκαετίας του 1990, δηλαδή τα BOSTON, DIGITAL και BERKELEY.

A/A	ΜΛΑ	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΕΙΣΡΟΗΣ	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΕΚΡΟΗΣ HR	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΕΚΡΟΗΣ BHR	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΛΑ ΠΟΥ ΤΗ ΘΕΩΡΟΥΝ ΠΡΟΤΥΠΟ
1	LRU-MIN_35	1	0,25	0,75	151
2	LRU-SP_3	1	0,88	0,12	82
3	LRU-SP_10	1	0,71	0,29	65
4	LRU-SP-LAT_35	1	0,8	0,2	137
5	GDSF(1)_3	1	1	0	48
6	GDF(1)_10	1	0	1	96
7	GD*(packets)_3	1	0,52	0,48	17
8	GD*(packets)_5	1	0,54	0,46	19
9	GD*(packets)_10	1	0,57	0,43	99
10	gGDSF(1)_10	1	0,93	0,07	61
11	gGDSF(hops)_35	1	1	0	32
12	gGDSF(packets)_3	1	0	1	11
13	gGDSF(packets)_5	1	0	1	9
14	MIX_3	1	0,63	0,37	24

Πίνακας 5.21. Αποδοτικές στρατηγικές για το αρχείο ιχνών BOSTON



Σχήμα 5.11. Κατανομή των αποδοτικών στρατηγιών ανά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών BOSTON

Όσον αφορά στο αρχείο ιχνών BOSTON, ο πίνακας 5.21 παρουσιάζει τις αποδοτικές ΜΛΑ. Από ό,τι φαίνεται, οι αποδοτικές στρατηγιές σε αυτήν την περίπτωση παρουσιάζονται σε πολύ μικρά, μικρά και μεγάλα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Το σχήμα 5.11 δίνει μια πιο ξεκάθαρη εικόνα των αποδοτικών στρατηγιών στα διάφορα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Μια παρατήρηση που πρέπει να κάνουμε αφορά στους συντελεστές βαρύτητας, που απέδωσε το μοντέλο ΠΑΔ στις δύο εκροές κατά την αναζήτηση των αποδοτικών στρατηγιών. Παρατηρούμε ότι για κάποιες από τις αποδοτικές στρατηγιές, το μοντέλο μας εξάλειψε εντελώς ή σε μεγάλο βαθμό τη μια εκ των δύο εκροών, δηλαδή είτε το δείκτη HR – πίνακας 5.21, Α/Α: 6, 12 και 13 – είτε το δείκτη BHR – πίνακας 5.21, Α/Α: 5, 10 και 11. Αντίθετα, κάποιες από τις στρατηγιές είναι ισχυρά αποδοτικές, επιτυγχάνοντας μια ισορροπία ανάμεσα στις δύο εκροές. Οι τρανταχτές περιπτώσεις τέτοιων στρατηγιών, που επιτυγχάνουν την καλύτερη δυνατή ισορροπία μεταξύ των εκροών, φαίνονται στον πίνακα 5.21, με Α/Α: 7-9 και 14. Οι υπόλοιπες στρατηγιές γίνονται αποδοτικές δίνοντας περισσότερη βαρύτητα σε μια εκ των δύο εκροών.

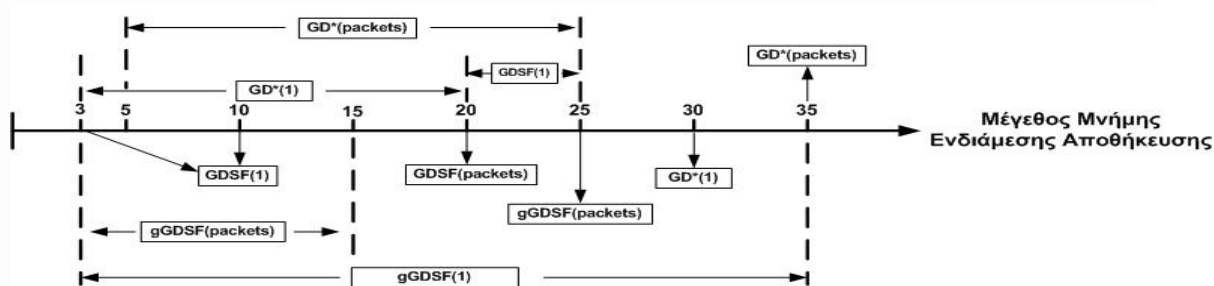
Όσον αφορά στο αρχείο ιχνών DIGITAL, ο πίνακας 5.22 παρουσιάζει τις αποδοτικές ΜΛΑ. Το σχήμα 5.12 δίνει μια πιο ξεκάθαρη, παραστατική εικόνα των αποδοτικών στρατηγιών στα διάφορα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Τα κυριότερα συμπεράσματα για το αρχείο ιχνών DIGITAL είναι τα παρακάτω:

- Η στρατηγική gGDSF(1) εμφανίζεται αποδοτική για όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, επιτυγχάνοντας, κυρίως, από μέτρια έως καλή ισορροπία μεταξύ των δύο εκροών.

- Η στρατηγική $GD^*(\text{packets})$ γίνεται αποδοτική, επιτυγχάνοντας μέτρια ισορροπία για τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης 5%-25%, ενώ στην περίπτωση όπου η μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης έχει μέγεθος 35%, δίνεται η μεγαλύτερη βαρύτητα στο δείκτη BHR.
- Οι στρατηγικές $GDSF(1)$ – για μεγέθη μνήμης 3%, 10%, 20% και 25% – και $GD^*(1)$ – για μεγέθη μνήμης 3%, 5%, 10%, 15%, 20% και 30% – λειτουργούν αποδοτικά δίνοντας τη μεγαλύτερη ή την απόλυτη – αντίστοιχα – βαρύτητα στο δείκτη HR.
- Οι στρατηγικές $GDSF(\text{packets})$ – για μέγεθος μνήμης 20% – και $gGDSF(\text{packets})$ – για μεγέθη μνήμης 3%, 5%, 10%, 15% και 25% – γίνονται αποδοτικές δίνοντας τη μεγαλύτερη ή την απόλυτη – αντίστοιχα – βαρύτητα στο δείκτη BHR.

A/A	ΜΛΑ	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΕΙΣΡΟΗΣ	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΕΚΡΟΗΣ HR	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΕΚΡΟΗΣ BHR	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΛΑ ΠΟΥ ΤΗ ΘΕΩΡΟΥΝ ΠΡΟΤΥΠΟ
1	GDSF(1)_3	1	0,87	0,13	8
2	GDSF(1)_10	1	0,93	0,07	1
3	GDSF(1)_20	1	0,97	0,03	7
4	GDSF(1)_25	1	0,99	0,01	14
5	GDSF(packets)_20	1	0,07	0,93	20
6	GD*(1)_3	1	1	0	12
7	GD*(1)_5	1	1	0	16
8	GD*(1)_10	1	1	0	15
9	GD*(1)_15	1	1	0	15
10	GD*(1)_20	1	1	0	9
11	GD*(1)_30	1	1	0	15
12	GD*(packets)_5	1	0,2	0,8	8
13	GD*(packets)_10	1	0,27	0,73	9
14	GD*(packets)_15	1	0,27	0,73	9
15	GD*(packets)_20	1	0,3	0,7	9
16	GD*(packets)_25	1	0,25	0,75	19
17	GD*(packets)_35	1	0,07	0,93	44
18	gGDSF(1)_3	1	0,25	0,75	11
19	gGDSF(1)_5	1	0,3	0,7	15
20	gGDSF(1)_10	1	0,38	0,62	14
21	gGDSF(1)_15	1	0,39	0,61	15
22	gGDSF(1)_20	1	0,54	0,46	11
23	gGDSF(1)_25	1	0,38	0,62	13
24	gGDSF(1)_30	1	0,87	0,13	15
25	gGDSF(1)_35	1	0,27	0,73	34
26	gGDSF(packets)_3	1	0,07	0,93	26
27	gGDSF(packets)_5	1	0,04	0,96	20
28	gGDSF(packets)_10	1	0	1	20
29	gGDSF(packets)_15	1	0	1	20
30	gGDSF(packets)_25	1	0	1	40

Πίνακας 5.22. Αποδοτικές στρατηγικές για το αρχείο ιχνών DIGITAL



Σχήμα 5.12. Κατανομή των αποδοτικών στρατηγικών ανά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών DIGITAL

Όσον αφορά στο αρχείο ιχνών BERKELEY, ο πίνακας 5.23 παρουσιάζει τις αποδοτικές ΜΛΑ. Το σχήμα 5.13 δίνει μια πιο ξεκάθαρη, παραστατική εικόνα των αποδοτικών στρατηγικών στα διάφορα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης.

A/A	ΜΛΑ	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΕΙΣΡΟΗΣ	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΕΚΡΟΗΣ HR	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΕΚΡΟΗΣ BHR	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΛΑ ΠΟΥ ΤΗ ΘΕΩΡΟΥΝ ΠΡΟΤΥΠΟ
1	SIZE_35	1	0,52	0,48	95
2	PSS_35	1	0,52	0,48	95
3	PSS-LAT_35	1	0,52	0,48	95
4	LRU-SP_15	1	0,3	0,7	69
5	LRU-SP_35	1	0,52	0,48	95
6	GDS(1)_35	1	0,52	0,48	95
7	GDS(hops)_35	1	0,52	0,48	95
8	GDSF(1)_3	1	0,69	0,31	5
9	GDSF(1)_5	1	0,66	0,34	4
10	GDSF(1)_10	1	0,78	0,22	21
11	GDSF(1)_35	1	0,52	0,48	95
12	GDSF(hops)_35	1	0,52	0,48	95
13	GD*(1)_3	1	1	0	12
14	GD*(1)_5	1	1	0	11
15	GD*(1)_10	1	1	0	55
16	GD*(1)_35	1	0,52	0,48	95
17	GD*(hops)_35	1	0,52	0,48	95
18	gGDSF(1)_3	1	0,11	0,89	30
19	gGDSF(1)_5	1	0	1	128
20	gGDSF(1)_10	1	0,46	0,54	32
21	gGDSF(1)_15	1	0,3	0,7	69
22	gGDSF(1)_35	1	0,52	0,48	95
23	gGDSF(hops)_35	1	0,52	0,48	95
24	gGDSF(latency)_35	1	0	1	69
25	gGDSF(packets)_30	1	0	1	129

Πίνακας 5.23. Αποδοτικές στρατηγικές για το αρχείο ιχνών BERKELEY

Τα κυριότερα συμπεράσματα για το αρχείο ιχνών BERKELEY είναι τα παρακάτω:

- Πολλές στρατηγικές – δηλαδή οι SIZE, PSS, PSS-LAT, LRU-SP, GDS(1), GDS(hops), GDSF(1), GDSF(hops), GD*(1), GD*(hops), gGDSF(1) και gGDSF(hops) – εμφανίζονται να είναι αποδοτικές στο μέγιστο μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης που λαμβάνουμε υπόψη – δηλαδή 35%. Επιπλέον, φαίνεται ότι έχουν εξασφαλίσει, σχεδόν, την απόλυτη ισορροπία μεταξύ των δύο εκροών, καθώς και τον ίδιο αριθμό μη αποδοτικών στρατηγικών που μπορούν να τις θεωρήσουν ως πρότυπο λειτουργίας – δηλαδή 95. Εξαιρεση αποτελεί η στρατηγική gGDSF(latency), η οποία παρουσιάζει μικρότερο αριθμό μη αποδοτικών στρατηγικών που μπορούν να τη θεωρήσουν ως πρότυπο λειτουργίας – δηλαδή 69 – και γίνεται αποδοτική μόνο για την εκροή BHR, εξαλείφοντας εντελώς την HR. Αυτή η ταυτόσημη συμπεριφορά¹⁷, όσον αφορά στις στρατηγικές αυτές, αποτελεί μια σοβαρή ένδειξη ότι αυτό το μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης είναι αρκετά ικανό – σε συνδυασμό με τη δυναμική των στρατηγικών αυτών και τα χαρακτηριστικά του αρχείου ιχνών BERKELEY – ώστε, τελικά, να ‘παγώσει’ τη λειτουργία των στρατηγικών αυτών. Δηλαδή, αυτό το μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να επιτρέψει σε αυτές τις στρατηγικές να προσεγγίσουν την οριακή επίδοση της περίπτωσης του απεριόριστου μεγέθους μνήμης – δηλαδή το απαιτούμενο μέγεθος μνήμης, ώστε να μην είναι αναγκαία η χρήση κάποιας στρατηγικής.
- Για τα πολύ μικρά (3%, 5%) και τα μικρά (10%, 15%) μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, η στρατηγική gGDSF(1) λειτουργεί αποδοτικά, με τη διαφορά ότι στα πολύ μικρά μεγέθη μνήμης, η ΠΑΔ δίνει τη μεγαλύτερη ή την απόλυτη βαρύτητα στην εκροή BHR.
- Οι στρατηγικές GDSF(1) και GD*(1) λειτουργούν αποδοτικά στα πολύ μικρά μεγέθη μνήμης (3%, 5%) και για μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης ίση προς 10%. Όμως, ενώ για την GDSF(1), η ΠΑΔ σταθμίζει ικανοποιητικά τις δύο εκροές, για την GD*(1), ο δείκτης BHR εξαλείφεται εντελώς.

¹⁷ Η ταυτόσημη συμπεριφορά των 12 αυτών στρατηγικών ενισχύεται ακόμη περισσότερο, δεδομένου ότι μια πιο προσεκτική παρατήρηση των αποτελεσμάτων της ΠΑΔ έδειξε πως ανήκουν στο πεδίο αναφοράς των ίδιων μη αποδοτικών στρατηγικών και κατέχουν τον ίδιο συντελεστή βαρύτητας. Κάτι τέτοιο υπονοεί πως αυτές οι στρατηγικές καταλαμβάνουν την ίδια θέση στον πολυδιάστατο χώρο, που αναπαριστά τα αποτελέσματα. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, ως προς τα μετρικά επίδοσης για τις στρατηγικές αυτές είναι αριβώς τα ίδια.

- Η στρατηγική LRU-SP λειτουργεί αποδοτικά για μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης 15% και η gGDSF(packets) για μνήμη 30%. Στην περίπτωση της gGDSF(packets), όμως, η ΠΑΔ εξαλείφει τελείως την εκροή HR.



Σχήμα 5.13. Κατανομή των αποδοτικών στρατηγιών ανά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών BERKELEY

5.4.2.2 Αρχεία Ιχνών UC, NY και SD

Σε αυτήν την παράγραφο, λαμβάνουμε υπόψη τα αρχεία ιχνών, που παραπέμπουν στη σύγχρονη δραστηριότητα του παγκοσμίου ιστού, που χρονικά προσδιορίζεται στις αρχές του Ιανουαρίου κατά το έτος 2007, δηλαδή τα αρχεία UC, NY και SD.

Όσον αφορά στο αρχείο ιχνών UC, ο πίνακας 5.24 παρουσιάζει τις αποδοτικές ΜΛΑ. Το σχήμα 5.14 δίνει μια πιο ξεκάθαρη, παραστατική εικόνα των αποδοτικών στρατηγιών στα διάφορα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Τα κυριότερα συμπεράσματα για το αρχείο ιχνών UC είναι τα παρακάτω:

- Όπως και με την περίπτωση του αρχείου ιχνών BERKELEY, υπάρχουν 20 στρατηγιές – δηλαδή οι LRU-MIN, SIZE, PSS, PSS-LAT, LRU-SP, LRU-SP-LAT, HYBRID, MIX, GDS(1/hops/packets), GDSF(1/hops/packets), GD*(1/hops/packets) και gGDSF(1/hops/packets) – που είναι αποδοτικές στο μέγιστο μέγεθος μνήμης (35%), με ακριβώς παρόμοια συμπεριφορά, όσον αφορά στην αξιολόγηση της ΠΑΔ, ως προς τη στάθμιση των δύο εκροών και τον αριθμό των μη αποδοτικών στρατηγιών που μπορούν να τις θεωρήσουν ως πρότυπο λειτουργίας, που είναι 258. Περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων της ΠΑΔ, αλλά και αυτών της προσομοίωσης μας οδήγησε στο να αποδώσουμε αυτήν τη συμπεριφορά στα ίδια αίτια, όπως και στην περίπτωση του BERKELEY. Μια διαπίστωση ιδιαίτερης σημασίας είναι ότι, όλες αυτές οι στρατηγιές

αποδείχθηκαν αποδοτικές σε μνήμη 35% για το αρχείο UC, με βάση την τεχνική της ομαδοποίησης, η οποία αναλύθηκε παραπάνω (βλέπε πίνακα 5.15).

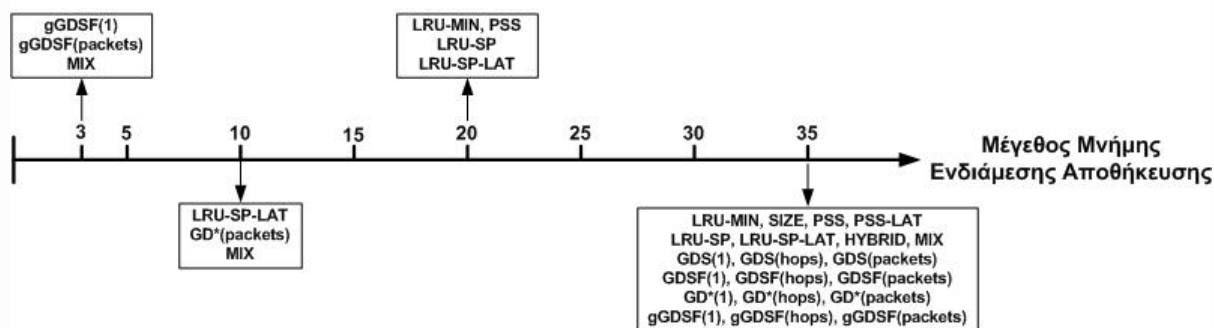
A/A	ΜΑΑ	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΕΙΣΡΟΗΣ	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΕΚΡΟΗΣ HR	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΕΚΡΟΗΣ BHR	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΑΑ ΠΟΥ ΤΗ ΘΕΩΡΟΥΝ ΠΡΟΤΥΠΟ
1	LRU-MIN_20	1	0,69	0,31	152
2	LRU-MIN_35	1	0,29	0,71	258
3	SIZE_20	1	0,29	0,71	258
4	PSS_20	1	0,69	0,31	152
5	PSS_35	1	0,29	0,71	258
6	PSS-LAT_35	1	0,29	0,71	258
7	LRU-SP_20	1	0,69	0,31	152
8	LRU-SP_35	1	0,29	0,71	258
9	LRU-SP-LAT_10	1	0,36	0,64	79
10	LRU-SP-LAT_20	1	0,69	0,31	152
11	LRU-SP-LAT_35	1	0,29	0,71	258
12	HYBRID_35	1	0,29	0,71	258
13	GDS(1)_35	1	0,29	0,71	258
14	GDS(hops)_35	1	0,29	0,71	258
15	GDS(packets)_35	1	0,29	0,71	258
16	GDSF(1)_35	1	0,29	0,71	258
17	GDSF(hops)_35	1	0,29	0,71	258
18	GDSF(packets)_35	1	0,29	0,71	258
19	GD*(1)_35	1	0,29	0,71	258
20	GD*(hops)_35	1	0,29	0,71	258
21	GD*(packets)_10	1	0,16	0,84	37
22	GD*(packets)_35	1	0,29	0,71	258
23	gGDSF(1)_3	1	1	0	91
24	gGDSF(1)_35	1	0,29	0,71	258
25	gGDSF(hops)_35	1	0,29	0,71	258
26	gGDSF(packets)_3	1	0,03	0,97	34
27	gGDSF(packets)_35	1	0,29	0,71	258
28	MIX_3	1	0,24	0,76	90
29	MIX_10	1	0,36	0,64	79
30	MIX_35	1	0,29	0,71	258

Πίνακας 5.24. Αποδοτικές στρατηγικές για το αρχείο ιχνών UC

- Για μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης της τάξεως του 20%, οι στρατηγικές LRU-MIN, PSS, LRU-SP και LRU-SP-LAT λειτουργούν αποδοτικά και, μάλιστα, εμφανίζουν ταυτόσημη συμπεριφορά ως προς την αξιολόγηση της ΠΑΔ, όπως συμβαίνει και παραπάνω. Καταφύγαμε για ακόμη μια φορά στην εις βάθος ανάλυση των αποτελεσμάτων της ΠΑΔ, αλλά και της προσομοίωσης, από την οποία αντλήσαμε τα δεδομένα. Το συμπέρασμα στο οποίο καταλήξαμε δικαιολογεί αυτή την ταυτόσημη συμπεριφορά, δεδομένου ότι και οι τέσσερις στρατηγικές εμφανίζουν τα βέλτιστα αποτελέσματα ως προς τους δύο δείκτες επίδοσης, για μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης 20%. Επιπλέον, αυτή η ταυτόσημη συμπεριφορά των τεσσάρων στρατηγιών είναι

εμφανής και στην ανάλυση βάσει της τεχνικής της ομαδοποίησης (βλέπε πίνακα 5.15), όπου εμφανίζονται να είναι αποδοτικές σε μνήμη 20% για το αρχείο ιχνών UC.

- Για πολύ μικρά μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης (της τάξεως του 3%), οι στρατηγιές gGDSF(1), gGDSF(packets) και MIX είναι αποδοτικές. Για την gGDSF(1), η ΠΑΔ την καθιστά αποδοτική σταθμίζοντας μόνο το δείκτη HR, ενώ για την gGDSF(packets), η ΠΑΔ τείνει να εξαλείψει τον παράγοντα αυτό. Μια, επίσης, σημαντική διαπίστωση είναι ότι και οι τρεις στρατηγιές ξεχώρισαν για την υπερ-αποδοτικότητά τους σε αυτό το μέγεθος της μνήμης, όσον αφορά στο μοντέλο ΠΑΔ κατά την τεχνική της ομαδοποίησης (βλέπε πίνακα 5.15).
- Για μικρά μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης (της τάξεως του 10%), οι στρατηγιές LRU-SP-LAT, GD*(packets) και MIX είναι αποδοτικές. Από αυτές, η GD*(packets) ξεχώρισε για την υπερ-αποδοτικότητάς της σε αυτό το μέγεθος της μνήμης, όσον αφορά στο μοντέλο ΠΑΔ κατά την τεχνική της ομαδοποίησης, ενώ οι άλλες δύο ήταν απλά αποδοτικές (βλέπε πίνακα 5.15).



Σχήμα 5.14. Κατανομή των αποδοτικών στρατηγιών ανά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών UC

Όσον αφορά στο αρχείο ιχνών NY, ο πίνακας 5.25 παρουσιάζει τις αποδοτικές ΜΛΑ. Το σχήμα 5.15 δίνει μια πιο ξεκάθαρη, παραστατική εικόνα των αποδοτικών στρατηγιών στα διάφορα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Τα κυριότερα συμπεράσματα για το αρχείο ιχνών NY είναι τα παρακάτω:

- Για ακόμη μια φορά, η ΠΑΔ κατέληξε ότι ο μεγαλύτερος αριθμός αποδοτικών στρατηγιών εμφανίζεται στο μέγιστο μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης (35%),

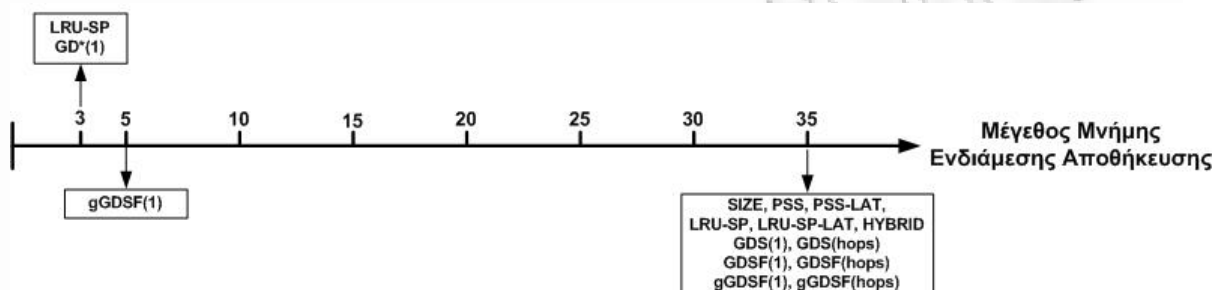
που λάβαμε υπόψη. Η εξαίρεση, εδώ, αφορά στην ύπαρξη δύο ομάδων στρατηγικών. Στην πρώτη ομάδα ανήκουν οι στρατηγικές SIZE, PSS, PSS-LAT, LRU-SP και LRU-SP-LAT. Στην ομάδα αυτή, η ΠΑΔ σταθμίζει και τις δύο εκροές, δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα στο δείκτη BHR. Στη δεύτερη ομάδα, ανήκουν οι στρατηγικές HYBRID, GDS(1), GDS(hops), GDSF(1), GDSF(hops), gGDSF(1) και gGDSF(hops). Για την ομάδα αυτή, η ΠΑΔ αγνοεί εντελώς το δείκτη BHR. Μια ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης για τη μνήμη του 35%, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν από την ΠΑΔ, έδειξε ότι και οι δύο ομάδες παρουσιάζουν τη βέλτιστη τιμή ως προς το δείκτη HR, ενώ η δεύτερη ομάδα υστερεί ελαφρώς ως προς το δείκτη BHR, στον οποίο η πρώτη ομάδα δίνει τα βέλτιστα αποτελέσματα. Μια, επίσης, σημαντική παρατήρηση είναι ότι, όλες οι στρατηγικές αποδείχθηκαν αποδοτικές σε αυτό το μέγεθος μνήμης για το αρχείο ιχνών NY, με βάση την τεχνική της ομαδοποίησης, που αναλύσαμε προηγουμένως (βλέπε πίνακα 5.16).

A/A	ΜΛΑ	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΕΙΣΡΟΗΣ	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΕΚΡΟΗΣ HR	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΕΚΡΟΗΣ BHR	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΛΑ ΠΟΥ ΤΗ ΘΕΩΡΟΥΝ ΠΡΟΤΥΠΟ
1	SIZE_35	1	0,21	0,79	269
2	PSS_35	1	0,21	0,79	269
3	PSS-LAT_35	1	0,21	0,79	269
4	LRU-SP_3	1	0,48	0,52	40
5	LRU-SP_35	1	0,21	0,79	269
6	LRU-SP-LAT_35	1	0,21	0,79	269
7	HYBRID_35	1	1	0	16
8	GDS(1)_35	1	1	0	16
9	GDS(hops)_35	1	1	0	16
10	GDSF(1)_35	1	1	0	16
11	GDSF(hops)_35	1	1	0	16
12	GD*(1)_3	1	1	0	8
13	gGDSF(1)_5	1	0,77	0,23	269
14	gGDSF(1)_35	1	1	0	16
15	gGDSF(hops)_35	1	1	0	16

Πίνακας 5.25. Αποδοτικές στρατηγικές για το αρχείο ιχνών NY

- Για μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης της τάξεως του 3%, οι στρατηγικές LRU-SP και GD*(1) είναι αποδοτικές. Η ΠΑΔ καθιστά αποδοτική την GD*(1) μόνο ως προς το δείκτη HR. Μια, επίσης, σημαντική διαπίστωση είναι ότι και οι δύο στρατηγικές ξεχώρισαν για την υπερ-αποδοτικότητά τους σε αυτό το μέγεθος της μνήμης, όσον αφορά στο μοντέλο ΠΑΔ κατά την τεχνική της ομαδοποίησης (βλέπε πίνακα 5.16).

- Η στρατηγική gGDSF(1) λειτουργεί αποδοτικά, όταν η μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης είναι της τάξεως του 5%. Κατά την ανάλυση με το μοντέλο ΠΑΔ και την τεχνική της ομαδοποίησης των στρατηγιών βάσει της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, η gGDSF(1) ήταν η μοναδική υπερ-αποδοτική στο συγκεκριμένο μέγεθος μνήμης για το αρχείο ιχνών NY (βλέπε πίνακα 5.16).



Σχήμα 5.15. Κατανομή των αποδοτικών στρατηγιών ανά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών NY

Όσον αφορά στο αρχείο ιχνών SD, ο πίνακας 5.26 παρουσιάζει τις αποδοτικές ΜΛΑ. Το σχήμα 5.16 δίνει μια πιο ξεκάθαρη, παραστατική εικόνα των αποδοτικών στρατηγιών στα διάφορα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης.

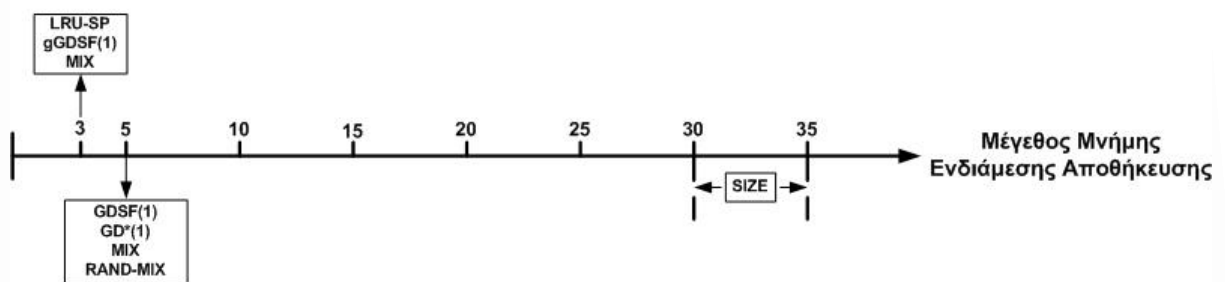
A/A	ΜΛΑ	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΕΙΣΡΟΗΣ	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΕΚΡΟΗΣ HR	ΒΑΡΥΤΗΤΑ ΕΚΡΟΗΣ ΒHR	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΛΑ ΠΟΥ ΤΗ ΘΕΩΡΟΥΝ ΠΡΟΤΥΠΟ
1	SIZE_30	1	0	1	224
2	SIZE_35	1	0	1	44
3	LRU-SP_3	1	0,7	0,3	3
4	GDSF(1)_5	1	0,86	0,14	15
5	GD*(1)_5	1	0,86	0,14	15
6	gGDSF(1)_3	1	1	0	13
7	MIX_3	1	0,13	0,87	29
8	MIX_5	1	0,15	0,85	6
9	RAND-MIX_5	1	0,02	0,98	206

Πίνακας 5.26. Αποδοτικές στρατηγιές για το αρχείο ιχνών SD

Τα κυριότερα συμπεράσματα για το αρχείο ιχνών SD είναι τα παρακάτω:

- Το μέγιστο μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης έχει μικρότερη επίδραση στην αξιολόγηση της ΠΑΔ, γεγονός που υποδεικνύει ότι τα χαρακτηριστικά του αρχείου ιχνών SD είναι τέτοια, ώστε να μην παγώνει η λειτουργία των στρατηγιών.

- Η στρατηγική SIZE εμφανίζεται να είναι αποδοτική για μεγάλα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, της τάξεως του 30% και 35%. Το παράδοξο εδώ είναι ότι η ΠΑΔ αγνοεί εντελώς το δείκτη HR, παρόλο που η λογική πίσω από τη στρατηγική SIZE είναι να βελτιστοποιηθεί αυτός ο δείκτης. Η μόνη λογική εξήγηση που μπορεί να δοθεί ως απάντηση στο φαινόμενο αυτό θέλει τα μεγάλα αντικείμενα του αρχείου SD να ζητούνται μόνο μια φορά από τους πελάτες του παγκοσμίου ιστού. Μια πολύ σημαντική παρατήρηση είναι ότι, κατά την ανάλυση με το μοντέλο ΠΑΔ και την τεχνική της ομαδοποίησης των στρατηγιών βάσει της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, η SIZE ήταν η μοναδική υπερ-αποδοτική στα συγκεκριμένα μεγέθη μνήμης για το αρχείο ιχνών SD (βλέπε πίνακα 5.17).



Σχήμα 5.16. Κατανομή των αποδοτικών στρατηγιών ανά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, για το αρχείο ιχνών SD

- Για μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης της τάξεως του 3%, οι στρατηγιές LRU-SP, gGDSF(1) και MIX είναι αποδοτικές. Η ΠΑΔ καθιστά αποδοτική την gGDSF(1) μόνο ως προς το δείκτη HR. Και οι τρεις στρατηγιές ήταν οι μοναδικές αποδοτικές – για την ακρίβεια υπερ-αποδοτικές – σε αυτό το μέγεθος μνήμης για το αρχείο SD, με βάση την προηγούμενη ανάλυση με την τεχνική της ομαδοποίησης (βλέπε πίνακα 5.17).
- Για μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης της τάξεως του 5%, οι στρατηγιές GDSF(1), GD*(1), MIX και RAND-MIX είναι αποδοτικές. Για τις δύο πρώτες, η ΠΑΔ σταθμίζει περισσότερο το δείκτη HR, ενώ για τις δύο τελευταίες, σταθμίζει περισσότερο το δείκτη BHR. Από αυτές τις στρατηγιές, οι MIX και RAND-MIX ήταν υπερ-αποδοτικές με βάση το προηγούμενο μοντέλο και την τεχνική της ομαδοποίησης για μνήμη 5%, ενώ οι GDSF(1) και GD*(1) ήταν απλά αποδοτικές (βλέπε πίνακα 5.17).

5.4.2.3 *Ανάλυση Αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα Τεχνικής 2*

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα, που προέκυψαν από το γενικευμένο μοντέλο ΠΑΔ, στο σύνολό τους και σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα από το μοντέλο ΠΑΔ βάσει της τεχνικής της ομαδοποίησης, καταλήγουμε με μεγάλη πεποίθηση στην εξαγωγή των ακόλουθων σημαντικών συμπερασμάτων:

- Καμία από τις στρατηγικές δεν κατάφερε να αναδειχθεί για την αποδοτικότητά της σε όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης και για όλα τα αρχεία ιχνών, που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα. Μόνο στην περίπτωση του αρχείου DIGITAL ξεχώρισε η στρατηγική gGDSF(1) ως αποδοτική σε όλα τα μεγέθη μνήμης, αλλά, δυστυχώς, το φαινόμενο αυτό αποτέλεσε μια απλή εξαίρεση ως προς τη γενική εικόνα των αποτελεσμάτων.
- Η ΠΑΔ επέδειξε μια αξιοθαύμαστη συνέπεια, όσον αφορά στις αποδοτικές στρατηγικές που προέκυψαν από το γενικευμένο μοντέλο, σε σχέση με την ανάλυση της αποδοτικότητας, με βάση το μοντέλο ΠΑΔ στην τεχνική της ομαδοποίησης. Δηλαδή, όλες οι στρατηγικές, που αναδείχθηκαν ως αποδοτικές στα διάφορα μεγέθη μνήμης βάσει του γενικευμένου μοντέλου, ήταν επίσης αποδοτικές στα ίδια μεγέθη μνήμης και για τα ίδια αρχεία ιχνών, σύμφωνα με την τεχνική της ομαδοποίησης. Μάλιστα, από αυτές τις στρατηγικές, όσες βρέθηκαν υπερ-αποδοτικές κατά την τεχνική της ομαδοποίησης ήταν αποδοτικές με βάση στο γενικευμένο μοντέλο.
- Στα μισά από τα αρχεία ιχνών, που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα, εμφανίστηκαν υπερβολικά πολλές στρατηγικές στο μέγιστο μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, που λήφθηκε υπόψη. Ως εκ τούτου, το μέγιστο μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, που λαμβάνεται υπόψη στα πειράματα, θα πρέπει να επιλέγεται με προσοχή, σε σχέση με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του εκάστοτε αρχείου ιχνών. Στην αντίθετη περίπτωση, ελλοχεύει ο κίνδυνος, ο θόρυβος, που προκαλεί το μεγάλο – πάντα σε σχέση με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του αρχείου ιχνών – μέγεθος της μνήμης στα αποτελέσματα, να επισιιάσει εντελώς τη λειτουργία των στρατηγιών, ώστε, τελικά, να μην αναδειχθεί η ποιοτική διαφορά ανάμεσά τους. Ένα τρανταχτό παράδειγμα αυτού του φαινομένου φαίνεται στον πίνακα 5.14, όπου για μέγεθος μνήμης 50% στο αρχείο ιχνών BERKELEY, όλες οι στρατηγικές εμφανίστηκαν να είναι αποδοτικές.

5.5 Μελλοντική Έρευνα – Περαιτέρω Αναβάθμιση του Μοντέλου ΠΑΔ

Στο μοντέλο ΠΑΔ που αναλύσαμε και χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα έρευνα για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των στρατηγικών και την αναζήτηση της αποδοτικότερης εξ αυτών, θεωρήσαμε την ποσότητα της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης ως το μοναδικό παράγοντα κόστους των ΜΛΑ, οι οποίες ταυτίζονται με τις στρατηγικές. Η χρήση του συγκεκριμένου μοντέλου βασίστηκε, αποκλειστικά, στις παρατηρήσεις και τις διαπιστώσεις πάνω στην προηγούμενη έρευνα σχετικά με τις στρατηγικές αντικατάστασης περιεχομένου, όπου η μελέτη και αξιολόγηση των επιδόσεων ως προς τους διάφορους δείκτες επίδοσης, πραγματοποιούνταν πάντοτε συναρτήσει του μεγέθους της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Στη σημερινή εποχή, η ποσότητα της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, ως παράγοντας κόστους σε μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης στον παγκόσμιο ιστό, έχει υποτιμηθεί σε μεγάλο βαθμό, αν σκεφτούμε ότι οι τιμές αγοράς των μονάδων αποθήκευσης των Η/Υ – δηλαδή, σκληροί δίσκοι και μνήμες RAM – έχουν ελαττωθεί. Όμως, αυτό το γεγονός δεν υποβαθμίζει τη σημασία της αντικατάστασης των αντικειμένων, δεδομένου ότι η ποσότητα της πληροφορίας που διακινείται στον παγκόσμιο ιστό και το Διαδίκτυο μπορεί να κατακλύσει οποιοδήποτε ενδιάμεσο σύστημα αποθήκευσης σε χρονικά διαστήματα που εξαρτώνται πάντοτε από το μέγεθος του πληθυσμού που εξυπηρετούν. Απλώς, το μέγεθος των αντικειμένων ως βασική παράμετρος στην απόφαση για αντικατάσταση χάνει, ίσως, ένα μέρος της βαρύτητάς του, σε σύγκριση με τη χρονική τοπικότητα και τη δημοτικότητα. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώθηκε, επίσης, από τη δική μας αξιολόγηση με την ΠΑΔ, όπου η gGDSF(1) αναδείχθηκε η βέλτιστη σε αποδοτικότητα στρατηγική, όταν έδωσε μεγαλύτερη έμφαση στη δημοτικότητα, σε σχέση με το μέγεθος των αντικειμένων.

Αντίθετα, ένας βασικός παράγοντας κόστους, που έχει μελετηθεί και αναλυθεί σε μικρό βαθμό, είναι η πολυπλοκότητα των αλγορίθμων, που υλοποιούν τις στρατηγικές αντικατάστασης του περιεχομένου, στις δύο μορφές έκφρασής της, δηλαδή τη χρονική και τη χωρική. Η πολυπλοκότητα παίζει καθοριστικό ρόλο για τους εξής λόγους:

- Η χρονική πολυπλοκότητα καθορίζει το βαθμό απασχόλησης της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας του Η/Υ για την εκτέλεση των στρατηγικών. Επομένως, είναι κρίσιμης σημασίας για υπολογιστικά συστήματα, όπως είναι οι πληρεξούσιοι εξυπηρετητές, που

έχουν να αντιμετωπίσουν τον τεράστιο φόρτο εργασίας, που σχετίζεται με τη λήψη και επεξεργασία των διαδικτυακών πακέτων.

- Η χωρική πολυπλοκότητα καθορίζει την ποσότητα των μετα-δεδομένων που πρέπει να αποθηκευτούν για την εξυπηρέτηση των διαχειριστικών απαιτήσεων των στρατηγιών. Αν ληφθεί υπόψη ότι αυτές οι πληροφορίες θα πρέπει να είναι άμεσης ανάκτησης και επεξεργασίας, οπότε απαιτείται να είναι, ως επί το πλείστον, αποθηκευμένες στην κύρια μνήμη του Η/Υ, τότε ο περιορισμός της χωρικής πολυπλοκότητας των στρατηγιών είναι, επίσης, κρίσιμης σημασίας.

Λίγες είναι οι έρευνες που αναλύουν σε κάποιο βαθμό την πολυπλοκότητα των στρατηγιών αντικατάστασης αντικειμένων, όπως για παράδειγμα οι εργασίες των Bahn et al [Bahn02] και των Balamash et al [Bal04]. Παρόλα αυτά, καμία ερευνητική προσπάθεια στο παρελθόν δεν έχει λάβει σοβαρά υπόψη τη χρονική και χωρική πολυπλοκότητα, κατά την αξιολόγηση των στρατηγιών σε σχέση με τις παρατηρούμενες επιδόσεις τους. Κατά τη γνώμη μας, η κυριότερη αιτία για αυτό είναι η έλλειψη μεθοδολογίας.

Η ΠΑΔ είναι σε θέση να δώσει μια αξιόπιστη λύση στο πρόβλημα της έλλειψης μεθοδολογίας, όσον αφορά στην εκτίμηση της επιρροής της πολυπλοκότητας, σε σχέση με τους δείκτες επίδοσης, πάνω στη γενικότερη εικόνα των στρατηγιών. Έτσι, στα πλαίσια της μελλοντικής μας έρευνας, σκοπεύουμε να αναπτύξουμε ένα μοντέλο ΠΑΔ που να λαμβάνει υπόψη του τη χρονική και τη χωρική πολυπλοκότητα των στρατηγιών αντικατάστασης περιεχομένου, ως δύο ξεχωριστούς παράγοντες κόστους.

Η χρονική και χωρική πολυπλοκότητα, ως μεταβλητές κόστους για το νέο μοντέλο ΠΑΔ, που θα λάβουμε υπόψη στο μέλλον, είναι τύπου διάταξης (Ordinal). Αυτό σημαίνει ότι οι τιμές τους μπορούν να καθορίσουν αποκλειστικά μια σχέση διάταξης ανάμεσα στις ΜΛΑ ως προς αυτές τις μεταβλητές. Για παράδειγμα, αν λάβουμε υπόψη τη χρήση της γνωστής συνάρτησης $O(\cdot)$ για την απόδοση τιμών πολυπλοκότητας στους αλγορίθμους, ισχύει η σχέση διάταξης:

$$O(1) \leq O(\log n) \leq O(n) \leq O(n \log n) \leq O(n^2) \leq \dots \leq O(2^n).$$

Έχουν, κατά καιρούς, πραγματοποιηθεί έρευνες πάνω σε μοντέλα ΠΑΔ που περιλαμβάνουν μεταβλητές τύπου διάταξης, τα οποία μπορούμε να λάβουμε υπόψη, ή και να αξιοποιήσουμε κατά τη μελλοντική μας έρευνα. Οι Cook et al [Cook93] πρότειναν, μέσα από ένα παράδειγμα, την αναβάθμιση του κλασικού μοντέλου CCR της ΠΑΔ, ώστε να

περιλαμβάνει μια μεταβλητή τύπου διάταξης. Ένα πιο γενικευμένο και ολοκληρωμένο μοντέλο ΠΑΔ, που να περιλαμβάνει ανακριβή δεδομένα – δηλαδή, μεταβλητές τύπου διάταξης και τύπου διαστήματος (Interval), μαζί με τις παραδοσιακές, μετρήσιμες μεταβλητές αναλογίας (Ratio) – παρουσίασαν οι Despotis και Smirlis [Desp02].

5.5.1 Εκτίμηση της Χρονικής Πολυπλοκότητας των Στρατηγικών

Στις παρακάτω παραγράφους πραγματοποιείται η εκτίμηση της χρονικής πολυπλοκότητας των στρατηγικών, που θα λάβουν μέρος στα μελλοντικά πειράματά μας για την ανάδειξη της αποδοτικότερης. Η εκτίμηση της χρονικής πολυπλοκότητας βασίζεται στο χειρότερο σενάριο που μπορεί να συναντήσει η κάθε στρατηγική κατά την εκτέλεσή της.

ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ	ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ			
	ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ	ΔΙΑΓΡΑΦΗ
$O(1)$	Όλες	FIFO, LRU, LRU_MIN, PSS, PSS-LAT, PART-LRU, SLRU, LRU*, LRU-SP, LRU-SP-LAT, M-METRIC, MIX, TSP, RAND, LRU-S, LRU-C, LRU-CS, RAND-MIX	FIFO, LRU, LRU_MIN, PSS, PSS-LAT, PART-LRU, SLRU, LRU, LRU-SP, LRU-SP-LAT, M-METRIC, MIX, TSP, RAND, LRU-S, LRU-C, LRU-CS, RAND-MIX	FIFO, LRU, PART-LRU, SLRU, LRU*, RAND, LRU-S, LRU-C, LRU-CS, RAND-MIX
$O(\log n)$	-	SIZE, EXP1, LFU, A-AGING, LLF, HYBRID, GD, GD*, gGDSF, LUV	SIZE, EXP1, LFU, A-AGING, LLF, HYBRID, GD, GD*, gGDSF, LUV	SIZE, PSS, PSS-LAT, EXP1, LFU, A-AGING, LRU-SP, LRU-SP-LAT, LLF, HYBRID, GD, GD*, gGDSF, LUV
$O(n)$	-	-	-	LRU_MIN, M-METRIC, MIX, TSP

Πίνακας 5.27. Πολυπλοκότητα των βασικών λειτουργιών για τις υπό μελέτη στρατηγικές

Για την καλύτερη προσέγγιση της χρονικής πολυπλοκότητας των υπό μελέτη αλγορίθμων ακολουθούμε μια συνθετική μεθοδολογία: Σε πρώτο στάδιο, ξεχωρίζουμε τα βασικά λειτουργικά κομμάτια των στρατηγιών και εκτιμούμε τη χρονική πολυπλοκότητά τους. Σε δεύτερο στάδιο, συνθέτουμε τη συνολική λειτουργία των στρατηγιών και υπολογίζουμε, αθροιστικά, την ολική χρονική πολυπλοκότητά τους, με τέτοιο τρόπο, ώστε να αποκαλύψουμε τη χρονική πολυπλοκότητα του χειρότερου σεναρίου.

Όλες οι στρατηγικές αντικατάστασης περιεχομένου εκτελούν τέσσερις συγκεκριμένες λειτουργίες, τις οποίες χρησιμοποιούν για τη διαχείριση της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης: αναζήτηση, εισαγωγή, ενημέρωση και διαγραφή αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού. Ο πίνακας 5.27 κατανέμει τις στρατηγικές που λαμβάνονται υπόψη για αξιολόγηση στα παρακάτω πειράματα, με βάση τη χρονική πολυπλοκότητα αυτών των τεσσάρων βασικών λειτουργιών.

Από τις βασικές λειτουργίες, η αναζήτηση στηρίζεται στον πίνακα αναζήτησης και στη χρήση της συνάρτησης κατακερματισμού hash. Η χρονική πολυπλοκότητα για τη λειτουργία αυτή είναι πρακτικά σταθερή ανεξαρτήτως της στρατηγικής, δηλαδή, της τάξεως του $O(1)$. Όσον αφορά στις υπόλοιπες βασικές λειτουργίες, η χρονική τους πολυπλοκότητα εξαρτάται από τη δομή δεδομένων που χρησιμοποιεί η κάθε στρατηγική για τη διαχείριση της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης – βλέπε τον πίνακα 4.1, του κεφαλαίου 4.

Όσον αφορά στην περίπτωση της εισαγωγής αντικειμένων στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης, για όλες τις στρατηγικές με πολυπλοκότητα $O(\log n)$ – το n εκφράζει τον αριθμό των αντικειμένων στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης – το όλο πρόβλημα ανάγεται σε πρόβλημα εισαγωγής αντικειμένων σε μια ουρά προτεραιοτήτων. Αντίθετα, για τις στρατηγικές με πολυπλοκότητα $O(1)$, διακρίνονται τα παρακάτω ενδεχόμενα:

- Καμία δομή δεδομένων δεν εμπλέκεται στη λειτουργία της εισαγωγής. Σε αυτή την περίπτωση υπάγονται οι στρατηγικές RAND, RAND-MIX, M-METRIC, MIX και TSP.
- Το πρόβλημα της εισαγωγής αντικειμένων στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης ανάγεται σε πρόβλημα εισαγωγής αντικειμένων σε μια απλή ουρά που γίνεται σε χρόνο σταθερό. Αυτή η περίπτωση αφορά τις στρατηγικές FIFO, LRU, LRU_MIN, LRU-S, LRU-C και LRU-CS.

- Το πρόβλημα της εισαγωγής αντικειμένων στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης ανάγεται σε πρόβλημα εισαγωγής αντικειμένων σε μια απλή ουρά, που ανήκει σε ένα ευρύτερο σύστημα απλών ουρών, οπότε γίνεται σε χρόνο σταθερό. Αυτή η περίπτωση αφορά τις περιπτώσεις PART-LRU, PSS, PSS-LAT, LRU-SP, LRU-SP-LAT, LRU* και SLRU.

Η λειτουργία της απλής ενημέρωσης πραγματοποιείται μόνο στην περίπτωση, όπου η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης εξυπηρετεί απευθείας το αίτημα HTTP, οπότε η στρατηγική χρειάζεται μόνο να ενημερώσει ως προς τη μεταβολή κάποιων βασικών παραμέτρων – κυρίως της συχνότητας. Για την περίπτωση της λειτουργίας της ενημέρωσης ισχύουν ακριβώς τα ίδια με την περίπτωση της εισαγωγής.

Σχετικά με τη λειτουργία της διαγραφής, διακρίνονται τα παρακάτω ενδεχόμενα:

- Ο αλγόριθμος ακολουθεί τυχαιοποιημένη διαδικασία διαγραφής, η οποία είτε δεν εμπλέκει κάποια δομή δεδομένων – περίπτωση RAND – είτε εμπλέκει τη δημιουργία ουράς προτεραιοτήτων, αλλά για ασήμαντο αριθμό αντικειμένων της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης – περίπτωση RAND-MIX. Και στις δύο περιπτώσεις, η χρονική πολυπλοκότητα είναι της τάξεως του $O(1)$.
- Το πρόβλημα ανάγεται σε πρόβλημα διαγραφής αντικειμένων από μια απλή ουρά – περίπτωση FIFO, LRU, LRU-S, LRU-C και LRU-CS – που πραγματοποιείται σε χρόνο $O(1)$.
- Το πρόβλημα ανάγεται σε πρόβλημα διαγραφής αντικειμένων από μια απλή ουρά που ανήκει σε ένα ευρύτερο σύστημα απλών ουρών – περίπτωση PART-LRU, LRU* και SLRU – που πραγματοποιείται σε χρόνο $O(1)$.
- Το πρόβλημα ανάγεται σε πρόβλημα εύρεσης μεγίστου ανάμεσα σε $\log n$ αντικείμενα το πολύ. Δηλαδή, πρόκειται για την εύρεση του αντικείμενου με κάποιο μέγιστο δείκτη μεταξύ των υποψηφίων προς διαγραφή αντικειμένων ανά απλή ουρά σε ένα σύστημα πολλαπλής ουράς. Σε αυτήν την περίπτωση, η διαγραφή των αντικειμένων γίνεται σε χρόνο $O(\log n)$ – περίπτωση PSS, PSS-LAT, LRU-SP και LRU-SP-LAT.
- Το πρόβλημα ανάγεται σε πρόβλημα διαγραφής αντικειμένων από μια ουρά προτεραιοτήτων – περίπτωση SIZE, EXP1, LFU, A-AGING, LLF, HYBRID, GD, GD*, gGDSF και LUV – που πραγματοποιείται σε χρόνο $O(\log n)$.

- Η διαδικασία της διαγραφής απαιτεί τη δημιουργία από την αρχή μιας ουράς προτεραιοτήτων με τα n αντικείμενα της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, τη διαγραφή αντικειμένων με βάση την ουρά προτεραιότητας και τη διάλυση της ουράς προτεραιότητας. Πρόκειται για την περίπτωση των στρατηγικών M-METRIC, TSP και MIX, των οποίων η διαδικασία της διαγραφής στον προσομοιωτή Wisconsin έχει προγραμματιστεί σύμφωνα με τις υποδείξεις των Bahn et al [Bahn02], όσον αφορά στην πολυπλοκότητα. Σε αυτήν την περίπτωση, η διαγραφή πραγματοποιείται σε χρόνο $O(n)$.
- Το πρόβλημα ανάγεται σε πρόβλημα διαγραφής αντικειμένων, ύστερα από μια εξαντλητική, σειριακή αναζήτησή τους – η οποία ενδέχεται να πραγματοποιηθεί πάνω από μια φορές – σε μια απλή ουρά από n αντικείμενα. Αυτή είναι η περίπτωση της στρατηγικής LRU-MIN, όπου η διαγραφή των αντικειμένων γίνεται σε χρόνο $O(n)$.

Από την παραπάνω ανάλυση της χρονικής πολυπλοκότητας των βασικών λειτουργιών και δεδομένου ότι οι λειτουργίες αυτές εκτελούνται σειριακά, η μια μετά την άλλη, προκύπτει ότι το χειρότερο σενάριο χαρακτηρίζεται από τη δραστηριότητα της λειτουργίας της διαγραφής. Ως εκ τούτου, η συνολική χρονική πολυπλοκότητα για την κάθε στρατηγική – που εκτιμάται αθροιστικά από τις μερικές χρονικές πολυπλοκότητες των βασικών λειτουργιών – ταυτίζεται πάντα με τη χρονική πολυπλοκότητα της λειτουργίας της διαγραφής αντικειμένων από τη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Ο πίνακας 5.28 παρουσιάζει τη χρονική πολυπλοκότητα για καθεμία από τις 45 στρατηγικές και περιπτώσεις στρατηγικών, που θα ληφθούν υπόψη στα μελλοντικά πειράματά μας για αξιολόγηση της αποδοτικότητας. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να τονιστεί ότι για τη στρατηγική A-AGING δε λήφθηκε υπόψη μια επιπλέον λειτουργία της, που αφορά στη μείωση των τιμών των μετρητών, που κρατάει ανά αποθηκευμένο αντικείμενο στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η λειτουργία αυτή έχει χρονική πολυπλοκότητα $O(n)$, αλλά η ενεργοποίησή της – που είναι καθαρά θέμα διαχειριστή της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης – μπορεί να χαρακτηριστεί ως σπάνια συγκριτικά με την ενεργοποίηση των άλλων, βασικών λειτουργιών.

Οι εκτιμήσεις μας, ως προς τη χρονική πολυπλοκότητα των στρατηγικών, συμφωνούν απόλυτα με αυτές στην εργασία των Bahn et al [Bahn02]. Οι Balamash et al [Bal04] έχουν πραγματοποιήσει τις δικές τους εκτιμήσεις, όσον αφορά στη χρονική πολυπλοκότητα των

στρατηγιών. Στην εργασία τους, θεωρούν ότι η MIX έχει χρονική πολυπλοκότητα της τάξεως του $O(\log n)$, χωρίς όμως να τεκμηριώνουν αυτή τους την εκτίμηση. Πάντως, ανατρέχοντας στην πρωτότυπη εργασία των Niclausse et al [Nicl98] για την MIX υπονοείται ότι η πολυπλοκότητα είναι της τάξεως του $O(n)$, μια άποψη που υιοθετούμε και στην παρούσα εργασία.

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛ.	ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛ.	ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛ.
FIFO	$O(1)$	HYBRID	$O(\log n)$	GD*(hops)	$O(\log n)$
LRU	$O(1)$	GDS(1)	$O(\log n)$	GD*(packets)	$O(\log n)$
LRU-MIN	$O(n)$	GDS(latency)	$O(\log n)$	gGDSF(1)	$O(\log n)$
PSS	$O(\log n)$	GDS(hops)	$O(\log n)$	gGDSF(latency)	$O(\log n)$
PSS-LAT	$O(\log n)$	GDS(packets)	$O(\log n)$	gGDSF(hops)	$O(\log n)$
SIZE	$O(\log n)$	GDSF(1)	$O(\log n)$	gGDSF(packets)	$O(\log n)$
EXP1	$O(\log n)$	GDSF(latency)	$O(\log n)$	M-METRIC	$O(n)$
PART-LRU	$O(1)$	GDSF(hops)	$O(\log n)$	MIX	$O(n)$
LFU	$O(\log n)$	GDSF(packets)	$O(\log n)$	TSP	$O(n)$
A-AGING	$O(\log n)$	GDF(1)	$O(\log n)$	LUV	$O(\log n)$
SLRU	$O(1)$	GDF(latency)	$O(\log n)$	RAND	$O(1)$
LRU*	$O(1)$	GDF(hops)	$O(\log n)$	LRU-S	$O(1)$
LRU-SP	$O(\log n)$	GDF(packets)	$O(\log n)$	LRU-C	$O(1)$
LRU-SP-LAT	$O(\log n)$	GD*(1)	$O(\log n)$	LRU-CS	$O(1)$
LLF	$O(\log n)$	GD*(latency)	$O(\log n)$	RAND-MIX	$O(1)$

Πίνακας 5.28. Η χρονική πολυπλοκότητα για τη κάθε στρατηγική ή περίπτωση στρατηγικής που λαμβάνεται υπόψη στα πειράματα αξιολόγησης της αποδοτικότητας

5.5.2 Εκτίμηση της Χωρικής Πολυπλοκότητας των Στρατηγιών

Σχετικά με την εκτίμηση της χωρικής πολυπλοκότητας, το ερώτημα που τίθεται αφορά στον υπολογισμό της ποσότητας των συνοδευτικών μετα-δεδομένων που αποθηκεύονται μαζί με το κάθε αντικείμενο του παγκοσμίου ιστού από την εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης. Οι Bahn et al [Bahn02] προσδιορίζουν ότι η πρόσθετη μνήμη που δεσμεύεται για τα μετα-δεδομένα είναι σταθερή ανά αντικείμενο, δηλαδή $O(1)$.

Το ζητούμενο, λοιπόν, είναι ο ακριβής προσδιορισμός των μετα-δεδομένων ανά αντικείμενο που απαιτούνται σε καθεμιά από τις 45 στρατηγικές και περιπτώσεις στρατηγικών που λαμβάνονται υπόψη στα πειράματα αξιολόγησης της αποδοτικότητας. Οι Balamash et al [Bal04] δίνουν μια εικόνα των πληροφοριών της διαδικτυακής δραστηριότητας που αξιοποιούν κάποιες βασικές στρατηγικές. Ύστερα από προσεκτική μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας [Pod03], καταλήξαμε στον πίνακα 5.29, ο οποίος κατηγοριοποιεί τις προς αξιολόγηση στρατηγικές των μελλοντικών πειραμάτων μας, με βάση τη χωρική τους πολυπλοκότητα.

ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ	ΧΩΡΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛ.	ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ	ΧΩΡΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛ.	ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ	ΧΩΡΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛ.
FIFO	1	HYBRID	5	GD*(hops)	6
LRU	1	GDS(1)	2	GD*(packets)	6
LRU-MIN	2	GDS(latency)	4	gGDSF(1)	4
PSS	4	GDS(hops)	4	gGDSF(latency)	6
PSS-LAT	6	GDS(packets)	4	gGDSF(hops)	6
SIZE	2	GDSF(1)	4	gGDSF(packets)	6
EXP1	4	GDSF(latency)	6	M-METRIC	6
PART-LRU	2	GDSF(hops)	6	MIX	7
LFU	2	GDSF(packets)	6	TSP	8
A-AGING	2	GDF(1)	2	LUV	7
SLRU	1	GDF(latency)	4	RAND	1
LRU*	2	GDF(hops)	4	LRU-S	1
LRU-SP	6	GDF(packets)	4	LRU-C	1
LRU-SP-LAT	7	GD*(1)	4	LRU-CS	1
LLF	3	GD*(latency)	6	RAND-MIX	7

Πίνακας 5.29. Κατηγοριοποίηση των υπό μελέτη στρατηγικών και περιπτώσεων στρατηγικών κατά αύξουσα σειρά χωρικής πολυπλοκότητας

Στον πίνακα 5.29 διακρίνονται 8 κατηγορίες χωρικής πολυπλοκότητας κατά αύξουσα σειρά. Αυτές είναι οι ακόλουθες:

- **Κατηγορία 1:** Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι στρατηγικές FIFO, LRU, SLRU, RAND, LRU-S, LRU-C και LRU-CS. Ουσιαστικά, αυτές οι στρατηγικές δεν απαιτούν την αποθήκευση καμίας συνοδευτικής πληροφορίας ως προς το αντικείμενο του παγκοσμίου ιστού που αποθηκεύεται στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης.

- Κατηγορία 2: Οι στρατηγικές που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία απαιτούν την αποθήκευση μιας συγκεκριμένης πληροφορίας ανά αντικείμενο του παγκοσμίου ιστού. Αυτή η πληροφορία μπορεί να αφορά στο μέγεθος – περίπτωση LRU-MIN, SIZE, PART-LRU και GDS(1), – ή στον αριθμό αιτημάτων προς τα αντικείμενα – περίπτωση LFU, A-AGING, LRU* και GDF(1) (ή αλλιώς LFU-DA).
- Κατηγορία 3: Σε αυτήν την κατηγορία ανήκει η στρατηγική LLF που κρατάει μια πληροφορία – δηλαδή, το μέγεθος – ανά αποθηκευμένο αντικείμενο στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η στρατηγική αυτή κρατάει και κάποιες πληροφορίες ανά πηγαίο εξυπηρετητή. Αυτές είναι η εκτιμώμενη καθυστέρηση σύνδεσης προς τον εξυπηρετητή και το εκτιμώμενο εύρος ζώνης ανάμεσα στη μηχανή που τρέχει η εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης και τον πηγαίο εξυπηρετητή. Δεδομένου ότι οι πηγαίοι εξυπηρετητές είναι κατά πολύ λιγότεροι σε αριθμό από τα αντικείμενα, επιλέγουμε τη δημιουργία αυτής της εμβόλιμης κατηγορίας χωρικής πολυπλοκότητας για τη στρατηγική LLF.
- Κατηγορία 4: Οι στρατηγικές που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία – δηλαδή, οι PSS, EXP1, GDS(latency), GDS(hops), GDS(packets), GDF(latency), GDF(hops), GDF(packets), GDSF(1), gGDSF(1) και GD*(1) – απαιτούν την αποθήκευση δύο συγκεκριμένων πληροφοριακών στοιχείων ανά αντικείμενο του παγκοσμίου ιστού που εισάγεται στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης.
- Κατηγορία 5: Σε αυτήν την κατηγορία ανήκει μόνο η στρατηγική HYBRID. Πρόκειται για την ίδια περίπτωση με τη στρατηγική LLF, με τη μόνη διαφορά ότι η στρατηγική αυτή αποθηκεύει επιπλέον τον αριθμό αιτημάτων για το κάθε αποθηκευμένο αντικείμενο. Ως εκ τούτου, κρίθηκε αναγκαία η δημιουργία μιας επιπλέον κατηγορίας χωρικής πολυπλοκότητας.
- Κατηγορία 6: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν όλες οι στρατηγικές που απαιτούν την αποθήκευση τριών πληροφοριακών στοιχείων ανά αντικείμενο στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης. Οι στρατηγικές αυτής της κατηγορίας είναι οι: PSS-LAT, LRU-SP, GDSF(latency), GDSF(hops), GDSF(packets), gGDSF(latency), gGDSF(hops), gGDSF(packets), GD*(latency), GD*(hops), GD*(packets) και M-METRIC.

- **Κατηγορία 7:** Στην κατηγορία αυτή ανήκουν όλες οι στρατηγιές που απαιτούν την αποθήκευση τεσσάρων πληροφοριακών στοιχείων ανά αντικείμενο στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης. Οι στρατηγιές αυτής της κατηγορίας είναι οι: LRU-SP-LAT, MIX, LUV και RAND-MIX.
- **Κατηγορία 8:** Στην κατηγορία αυτή ανήκει η στρατηγική TSP, η οποία απαιτεί την αποθήκευση πέντε πληροφοριακών στοιχείων ανά αντικείμενο στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης.

5.6 Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο, δώσαμε μια άλλη διάσταση στο πρόβλημα της αναζήτησης της πρωταθλήτριας στρατηγικής αντικατάστασης αντικειμένων σε μια εφαρμογή ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού. Δεδομένου ότι μέχρι σήμερα η έρευνα, αφενός μεν, δεν έχει οδηγήσει σε κάποια στρατηγική που να παρουσιάζει καθολικά βέλτιστες επιδόσεις, ως προς τους βασικούς δείκτες επίδοσης, και αφετέρου, δε λαμβάνει υπόψη το κόστος για την υποστήριξη της λειτουργίας των στρατηγιών, επικεντρώσαμε στην αναζήτηση των αποδοτικότερων στρατηγιών, δηλαδή αυτών που παρουσιάζουν τις υψηλότερες επιδόσεις με το λιγότερο δυνατό κόστος.

Για τη μελέτη της αποδοτικότητας των στρατηγιών και την ανεύρεση των πραγματικά αποδοτικών εξ αυτών, επιστρατεύσαμε τη μεθοδολογία της περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων (ΠΑΔ), ως συμπληρωματικό εργαλείο για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Αναλύσαμε τη μεθοδολογία της ΠΑΔ με τα δύο βασικά μοντέλα της: το CCR και το BCC. Στη συνέχεια, δώσαμε ιδιαίτερη έμφαση στο μοντέλο BCC, που αξιοποιήσαμε στην αναζήτηση των αποδοτικότερων στρατηγιών, αιτιολογώντας την επιλογή του, έναντι του CCR.

Όσον αφορά στα πειράματα προσομοίωσης, αυτά πραγματοποιήθηκαν στον αναβαθμισμένο προσομοιωτή του Wisconsin, τον οποίο παρουσιάσαμε και αναλύσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Χρησιμοποιήσαμε αρχεία ιχνών που αποτύπωναν τόσο την παλαιά – για την ακρίβεια, στα μέσα της δεκαετίας του 1990 – όσο και τη σύγχρονη δραστηριότητα του παγκοσμίου ιστού, ώστε να αποκτήσουμε μια διαχρονική άποψη ως προς τις αποδοτικές στρατηγιές. Για τις υψηλά παραμετροποιημένες στρατηγιές, επιλέξαμε εκείνες τις τιμές των παραμέτρων που μας οδήγησαν στις καλύτερες επιδόσεις. Δεδομένου ότι, οι δύο

βασικοί δείκτες επίδοσης – δηλαδή, HR και BHR – που λάβαμε υπόψη είχαν την ίδια βαρύτητα για τα πειράματά μας, χρησιμοποιήσαμε την απλή μεθοδολογία των μέσων όρων για την επίλυση του προβλήματος των παραμετροποιημένων στρατηγιών. Δηλαδή, επιλέξαμε εκείνες τις τιμές των παραμέτρων που μεγιστοποιούσαν τον κοινό μέσο όρο των δύο δεικτών επίδοσης.

Ακολουθήσαμε δύο τεχνικές στην αναζήτηση των πραγματικά αποδοτικών στρατηγιών. Στην πρώτη τεχνική, οι στρατηγικές ομαδοποιήθηκαν κατά μέγεθος μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης και προχωρήσαμε στην επίλυση του προβλήματος της αποδοτικότητας για κάθε κατηγορία. Ακολουθώντας αυτήν την τεχνική μπορούσαμε να εξάγουμε πολύ χρήσιμα συμπεράσματα ως προς την αποδοτικότητα των στρατηγιών, που λάβαμε υπόψη. Συγκεκριμένα, με την προσθήκη επιπρόσθετων στρατηγιών, η ΠΑΔ άλλαξε το χάρτη της αποδοτικότητας και ανέδειξε τις στρατηγιές gGDSF(1) και LRU-SP, οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν ως πρότυπα λειτουργίας και σύγκρισης, αλλά και ως δύο καλές επιλογές για υλοποίηση σε πραγματικές εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης. Επιπλέον, η ΠΑΔ επιβεβαίωσε ότι η GDSF(1), που χρησιμοποιείται σε πραγματικά συστήματα ενδιάμεσης αποθήκευσης, αποτελεί μια αρκετά καλή – μετά τις δύο κορυφαίες στρατηγιές – επιλογή, όσον αφορά στην αποδοτικότητά της, για την αντιμετώπιση της σύγχρονης δραστηριότητας του παγκοσμίου ιστού.

Με τη δεύτερη τεχνική, εκτελέσαμε το μοντέλο ΠΑΔ καθολικά για όλα τα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, ώστε να επιτρέψουμε στην κάθε στρατηγική να ανταγωνιστεί τον εαυτό της στα διαφορετικά μεγέθη μνήμης. Η τεχνική αυτή διέφερε από την προηγούμενη ως προς το γεγονός ότι δίνει μεγαλύτερη βαρύτητα στο ρόλο της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης ως παράγοντα κόστους (εισροής). Αντίθετα, στο προηγούμενο μοντέλο, ο παράγοντας αυτός είναι υποβαθμισμένος, γεγονός που ανταποκρίνεται στη σημερινή πραγματικότητα, όπου οι μνήμες και οι δίσκοι έχουν μειωθεί σε κόστος. Πάντως, η ΠΑΔ επέδειξε απόλυτη και αξιοθαύμαστη συνέπεια, όσον αφορά στις στρατηγιές που αναδείχθηκαν ως αποδοτικές, με βάση τις δύο διαφορετικές τεχνικές.

Με αυτήν τη δεύτερη τεχνική, καταφέραμε να αναδείξουμε κυρίως το φαινόμενο της καθοριστικής επίδρασης του πολύ μεγάλου μεγέθους της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης – τουλάχιστον όσον αφορά στα πειράματα, που βασίζονται στα πεπερασμένου μεγέθους αρχεία ιχνών δραστηριότητας του παγκοσμίου ιστού – στη λειτουργία των εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης, που ακολουθούν κάποια στρατηγική για αντικατάσταση

περιεχομένου. Δηλαδή, βρέθηκαν πολλές αποδοτικές στρατηγιές για το μέγιστο μέγεθος μνήμης που λήφθηκε υπόψη στα πειράματα, κάτι που υπονοεί σαφώς το αυτονόητο, δηλαδή πως η προσθήκη μνήμης στις εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης βελτιώνει τη λειτουργία τους. Το φαινόμενο της καθοριστικής επίδρασης της μεγάλης μνήμης έγινε αισθητό και με την πρώτη τεχνική, δεδομένου ότι οι αποδοτικές στρατηγιές αυξάνονταν με την αύξηση του μεγέθους της μνήμης για όλα τα αρχεία ιχνών.

Ακολουθώντας τη δεύτερη τεχνική, όσον αφορά στην αναζήτηση των αποδοτικών στρατηγιών, δεν καταφέραμε να απομονώσουμε κάποια στρατηγική που να είναι αποδοτική σε όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης, κυρίως, για τα σύγχρονα αρχεία ιχνών, τα οποία αντιπροσωπεύουν καλύτερα τη σημερινή δραστηριότητα στον παγκόσμιο ιστό. Αυτή είναι μια βασική αιτία για την οποία δώσαμε ιδιαίτερη βαρύτητα στα αποτελέσματα από την πρώτη τεχνική, τα οποία μας δίνουν τη δυνατότητα να προτείνουμε συγκεκριμένες λύσεις. Όμως, μέχρι στιγμής σε αυτές τις λύσεις δεν έχουμε συμπεριλάβει δύο βασικές παραμέτρους, που σχετίζονται άμεσα με το κόστος λειτουργίας των στρατηγιών. Αυτές οι παράμετροι είναι η χρονική και η χωρική πολυπλοκότητα των αλγορίθμων, που υλοποιούν τις στρατηγιές αντικατάστασης του περιεχομένου στις εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Ως εκ τούτου, στα πλαίσια της μελλοντικής μας έρευνας, αναμένεται να αναβαθμίσουμε ακόμη περισσότερο το μοντέλο ΠΑΔ που χρησιμοποιούμε, ώστε να συμπεριλάβουμε σε αυτό δεδομένα τύπου διάταξης, που να αφορούν τη χρονική και χωρική πολυπλοκότητα των αλγορίθμων. Έχουμε πραγματοποιήσει την ανάλυση των δύο μορφών πολυπλοκότητας των στρατηγιών που θα λάβουμε υπόψη στο νέο μοντέλο ΠΑΔ και έχουμε καταγράψει όλα τα απαραίτητα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν ως εισροές, αλλά και εκροές. Βρισκόμαστε πλέον στη φάση αναζήτησης του κατάλληλου λογισμικού, που θα μπορέσει να εκτελέσει το αναβαθμισμένο μοντέλο ΠΑΔ.

Ένα, επιπλέον, πεδίο για μελλοντική έρευνα αφορά στην εκμετάλλευση των αποτελεσμάτων της ΠΑΔ, ώστε να αναζητήσουμε νέες στρατηγιές που να βελτιστοποιούν τις επιδόσεις, τουλάχιστον όσον αφορά στους βασικούς δείκτες HR και BHR, για όλα τα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Από την ανάλυση που κάναμε σε αυτό το κεφάλαιο, δείξαμε ότι ΠΑΔ είναι σε θέση να ξεχωρίσει και να αναδείξει αυτές τις στρατηγιές. Από την εμπειρία που αποκομίσαμε, σχετικά με τον τρόπο που εκτιμά την αποδοτικότητα η ΠΑΔ, ίσως μπορούμε να συνθέσουμε ή να κτίσουμε τις πρωταθλήτριες

στρατηγικές, χρησιμοποιώντας ως δομικά στοιχεία τις αποδοτικές στρατηγικές για τα
διάφορα μέγεθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑ

Κεφάλαιο 6

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΥΦΥΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ ΣΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΡΟ-ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ

6.1 Εισαγωγή

Οι προ-ενεργητικές τεχνολογίες διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου – και κυρίως του περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού, για τον οποίο έχει δημοσιευτεί μια μεγάλη συλλογή ερευνών – στοχεύουν στην πρόβλεψη της ζήτησης των διαδικτυακών αντικειμένων, προτού αυτή εκδηλωθεί από τους χρήστες. Έτσι, βασίζονται στην προνοητικότητα τους και επιδιώκουν την προ-εγκατάσταση του περιεχομένου στα συστήματα ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Κάνοντας μια ελεύθερη μετάφραση στον ορισμό του Davison [Dav02b], ως προ-εγκατάσταση του περιεχομένου ορίζεται *η επιλεκτική τοποθέτηση διαδικτυακών αντικειμένων εφαρμογής σε μνήμες ενδιάμεσης αποθήκευσης προσβλέποντας στην κάλυψη της μελλοντικής ζήτησής τους*. Ανάλογα με την πηγή της πρωτοβουλίας για την προ-εγκατάσταση του περιεχομένου, αυτή παρουσιάζει δύο βασικές μορφές: την προ-ανάκτηση και την προώθηση. Ορίζουμε, λοιπόν, ως προ-ανάκτηση του περιεχομένου *την επιλεκτική ανάκτηση και αποθήκευση, εκ μέρους της εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης, διαδικτυακών αντικειμένων εφαρμογής προσβλέποντας στην κάλυψη της μελλοντικής ζήτησής τους*. Επιπλέον, ορίζουμε ως προώθηση του διαδικτυακού περιεχομένου *την επιλεκτική διανομή, εκ μέρους του παρόχου του διαδικτυακού περιεχομένου, των διαδικτυακών αντικείμενων εφαρμογής προς μνήμες ενδιάμεσης αποθήκευσης προσβλέποντας στην κάλυψη της μελλοντικής ζήτησής τους*. Η προώθηση του διαδικτυακού περιεχομένου αξιολογείται σε ευρεία κλίμακα στη σημερινή εποχή μέσω των εξειδικευμένων δικτύων διανομής και παράδοσης – των γνωστών CDN.

Σε όλους τους παραπάνω ορισμούς, επισημαίνουμε ότι πραγματοποιείται επιλογή των διαδικτυακών αντικειμένων που πρόκειται να προ-εγκατασταθούν στα συστήματα ενδιάμεσης αποθήκευσης. Ενώ οι κλασικές εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης επιλέγουν

αντικείμενα, κυρίως, βάσει της δημοτικότητας και της χρονικής τοπικότητάς τους¹⁸, οι εφαρμογές προ-εγκατάστασης επιλέγουν τα αντικείμενα λαμβάνοντας υπόψη, κυρίως, τη χωρική τοπικότητά τους¹⁹. Δηλαδή, λαμβάνουν υπόψη ότι κάποια αντικείμενα θεωρούνται γειτονικά μεταξύ τους, οπότε υπάρχει αυξημένη πιθανότητα να ζητηθούν μαζί. Στην περίπτωση της προ-εγκατάστασης στις γρήγορες μνήμες (L1 και L2 cache) των υπολογιστικών συστημάτων, ο καθορισμός της γειτνίασης των αντικειμένων είτε αφορά σε γειτονικές διευθύνσεις της φυσικής μνήμης του συστήματος, είτε αφορά σε θέσεις μνήμης που προσδιορίζονται από κάποια υπερκείμενη διεργασία του συστήματος [Oren00].

Αντίθετα, στο Διαδίκτυο και πιο συγκεκριμένα στον παγκόσμιο ιστό, όπου βρίσκουν ευρεία εφαρμογή οι τεχνολογίες προ-εγκατάστασης περιεχομένου, ο καθορισμός, ή καλύτερα η πρόβλεψη της γειτνίασης των αντικειμένων – ή, καλύτερα η πρόβλεψη των αντικειμένων που πρέπει να προ-εγκατασταθούν, αν λάβουμε υπόψη ότι υπάρχουν κάποιες τεχνικές πρόβλεψης που δε σχετίζονται με τη χωρική τοπικότητα, όπως αυτή που προτείνεται στην εργασία των Markatos και Chronaki [Mark98] – είναι μια πιο περίπλοκη διαδικασία. Οι τεχνικές πρόβλεψης, που έχουν κατά καιρούς προταθεί, ανήκουν σε δύο κατηγορίες [Dav02b], τις:

- Τεχνικές πρόβλεψης βάσει του ιστορικού των προσπελάσεων προς τα διαδικτυακά αντικείμενα. Τέτοιες τεχνικές αναπτύσσονται κυρίως στην πλευρά των εξυπηρετητών [Padm96, Palp99, Chen03, Desh04, Dom06b, Ban08], αλλά έχουν αξιοποιηθεί και στην πλευρά των πελατών [Jian97].
- Τεχνικές πρόβλεψης βάσει του περιεχομένου των διαδικτυακών αντικειμένων – κυρίως των ιστοσελίδων. Αυτές οι τεχνικές αξιοποιούνται, κυρίως, από την πλευρά των πελατών για την υποστήριξη εφαρμογών εξατομικευμένης προ-εγκατάστασης [Hong99a, Dav02a, Kast04].

Από τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, προκύπτει μια βασική και ουσιώδης διαφορά ανάμεσα στις εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης και τις εφαρμογές προ-εγκατάστασης: Οι πρώτες προϋποθέτουν την εκδήλωση της ζήτησης προς τα αντικείμενα, ενώ οι δεύτερες προσπαθούν να την προβλέψουν. Δηλαδή, τα αντικείμενα που αποθηκεύονται από τις εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης έχουν ζητηθεί τουλάχιστον μια φορά.

¹⁸ Τη χρονική τοπικότητα την ορίσαμε στο κεφάλαιο 2, παράγραφο 2.5.1.4.

¹⁹ Έχουμε μια νύξη με έναν ορισμό της χωρικής τοπικότητας στο κεφάλαιο 2, παράγραφο 2.5.1.5.

Τα πλεονεκτήματα και η χρησιμότητα των εφαρμογών προ-εγκατάστασης περιεχομένου είναι ακριβώς τα ίδια με τις εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης. Δηλαδή, όπως όλες οι τεχνολογίες διανομής και παράδοσης, έτσι και αυτές μειώνουν το φόρτο στους πηγαίους εξυπηρετητές και το χρόνο απόκρισης προς τους χρήστες. Όσον αφορά στην κατανάλωση σε εύρος ζώνης, ο στόχος τους είναι να την κρατήσουν σε χαμηλά επίπεδα σε χρονικές στιγμές όπου το κυκλοφοριακό είναι έντονο. Αυτό επιτυγχάνεται με την αποφόρτωση του περιεχομένου που αναμένεται να ζητηθεί σε χρονικά σημεία χαμηλής δραστηριότητας. Στο σημείο αυτό εντοπίζεται και το κυριότερο μειονέκτημά τους: Αν τα αντικείμενα που προ-εγκαταστάθηκαν στα συστήματα ενδιάμεσης αποθήκευσης δε ζητηθούν, τότε δαπανήθηκαν πόροι από τα εμπλεκόμενα συστήματα χωρίς κανένα όφελος. Τίθεται, λοιπόν, θέμα ως προς την ακρίβεια των προβλέψεων για τα αντικείμενα που πρέπει να προ-εγκατασταθούν και ως προς το κόστος της προ-εγκατάστασης, τόσο σε δικτυακούς όσο και σε υπολογιστικούς πόρους. Για αυτόν το λόγο, πέρα από τους κλασικούς δείκτες απόδοσης της χρησιμότητας των εφαρμογών προ-εγκατάστασης, οι οποίοι είναι ανάλογοι προς αυτούς που χρησιμοποιούνται στις κλασικές εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης, χρησιμοποιούνται και μια σειρά από δείκτες, που αφορούν στην ποιότητα και στην ακρίβεια των προβλέψεων, καθώς και στο κόστος σε δικτυακούς και υπολογιστικούς πόρους [Dom06a].

Το κεφάλαιο αυτό είναι αφιερωμένο στα συστήματα²⁰ προ-εγκατάστασης του διαδικτυακού περιεχομένου – που στο εξής θα τα αποκαλούμε ΣΠΕΠ, για συντομία – σε μνήμες ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η δομή του κεφαλαίου είναι η ακόλουθη: Στην παράγραφο 6.2 λαμβάνει χώρα η ταξινόμηση των ΣΠΕΠ. Στην παράγραφο 6.3 παρουσιάζουμε τα συστατικά στοιχεία και τις βασικές αρχιτεκτονικές των ΣΠΕΠ. Στην παράγραφο 6.4 πραγματοποιείται η διεξοδική μελέτη των μεθοδολογιών και των μηχανισμών πρόβλεψης της χωρικής τοπικότητας. Στην παράγραφο 6.5 πραγματοποιούμε μια περιπτωσιολογική μελέτη σχετικά με την αξιοποίηση της τεχνολογίας των μηχανών αναζήτησης στις ΣΠΕΠ. Τέλος, στην παράγραφο 6.6 παρουσιάζουμε τα κυριότερα συμπεράσματα του κεφαλαίου.

²⁰ Προτιμούμε τον όρο σύστημα από τον όρο εφαρμογή, ώστε να αποφύγουμε την πιθανή σύγχυση κατά την ανάλυση της αρχιτεκτονικής. Στο εξής, με τον όρο εφαρμογή ή πράκτορας προ-εγκατάστασης θα προσδιορίζουμε αποκλειστικά το λειτουργικό κομμάτι που προ-εγκαθιστά τα αντικείμενα στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης. Με τον όρο σύστημα προ-εγκατάστασης θα προσδιορίζουμε τόσο την εφαρμογή/πράκτορα προ-εγκατάστασης, όσο και την εφαρμογή/πράκτορα πρόβλεψης.

6.2 Ταξινόμηση των ΣΠΕΠ

Υπάρχουν διάφορα κριτήρια για την ταξινόμηση των ΣΠΕΠ. Παρακάτω, αναφέρουμε κάποιους τρόπους ταξινόμησής τους, που έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία.

Στην εργασία του πάνω στις εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης, αλλά και στα ΣΠΕΠ που μπορούν να ενσωματωθούν σε αυτές, ο Wang [Wang99] ακολούθησε την ταξινόμηση με αποκλειστικό κριτήριο τα δικτυακά συστήματα, που εμπλέκονται στην προ-εγκατάσταση, με απώτερο σκοπό να εντάξει τις ερευνητικές προσπάθειες σε κάποια κατηγορία. Έτσι, διέκρινε τρεις κατηγορίες:

- Προ-εγκατάσταση μεταξύ πηγαίου εξυπηρετητή και πελάτη.
- Προ-εγκατάσταση μεταξύ πηγαίου και πληρεξούσιου εξυπηρετητή.
- Προ-εγκατάσταση μεταξύ πληρεξούσιου εξυπηρετητή και πελάτη.

Ένα κριτήριο ταξινόμησης, που είδαμε και προηγουμένως, αφορά στη διάκριση των ΣΠΕΠ σε συστήματα προ-ανάκτησης – που στο εξής θα τα αποκαλούμε ΣΠΑΠ, για συντομία – και σε συστήματα προώθησης του περιεχομένου – που στο εξής θα τα αποκαλούμε ΣΠΩΠ, για συντομία. Το κριτήριο στην περίπτωση αυτή αφορά στο σύστημα από όπου προέρχεται η τελική απόφαση για την προ-εγκατάσταση του περιεχομένου. Αν λάβουμε υπόψη τη δομή και την αρχιτεκτονική των ΣΠΕΠ – που αναλύουμε στην επόμενη παράγραφο 6.3 – τότε το κριτήριο για την ταξινόμηση σε ΣΠΑΠ ή ΣΠΩΠ αφορά αποκλειστικά στο σύστημα, στο οποίο είναι τοποθετημένος ο πράκτορας προ-εγκατάστασης. Αν ο πράκτορας προ-εγκατάστασης βρίσκεται στην πλευρά του πελάτη και του συστήματος ενδιάμεσης αποθήκευσης, τότε μιλάμε για προ-ανάκτηση. Αν ο πράκτορας προ-εγκατάστασης είναι τοποθετημένος στην πλευρά του εξυπηρετητή, τότε μιλάμε για προώθηση.

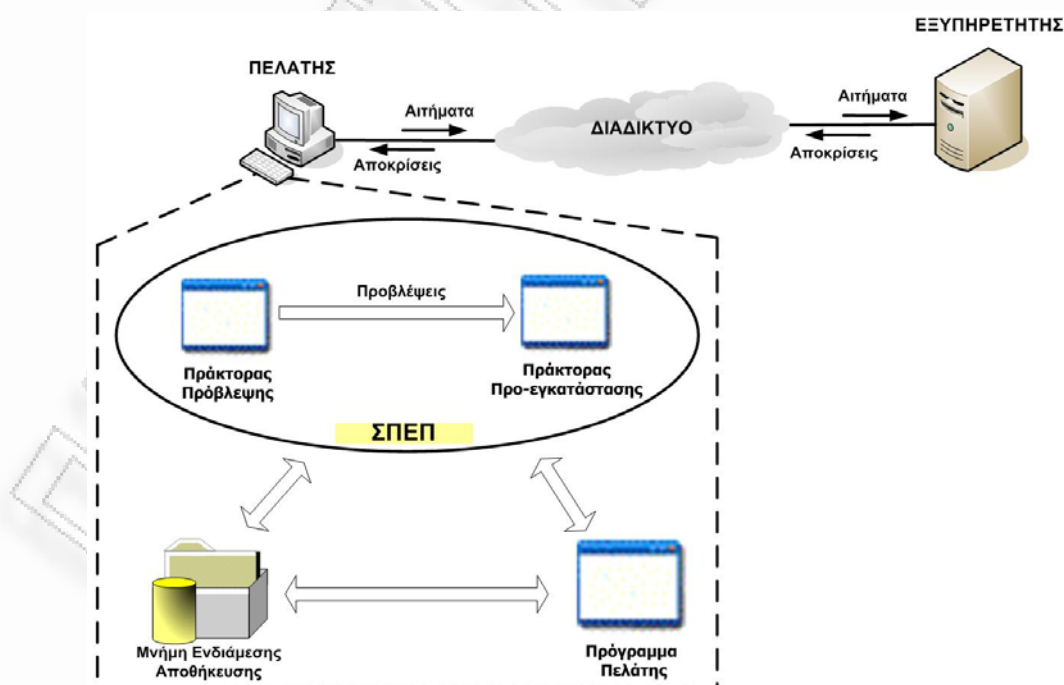
Ένα τρίτο κριτήριο ταξινόμησης αφορά στην τεχνική πρόβλεψης, που αξιοποιείται από ένα ΣΠΕΠ. Στην περίπτωση αυτή μπορούμε να διακρίνουμε τρεις κατηγορίες:

- ΣΠΕΠ που στηρίζονται σε τεχνικές πρόβλεψης βάσει του ιστορικού προσπελάσεων.
- ΣΠΕΠ που στηρίζονται σε τεχνικές πρόβλεψης βάσει του περιεχομένου.
- ΣΠΕΠ που στηρίζονται σε τεχνικές πρόβλεψης βάσει του ιστορικού προσπελάσεων και του περιεχομένου.

6.3 Δομή & Αρχιτεκτονικές ΣΠΕΠ

Τα συστήματα προ-εγκατάστασης περιεχομένου αποτελούνται από δύο βασικά δομικά στοιχεία. Αυτά είναι τα εξής:

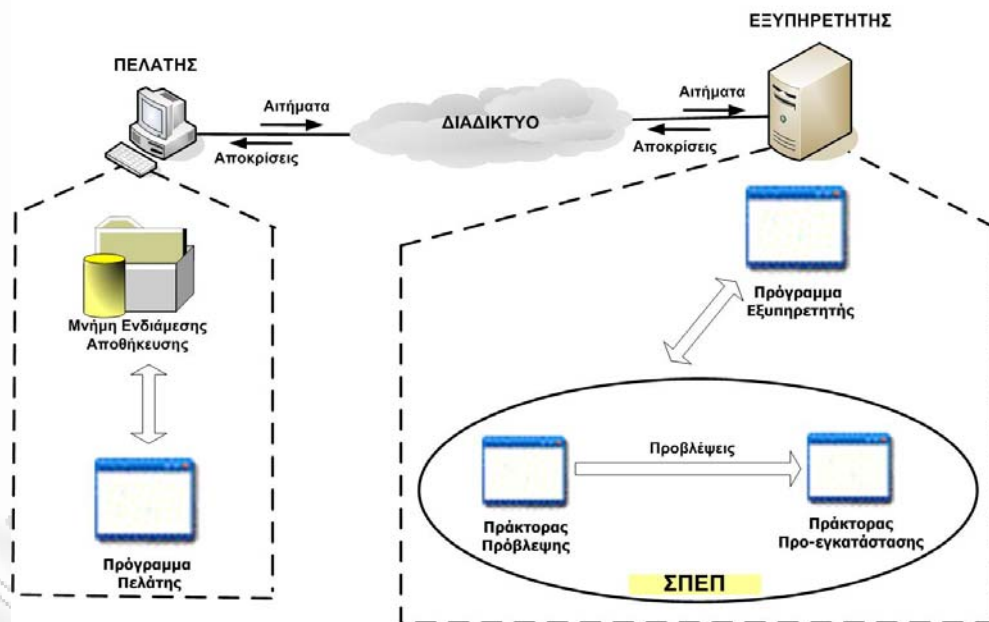
- Πράκτορας – ή, Εφαρμογή – πρόβλεψης: Πρόκειται για το κομμάτι εκείνο που επιδιώκει να προβλέψει ποια διαδικτυακά αντικείμενα αναμένεται να ζητηθούν μελλοντικά, τα οποία και προτείνει στην εφαρμογή προ-εγκατάστασης. Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις τεχνικές που χρησιμοποιούν οι πράκτορες πρόβλεψης παρουσιάζονται στην παράγραφο 6.4.
- Πράκτορας – ή, Εφαρμογή – προ-εγκατάσταση: Πρόκειται για το τμήμα εκείνο που είναι υπεύθυνο για την εκτέλεση της προ-εγκατάστασης των διαδικτυακών αντικειμένων στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης. Ο πράκτορας προ-εγκατάστασης λαμβάνει υπόψη διάφορες παραμέτρους, ώστε να αποφασίσει ή όχι την προ-εγκατάσταση. Για παράδειγμα, λαμβάνει υπόψη την τρέχουσα απασχόληση του συστήματος, όπου είναι εγκατεστημένο, την τρέχουσα κατανάλωση του εύρους ζώνης, τα περιεχόμενα της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης κλπ.



Σχήμα 6.1. Συγκεντρωτική αρχιτεκτονική ενός ΣΠΕΠ στην πλευρά του πελάτη

Η αρχιτεκτονική των ΣΠΕΠ μπορεί να είναι είτε συγκεντρωτική, είτε κατανεμημένη. Στη συγκεντρωτική αρχιτεκτονική, τα δύο δομικά στοιχεία – δηλαδή, οι πράκτορες πρόβλεψης και προ-εγκατάστασης – συνυπάρχουν στο ίδιο δικτυακό σύστημα – δηλαδή, στον πελάτη ή στον εξυπηρετητή. Τα σχήματα 6.1 και 6.2 απεικονίζουν τα δύο είδη της συγκεντρωτικής αρχιτεκτονικής.

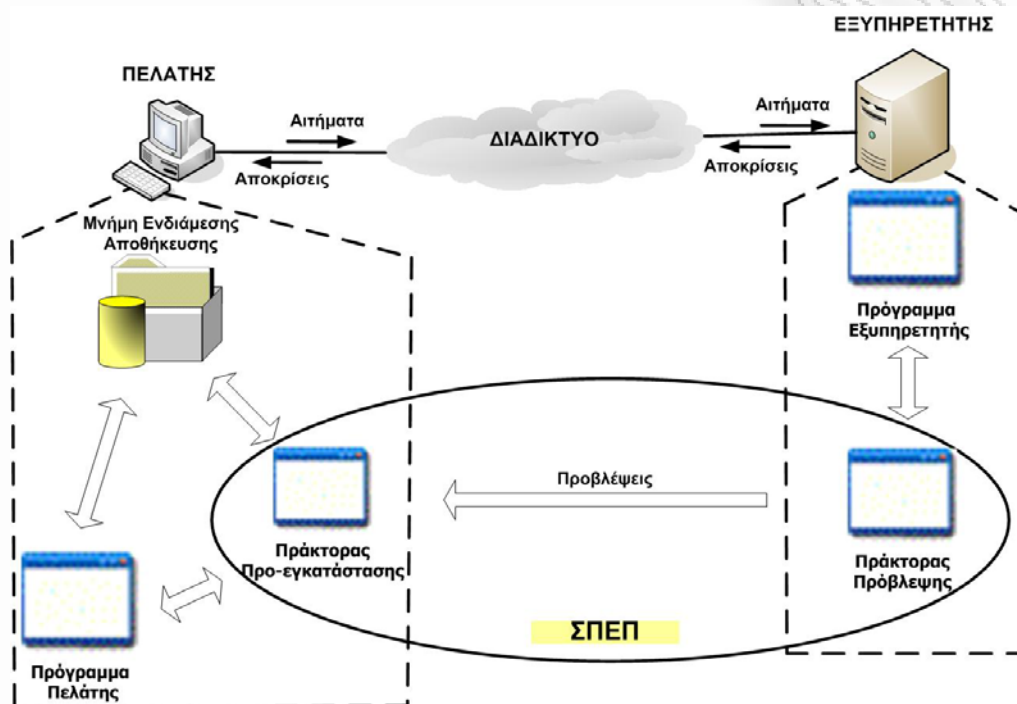
Στην περίπτωση όπου το ΣΠΕΠ είναι εξ ολοκλήρου ενσωματωμένο στο σύστημα του πελάτη (σχήμα 6.1) – οπότε, πρόκειται για προ-ανάκτηση περιεχομένου (ΣΠΑΠ) – ενδέχεται είτε να λειτουργεί αυτόνομα από τον πελάτη ως μια βιβλιοθήκη ενός γενικότερου λογισμικού ενδιάμεσης αποθήκευσης και προ-εγκατάστασης, είτε να είναι ενσωματωμένο στο λογισμικό του πελάτη. Σε όλες τις περιπτώσεις, η επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων, του συστήματος ενδιάμεσης αποθήκευσης και του λογισμικού του πελάτη πραγματοποιείται στα πλαίσια των διεργασιών που τρέχουν υπό την επιτήρηση του λειτουργικού συστήματος στη μηχανή του πελάτη.



Σχήμα 6.2. Συγκεντρωτική αρχιτεκτονική ενός ΣΠΕΠ στην πλευρά του εξυπηρετητή

Στην περίπτωση όπου το ΣΠΕΠ εντοπίζεται εξ ολοκλήρου εγκατεστημένο στον εξυπηρετητή (σχήμα 6.2) – οπότε έχουμε προώθηση διαδικτυακών αντικειμένων (ΣΠΩΠ) – ισχύουν τα ίδια με την περίπτωση του πελάτη. Η μόνη διαφορά είναι ότι το σύστημα ενδιάμεσης αποθήκευσης στον πελάτη θα πρέπει να είναι αναβαθμισμένο, ώστε να

υποστηρίζει την προώθηση των αντικειμένων από τον εξυπηρετητή. Επιπλέον, το πρωτόκολλο επικοινωνία – δηλαδή, το HTTP για τον παγκόσμιο ιστό – θα πρέπει να είναι, επίσης, αναβαθμισμένο ώστε να μεταφέρει μηνύματα που να προετοιμάζουν και να εκτελούν την προώθηση του περιεχομένου.



Σχήμα 6.3. Κατανεμημένη αρχιτεκτονική ενός ΣΠΕΠ ανάμεσα στον πελάτη και τον εξυπηρετητή

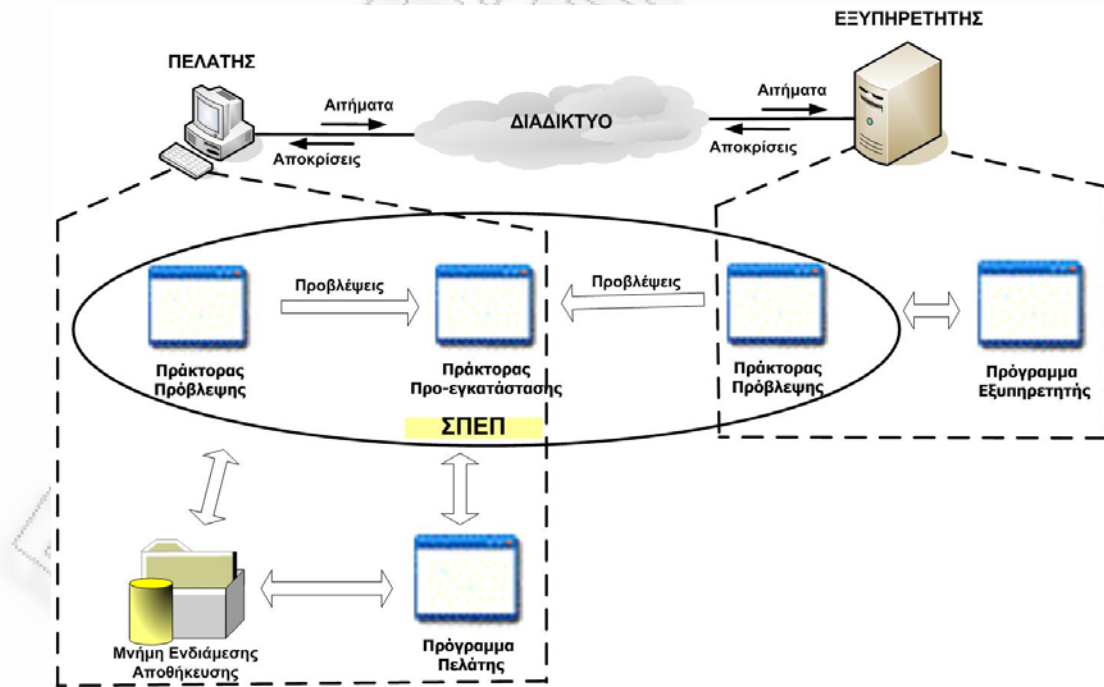
Στο σχήμα 6.3 απεικονίζεται η κλασιότερη περίπτωση ενός ΣΠΕΠ με κατανεμημένη αρχιτεκτονική ανάμεσα στον πελάτη και τον εξυπηρετητή. Δεδομένου ότι ο πράκτορας προ-εγκατάστασης εντοπίζεται στο σύστημα του πελάτη, όπου βρίσκεται και το σύστημα ενδιάμεσης αποθήκευσης, μιλάμε για προ-ανάκτηση αντικειμένων (ΣΠΑΠ). Ο πράκτορας πρόβλεψης συνεργάζεται στενά με το λογισμικό του εξυπηρετητή και μεταφέρει τις προτάσεις του στον πράκτορα προ-εγκατάστασης. Όπως και στην περίπτωση του σχήματος 6.2, υπάρχει το πρόβλημα της επικοινωνίας μεταξύ των δύο πρακτόρων, το οποίο επιλύεται είτε μέσω της αναβάθμισης του πρωτοκόλλου επικοινωνίας – δηλαδή, του HTTP [Duch99] – είτε μέσω της δημιουργίας ξεχωριστού πρωτοκόλλου επικοινωνίας, που να αφορά σε κατανεμημένα ΣΠΕΠ.

Στα παραδείγματα των παραπάνω σχημάτων θεωρήσαμε τον πελάτη να βρίσκεται στην πλευρά του απλού χρήστη. Όσα περιγράψαμε προηγουμένως ισχύουν και στην

περίπτωση όπου πελάτης είναι ένας πληρεξούσιος εξυπηρετητής, που επικοινωνεί με κάποιους πηγαίους εξυπηρετητές για λογαριασμό των πελατών-χρηστών. Ακριβώς τα ίδια ισχύουν και για την περίπτωση της επικοινωνίας των πελατών-χρηστών με κάποιο πληρεξούσιο εξυπηρετητή, όπου ο δεύτερος παίζει ξεκάθαρα το ρόλο του εξυπηρετητή.

Είναι δυνατό το ΣΠΕΠ να μην περιλαμβάνει κανένα πράκτορα πρόβλεψης. Ένα κλασικό παράδειγμα απουσίας του πράκτορα πρόβλεψης θέλει την εγκατάσταση ενός πράκτορα προ-ανάκτησης στο φυλλομετρητή, ο οποίος να αποφορτώνει με τη σειρά τα αντικείμενα των υπερ-συνδέσμων της τρέχουσας ιστοσελίδας, για όσο χρονικό διάστημα ο χρήστης είναι απασχολημένος.

Επιπλέον, ένας πράκτορας προ-εγκατάστασης μπορεί να συμβουλευέται περισσότερους από ένα πράκτορες πρόβλεψης. Το κυριότερο σενάριο, όσον αφορά στο μοντέλο αυτό, θέλει τον πράκτορα προ-εγκατάστασης να συμβουλευέται έναν πράκτορα πρόβλεψης στην πλευρά του πελάτη – με τον οποίο συνυπάρχει – και έναν πράκτορα πρόβλεψης στην πλευρά του εξυπηρετητή [Jian97]. Το σχήμα 6.4 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική ενός τέτοιου ΣΠΕΠ.



Σχήμα 6.4. Κατανεμημένη αρχιτεκτονική ενός ΣΠΕΠ ανάμεσα σε πελάτη και εξυπηρετητή με δύο πράκτορες πρόβλεψης

6.4 Εφαρμογές/Πράκτορες Πρόβλεψης για την Υποστήριξη των ΣΠΕΠ

Οι εφαρμογές/πράκτορες πρόβλεψης χρησιμοποιούν κάποιες τεχνικές και μεθοδολογίες με τις οποίες προτείνουν στις εφαρμογές προ-εγκατάστασης του περιεχομένου κάποια διαδικτυακά αντικείμενα. Το κυριότερο μέλημα των εφαρμογών πρόβλεψης είναι η ανακάλυψη και η αξιολόγηση της χωρικής τοπικότητας ανάμεσα στα διάφορα διαδικτυακά αντικείμενα, η οποία αποτελεί το βασικότερο κριτήριο πρόβλεψης.

Το ερώτημα που τίθεται στο σημείο αυτό είναι το εξής: Ποια διαδικτυακά αντικείμενα εφαρμογής – κυρίως, του παγκοσμίου ιστού – θεωρούνται γειτονικά, ώστε να είναι υποψήφια για προ-εγκατάσταση; Στην περίπτωση της παραδοσιακής προ-εγκατάστασης σε γρήγορες μνήμες (L1 και L2 cache) [Oren00], η γειτνίαση των αντικειμένων – τα οποία είναι ομοιόμορφα τμήματα μνήμης που φέρουν μια διεύθυνση κατανοητή από το λειτουργικό σύστημα – είναι σχετικά εύκολο να καθοριστεί, αφού είτε αφορά γειτονικές θέσεις της κυρίας μνήμης, είτε αφορά θέσεις μνήμης που καθορίζονται αυστηρά από το υπερκείμενο πρόγραμμα.

Από την πλευρά του εξυπηρετητή έχουν προταθεί τεχνικές, που στηρίζονται στο ιστορικό των προσπελάσεων των αντικειμένων και των ιστοσελίδων του, όπως είναι οι γράφοι εξάρτησης (Dependency Graphs, DG) [Padm96, Dom06b] και η πρόβλεψη τμηματικής αντιστοιχίας (Prediction by Partial Match, PPM) [Palp99, Chen03, Desh04, Ban08]. Έχουν, επίσης, προταθεί κάποιες λύσεις από την πλευρά του εξυπηρετητή, που ξεφεύγουν από τη λογική της χωρικής τοπικότητας, όπως, για παράδειγμα, συμβαίνει στην εργασία των Markatos και Chronaki [Mark98].

Από την πλευρά του πελάτη έχουν αναπτυχθεί μηχανές πρόβλεψης, που βασίζονται είτε στον τρόπο πλοήγησης του απλού χρήστη μέσω των υπερσυνδέσεων, είτε στο περιεχόμενο και τη δομή των αντικειμένων και των ιστοσελίδων που προσπελαίνει ο χρήστης. Στην απλούστερη περίπτωση, η πρόβλεψη αφορά σε όλες τις υπερσυνδέσεις (Hyperlinks) μιας ιστοσελίδας, οπότε η μηχανή πρόβλεψης συνιστά στην εφαρμογή προ-εγκατάστασης την αποφόρτωση όλων των σχετικών ιστοσελίδων και αντικειμένων. Για την αποφυγή του υψηλού κόστους που έχει μια τέτοια λύση, έχουν προταθεί πιο εξειδικευμένοι μηχανισμοί, όπως η επιλογή των υπερσυνδέσεων που είναι πιθανότερο να επισκεφθεί ο χρήστης, με βάση τις προηγούμενες πλοηγήσεις του στον ίδιο δικτυακό τόπο [Jian97], ή την επιλογή εκείνων των υπερσυνδέσεων για τις οποίες υπονοείται, βάσει της σημασιολογίας του κειμένου που τις περιβάλλει, ότι το περιεχόμενο στο οποίο οδηγούν είναι πολύ σχετικό,

σημασιολογικά, προς το περιεχόμενο των τελευταίων ιστοσελίδων που επισκέφτηκε ο χρήστης [Dav02a]. Μια επέκταση αυτής της σημασιολογικής μεθόδου σχετίζεται με την επιλογή εκείνων των υπερσυνδέσεων, που τις περιβάλλει περιεχόμενο σχετικό προς το γενικότερο προφίλ ενδιαφερόντων του χρήστη, το οποίο διαμορφώνει ο ίδιος ο χρήστης [Kast04].

Συμπερασματικά, λοιπόν, προκύπτουν δύο μεγάλες κατηγορίες εφαρμογών πρόβλεψης: Αυτές που στηρίζονται στο ιστορικό της προσπέλασης των αντικειμένων και αυτές που στηρίζονται στη σημασιολογία του περιεχομένου των αντικειμένων.

6.4.1 Τεχνικές Πρόβλεψης Βασισμένες στο Ιστορικό των Προσπελάσεων

Στο σημείο αυτό παρουσιάζουμε και αναλύουμε τις δύο βασικές μεθοδολογίες που έχουν χρησιμοποιηθεί στην πρόβλεψη των αντικειμένων, που πρέπει να προ-εγκατασταθούν σε μνήμες ενδιάμεσης αποθήκευσης, βάσει του ιστορικού των προηγούμενων προσπελάσεων. Πρόκειται για τους γράφους εξάρτησης και για την πρόβλεψη τμηματικής αντιστοιχίας. Και στις δύο περιπτώσεις λαμβάνεται υπόψη η ακολουθία των προσπελάσεων του πελάτη προς τα αντικείμενα, όπως έχει καταγραφεί, κυρίως, από τα ημερολόγια των εξυπηρετητών.

6.4.1.1 Γράφοι Εξάρτησης

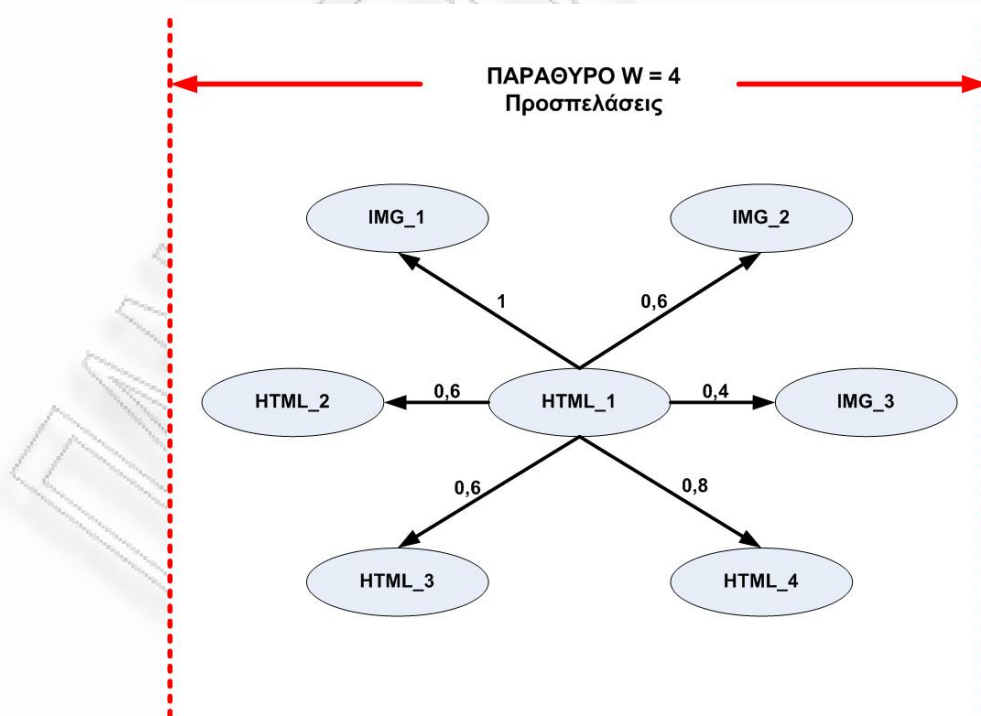
Η πρόβλεψη με χρήση των γράφων εξάρτησης στα πλαίσια του παγκοσμίου ιστού προτάθηκε, αρχικά, από τους Padmanabhan και Mogul [Padm96]. Στην εργασία τους, ο γράφος εξάρτησης αναπαριστά μια χαρτογράφηση του τρόπου με τον οποίο οι πελάτες έχουν προσπελάσει τα διάφορα αντικείμενα στο παρελθόν. Ο κάθε κόμβος στο γράφο εξάρτησης αντιπροσωπεύει ένα αντικείμενο του παγκοσμίου ιστού. Τα τόξα αντιπροσωπεύουν τις μεταβάσεις από το ένα αντικείμενο στο άλλο, που έχουν παρατηρηθεί κατά τις παρελθούσες πλοηγήσεις πελατών, με την προϋπόθεση ότι αυτές έχουν πραγματοποιηθεί εντός ενός μέγιστου παραθύρου προσπελάσεων – έστω W . Ο συντελεστής βάρους που φέρει κάποιο τόξο μεταξύ δύο αντικειμένων – έστω, $A \rightarrow B$ – είναι μια ένδειξη της πιθανότητας να ζητηθεί το αντικείμενο B μετά το A μέσα στο παράθυρο W . Ο συντελεστής βάρους σε αυτή την περίπτωση – έστω, $w_{A \rightarrow B}$ – υπολογίζεται ως εξής:

$$w_{A \rightarrow B} = \frac{\text{Αριθμός Προσβάσεων B Μετά A Εντός W}}{\text{Αριθμός Προσβάσεων A}} \quad (6.1)$$

Αν κάποιος μελλοντικός πελάτης προσπελάσει το αντικείμενο A , τότε ο πράκτορας πρόβλεψης στον εξυπηρετητή προτείνει την προ-εγκατάσταση όλων των αντικειμένων για τα οποία ο συντελεστής βαρύτητας υπερβαίνει ένα προ-αποφασισμένο όριο προ-εγκατάστασης – έστω, T_p – το οποίο είναι γνωστό και ως όριο εμπιστοσύνης (Confidence Threshold).

Παρακάτω δίνουμε ένα απλουστευμένο παράδειγμα για το πώς δημιουργείται ο γράφος εξάρτησης. Έστω ότι το παράθυρο W είναι ρυθμισμένο στις 4 προσπελάσεις και ότι στο ημερολόγιο ενός υποθετικού εξυπηρετητή έχουν καταγραφεί τα ακόλουθα πέντε αποσπάσματα δοσοληψιών, εντός του W μετά από την πρόσβαση προς ένα υποθετικό έγγραφο HTML_1 (σε γκριζο φόντο), το οποίο αποτελεί την αρχική ιστοσελίδα ενός δικτυακού τόπου:

1. HTML_1 → IMG_1 → IMG_2 → HTML_2 → HTML_3 → ...
2. HTML_1 → IMG_1 → IMG_2 → HTML_2 → HTML_4 → ...
3. HTML_1 → IMG_1 → IMG_2 → HTML_4 → IMG_3 → ...
4. HTML_1 → IMG_1 → HTML_2 → HTML_3 → HTML_4 → ...
5. HTML_1 → IMG_1 → HTML_4 → IMG_3 → HTML_3 → ...



Σχήμα 6.5. Παράδειγμα τμήματος γράφου εξάρτησης προσανατολισμένο προς το υποθετικό έγγραφο HTML_1 για εύρος παραθύρου ίσο με 4 προσπελάσεις

Οι τελείες δεξιά στο παραπάνω παράδειγμα υποδηλώνουν την ύπαρξη τυχόν άλλων συναλλαγών μετά το πέρας του παραθύρου W για το HTML_1. Το σχήμα 6.5 απεικονίζει το κομμάτι του γράφου εξάρτησης του υποθετικού εξυπηρετητή, που αφορά στις προσπελάσεις μετά από το υποθετικό έγγραφο HTML_1, για το παράθυρο των 4 προσπελάσεων. Στην πραγματικότητα, ο γράφος περιέχει τις εξαρτήσεις ανάμεσα σε όλα τα αντικείμενα εντός του παραθύρου W , οι οποίες αφορούν στις δοσοληψίες μεταξύ των πελατών και του υποθετικού εξυπηρετητή που καλύπτονται από τις τελείες. Οι εξαρτήσεις αυτές παραλείπονται από το σχήμα 6.5, για την απλούστευση του παραδείγματος.

Έτσι, για το παραπάνω παράδειγμα, αν υποθέσουμε ότι το όριο προ-εγκατάστασης είναι ίσο με 0,7 τότε ο πράκτορας πρόβλεψης θα προτείνει τα αντικείμενα HTML_4 και IMG_1 στον αμέσως επόμενο πελάτη που θα προσπελάσει το αντικείμενο HTML_1. Επιπλέον, καθώς ο πελάτης αυτός συνεχίζει την πλοήγησή του στον υποθετικό εξυπηρετητή, ο πράκτορας πρόβλεψης αναβαθμίζει το γράφο εξάρτησης.

Οι Padmanabhan και Mogul [Padm96] επισημαίνουν κάποια επιπλέον ζητήματα που πρέπει να διευθετηθούν κατά την υλοποίηση ενός γράφου εξαρτήσεων, όπως είναι η αγνόηση των πολλαπλών προσβάσεων προς το ίδιο αντικείμενο εντός του παραθύρου, η δημιουργία ενός μηχανισμού γήρανσης και διαγραφής των κόμβων, που αφορούν σε αντικείμενα για τα οποία το ενδιαφέρον έχει εκλείψει και η αγνόηση όλων των δοσοληψιών, που σχετίζονται με αντικείμενα που εκ φύσεως δε μπορούν να αποθηκευτούν σε συστήματα ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Ο γράφος εξάρτησης που περιγράφεται στο παραπάνω παράδειγμα αδυνατεί να διακρίνει ανάμεσα στην εξάρτηση που υπάρχει μεταξύ μιας ιστοσελίδας – η οποία προσδιορίζεται ως οντότητα από το έγγραφο HTML – και των ενσωματωμένων σε αυτή αντικειμένων, και την εξάρτηση μεταξύ αντικειμένων – τόσο εγγράφων HTML όσο και ενσωματωμένων εικόνων κλπ. – που ανήκουν σε διαφορετικές ιστοσελίδες. Αυτό έχει ως συνέπεια, ο πράκτορας πρόβλεψης να προτείνει με μεγαλύτερη συχνότητα τα ενσωματωμένα αντικείμενα τη στιγμή που ο πελάτης ήδη έχει προβεί σε σχετικά αιτήματα προς τον εξυπηρετητή. Κατά αυτόν τον τρόπο, υποβαθμίζεται κατά πολύ η ποιότητα των προβλέψεων.

Για να γίνει περισσότερο σαφές αυτό, στο παραπάνω παράδειγμα παρατηρούμε ότι αμέσως μετά την προσπέλαση του εγγράφου HTML_1 ακολουθεί πάντοτε η εικόνα IMG_1. Αυτό το γεγονός υποδηλώνει ότι η εικόνα είναι ενσωματωμένη στο έγγραφο. Το ίδιο

φαίνεται να ισχύει για το έγγραφο HTML_4 και την εικόνα IMG_3. Το γεγονός αυτό δίνει μεγάλη βαρύτητα στο τόξο που ενώνει τα αντικείμενα HTML_1 και IMG_1, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.5, με αποτέλεσμα ο πράκτορας πρόβλεψης να προτείνει πάντα την προ-εγκατάσταση του αντικειμένου IMG_1, ανεξαρτήτως του ορίου T_p . Η υποβάθμιση αυτής της πρόβλεψης πηγάζει από το γεγονός ότι ο πελάτης θα προχωρήσει στην αποφόρτωση του αντικειμένου IMG_1 από τη στιγμή που θα διαπιστώσει – δηλαδή, σχεδόν άμεσα – ότι είναι ενσωματωμένο στο αντικείμενο IMG_1. Ως εκ τούτου, το χρονικό περιθώριο για προ-εγκατάσταση και για μείωση των καθυστερήσεων που αντιλαμβάνεται ο χρήστης είναι σχεδόν ανύπαρκτο.

Οι Domenech et al [Dom06b] διαπίστωσαν ότι το πρόβλημα αυτό επιδεινώνεται με την αύξηση του αριθμού των ενσωματωμένων αντικειμένων στις ιστοσελίδες. Επιπλέον, παρατήρησαν ότι ο περιορισμένος αριθμός παράλληλων συνδέσεων, που δημιουργούνται μεταξύ των σύγχρονων πελατών και εξυπηρετητών, είναι ακόμη ένας παράγοντας που επιδεινώνει το πρόβλημα. Έτσι, πρότειναν τη χρήση του διπλού γράφου εξάρτησης (Double Dependency Graph, DDG), που να είναι σε θέση να διακρίνει τους δύο διαφορετικούς τύπους εξάρτησης μεταξύ των αντικειμένων. Το συγκεκριμένο μοντέλο πρόβλεψης χρησιμοποιεί δύο διαφορετικά όρια προ-εγκατάστασης, ένα για τον κάθε τύπο εξάρτησης. Επιπλέον, δίνει τη δυνατότητα για απενεργοποίηση των προβλέψεων που αφορούν στα έγγραφα HTML, κάτι που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην περίπτωση δικτυακών τόπων με δυναμικά παραγόμενες ιστοσελίδες και στην περίπτωση, όπου η αποφόρτωση των εγγράφων HTML κοστίζει περισσότερο από ό,τι για τα ενσωματωμένα αντικείμενα, με αποτέλεσμα το ρίσκο για προ-εγκατάσταση να είναι συγκριτικά πολύ μεγαλύτερο.

6.4.1.2 Πρόβλεψη Τμηματικής Αντιστοιχίας

Η μεθοδολογία της πρόβλεψης τμηματικής αντιστοιχίας – στο εξής θα την καλούμε ΠΤΑ, για συντομία – στα πλαίσια της προ-εγκατάστασης διαδικτυακού περιεχομένου προτάθηκε στην εργασία των Palpanas και Mendelzon [Palp99]. Στόχος της είναι η πρόβλεψη του επόμενου αντικειμένου που θα ζητήσει ο πελάτης, λαμβάνοντας υπόψη την ακριβή σειρά των προηγούμενων μεταβάσεων από το ένα αντικείμενο στο άλλο, εντός ενός παραθύρου με συγκεκριμένο μέγεθος προσπελάσεων κατά τη διάρκεια της τρέχουσας πλοήγησής του. Συγκεκριμένα, η μεθοδολογία ΠΤΑ επιδιώκει να ταυτίσει μια σειρά προηγούμενων μεταβάσεων εντός του συγκεκριμένου παραθύρου προσπελάσεων – έστω W

– με κάποια παρόμοια σειρά που έχει παρατηρηθεί κατά τη διάρκεια πλοηγήσεων στο παρελθόν – έστω, A_1, A_2, \dots, A_j η μέγιστη σειρά μεταβάσεων για την οποία παρατηρήθηκε ταύτιση, με $j \leq W$. Στη συνέχεια, προτείνει εκείνο το αντικείμενο – έστω A_{j+1} – για το οποίο η υπό συνθήκη πιθανότητα $p(A_{j+1} / A_1, A_2, \dots, A_j)$ ξεπερνά κάποιο προκαθορισμένο όριο εμπιστοσύνης – έστω T_p .

Στο εξής θα χαρακτηρίζουμε έναν πράκτορα ΠΤΑ που λειτουργεί με τον τρόπο που είδαμε παραπάνω ως τάξεως W . Για την υλοποίησή του, λοιπόν, ένας πράκτορας ΠΤΑ τάξεως W θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις παρακάτω προκλήσεις:

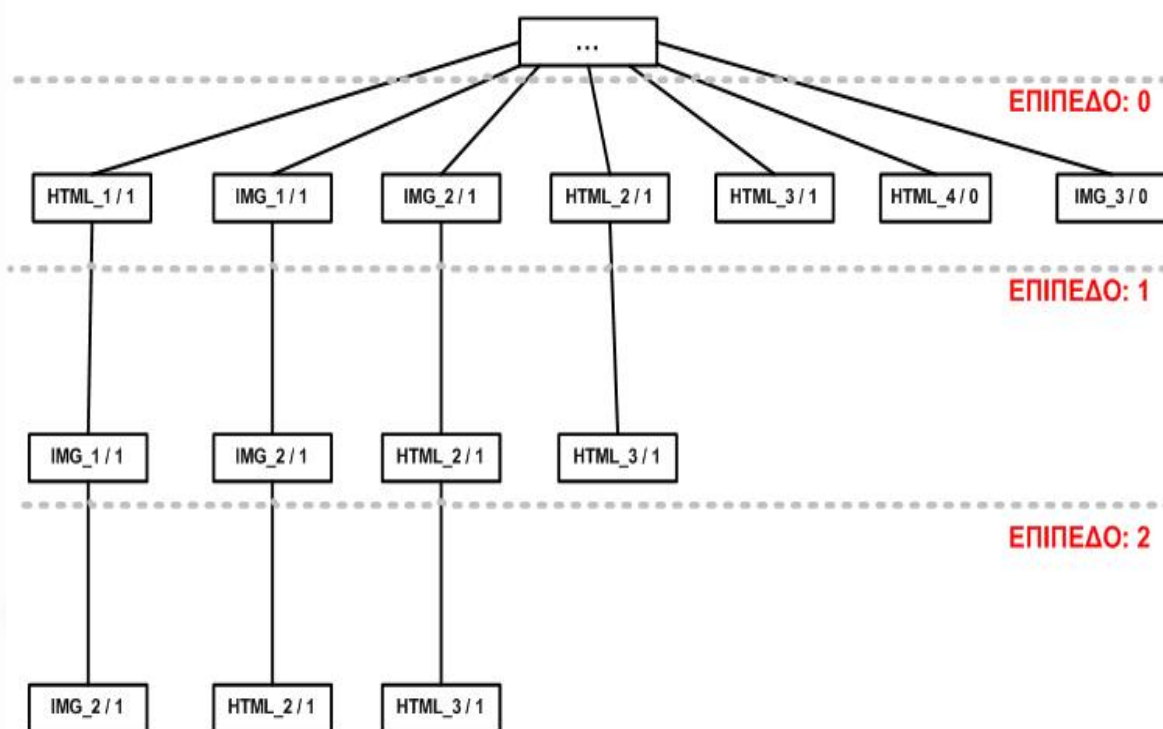
- Να μπορεί να αποθηκεύει τις συνόδους πλοηγήσεων (Browsing Sessions) όλων των πελατών που έχουν παρατηρηθεί στο παρελθόν, με τέτοιο τρόπο, ώστε να γνωρίζει τις ακολουθίες μεταβάσεων που εμπλέκουν το πολύ $W+1$ διαδικτυακά αντικείμενα.
- Να είναι σε θέση να υπολογίζει οποιαδήποτε υπό συνθήκη πιθανότητα της μορφής $p(A_{j+1} / A_1, A_2, \dots, A_j)$ με $j \leq W$, βάσει των καταγραμμένων ακολουθιών μεταβάσεων.

Γενικά, από τη στατιστική επιστήμη, είναι γνωστό ότι μια αλυσίδα Markov βαθμού k έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει την πιθανότητα μιας διαδικασίας να βρεθεί στην κατάσταση $k+1$, γνωρίζοντας, επακριβώς, όλες τις προηγούμενες k καταστάσεις της. Αν, λοιπόν, θεωρήσουμε την πλοήγηση των πελατών ως μια τέτοια στατιστική διαδικασία, όπου η κάθε κατάσταση αντιπροσωπεύει την προσπέλαση κάποιου διαδικτυακού αντικειμένου, για την υλοποίηση ενός πράκτορα ΠΤΑ τάξης W θα απαιτηθούν $W+1$ αλυσίδες Markov με βαθμό από μηδέν μέχρι W . Μια οποιαδήποτε σειρά μεταβάσεων A_1, A_2, \dots, A_j με $j \leq W$ της αλυσίδας Markov βαθμού j ονομάζεται κατάσταση (State) αυτής.

Η δομή δεδομένων που μπορεί να υποστηρίξει τη λειτουργία ενός πράκτορα ΠΤΑ τάξεως W , ο οποίος περιλαμβάνει $W+1$ αλυσίδες Markov, είναι η δομή TRIE. Στην ουσία, πρόκειται για μια συλλογή από δενδρικές δομές, που η καθεμία έχει βάθος μέχρι $W+1$ [Fan99]. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να καλυφθούν όλες οι αλυσίδες Markov οποιουδήποτε βαθμού. Ο κάθε κόμβος αφορά σε ένα ξεχωριστό διαδικτυακό αντικείμενο. Οι κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους με βάση τις μεταβάσεις ανάμεσα στα αντικείμενα που αντιπροσωπεύουν, όπως αυτές έχουν παρατηρηθεί από τον πράκτορα ΠΤΑ. Στον κάθε κόμβο αποθηκεύεται μια μεταβλητή που αφορά στη συχνότητα εμφάνισης του αντίστοιχου αντικειμένου κάτω από τη σειρά προσπελάσεων που δημιουργείται από τους κόμβους στα

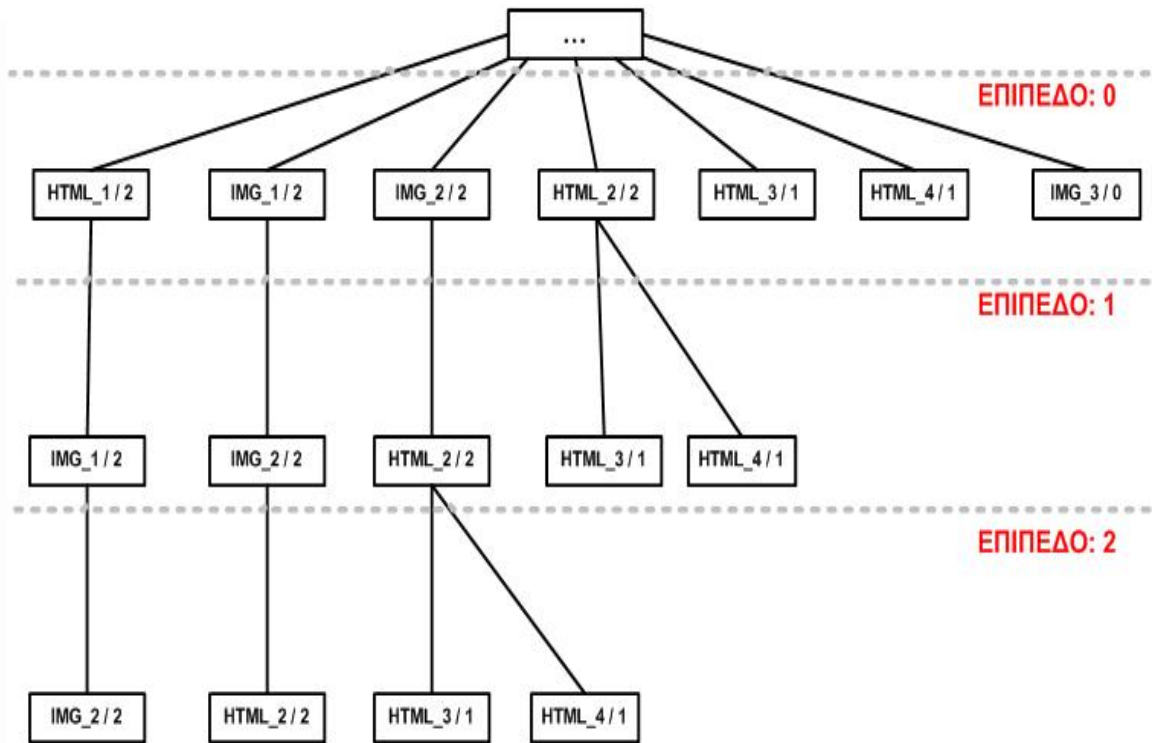
παραπάνω επίπεδα. Κατά αυτόν τον τρόπο, οι κόμβοι του πρώτου επιπέδου – δηλαδή, του επιπέδου μηδέν (0)²¹ – αφορούν σε όλα τα διαδικτυακά αντικείμενα, που έχει καταγράψει ο πράκτορας ΠΤΑ και αποθηκεύουν ένα μετρητή, που κρατάει τον αριθμό των εμφανίσεών τους.

Για να γίνει περισσότερο κατανοητός ο τρόπος που καταγράφονται οι σύνοδοι πλοηγώσεων των πελατών από ένα πράκτορα ΠΤΑ με χρήση της δομής δεδομένων TRIE, επανερχόμαστε στο παράδειγμα της προηγούμενης παραγράφου 6.4.1.1. Υποθέτουμε, για χάρη του παραδείγματος, ότι ο πράκτορας ΠΤΑ είναι δευτέρου βαθμού, οπότε απαιτούνται, στατιστικώς, τρεις αλυσίδες Markov, με το βάθος των δέντρων στη δομή TRIE να είναι επίσης τρία – δηλαδή, έχουμε τρία επίπεδα από το 0 έως και το 2. Αν αγνοήσουμε τις τελείες για την κάθε σύνοδο προσπελάσεων, οπότε υποθέτουμε ότι οι μεταβάσεις είναι μόνο αυτές που βλέπουμε, τότε τα σχήματα 6.6 – 6.9 απεικονίζουν τη διαμόρφωση της δομής TRIE στο τέλος των τεσσάρων πρώτων συνόδων προσπελάσεων. Σε κάθε κόμβο, μετά την κάθετο δίνεται η συχνότητα εμφάνισης του αντίστοιχου διαδικτυακού αντικειμένου.

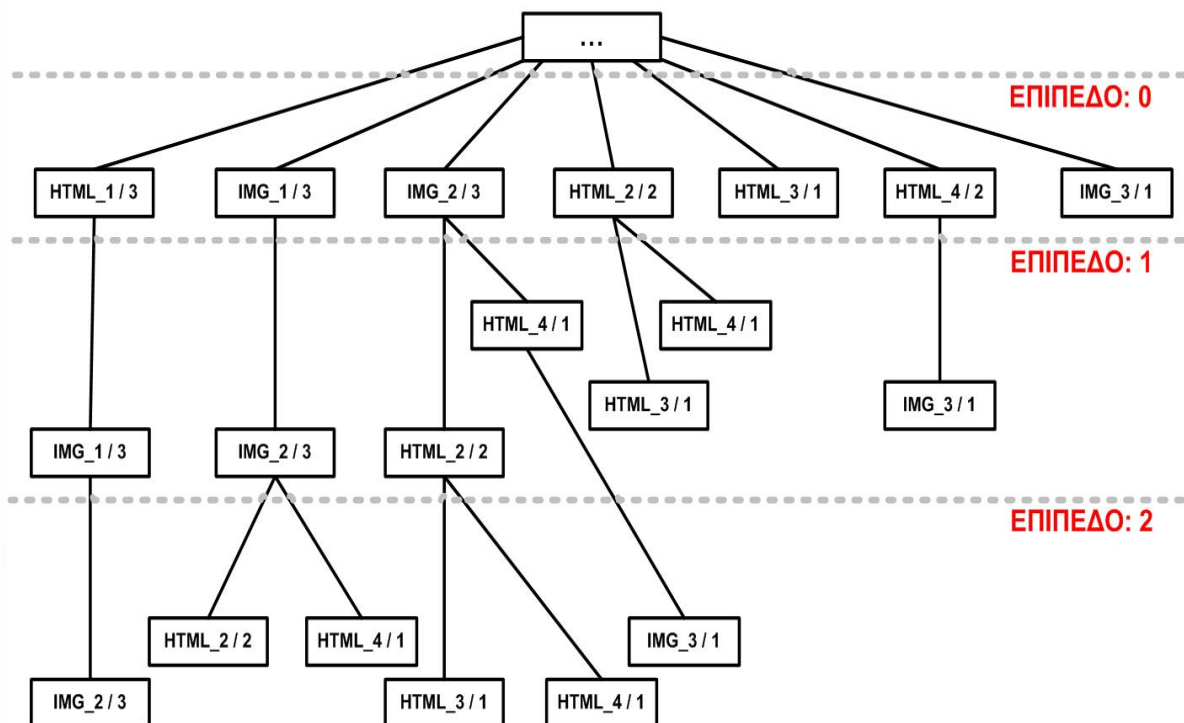


Σχήμα 6.6. Παράδειγμα ΠΤΑ δεύτερης τάξεως μετά το πέρας της πρώτης συνόδου προσπελάσεων

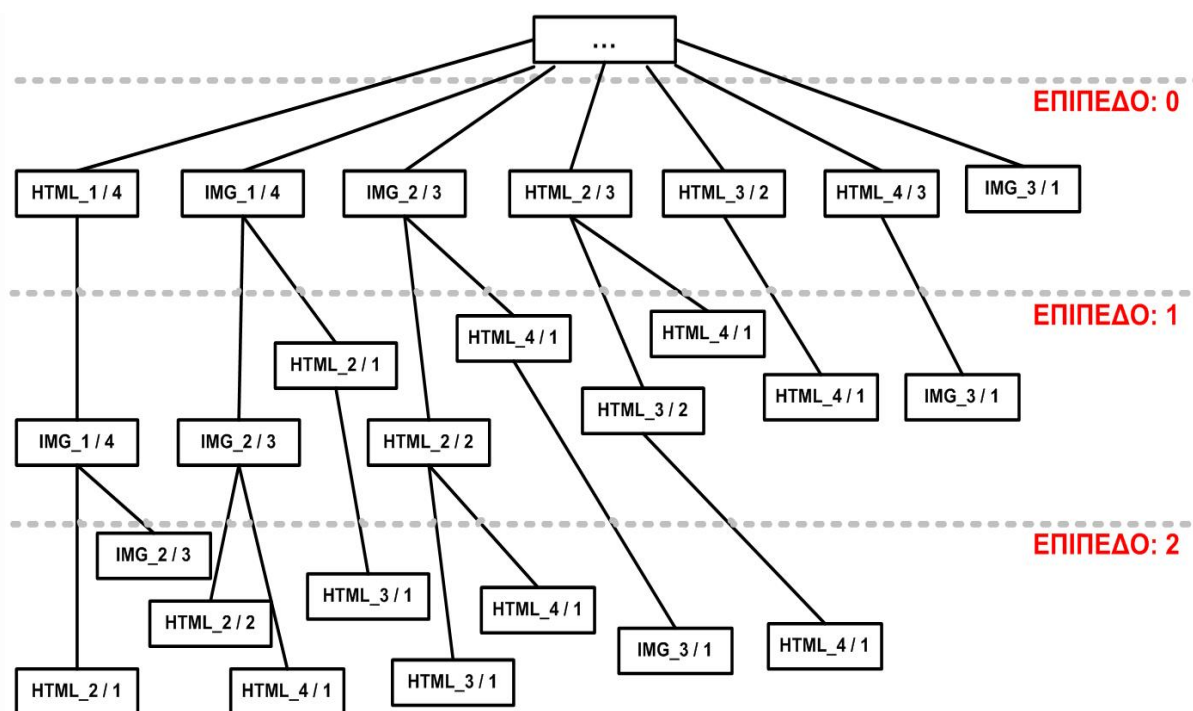
²¹ Αν και στις δεντρικές δομές, η αρίθμηση των επιπέδων ξεκινάει από τη μονάδα, προτιμούμε την αρίθμηση από το μηδέν, ώστε να ταυτίσουμε το κάθε επίπεδο με το βαθμό της αλυσίδας Markov στην οποία αντιστοιχεί.



Σχήμα 6.7. Παράδειγμα ΠΤΑ δεύτερης τάξεως μετά το πέρας της δεύτερης συνόδου προσπελάσεων



Σχήμα 6.8. Παράδειγμα ΠΤΑ δεύτερης τάξεως μετά το πέρας της τρίτης συνόδου προσπελάσεων



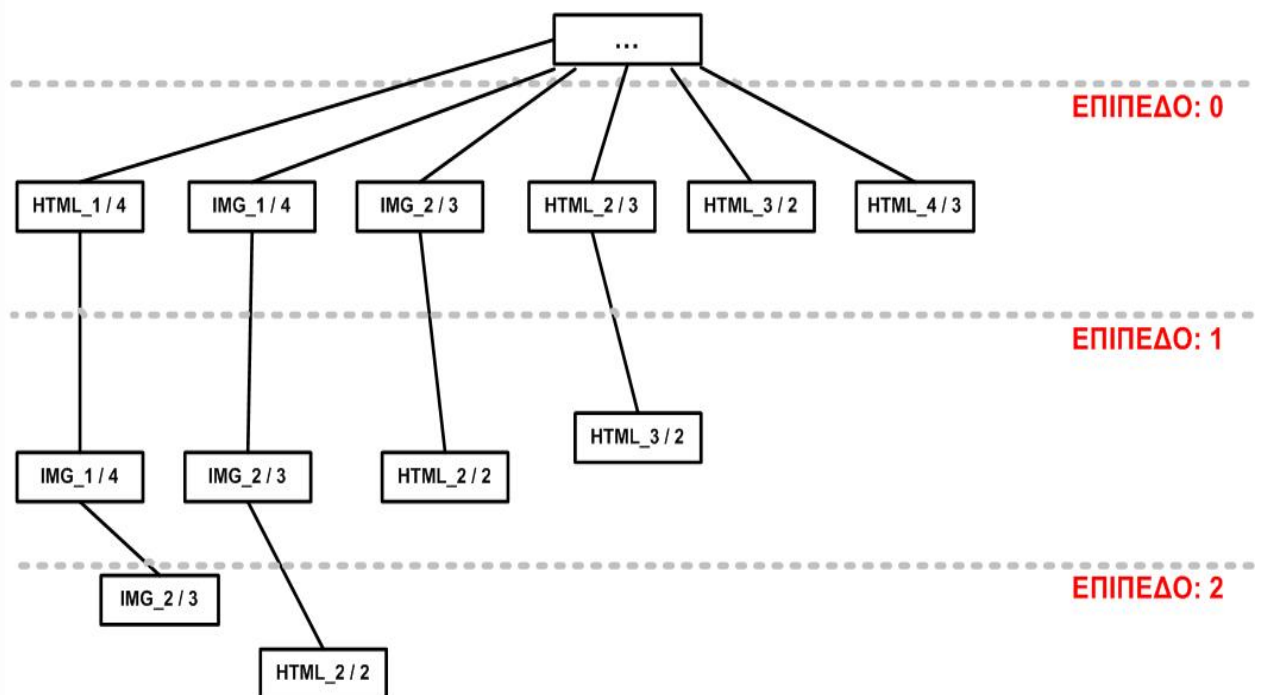
Σχήμα 6.9. Παράδειγμα ΠΤΑ δεύτερης τάξεως μετά το πέρας της τέταρτης συνόδου προσπελάσεων

Στην εργασία τους, οι Palpanas και Mendelzon [Palp99] ακολούθησαν μια συγκριτική μελέτη των διάφορων αλυσίδων Markov. Επιπλέον, πρότειναν την αξιοποίηση όλων των αλυσίδων Markov στην υλοποίηση του πράκτορα ΠΤΑ, με διαγραφή όλων των διπλο-εγγραφών στην τελική λίστα προβλέψεων, που παράγεται από τις διαφορετικές αλυσίδες Markov. Τέλος, παρατήρησαν ότι οι αλυσίδες Markov υψηλότερων βαθμών, όποτε χρησιμοποιούνται, είναι περισσότερο αξιόπιστες και για αυτόν το λόγο μπορούν να διατηρούν μικρότερο όριο εμπιστοσύνης T_p .

Οι Pitkow και Pirolli [Pitk99] πρότειναν ότι το μοντέλο ΠΤΑ θα πρέπει να φάχνει τις αλυσίδες Markov από τις υψηλότερου βαθμού προς τις χαμηλότερου βαθμού, όταν πρόκειται να προτείνει για προ-εγκατάσταση κάποιο αντικείμενο, κάτι που συμφωνεί με την προηγούμενη παρατήρηση ότι οι αλυσίδες υψηλότερου βαθμού είναι περισσότερο αξιόπιστες. Επιπλέον για να μειώσουν την πολυπλοκότητα του μοντέλου ΠΤΑ – που πηγάζει από το πλήθος των διαφορετικών καταστάσεων που καταχωρούνται στις αλυσίδες Markov – πρότειναν μια αναβάθμισή του, η οποία είναι γνωστή ως ΠΤΑ με χρήση μέγιστων επαναλαμβανόμενων ακολουθιών (Longest Repeated Sequences PPM) – που στο εξής θα αποκαλούμε ΠΤΑ-ΜΕΑ, για συντομία. Στην ουσία, το μοντέλο ΠΤΑ-ΜΕΑ

αποθηκεύει τις μεταβάσεις εκείνες που είναι δημοφιλέστερες, δηλαδή που παρατηρούνται για περισσότερες από L φορές. Οι Pitkow και Pirolli έλαβαν υπόψη τους $L=1$ και κατέληξαν ότι το μοντέλο παραμένει στα επίπεδα των επιδόσεων του ΠΤΑ, ενώ ταυτόχρονα μειώνει κατά μια τάξη μεγέθους την πολυπλοκότητα.

Στο σχήμα 6.10 απεικονίζεται η εφαρμογή του μοντέλου ΠΤΑ-ΜΕΑ δεύτερης τάξεως, με όριο παρατηρήσεων $L=1$, μετά το πέρας της τέταρτης συνόδου στο παράδειγμα που δόθηκε παραπάνω.



Σχήμα 6.10. Παράδειγμα ΠΤΑ-ΜΕΑ δεύτερης τάξεως μετά το πέρας της τέταρτης συνόδου προσπελάσεων

Οι Chen και Zhang [Chen03] παρατήρησαν ότι το μοντέλο ΠΤΑ-ΜΕΑ, στην πραγματικότητα, θα πρέπει να αποθηκεύει τις συνόδους προσπελάσεων, ώστε να είναι σε θέση να εξάγει τις μέγιστες επαναλαμβανόμενες ακολουθίες. Επομένως, η πολυπλοκότητά του παραμένει υψηλή, όσον αφορά στη συγκεκριμένη διαδικασία. Επιπλέον, το μοντέλο ΠΤΑ-ΜΕΑ αδυνατεί να προβλέψει τα λιγότερο δημοφιλή αντικείμενα, με αποτέλεσμα να υποβαθμίζονται οι επιδόσεις του. Ως εκ τούτου, εισήγαγαν ένα νέο μοντέλο ΠΤΑ το οποίο να διατηρεί υψηλές επιδόσεις και χαμηλή πολυπλοκότητα. Αυτό το μοντέλο ΠΤΑ βασίζεται στη σχετική δημοτικότητα (Popularity-Based PPM) των αντικειμένων και για συντομία θα

το ονομάζουμε, στο εξής, ΠΤΑ-ΣΔ. Το μοντέλο ΠΤΑ-ΣΔ στηρίχθηκε σε δύο βασικές παρατηρήσεις, οι οποίες, όμως, πραγματοποιήθηκαν για ένα συγκεκριμένο αρχείο δραστηριότητας παγκοσμίου ιστού:

1. Οι χρήστες τείνουν να επισκέπτονται ένα δικτυακό τόπο ξεκινώντας πάντοτε από ένα πολύ δημοφιλές αντικείμενο – ιστοσελίδα.
2. Οι περισσότερες σύνοδοι πλοηγήσεων ξεκινούν από τα δημοφιλέστερα αντικείμενα και καταλήγουν σταδιακά σε λιγότερο δημοφιλή αντικείμενα.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις ιδιαιτερότητες, το μοντέλο ΠΤΑ-ΣΔ χωρίζει τα αντικείμενα σε τέσσερις τάξεις δημοτικότητας. Στην συνέχεια, προτείνει τα δέντρα της δομής TRIE που ξεκινούν από τα αντικείμενα να έχουν βάθος που να είναι ανάλογο της τάξεως δημοτικότητας των αντικειμένων αυτών, υπολογίζοντας το μέγιστο βάθος είτε από το μέγιστο μήκος συνόδου είτε από τη διαθέσιμη μνήμη του συστήματος. Επιπλέον, το μοντέλο ΠΤΑ-ΣΔ τείνει να κρατάει όσο το δυνατό λιγότερους κόμβους σχετικά με ένα αντικείμενο κάτω από το κάθε δέντρο. Οι κόμβοι προστίθενται μόνο για αντικείμενα με υψηλή δημοτικότητα ή με δημοτικότητα υψηλότερη του αντικειμένου, που βρίσκεται στη ρίζα του δέντρου. Οι Chen και Zhang κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το μοντέλο ΠΤΑ-ΣΔ παρουσιάζει μεγάλη ακρίβεια στις προβλέψεις και χαμηλές απαιτήσεις, όσον αφορά στην χωρική πολυπλοκότητα.

Το πρόβλημα της διατήρησης των υψηλών επιδόσεων και της μείωσης της πολυπλοκότητας των πρακτόρων ΠΤΑ απασχόλησε τους Deshpande και Karypis [Desh04], οι οποίοι κατέληξαν, για την επίλυση του, στην επιλεκτική αξιοποίηση εκείνων των καταστάσεων των αλυσίδων Markov, που παρουσιάζουν υψηλότερη ακρίβεια στις προβλέψεις. Αυτό το μοντέλο ΠΤΑ θα το χαρακτηρίζουμε στο εξής επιλεκτικό (Selective PPM), ή για συντομία E-ΠΤΑ. Στο E-ΠΤΑ προτείνονται τρεις μέθοδοι για την μείωση όλων των καταστάσεων των αλυσίδων Markov που παρουσιάζουν χαμηλές επιδόσεις σε όρους ακρίβειας προβλέψεων. Σε όλες τις περιπτώσεις, η μείωση των καταστάσεων πραγματοποιείται για τις αλυσίδες Markov υψηλότερου βαθμού από ένα (1), ώστε το μοντέλο E-ΠΤΑ να παρέχει την ίδια κάλυψη, όπως και το μοντέλο ΠΤΑ από το οποίο προήλθε. Οι προτεινόμενες μέθοδοι είναι οι ακόλουθες:

- Μείωση βάσει συχνότητας (Frequency Pruning): Σύμφωνα με αυτήν τη μέθοδο απορρίπτονται από το κλασικό μοντέλο ΠΤΑ όλες οι καταστάσεις στις αλυσίδες Markov, για τις οποίες η συχνότητα εμφάνισης είναι κάτω από κάποιο προκαθορισμένο όριο. Η συχνότητα στην περίπτωση αυτή εκφράζει τον αριθμό των παραδειγμάτων από το σύνολο εκπαίδευσης (Training Set) του μοντέλου που υποστηρίζουν την κάθε κατάσταση.
- Μείωση βάσει επιπέδου εμπιστοσύνης (Confidence Pruning): Πρόκειται για μια μέθοδο που ακολουθεί τη λογική της μείωσης βάσει της συχνότητας με τη μόνη διαφορά ότι εξαιρεί από τη διαγραφή όλες τις καταστάσεις των αλυσίδων Markov, οι οποίες οδηγούν με συγκριτικά υψηλή πιθανότητα προς την πρόσβαση κάποιου αντικειμένου. Για την ακρίβεια, μια κατάσταση διατηρείται για κάποια αλυσίδα Markov, όταν η διαφορά ανάμεσα στην πιθανότητα να προσπελαστεί το πιθανότερο αντικείμενο και στην πιθανότητα να προσπελαστεί το δεύτερο στη σειρά πιθανότερο αντικείμενο υπερβαίνει κάποια οριακή τιμή.
- Μείωση βάσει σφάλματος (Error Pruning): Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, διαδοχικά τμήματα της δραστηριότητας του παγκοσμίου ιστού, που χρησιμοποιούνται στην εκπαίδευση του μοντέλου ΠΤΑ, χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση (Validation Set) της λειτουργίας του. Κατά αυτόν τον τρόπο, διαγράφονται όλες οι καταστάσεις των αλυσίδων Markov υψηλού βαθμού, οι οποίες παρουσιάζουν μεγαλύτερα ποσοστά σφάλματος σε σύγκριση με τις καταστάσεις των αλυσίδων Markov χαμηλότερου βαθμού. Υπάρχουν δύο διαφορετικές στρατηγικές για τον υπολογισμό των ποσοστών σφάλματος για τις καταστάσεις χαμηλότερου βαθμού. Αυτές είναι οι εξής:
 - Γενική μείωση βάσει σφάλματος (Overall Error Pruning): Για καθεμία από τις καταστάσεις χαμηλού βαθμού υπάρχει ένα και μοναδικό ποσοστό σφάλματος που υπολογίζεται για το σύνολο της δραστηριότητας του παγκοσμίου ιστού που χρησιμοποιείται για αξιολόγηση.
 - Ανεξάρτητη μείωση βάσει σφάλματος (Individual Error Pruning): Για καθεμία από τις καταστάσεις χαμηλού βαθμού, το ποσοστό σφάλματος υπολογίζεται μόνο για το τμήμα του συνόλου αξιολόγησης, που αφορά στις καταστάσεις υψηλότερου επιπέδου με τις οποίες γίνεται η σύγκριση.

Οι Ban et al [Ban08] παρουσίασαν μια αναβαθμισμένη έκδοση του μοντέλου ΠΤΑ, την οποία θα ονομάζουμε ΠΤΑ βάσει στοχαστικής ελαχιστοποίησης κλίσης (Stochastic Gradient Descent), ή απλά ΠΤΑ-ΣΕΚ. Το μοντέλο ΠΤΑ-ΣΕΚ στηρίζει την πρόβλεψή του σε τέσσερις παραμέτρους: το βαθμό της αλυσίδας Markov, το βαθμό επιτυχίας των προηγούμενων προβλέψεων σχετικά με το συγκεκριμένο κόμβο της δομής TRIE, την υπό συνθήκη πιθανότητα $p(A_{j+1}/A_1, A_2, \dots, A_j)$ και τη γενικότερη δημοτικότητα του αντικειμένου που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο κόμβο. Μια γραμμική συνάρτηση χρησιμοποιείται για να προσδώσει τιμές στον κάθε κόμβο της δομής TRIE, η οποία χρησιμοποιεί συγκεκριμένους συντελεστές βαρύτητας για την κάθε παράμετρο. Οι συντελεστές βαρύτητας επαναπροσδιορίζονται, με βάση τη μεθοδολογία της στοχαστικής ελαχιστοποίησης κλίσης²² στη διάρκεια των πλοηγήσεων των χρηστών. Το μοντέλο ΠΤΑ-ΣΕΚ παρουσίασε υψηλότερες επιδόσεις σε όρους ακρίβειας προβλέψεων και δείκτη επιτυχίας²³ (HR), ενώ ταυτόχρονα εμφάνισε χαμηλότερη επιπρόσθετη κατανάλωση σε εύρος ζώνης, σε σχέση με το μοντέλο ΠΤΑ-ΜΕΑ.

6.4.2 *Τεχνικές Πρόβλεψης Βασισμένες στο Περιεχόμενο των Διαδικτυακών Αντικειμένων*

Εκτός από τις τεχνικές πρόβλεψης που βασίζονται αποκλειστικά σε μοντέλα που δημιουργούνται από το ιστορικό των προσπελάσεων των διαδικτυακών αντικειμένων, το οποίο, κυρίως, αντλείται από τα ημερολόγια των εξυπηρετητών, έχει αναπτυχθεί και μια σειρά από τεχνικές, που αφορούν στην αξιοποίηση της πληροφορίας που παράγεται από τη σημασιολογική ανάλυση του περιεχομένου των αντικειμένων – κυρίως, των ιστοσελίδων – που προσπελώνει ο χρήστης. Σύμφωνα με την τρέχουσα βιβλιογραφία, οι περισσότεροι πράκτορες πρόβλεψης αυτής της κατηγορίας λειτουργούν στην πλευρά του πελάτη, δεδομένου ότι πρέπει να διασφαλίζεται το απόρρητο των επικοινωνιών. Επιδιώκουν τη δημιουργία του προφίλ των μαθησιακών ενδιαφερόντων του χρήστη, αλλά και της γενικότερης συμπεριφοράς του, όσον αφορά στην πλοήγησή του στον παγκόσμιο ιστό. Έχουν, κατά καιρούς, προταθεί πράκτορες πρόβλεψης, που καταγράφουν μια σειρά από επιπρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τη συμπεριφορά των χρηστών πάνω στις οποίες κατασκευάζουν το προφίλ τους.

²² Για περισσότερες λεπτομέρειες πάνω στη μέθοδο εκμάθησης της στοχαστικής ελαχιστοποίησης κλίσης, ο αναγνώστης μπορεί να καταφύγει στην εργασία των Ban et al [Ban08].

²³ Για περισσότερες λεπτομέρειες πάνω στο δείκτη επιτυχίας, βλέπε παράγραφο 4.4.2.2, του κεφαλαίου 4.

Αν και μας απασχολούν μόνο οι πράκτορες πρόβλεψης αυτής της κατηγορίας, που σχετίζονται με την προ-εγκατάσταση του διαδικτυακού περιεχομένου, η βιβλιογραφία είναι πολύ πλούσια, όσον αφορά στην αξιοποίηση αυτής της τεχνικής πρόβλεψης σε συστήματα υποβοήθησης του χρήστη στην αναζήτηση του περιεχομένου που τον ενδιαφέρει. Αντίθετα, η βιβλιογραφία πάνω στους πράκτορες πρόβλεψης βάσει της σημασιολογίας του περιεχομένου, με σιοπό την προ-εγκατάσταση μπορεί να θεωρηθεί σχετικά φτωχή. Προφανώς, αυτό οφείλεται στη μεγάλη βαρύτητα, που έχει δοθεί από την επιστημονική κοινότητα, πάνω στους πράκτορες πρόβλεψης που αντλούν πληροφορίες από το ιστορικό των προσπελάσεων.

Υπάρχει μια σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις πρακτόρων. Οι πράκτορες πρόβλεψης, που επιδιώκουν την υποβοήθηση του χρήστη στην αναζήτηση περιεχομένου στο πλαίσιο του ενδιαφέροντός του, πολλές φορές, προβαίνουν στην προ-ανάκτηση διαδικτυακών αντικειμένων και την επεξεργασία τους ως προς την τρέχουσα διαμόρφωση του προφίλ του. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η πεμπτούσια της ύπαρξής τους είναι να προτείνουν κάποια διαδικτυακά αντικείμενα στο χρήστη. Ως εκ τούτου, ο χρήστης αντιλαμβάνεται συνεχώς την ύπαρξή τους, δεδομένου ότι αλληλεπιδρά είτε παθητικά, στο πλαίσιο της ενημέρωσής του για το περιεχόμενο [Lieb95, Lieb97], είτε ενεργητικά, παράγοντας κάποια ανάδραση, που αποσκοπεί στην αναβάθμιση και την καλύτερη προσαρμογή του προφίλ του στις μαθησιακές ανάγκες του [Zach01]. Επιπλέον, δε λογαριάζουν τη δαπάνη των πρόσθετων δικτυακών πόρων για την προ-ανάκτηση των αντικειμένων, αν και τις περισσότερες φορές είναι ρυθμισμένοι να λειτουργούν σε χρονικά σημεία μειωμένης διαδικτυακής δραστηριότητας.

Αντίθετα, οι πράκτορες πρόβλεψης για προ-εγκατάσταση έχουν ως αυτοσκοπό τους την ίδια την προ-ανάκτηση. Ως εκ τούτου, ανάμεσα στα κριτήρια των επιδόσεών τους ανήκει και η σπάταλη των επιπρόσθετων δικτυακών πόρων για την αποφόρτωση αντικειμένων, που τελικά δεν τα προσπέλασε ο χρήστης. Επομένως, θα πρέπει να αντλούν πληροφορίες μόνο από τις ιστοσελίδες που έχει ήδη επισκεφτεί ο χρήστης για την ενημέρωση του προφίλ του, που είναι μια διαδικασία στην οποία ο χρήστης είναι πάντοτε αμέτοχος. Επιπλέον, η ίδια η πρόβλεψη στηρίζεται αποκλειστικά στην πληροφόρηση που λαμβάνει ο πράκτορας από το τρέχον διαδικτυακό αντικείμενο που έχει προσπελάσει ο χρήστης.

Παρόλο που οι δύο περιπτώσεις πρακτόρων παρουσιάζουν μια εντελώς διαφορετική λειτουργία εξαιτίας του διαφορετικών στόχων τους, ταυτόχρονα επιδεικνύουν ένα κοινό

λειτουργικό συντελεστή: τη δημιουργία, τη συνεχή ενημέρωση και την αξιοποίηση του προφίλ του χρήστη. Αν, επιπλέον, λάβουμε υπόψη μας το εύρος της επιστημονικής έρευνας στην πρώτη περίπτωση, τότε έχουμε δύο καλούς λόγους να κάνουμε μια σύντομη και όσο το δυνατόν περιεκτική ανασκόπηση πάνω σε κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα ευφών πρακτόρων πρόβλεψης, για την υποβοήθηση του χρήστη στην αναζήτηση περιεχομένου στο πλαίσιο των ενδιαφερόντων του.

6.4.2.1 Πράκτορες Υποβοήθησης του Χρήστη στην Αναζήτηση Περιεχομένου βάσει του Προφίλ

Μπορούμε να διακρίνουμε δύο επιμέρους κατηγορίες ευφών πρακτόρων υποβοήθησης του χρήστη στην αναζήτηση περιεχομένου που τον ενδιαφέρει. Στην πρώτη κατηγορία, ο πράκτορας συνεργάζεται με κάποια μηχανή αναζήτησης – π.χ. Google [Brin98] – ή ενσωματώνει μια μετα-μηχανή αναζήτησης – π.χ. SavvySearch [Howe97], SpiderServer [Zach02], κλπ. – ώστε να μπορεί να συνεργαστεί με περισσότερες μηχανές αναζήτησης [Chan00, Zach01]. Η χρήση των μηχανών ή των μετα-μηχανών αναζήτησης δίνει τη δυνατότητα στον πράκτορα να προτείνει ιστοσελίδες από οποιονδήποτε δικτυακό τόπο.

Στη δεύτερη κατηγορία, ο πράκτορας είναι αυτόνομος και συνεργάζεται με το χρήστη κατά τη διάρκεια της πλοήγησής του στον παγκόσμιο ιστό. Στη βιβλιογραφία, υπάρχουν κυρίως δύο μέθοδοι υλοποίησής τους. Η πρώτη μέθοδος αφορά στην προ-ανάκτηση των υπερ-συνδέσεων από ιστοσελίδες, που έχει επισκεφτεί ο χρήστης και τη μετέπειτα αξιολόγησή τους με βάση το προφίλ του – π.χ. ο πράκτορας Letizia [Lieb95, Lieb97]. Η δεύτερη μέθοδος θέλει τον πράκτορα να συγκρίνει το προφίλ του χρήστη με τα προφίλ όλων των χρηστών που έχει υπόψη του – π.χ. ο πράκτορας Let's Browse [Lieb99]. Έτσι, ο πράκτορας προτείνει στο χρήστη διαδικτυακά αντικείμενα, που έχουν προσπελάσει οι χρήστες με παρόμοια ενδιαφέροντα. Κατά αυτόν τον τρόπο, αποφεύγεται η σπατάλη διαδικτυακών πόρων για την αξιολόγηση των διαδικτυακών αντικειμένων.

Τόσο για τον πράκτορα Letizia, όσο και για τον Let's Browse, που αποτελεί επέκταση του Letizia, το προφίλ του κάθε χρήστη συμπληρώνεται από δυάδες που αποτελούνται από λέξεις-κλειδιά και τις αντίστοιχες συχνότητες εμφάνισής τους στις ιστοσελίδες που επισκέπτεται ο χρήστης. Ο πράκτορας ξεκινάει να δημιουργεί το προφίλ κάνοντας χρήση ενός εξειδικευμένου λογισμικού crawler, το οποίο αναλύει την αρχική ιστοσελίδα εκκίνησης του χρήστη (Home Page) και τις ιστοσελίδες γύρω από αυτή. Η βαρύτητα των λέξεων στο

προφίλ καθορίζεται από το συντελεστή *TFIDF* (Term Frequency Inverse Document Frequency). Ο Ramos [Ram03] δίνει μια μαθηματική έκφραση του συντελεστή *TFIDF*, ως εξής:

$$TFIDF = f_{w,d} \cdot \log\left(\frac{|D|}{f_{w,D}}\right). \quad (6.2)$$

Στην παραπάνω εξίσωση 6.2, η παράμετρος $f_{w,d}$ εκφράζει τον αριθμό των εμφανίσεων της λέξης w σε μια ιστοσελίδα d , η οποία ανήκει σε ένα σύνολο ιστοσελίδων D . Η παράμετρος $f_{w,D}$ προσδιορίζει τον αριθμό των ιστοσελίδων – που ανήκουν στο σύνολο D – όπου εμφανίζεται η λέξη w . Τέλος, η παράμετρος $|D|$ παριστάνει τον συνολικό αριθμό των ιστοσελίδων στο σύνολο D .

Το σύστημα πρακτόρων WebNaut [Zach01] χρησιμοποιεί τη μετα-μηχανή αναζήτησης SpiderServer [Zach02] για να βρίσκει ιστοσελίδες που βρίσκονται πολύ κοντά στο προφίλ του χρήστη. Το προφίλ του χρήστη αποτυπώνεται, και στην περίπτωση αυτή, από ένα πίνακα λέξεων-κλειδιών, με την κάθε εγγραφή να περιλαμβάνει τη λέξη, τον αριθμό των ιστοσελίδων στις οποίες εμφανίζεται η λέξη και τον αριθμό των εμφανίσεων της λέξης στις συγκεκριμένες ιστοσελίδες. Σε αντίθεση με ό,τι συμβαίνει με τη Letizia και το Let's Browse, η βαρύτητα μιας λέξης i – έστω, w_i – στο προφίλ του χρήστη για το σύστημα WebNaut υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$w_i = \frac{\left(\frac{tf_i}{tf_{\max}}\right)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N \left(\frac{tf_j}{tf_{\max}}\right)^2}}. \quad (6.3)$$

Στην παραπάνω εξίσωση 6.3, η παράμετρος tf_i δηλώνει τη συχνότητα εμφάνισης της λέξης i σε όλες τις ιστοσελίδες που εμφανίζεται, ενώ η παράμετρος tf_{\max} υποδηλώνει τη μέγιστη συχνότητα εμφάνισης, που έχει καταγραφεί για τις λέξεις-κλειδιά του προφίλ. Τέλος, η παράμετρος N , η οποία ορίζεται από τον ίδιο το χρήστη, περιγράφει το μέγεθος του προφίλ, δηλαδή των αριθμό των λέξεων-κλειδιών που το αποτελούν. Όλες οι λέξεις-κλειδιά του προφίλ διατάσσονται με βάση την τιμή w_i . Όσον αφορά στο σύστημα WebNaut και στον τρόπο με τον οποίο μπορεί να υποστηρίξει την προ-εγκατάσταση διαδικτυακού

περιεχομένου για λογαριασμό του χρήστη, θα πραγματοποιήσουμε μια ειτενή ανάλυση στην περιπτωσιολογική μελέτη που ακολουθεί.

Ο Chan [Chan00] έκανε τη δική του πρόταση για τη δημιουργία προφίλ χρηστών που μπορεί να αξιοποιηθεί στην αναζήτηση περιεχομένου που να τους ενδιαφέρει. Το προφίλ του χρήστη περιλαμβάνει δύο κύρια συστατικά: ένα γράφημα πρόσβασης στον παγκόσμιο ιστό (Web Access Graph, WAG), το οποίο αποθηκεύει τις ακολουθίες πλοήγησης του χρήστη, και έναν εκτιμητή του ενδιαφέροντος του χρήστη για τις ιστοσελίδες (Page Interest Estimator, PIE), ο οποίος αντλεί πληροφορίες από το ιστορικό και τους σελιδοδείκτες που κρατάει ο φυλλομετρητής, καθώς και το περιεχόμενο των ιστοσελίδων και πιθανά ημερολόγια πρόσβασης. Το ενδιαφέρον του χρήστη προς μια ιστοσελίδα καθορίζεται από τη συχνότητα επίσκεψης, την τοποθέτηση της ιστοσελίδας στους σελιδοδείκτες, το χρονικό διάστημα της παραμονής στην ιστοσελίδα, τον αριθμό των υπερσυνδέσεων, που ακολούθησε ο χρήστης από την ιστοσελίδα και το πόσο πρόσφατα επισκέφτηκε ο χρήστης την ιστοσελίδα.

6.4.2.2 Πράκτορες Πρόβλεψης βάσει του Προφίλ του Χρήστη για Προ-Εγκατάσταση

Η έρευνα πάνω στους πράκτορες πρόβλεψης με στόχο την προ-εγκατάσταση διαδικτυακού περιεχομένου, οι οποίοι να βασίζονται στο προφίλ ενδιαφερόντων του χρήστη δεν έχει προχωρήσει σε μεγάλο βαθμό, όπως η αντίστοιχη που αφορά στους ευφείς πράκτορες υποβοήθησης, που είδαμε παραπάνω. Όσον αφορά στα ΣΠΕΠ, η πρόβλεψη με βάση το περιεχόμενο των διαδικτυακών αντικειμένων προσφέρει ένα μεγάλο πλεονέκτημα έναντι της πρόβλεψης βάσει του ιστορικού των προσπελάσεων: Είναι σε θέση να προτείνει διαδικτυακά αντικείμενα, τα οποία ο χρήστης δεν έχει επισκεφτεί καθόλου στο παρελθόν. Αντίθετα, τόσο τα μοντέλα ΠΤΑ, όσο και οι γράφοι εξάρτησης δεν είναι σε θέση να προβλέψουν αντικείμενα, τα οποία δεν έχουν καταγράψει στο παρελθόν.

Μια πρώιμη εργασία ήταν αυτή των Cunha και Jaccoud [Cunh97] οι οποίοι, όμως, στηρίχθηκαν σε προφίλ που αφορούσε περισσότερο την τάση των χρηστών να επισκέπτονται ή όχι τις ίδιες ιστοσελίδες. Παρατήρησαν ότι οι χρήστες μπορούν να χωριστούν σε δύο διαφορετικές ομάδες-προφίλ, λαμβάνοντας υπόψη τη χρονική σειρά των προηγούμενων προσπελάσεών τους: Στους συντηρητικούς – που τείνουν να επισκέπτονται τις ίδιες ιστοσελίδες – και τους πλοηγούς – που αρέσκονται στη διαρκή πλοήγηση και ανακάλυψη νέων δικτυακών τόπων. Πρότειναν την αξιοποίηση αυτών των προφίλ από έναν πράκτορα

που χρησιμοποιεί γράφους εξάρτησης για την πρόβλεψη των αντικειμένων προς προ-εγκατάσταση. Ανάλογα με το προφίλ, ο πράκτορας απαγορεύει – περίπτωση χρήστη πλοηγού – ή επιτρέπει – περίπτωση συντηρητικού χρήστη – την προ-εγκατάσταση. Επιπλέον, πρότειναν δύο μεθόδους για την αξιολόγηση της μακροπρόθεσμης και της βραχυπρόθεσμης συμπεριφοράς των χρηστών στο πλαίσιο των δύο προ-αναφερόμενων προφίλ:

- Η πρώτη μέθοδος – που αποτυπώνει, κυρίως, το μακροπρόθεσμο προφίλ – μοντελοποιεί το σύνολο των αποτυχιών εξυπηρέτησης των αιτημάτων από τη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης – έστω $N(r)$ – προς τον αριθμό των αιτημάτων – έστω, $r \gg 1$ – ως μια διαδικασία τυχαίου περιπάτου, με βάση το μαθηματικό τύπο: $N(r) = A \cdot r^{1/\theta}$, όπου το A είναι σταθερά, ενώ η παράμετρος θ του εκθέτη καθορίζει το προφίλ. Όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές του θ , τόσο πιο συντηρητικός είναι ο χρήστης.
- Η δεύτερη μέθοδος επικεντρώνεται στην εκτίμηση του τρέχοντος προφίλ του χρήστη. Χρησιμοποιεί τη συνάρτηση $N'(r) = N(r) - N(r-1)$, όπου το $N(r)$ αντιπροσωπεύει το σύνολο των αποτυχιών, όπως είδαμε και παραπάνω. Ως εκ τούτου, η παράμετρος $N'(r)$ παίρνει τιμές στο σύνολο $\{0,1\}$, ανάλογα με την επιτυχία ή αποτυχία εξυπηρέτησης του αιτήματος r από τη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην πυκνότητα των αποτυχιών – δηλαδή, όταν ισχύει $N'(r) = 1$ – στην εξυπηρέτηση των αιτημάτων από τη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης εντός ενός συγκεκριμένου παραθύρου αιτημάτων.

Η εργασία των Hong και Biuk-Aghai [Hong99a] έχει δώσει το έναυσμα για την έρευνα, που αφορά στην εκμετάλλευση των προφίλ ενδιαφερόντων των χρηστών από ΣΠΕΠ. Περιγράφουν τη χρήση ενός πληρεξούσιου εξυπηρετητή, ο οποίος να είναι σε θέση να κρατάει το προφίλ των ενδιαφερόντων και το ιστορικό των προσπελάσεων όλων των χρηστών, που συνδέονται σε αυτόν. Κάθε ιστοσελίδα αναπαρίσταται από μια σειρά λέξεων-κλειδιών, που την περιγράφουν. Το ίδιο ισχύει και για το προφίλ του χρήστη, το οποίο έχει τη μορφή λέξεων-κλειδιών, που χαρακτηρίζουν τις ιστοσελίδες που προσπέλασε αυτός. Κατά την ανάλυση των ιστοσελίδων λαμβάνονται υπόψη μόνο οι λέξεις που μαρκάζονται από συγκεκριμένες επικεφαλίδες HTML, όπως, για παράδειγμα, οι επικεφαλίδες <TITLE>, <H1>, ... <H6> κλπ., οι οποίες δίνουν περισσότερο έμφαση στη σημασιολογία του

περιεχομένου. Κάθε επικεφαλίδα HTML – έστω, t – φέρει ένα συντελεστή βαρύτητας – έστω I_t . Κατά αυτόν τον τρόπο, η βαρύτητα w_i μιας λέξης-κλειδιού – έστω, i – για το προφίλ του χρήστη υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$w_i = \sum_t tf_{i,t} \cdot I_t. \quad (6.4)$$

Στην εξίσωση 6.4, η παράμετρος $tf_{i,t}$ εκφράζει τη συχνότητα εμφάνισης της λέξης i εντός της επικεφαλίδας t . Υποθέτουμε ότι $D_{URL} = \{UW_1 : Uw_1, \dots, UW_j : Uw_j\}$ είναι η αναπαράσταση μιας ιστοσελίδας – που αποτελείται από j λέξεις-κλειδιά και τους αντίστοιχους συντελεστές βαρύτητας – και $D_{profile} = \{PW_1 : Pw_1, \dots, PW_k : Pw_k\}$ είναι η αναπαράσταση του προφίλ ενός χρήστη, το οποίο περιορίζεται σε k λέξεις-κλειδιά με τους αντίστοιχους συντελεστές βαρύτητας. Η ομοιότητα ανάμεσα στο προφίλ του χρήστη και την ιστοσελίδα, για το εύρος των k λέξεων, καθορίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$S(D_{profile}, D_{URL}) = \frac{\sum_{i=1}^k Pw_i \cdot Uw_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^k Pw_i^2 \cdot \sum_{i=1}^k Uw_i^2}}. \quad (6.5)$$

Στην εργασία του Davison [Dav02a], το προφίλ κτιζεται με τη μορφή ενός συνόλου λέξεων-κλειδιών (Bag-of-Words) από τις τελευταίες – έστω N – ιστοσελίδες που επισκέφθηκε ο χρήστης. Μελέτησε τέσσερις μηχανισμούς πρόβλεψης που αφορούν στις υπερσυνδέσεις της τρέχουσας ιστοσελίδας. Οι πρώτοι δύο είναι προφανείς: η τυχαία επιλογή κάποιας υπερσύνδεσης και η επιλογή των υπερσυνδέσεων με τη σειρά που συναντιούνται εντός της ιστοσελίδας. Οι άλλοι δύο μηχανισμοί συγκρίνουν την ομοιότητα του κειμένου – που δε σχετίζεται με κώδικα HTML – γύρω και εντός της υπερσύνδεσης με το προφίλ του χρήστη. Η ομοιότητα υπολογίζεται από τον ακόλουθο μαθηματικό τύπο:

$$S(d_1, d_2) = \sum_{\forall w} tf(w, d_1) \cdot tf(w, d_2). \quad (6.6)$$

Στην εξίσωση 6.6, οι παράμετροι d_1 και d_2 είναι τα δύο κείμενα-έγγραφα – που στην περίπτωση μας είναι το προφίλ του χρήστη και το κείμενο γύρω και εντός της υπερσύνδεσης – για τα οποία υπολογίζεται ο συντελεστής ομοιότητας $S(d_1, d_2)$ και η παράμετρος $tf(w, d)$ εκφράζει τον αριθμό των εμφανίσεων της λέξης w σε ένα κείμενο-έγγραφο d . Οι δύο μηχανισμοί πρόβλεψης, που στηρίζονται στην εξίσωση 6.6, διαφέρουν στο ότι ο ένας

λειτουργεί αθροιστικά, σε περίπτωση που η ίδια υπερσύνδεση συναντηθεί σε μια ιστοσελίδα περισσότερες από μια φορές.

Στην εργασία μας [Kast04] προτείνουμε την αξιοποίηση των προφίλ που παράγονται από τη χρήση ενός ευφυούς πράκτορα υποβοήθησης του χρήστη στην αναζήτηση περιεχομένου – δηλαδή, του WebNaut [Zach01] – για την υποστήριξη ενός ΣΠΕΠ. Το βασικό κίνητρο πίσω από την εργασία αυτή είναι η αξιολόγηση των επιπτώσεων στην επίδοση του ΣΠΕΠ της ενεργητικής συμπεριφοράς του χρήστη κατά τη διαμόρφωση του προφίλ του, με τη δυνατότητα ανάδρασης, που του παρέχεται από τον WebNaut. Διαισθητικά πιστεύουμε ότι αυτή η ενεργητική συμπεριφορά του χρήστη μπορεί να αποδειχθεί πολύ ευεργετική για την αύξηση στην ακρίβεια των προβλέψεων για προεγκατάσταση των διαδικτυακών αντικειμένων. Η εξίσωση που καθορίζει την ομοιότητα ανάμεσα στο προφίλ του χρήστη και το κείμενο γύρω και εντός των υπερσυνδέσμων είναι η ίδια με την εξίσωση 6.5. Παρά αυτήν την μικρή ομοιότητα της εργασίας μας με την εργασία των Hong και Biuk-Aghai, κατά τα άλλα, τις δύο εργασίες τις χωρίζουν ουσιώδεις διαφορές. Συγκεκριμένα:

- Το προφίλ στο WebNaut σχηματίζεται από όλες τις λέξεις-κλειδιά, ανεξαρτήτως των επικεφαλίδων HTML εντός των οποίων αυτές εντοπίζονται.
- Το προφίλ στην εργασία μας αναβαθμίζεται με βάση την ανάδραση του ίδιου του χρήστη. Αντίθετα, οι Hong και Biuk-Aghai χρησιμοποιούν προκαθορισμένους συντελεστές γήρανσης, ανάλογα με το χρονικό διάστημα που περνάει μεταξύ των διαδοχικών συνόδων πλοήγησης του χρήστη.
- Η χρησιμοποίηση του ΣΠΕΠ σε πληρεξούσιο εξυπηρετητή, όπως περιγράφεται από τους Hong και Biuk-Aghai, δίνει τη δυνατότητα να αποθηκεύονται οι ταυτότητες των ιστοσελίδων με τη μορφή $D_{URL} = \{UW_1 : Uw_1, \dots, UW_j : Uw_j\}$ που είδαμε παραπάνω. Κάτι τέτοιο δίνει τη δυνατότητα της απευθείας σύγκρισης της ομοιότητάς τους με το προφίλ του χρήστη, όταν ο μηχανισμός πρόβλεψης τις θεωρήσει υποψήφιες προς προεγκατάσταση. Αντίθετα, στην εργασία μας έχουμε τη δυνατότητα μόνο της σύγκρισης με το κείμενο γύρω και εντός των υπερ-συνδέσμων, που παραπέμπουν στην ιστοσελίδα.

Λεπτομέρειες της εργασίας μας σχετικά με την αξιοποίηση της λειτουργίας της ευφούς μηχανής αναζήτησης WebNaut για την προ-εγκατάσταση διαδικτυακών αντικειμένων παρουσιάζουμε στην παρακάτω παράγραφο 6.5.

6.5 Περιπτωσιολογική Μελέτη: Αξιοποίηση των Μηχανών Αναζήτησης για την Υποστήριξη των ΣΠΕΠ

Σε προηγούμενη παράγραφο περιγράψαμε τις τεχνικές πρόβλεψης που βασίζονται στο περιεχόμενο των αντικειμένων – κυρίως, των ιστοσελίδων – που προσπελάνει ο χρήστης. Οι πράκτορες πρόβλεψης που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία κατασκευάζουν το προφίλ των ενδιαφερόντων του χρήστη και προτείνουν όσες ιστοσελίδες έχουν περιεχόμενο που, σημασιολογικά, βρίσκεται πολύ κοντά στο προφίλ αυτό.

Όλες οι ερευνητικές προσπάθειες του παρελθόντος πάνω στην προ-εγκατάσταση, βάσει του περιεχομένου των αντικειμένων επικέντρωσαν στη δημιουργία αυτόνομων συστημάτων, που προσπαθούσαν να εξαγάγουν το σημασιολογικό προφίλ ενδιαφερόντων του χρήστη, παθητικά, μέσα από τις προσπελάσεις του στους διάφορους δικτυακούς τόπους [Hong99a, Dav02a]. Σε γενικές γραμμές, η επιτυχία των προβλέψεων αυτών των πρακτόρων συνιστά ένα δυσεπίλυτο πρόβλημα, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου τα ενδιαφέροντα του χρήστη είναι παροδικά και ευμετάβλητα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η ταχύτητα της προσαρμογής του προφίλ από τους πράκτορες πρόβλεψης είναι υψίστης σημασίας.

Υπάρχουν, όμως, κάποιες ιδιαίτερες περιπτώσεις, όπου η πρόβλεψη της ακολουθίας των προσπελάσεων του χρήστη είναι δυνατή. Μια τέτοια ιδιαίτερη περίπτωση είναι, όταν ο χρήστης αξιοποιεί τις δυνατότητες που του προσφέρει μια μηχανή – ή μετα-μηχανή – αναζήτησης, όπου η διαμόρφωση των ενδιαφερόντων είναι εκ των προτέρων γνωστή, δεδομένου ότι ο χρήστης συμβάλλει άμεσα σε αυτή. Μια ακόμη πιο ιδιάζουσα περίπτωση είναι αυτή της αξιοποίησης ενός ευφούς συστήματος υποβοήθησης στην αναζήτηση διαδικτυακού περιεχομένου, το οποίο να ενημερώνεται τακτικώς για τις μεταβολές στα ενδιαφέροντα του χρήστη, διαμέσου ενός ευφούς και αλληλεπιδραστικού μηχανισμού ανάδρασης.

Ένα τέτοιο ευφές σύστημα πρακτόρων για την υποβοήθηση του χρήστη στην αναζήτηση πληροφοριών, που τον ενδιαφέρουν, είναι το WebNaut. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε μια περιπτωσιολογική μελέτη σχετικά με τη δυνατότητα αξιοποίησης της λειτουργίας του WebNaut στην προ-εγκατάσταση διαδικτυακών αντικειμένων για

λογαριασμό του χρήστη. Σε πρώτη φάση, θα παρουσιάσουμε την αρχιτεκτονική του συστήματος WebNaut και τη λειτουργία του. Τέλος, θα αναλύσουμε διάφορες μεθόδους, με τις οποίες μπορούμε να αξιοποιήσουμε το σύστημα WebNaut για την προ-εγκατάσταση.

6.5.1 Το Σύστημα WebNaut

Το ευφρές σύστημα υποβοήθησης του χρήστη WebNaut είναι λειτουργικά συνδεδεμένο με το φυλλομετρητή του παγκοσμίου ιστού στον πελάτη. Η εξ ορισμού (Default) λειτουργική του κατάσταση είναι η αδράνεια (Idle). Ο WebNaut δημιουργεί μια εργαλειοθήκη εντολών (Command Toolbar) – η οποία φαίνεται στο σχήμα 6.11 – που χρησιμοποιεί το ίδιο παράθυρο με το φυλλομετρητή. Αυτή η εργαλειοθήκη καθιστά το χρήστη ικανό να εισάγει μια οποιαδήποτε εντολή, καθώς βλέπει το περιεχόμενο κάποιας ιστοσελίδας. Αυτό σημαίνει ότι η δραστηριοποίηση του WebNaut οφείλεται αποκλειστικά στη θέληση του χρήστη.



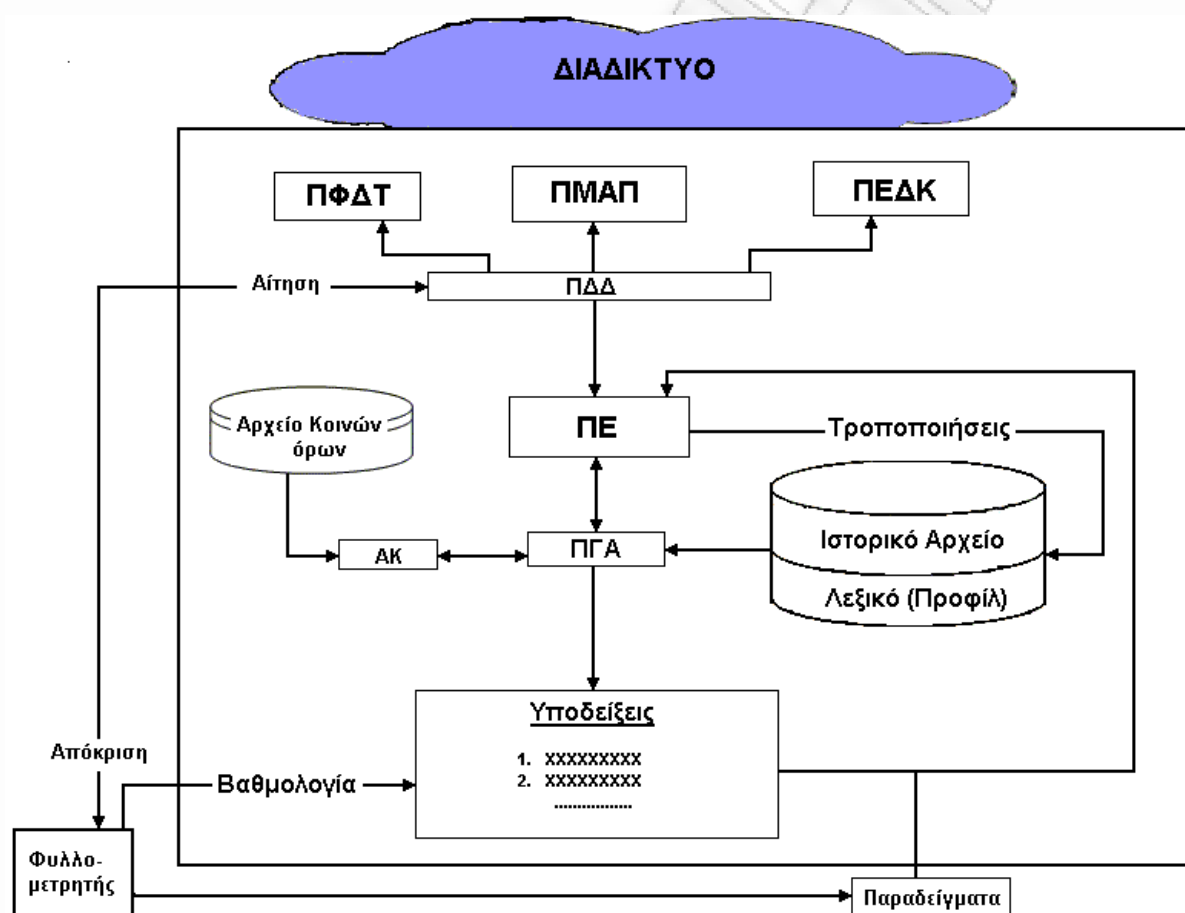
Σχήμα 6.11. Η εργαλειοθήκη εντολών του συστήματος WebNaut [Zack01]

6.5.1.1 Η Αρχιτεκτονική του Συστήματος WebNaut

Όλα τα συστήματα υποβοήθησης του χρήστη της κατηγορίας του WebNaut είναι δομημένα σε αρχιτεκτονική πολλαπλών πρακτόρων. Η αρχιτεκτονική του συστήματος WebNaut αποτελείται από έξι βασικούς πράκτορες (σχήμα 6.12). Ονομαστικά, αυτοί οι πράκτορες είναι οι ακόλουθοι [Zach01]:

- Πράκτορας Διακομιστής Διαμεσολάβησης (ΠΔΔ): Πρόκειται για την κεντρική λειτουργική μονάδα του WebNaut. Κυριότερο καθήκον του είναι η εξυπηρέτηση των αιτημάτων του φυλλομετρητή του παγκοσμίου ιστού και ο συντονισμός της επικοινωνίας με τους άλλους πράκτορες. Ως εκ τούτου, ο χρήστης θα πρέπει να ρυθμίσει το φυλλομετρητή του να επικοινωνεί απευθείας με τον ΠΔΔ. Ο ΠΔΔ είναι, επίσης, υπεύθυνος για την ενσωμάτωση της εργαλειοθήκης εντολών στο παράθυρο του φυλλομετρητή.

- Πράκτορας Φιλοξενούμενων Δικτυακών Τόπων (ΠΦΔΤ): Ο ΠΦΔΤ χρησιμοποιείται για την αντιγραφή ενδιαφερόντων δικτυακών τόπων στο μηχάνημα του χρήστη.
- Πράκτορας Μετα-μηχανή Αναζήτησης Πληροφοριών (ΠΜΑΠ): Ο ΠΜΑΠ είναι μια απλή μετα-μηχανή αναζήτησης. Βοηθάει τον πελάτη να διατυπώνει αιτήματα αναζήτησης (Queries) με τη μορφή λέξεων-κλειδιών, διαχωριζόμενων με λογικούς τελεστές. Τα αιτήματα αυτά διαβιβάζονται σε πέντε διαφορετικές, αλλά πολύ γνωστές, μηχανές αναζήτησης – τις AltaVista, Excite, Lycos, HotBot και Yahoo.



Σχήμα 6.12. Η αρχιτεκτονική του WebNaut [Zach01]

- Πράκτορας Εξυπηρετητής Διαδικτυακού Κόμβου (ΠΕΔΚ): Ο ΠΕΔΚ καλύπτει την ανάγκη του τοπικού συστήματος να παράγει τον απαραίτητο κώδικα HTML, ώστε να αναπαράγεται το περιβάλλον διασύνδεσης των ΠΦΔΤ και ΠΜΑΠ. Επιπλέον, ικανοποιεί την ανάγκη για παραγωγή κώδικα HTML που να αντιστοιχεί σε τυχόν λάθη, ή μηνύματα βοήθειας και ρυθμίσεων του συστήματος. Η αξιοποίηση του ΠΕΔΚ δίνει

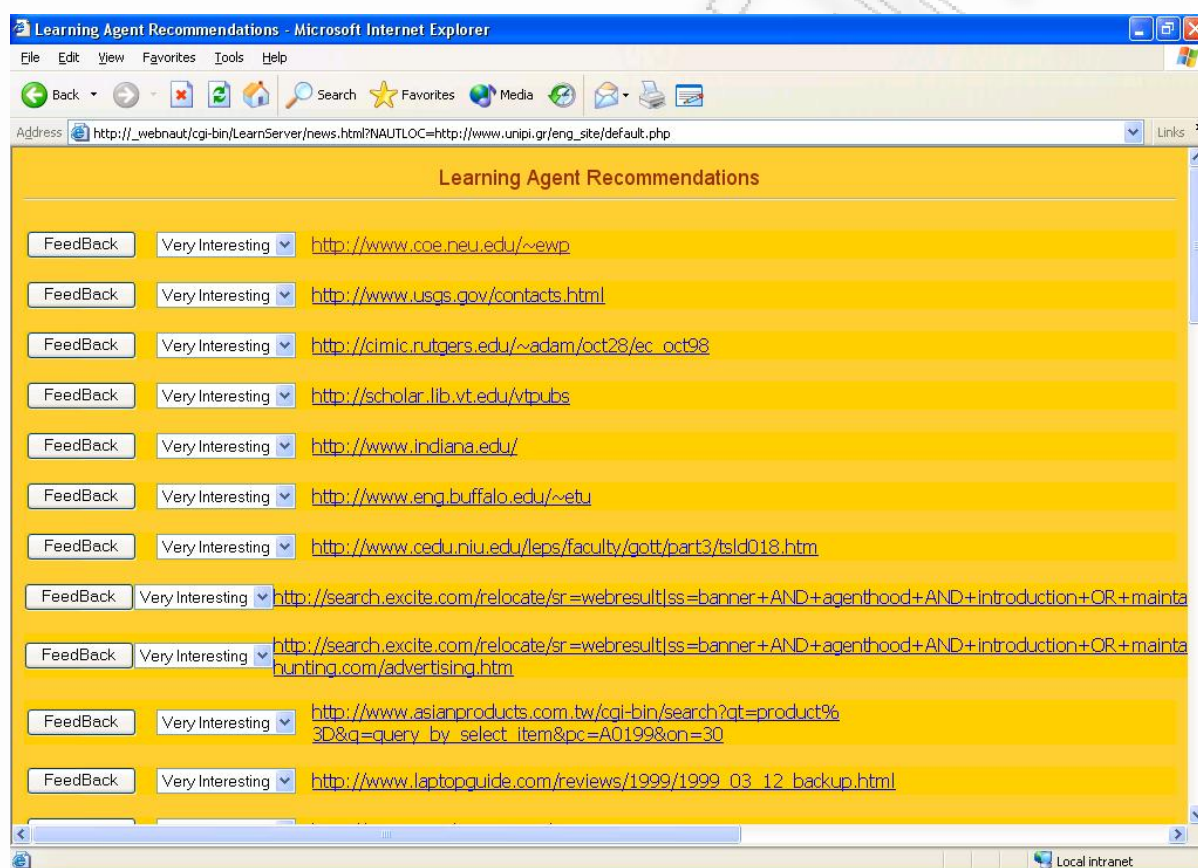
στο χρήστη την εντύπωση ότι είναι συνδεδεμένος με το Διαδίκτυο, ακόμη και στην περίπτωση που ο φυλλομετρητής λειτουργεί εκτός αυτού.

- Πράκτορας Εκμάθησης (ΠΕ): Το κυριότερο καθήκον του είναι η δημιουργία του προφίλ ενδιαφερόντων του χρήστη. Όταν ο χρήστης χαρακτηρίσει μια ιστοσελίδα ως «πολύ ενδιαφέρουσα», ο ΠΕ χρησιμοποιεί έναν αναλυτή κειμένου (Text Information Extractor, TIE) – για συντομία, ΑΚ – για να διακρίνει ανάμεσα σε κοινές λέξεις και λέξεις-κλειδιά, που αντιπροσωπεύουν τα προσωπικά ενδιαφέροντα πληροφόρησης του χρήστη. Ο ΠΕ είναι, επίσης, υπεύθυνος για τη συλλογή και οργάνωση των νέων ιστοσελίδων που ταιριάζουν στο προφίλ, ώστε να τις προτείνει στο χρήστη.
- Πράκτορας Γενετικός Αλγόριθμος (ΠΓΑ): Πρόκειται για το λειτουργικό κομμάτι του WebNaut που επιστρατεύει τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης, για να εντοπίζει τις ιστοσελίδες που είναι πολύ κοντά στα ενδιαφέροντα του χρήστη. Συγκεκριμένα, ο ΠΓΑ καλεί δύο αλγόριθμους, τον πρωτεύοντα γενετικό αλγόριθμο (Primary Genetic Algorithm, PGA) και το δευτερεύοντα γενετικό αλγόριθμο (Secondary Genetic Algorithm, SGA). Ο πρώτος παράγει πληθυσμούς με λέξεις-κλειδιά από το προφίλ του χρήστη και ο δεύτερος πληθυσμούς με λογικούς τελεστές. Οι δύο παραγόμενοι πληθυσμοί συνδυάζονται μεταξύ τους, ώστε να δημιουργήσουν αιτήματα αναζήτησης, τα οποία στη συνέχεια υποβάλλονται στον ΠΜΑΠ. Οι δύο πληθυσμοί ανανεώνονται με χρήση εξειδικευμένων γενετικών τελεστών: της διασταύρωσης (Crossover), της αντιστροφής (Inversion) και της μετάλλαξης (Mutation). Έτσι, η ίδια διαδικασία μπορεί να επαναλαμβάνεται για όσες φορές ορίσει ο χρήστης.

6.5.1.2 Λειτουργία του Συστήματος WebNaut

Ο χρήστης πρέπει να ενεργοποιήσει τη μηχανή του WebNaut, ώστε να θέσει σε λειτουργία το σύστημα. Αυτό σημαίνει ότι η κάθε ιστοσελίδα που αποφορτώνεται συνοδεύεται πάντοτε από την εργαλειοθήκη εντολών του WebNaut, στην οθόνη του φυλλομετρητή. Επιλέγοντας την κατάλληλη εντολή, ο χρήστης ειδοποιεί το σύστημα ότι το περιεχόμενο κάποιου εγγράφου ανήκει στα ενδιαφέροντά του. Η διαδικασία που ακολουθεί ενεργοποιεί τον ΠΕ, ώστε να αναλύσει το έγγραφο, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα λεξικό όρων – δηλαδή, λέξεων-κλειδιών – που περιγράφουν το προφίλ του χρήστη. Ο ΠΓΑ συνδυάζει ομάδες λέξεων-κλειδιών με ομάδες λογικών τελεστών και κτίζει αιτήματα προς αναζήτηση, τα οποία προωθεί στον ΠΜΑΠ. Τα αποτελέσματα της αναζήτησης

αξιολογούνται και φιλτράρονται σύμφωνα με την ομοιότητά τους με το προφίλ του χρήστη, κάνοντας χρήση της εξίσωσης 6.5. Χρησιμοποιώντας τους εξειδικευμένους γενετικούς τελεστές, ο ΠΓΑ παράγει επιπλέον αιτήματα και η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για όσες φορές ορίσει ο χρήστης. Στο τέλος, ο ΠΕ κάνει τις υποδείξεις του στο χρήστη σχετικά με τις ιστοσελίδες που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ομοιότητα ως προς το τρέχον προφίλ του (σχήμα 6.13). Η ανάδραση του χρήστη σηματοδοτεί την ενημέρωση του προφίλ του και η όλη διαδικασία ξεκινάει πάλι από την αρχή, με βάση το ενημερωμένο προφίλ.



Σχήμα 6.13. Υποδείξεις στο χρήστη από τον πράκτορα εκμάθησης του WebNaut [Zach01]

6.5.2 Αναβάθμιση της Λειτουργίας του WebNaut με την Υποστήριξη Συστήματος Ενδιάμεσης Αποθήκευσης Διαδικτυακών Αντικειμένων

Απαραίτητη προϋπόθεση, ώστε το σύστημα WebNaut να υποστηρίξει την προ-εγκατάσταση διαδικτυακών αντικειμένων, είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος ενδιάμεσης αποθήκευσης. Το σύστημα ενδιάμεσης αποθήκευσης μπορεί από μόνο του να μειώσει τις καθυστερήσεις κατά τη διάρκεια της αποφόρτωσης των διαδικτυακών αντικειμένων, που

αντιλαμβάνεται ο χρήστης. Επιπλέον, η επιστράτευση της ενδιάμεσης αποθήκευσης έχει ενδιαφέρον από τη στιγμή που ο χρήστης επιλέξει να μελετήσει και να ακολουθήσει τις υποδείξεις του ΠΕ. Όσον αφορά στη δυνατότητα για προ-εγκατάσταση, στην παράγραφο 6.5.3 αναλύουμε διεξοδικά τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί το σύστημα WebNaut για την υποστήριξη μιας τέτοιας λειτουργίας.

6.5.2.1 Ενδιάμεση Αποθήκευση Διαδικτυακών Αντικειμένων που Προτείνονται από τον ΠΕ

Προκειμένου ο ΠΕ να βαθμολογήσει τις ιστοσελίδες με βάση την ομοιότητά τους ως προς το προφίλ του χρήστη, τις προ-ανακτά, με σκοπό να τις επεξεργαστεί με τον αναλυτή κειμένου. Η προοπτική του ΠΕ είναι να υποδείξει, τελικά, στο χρήστη τις ιστοσελίδες με την υψηλότερη βαθμολογία. Σε αυτό το σημείο, μπορεί να ωφελήσει η ανάπτυξη ενός μηχανισμού-πράκτορα ενδιάμεσης αποθήκευσης, ο οποίος να αποθηκεύει όλες τις ιστοσελίδες που το σύστημα προτείνει στο χρήστη. Κατά αυτόν τον τρόπο, αναμένεται να μειωθεί μέχρι κάποιο βαθμό ο αντίκτυπος που έχει η σπατάλη των δικτυακών πόρων, δεδομένου ότι ο χρήστης θα μπορεί να επισκέπτεται αυτές τις ιστοσελίδες απευθείας στο τοπικό σύστημα ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Τα μειονεκτήματα από την επιστράτευση του συστήματος ενδιάμεσης αποθήκευσης που θα προκύψουν είναι κυρίως δύο: Κατά κύριο λόγο, το χρονικό διάστημα ανάμεσα στην αποθήκευση των διαδικτυακών αντικειμένων στον τοπικό δίσκο και στην παρουσίαση των υποδείξεων του ΠΕ στο χρήστη μπορεί να γίνει αρκετά μεγάλο, ώστε τα αντικείμενα να θεωρηθούν πεπαλαιωμένα. Ως εκ τούτου, ο WebNaut θα πρέπει να αποστέλλει μηνύματα HTTP του τύπου IF-MODIFIED-SINCE, ώστε να τσεκάρει για νέες εκδόσεις των αντικειμένων στον πηγαίο εξυπηρετητή.

Το δεύτερο μειονέκτημα σχετίζεται με την πιθανότητα το προφίλ που έχει σχηματίσει ο WebNaut για το χρήστη να μην είναι το πλέον αντιπροσωπευτικό, γεγονός που μπορεί να παρατηρηθεί στα αρχικά στάδια της λειτουργίας του. Δε θα πρέπει να ξεχνάμε ότι αυτό το ενδεχόμενο είναι δομημένο στη λειτουργία του WebNaut, αφού επιδιώκει την αναβάθμιση στο προφίλ του χρήστη ύστερα από την κάθε ανάδραση. Έτσι, ένα μέρος των τοπικών πόρων ενδέχεται να δαπανήθηκε ανούσια στην αποθήκευση κάποιων διαδικτυακών αντικειμένων, δεδομένου ότι ο χρήστης μπορεί να τα θεωρήσει εντελώς άσχετα ως προς τα ενδιαφέροντά του, χωρίς να χρειαστεί να τα προσπελάσει. Επομένως, το πρόβλημα που

τίθεται είναι η άσκοπη σπατάλη αποθηκευτικού χώρου και πώς μπορούμε να την αποφύγουμε.

Για την αποφυγή της άσκοπης σπατάλης αποθηκευτικού χώρου προτείνουμε μια πιο εξελιγμένη τεχνική ενδιάμεσης αποθήκευσης για την υποστήριξη του WebNaut, η οποία να αξιοποιεί με τον καλύτερο, δυνατό τρόπο τις υποδείξεις και τις σχετικές πληροφορίες του ΠΕ. Αυτός ο έξυπνος αλγόριθμος ενδιάμεσης αποθήκευσης ακολουθεί την επαναληπτική διαδικασία που σχετίζεται με την εκμάθηση του προφίλ του χρήστη. Παρακάτω παρουσιάζουμε αναλυτικά τόσο τη λειτουργία της επαναληπτικής διαδικασίας και τα πληροφοριακά στοιχεία που κρατάει ο ΠΕ για τις ιστοσελίδες που υποδεικνύει, όσο και τη λειτουργία του έξυπνου συστήματος ενδιάμεσης αποθήκευσης.

6.5.2.2 Παρουσίαση της Λειτουργίας ενός Έξυπνου Συστήματος Ενδιάμεσης Αποθήκευσης για την Υποστήριξη της Λειτουργίας του WebNaut

Η διαδικασία της εκμάθησης που χρησιμοποιείται από τον ΠΕ είναι χρονοβόρα και υψηλών απαιτήσεων όσον αφορά στη συμμετοχή του χρήστη, ώστε να κτιστεί ένα αντιπροσωπευτικό προφίλ. Αυτό σημαίνει ότι απαιτεί ένα μεγάλο αριθμό επαναλήψεων, με την κάθε μια να στοχεύει στην αναβάθμιση του προφίλ, ώστε να το φέρει κοντά στα ενδιαφέροντα του χρήστη. Κάθε επανάληψη καταλήγει σε μια νέα λίστα υποδείξεων από τον ΠΕ και την αναμονή στην ανάδραση του χρήστη. Η κάθε ανάδραση από το χρήστη αποτελεί την έναρξη μιας νέας επανάληψης.

Ο ΠΕ κρατάει τις εξής πληροφορίες σχετικά με τις ιστοσελίδες που υποδεικνύει στο χρήστη:

- Το URL της ιστοσελίδας, δηλαδή τον πηγαίο εξυπηρετητή και το μονοπάτι στο σύστημα αρχειοθέτησής του που οδηγεί στην ιστοσελίδα.
- Τη βαθμολογία της κάθε ιστοσελίδας σε σχέση με το τρέχον προφίλ του χρήστη.
- Το ακριβές αίτημα που υποβλήθηκε από τον ΠΙΜΑΠ και οδήγησε στην ιστοσελίδα. Το αίτημα αποτελείται από τις λέξεις-κλειδιά και από τους λογικούς τελεστές μεταξύ τους.
- Την ανάδραση του χρήστη που αντιπροσωπεύει το βαθμό συσχέτισης της ιστοσελίδας με τα ενδιαφέροντά του.

Οι πληροφορίες που παρουσιάστηκαν παραπάνω μπορεί να αξιοποιηθούν από τον αλγόριθμο ενδιάμεσης αποθήκευσης κατά τη διάρκεια της επαναληπτικής διαδικασίας του

ΠΕ. Στη διάρκεια της κάθε επανάληψης, ο αλγόριθμος θα μπορεί να αποφασίσει ποια ιστοσελίδα να αποθηκεύσει. Η κύρια ιδέα είναι η αξιοποίηση μιας λίστας με λέξεις-κλειδιά, οι οποίες οδήγησαν σε ιστοσελίδες που ο χρήστης επισήμανε ως πολύ ενδιαφέρουσες ή απλά ενδιαφέρουσες. Συγκεκριμένα, αυτή η λίστα θα αποτελεί ένα υποσύνολο του προφίλ του χρήστη και θα περιέχει εκείνες τις λέξεις-κλειδιά που στο σχετικό αίτημα του ΠΜΑΠ χωρίζονταν από το λογικό τελεστή AND. Εξαιτίας της υψηλής βαρύτητας που φέρει ο τελεστής AND, οι όροι που συνδέονται με αυτόν αναμένεται να είναι πολύ κοντά στα πραγματικά ενδιαφέροντα του χρήστη συγκριτικά με τους υπόλοιπους.

Τα βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά του προτεινόμενου αλγόριθμου ενδιάμεσης αποθήκευσης είναι τα ακόλουθα: Κατά την έναρξη της διαδικασίας εκμάθησης, η λίστα παραμένει άδεια. Όταν οι πρώτες υποδείξεις ιστοσελίδων παραδίδονται στο χρήστη, ο αλγόριθμος αναμένει την ανάδρασή του. Για όσες ιστοσελίδες η ανάδραση του χρήστη είναι θετική, οι λέξεις-κλειδιά του αντίστοιχου αιτήματος προστίθενται στη λίστα. Στην επόμενη επανάληψη της διαδικασίας εκμάθησης, η λίστα σχηματίζει τη βάση για την αξιολόγηση των νέων υποδείξεων, ώστε οι αντίστοιχες ιστοσελίδες να αποθηκευτούν από το σύστημα ενδιάμεσης αποθήκευσης. Ο αλγόριθμος θα συνεχίσει να ενημερώνει τη λίστα των όρων κατά τον ίδιο τρόπο.

Ο αλγόριθμος θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι η λίστα των σημαντικών όρων θα ακολουθεί πιστά τα πραγματικά ενδιαφέροντα του χρήστη και να την εμποδίζει από το να αυξάνει ανεξέλεγκτα σε μέγεθος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη διατήρηση μετρητών για τον κάθε όρο στη λίστα, οι οποίοι να αναπαριστούν τη τρέχουσα βαρύτητά τους. Η ανάδραση του χρήστη θα πρέπει να ενημερώνει τους συντελεστές βαρύτητας των όρων. Αν η τιμή κάποιου συντελεστή πέσει κάτω από ένα κατώτατο όριο, ο αντίστοιχος όρος αποβάλλεται αυτόματα από τη λίστα.

Οι Zacharis και Panayiotopoulos [Zach01] προτείνουν μια συνάρτηση γήρανσης των όρων του προφίλ, η οποία θα μπορούσε κάλλιστα να αξιοποιηθεί και στη γήρανση της λίστας για την ενδιάμεση αποθήκευση. Η συνάρτηση αυτή ακολουθεί την παρακάτω εξίσωση:

$$tf_L = tf_L + tf_d \cdot \frac{c}{100} \cdot \quad (6.7)$$

Στην εξίσωση 6.7, η παράμετρος tf_L εκφράζει τη συχνότητα του όρου στη λίστα ενδιάμεσης αποθήκευσης, η παράμετρος tf_d εκφράζει τη συχνότητα του ίδιου όρου στην ιστοσελίδα

που υπέδειξε ο ΠΕ. Η παράμετρος ϵ δέχεται τιμές από -2 μέχρι και 2 ανάλογα με την ανάδραση του χρήστη. Δηλαδή, ο χρήστης μπορεί να ακολουθήσει δύο επίπεδα αρνητικής ανάδρασης για ιστοσελίδες που του είναι αδιάφορες και δύο επίπεδα θετικής ανάδρασης για όσες είναι ενδιαφέρουσες.

Επομένως, η συχνότητα εμφάνισης των όρων μπορεί να αποτελέσει ένα καλό συντελεστή βαρύτητας και η εξίσωση 6.7 είναι σε θέση να αποτελέσει ένα καλό μηχανισμό γήρανσης των όρων. Σε κάθε αρνητική ανάδραση του χρήστη, ο μηχανισμός γήρανσης μπορεί να εξασφαλίσει την ελάττωση των συντελεστών βαρύτητας για όλους τους όρους της λίστας ενδιάμεσης αποθήκευσης που εμφανίζονται στην αντίστοιχη ιστοσελίδα. Οι όροι που συμμετέχουν σε θετική ανάδραση του χρήστη επιδοτούνται κατά ανάλογο τρόπο.

Τέλος, είναι προφανές ότι η αναβάθμιση του WebNaut με την υποστήριξη συστήματος ενδιάμεσης αποθήκευσης θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη όλες τις επικεφαλίδες στα μηνύματα HTTP που μεταφέρουν σχετικές με την ενδιάμεση αποθήκευση πληροφορίες. Κατά αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζεται η συνέπεια των αντικειμένων ως προς τα πρωτότυπά τους, που εδρεύουν στον πηγαίο εξυπηρετητή.

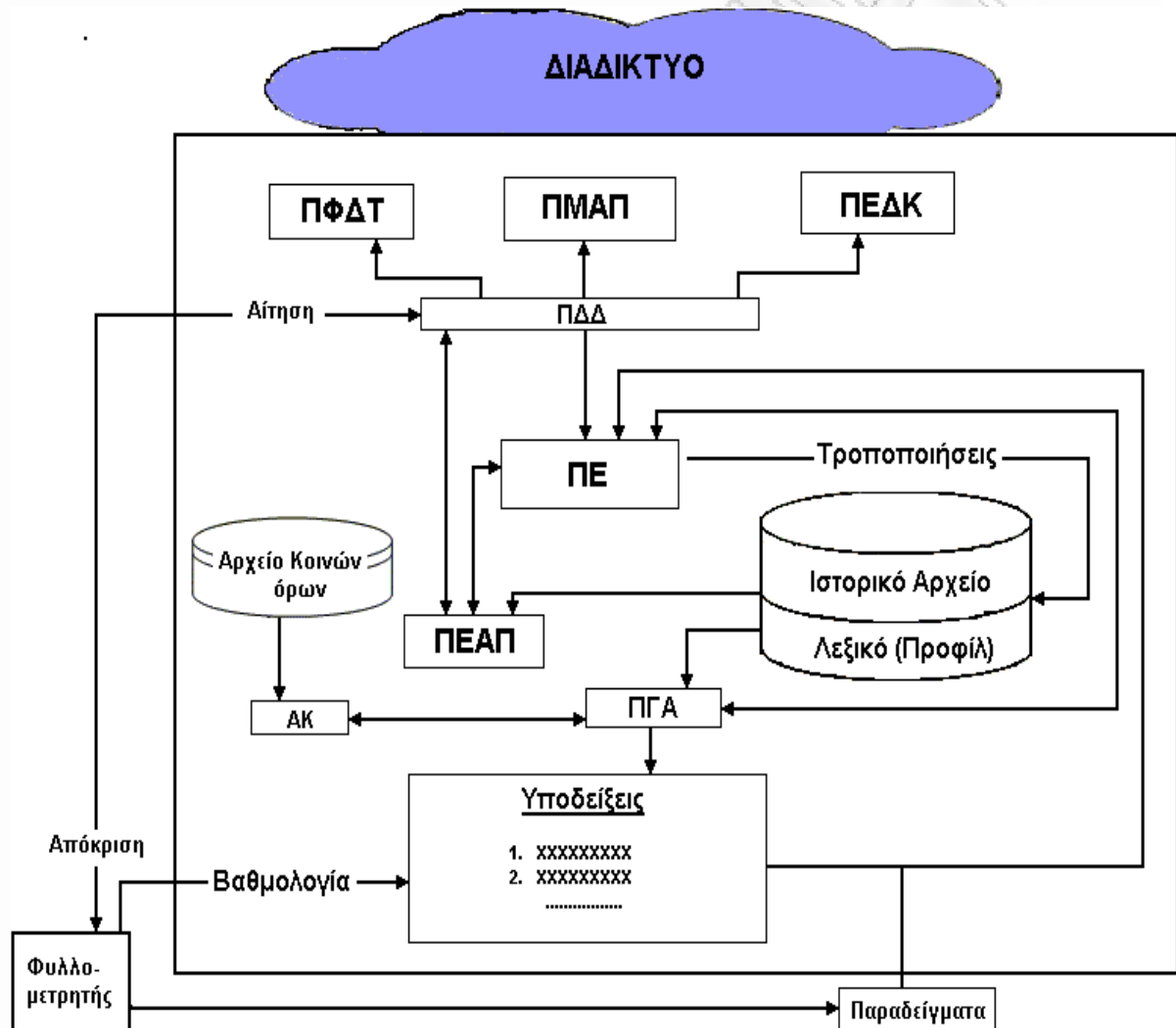
6.5.3 Αξιοποίηση της Λειτουργίας του WebNaut για Προ-Εγκατάσταση βάσει των Υπερ-συνδέσεων

Ύστερα από την αναβάθμιση του WebNaut με την ενσωμάτωση στην αρχιτεκτονική του ενός συστήματος ενδιάμεσης αποθήκευσης για την αποθήκευση είτε όλων, είτε κάποιων από τις ιστοσελίδες που υποδεικνύει ο ΠΕ, μπορεί να λάβει χώρα η αναβάθμισή του με την υποστήριξη ενός συστήματος προ-εγκατάστασης διαδικτυακών αντικειμένων. Ένα τέτοιο σύστημα θα προ-ανακατά και θα αποθηκεύει στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης τις ιστοσελίδες για τις οποίες υπάρχει κάποιος υπερ-σύνδεσμος, που να τις συνδέει με τις ιστοσελίδες που υποδεικνύει ο ΠΕ.

Το προτεινόμενο σύστημα ενδιάμεσης αποθήκευσης θα υλοποιεί έναν πράκτορα πρόβλεψης που να επικεντρώνει στην ανάλυση του κειμένου πάνω και γύρω από τους υπερ-συνδέσμους. Αν η ομοιότητα του εν λόγω κειμένου ως προς το προφίλ του χρήστη είναι υψηλή, τότε ο πράκτορας πρόβλεψης θα πρέπει να προτείνει την προ-εγκατάσταση της ιστοσελίδας-στόχου.

Η προ-εγκατάσταση βάσει των υπερσυνδέσεων στον κώδικα HTML θα πρέπει να πυροδοτείται τη χρονική στιγμή που ο χρήστης επισκέπτεται κάποια ιστοσελίδα που

υποδεικνύει ο ΠΕ. Καθώς, το έγγραφο 'φορτώνεται' στο φυλλομετρητή, ο αναβαθμισμένος WebNaut θα ελέγχει εξονυχιστικά τις υπερσυνδέσεις με στόχο την προ-εγκατάσταση των αντίστοιχων ιστοσελίδων στο ενσωματωμένο σύστημα ενδιάμεσης αποθήκευσης. Ο WebNaut θα πρέπει να διαθέτει τη δυνατότητα, ώστε να προχωρεί σε έλεγχο προ-εγκατάστασης των ιστοσελίδων σε ακόμη μεγαλύτερο βάθος από τις ιστοσελίδες των υποδείξεων.



Σχήμα 6.14. Προτεινόμενη αναβαθμισμένη αρχιτεκτονική του WebNaut με την εισαγωγή του πράκτορα ενδιάμεσης αποθήκευσης και προ-εγκατάστασης (ΠΕΑΠ)

Μια εναλλακτική προσέγγιση είναι η αξιοποίηση της λίστας ενδιάμεσης αποθήκευσης αντί ολόκληρου του προφίλ του χρήστη για τη σύγκριση της ομοιότητας με το κείμενο που σχετίζεται με τις υπερσυνδέσεις. Αυτή η προσέγγιση αναμένεται να είναι περισσότερο συντηρητική, όσον αφορά στην προ-εγκατάσταση των ιστοσελίδων, εξαιτίας του

περιορισμένου συνόλου λέξεων-κλειδιών πάνω στο οποίο γίνεται η σύγκριση. Επιπλέον, δεδομένου ότι η λίστα ενδιάμεσης αποθήκευσης αποσκοπεί στην καλύτερη και ταχύτερη απεικόνιση των αναγίων του χρήστη για πληροφόρηση, η νέα προσέγγιση αναμένεται να παρουσιάζει μεγαλύτερη ακρίβεια στις προβλέψεις.

6.5.4 Υλοποίηση Πράκτορα Ενδιάμεσης Αποθήκευσης & Προ-εγκατάστασης υπό τον WebNaut

Η προτεινόμενη αναβάθμιση του WebNaut, που περιγράψαμε παραπάνω, μπορεί να πραγματοποιηθεί με την υλοποίηση ενός πράκτορα ενδιάμεσης αποθήκευσης και προ-εγκατάστασης (ΠΕΑΠ) και την ολοκλήρωσή του στην αρχιτεκτονική του συστήματος, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να συνεργάζεται με τους υπόλοιπους πράκτορες και να εκμεταλλεύεται τη λειτουργία τους. Στο σχήμα 6.14 προσδιορίζεται η θέση του ΠΕΑΠ στην αρχιτεκτονική του WebNaut και η επικοινωνία του με τους υπόλοιπους πράκτορες του συστήματος. Ο ΠΕΑΠ εκτελεί όλα τα κομμάτια της λειτουργίας ενός ΣΠΕΠ. Δηλαδή, ο ΠΕΑΠ ενσωματώνει τόσο τον πράκτορα πρόβλεψης, όσο και τον πράκτορα προ-εγκατάστασης.

Ο ΠΔΔ επικοινωνεί με τον ΠΕΑΠ προτού στείλει οποιοδήποτε αίτημα HTTP προς το Διαδίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ο έλεγχος του τοπικού συστήματος ενδιάμεσης αποθήκευσης για την ύπαρξη ή όχι του ζητούμενου διαδικτυακού αντικειμένου. Αν υπάρχει ένα ακριβές αντίγραφο του ζητούμενου αντικειμένου στην τοπική μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης, αυτό επιστρέφεται άμεσα στο φυλλομετρητή. Επιπλέον, ο πράκτορας προ-εγκατάστασης, που ανήκει στον ΠΕΑΠ, στέλνει όλα τα αιτήματα για προ-εγκατάσταση προς το Διαδίκτυο διαμέσου του ΠΔΔ.

Ο πράκτορας πρόβλεψης που, επίσης, ανήκει στον ΠΕΑΠ λαμβάνει υπόψη το προφίλ του χρήστη, ενώ αξιοποιεί τις ικανότητες του ΠΕ – ιδιαιτέρως, του αναλυτή κειμένου (ΑΚ) – ώστε να παράγει αντιπροσωπευτικούς όρους για την περιγραφή του κειμένου, που σχετίζεται με τις υπερσυνδέσεις και παραπέμπει στο περιεχόμενο των αντίστοιχων ιστοσελίδων. Αν ο βαθμός ομοιότητας αυτού του κειμένου με το προφίλ του χρήστη είναι υψηλός – δηλαδή, υπερβαίνει κάποιο προκαθορισμένο όριο – τότε ο πράκτορας πρόβλεψης προτείνει στον πράκτορα προ-εγκατάστασης την προ-ανάκτηση και αποθήκευση της ιστοσελίδας όπου παραπέμπει η υπερσύνδεση.

6.6 Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύσαμε την προ-εγκατάσταση που ανήκει στις προ-ενεργητικές τεχνολογίες διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου. Παρουσιάσαμε την ταξινόμηση των συστημάτων προ-εγκατάστασης διαδικτυακού περιεχομένου και αναλύσαμε τις βασικές αρχιτεκτονικές, στις οποίες είναι δομημένα τα δύο κύρια δομικά στοιχεία τους: ο πράκτορας πρόβλεψης και ο πράκτορας προ-εγκατάστασης. Δώσαμε, κυρίως, έμφαση στη λειτουργία των πρακτόρων πρόβλεψης και στις αντίστοιχες τεχνικές που έχουν προταθεί, κατά καιρούς, για την υποστήριξή της.

Από την έρευνά μας πάνω στις τεχνικές πρόβλεψης συμπεράναμε ότι η βιβλιογραφία επικεντρώνει περισσότερο στις τεχνικές που βασίζονται στο ιστορικό των προσπελάσεων – δηλαδή, τους γράφους εξάρτησης και την πρόβλεψη τμηματικής αντιστοιχίας – και λιγότερο σε μηχανισμούς που αξιοποιούν το περιεχόμενο των διαδικτυακών αντικειμένων. Κατά την άποψή μας, τα βαθύτερα αίτια πίσω από αυτό το φαινόμενο μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

Οι τεχνικές πρόβλεψης που βασίζονται στο ιστορικό των προσπελάσεων είναι περισσότερο εφικτές και υλοποιήσιμες σε συστήματα πληρεξούσιων και πηγαίων εξυπηρετητών, οι οποίοι, συνήθως, κρατάνε αναλυτικά ημερολόγια προσπελάσεων, παρέχοντας έτσι όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που απαιτούνται για την ανάπτυξή τους. Αυτό σημαίνει ότι οι τεχνικές πρόβλεψης αυτής της κατηγορίας μπορούν να αξιοποιηθούν ευκολότερα προς όφελος ενός ευρύτερου συνόλου χρηστών. Επιπλέον, η έρευνα και αξιολόγηση τέτοιων τεχνικών είναι το ίδιο προσιτή και απαιτητική με την έρευνα πάνω στις κλασικές εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης, με τη μεθοδολογία της προσομοίωσης να παίζει καθοριστικό ρόλο σε αυτή.

Αντίθετα, η έρευνα πάνω στις τεχνικές πρόβλεψης που αξιοποιούν το περιεχόμενο των διαδικτυακών αντικειμένων είναι περισσότερο απαιτητική. Για παράδειγμα, για την κάλυψη των αναγκών της προσομοίωσης τέτοιων ΣΠΕΠ, εκτός από τα κλασικά αρχεία ιχνών διαδικτυακής δραστηριότητας απαιτείται και η ανάλυση του περιεχομένου όλων των διαδικτυακών αντικειμένων που εμπλέκονται στις συναλλαγές. Αυτό απαιτεί έναν τεράστιο όγκο δεδομένων, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για συστήματα πληρεξούσιων και πηγαίων εξυπηρετητών. Έτσι, η μελέτη και αξιολόγηση αυτών των τεχνικών πρόβλεψης περιορίζονται, κυρίως, για ΣΠΕΠ που λειτουργούν στην πλευρά του πελάτη.

Παρόλα αυτά, η ανάπτυξη τεχνικών πρόβλεψης που αξιοποιούν το περιεχόμενο των διαδικτυακών αντικειμένων έχει ιδιαίτερη σημασία εξαιτίας της ικανότητάς τους να προβλέψουν αντικείμενα, τα οποία δεν έχουν προσπελαστεί στο παρελθόν, κάτι που είναι αδύνατο για τις τεχνικές της άλλης κατηγορίας. Για αυτόν το λόγο, στο δεύτερο μέρος του παρόντος κεφαλαίου επιχειρήσαμε να δώσουμε μια νέα διάσταση και καινούριους ορίζοντες πάνω στην έρευνα αυτών των ΣΠΕΠ. Συγκεκριμένα, προτείνουμε την αξιοποίηση του προφίλ ενδιαφερόντων του χρήστη που μπορεί να κατασκευαστεί, είτε από τις απλές μηχανές αναζήτησης, είτε από περισσότερο ευφρείς πράκτορες ή συστήματα πρακτόρων για την υποβοήθηση στην αναζήτηση του διαδικτυακού περιεχομένου. Πιστεύουμε ότι ο ενεργός ρόλος του χρήστη στη διαμόρφωση του προφίλ μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη ακρίβεια προβλέψεων από ό,τι σε άλλα, ανάλογα ΣΠΕΠ, που έχουν προταθεί μέχρι στιγμής.

Στο πλαίσιο, λοιπόν, αυτής της έρευνάς μας, πραγματοποιήσαμε μια περιπτωσιολογική μελέτη, όπου αναλύσαμε την αρχιτεκτονική και τη λειτουργία του WebNaut, ενός συστήματος πρακτόρων για την υποβοήθηση του χρήστη στη ανεύρεση περιεχομένου που τον ενδιαφέρει. Στη συνέχεια, προτείνουμε την αναβάθμιση του WebNaut με την υλοποίηση ενός πράκτορα ενδιάμεσης αποθήκευσης και προ-εγκατάστασης (ΠΕΑΠ) και την ολοκλήρωσή του στην ευρύτερη αρχιτεκτονική πρακτόρων του συστήματος.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΔΑΛΗ

Κεφάλαιο 7

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

7.1 Συμπεράσματα Διδακτορικής Διατριβής

Οι τεχνολογίες διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου αποτελούν έναν από τους κρισιμότερους τομείς έρευνας πάνω στο Διαδίκτυο, εξαιτίας της χρησιμότητάς τους, η οποία περιγράφεται σε τρία βασικά σημεία:

- Στη μείωση των καθυστερήσεων εξυπηρέτησης, που αντιλαμβάνεται ο τελικός χρήστης.
- Στον περιορισμό της κατανάλωσης σε εύρος ζώνης.
- Στην αποσυμφόρηση των πηγαίων εξυπηρετητών.

Η έρευνα πάνω στις τεχνολογίες διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου αφορά σε μια ευρεία γκάμα επιστημονικών περιοχών. Συγκεκριμένα, η έρευνα πάνω στο αντικείμενο σχετίζεται με το χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής, την προσομοίωση που βασίζεται σε πραγματικά ή τεχνητά αρχεία ιχνών διαδικτυακής δραστηριότητας, καθώς και τις ερευνητικές προσπάθειες που είναι προσανατολισμένες στην επιμέρους θεματολογία, σχετικά με τις αντιδραστικές και προ-ενεργητικές τεχνολογίες διανομής και παράδοσης, δηλαδή τις εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης, τα συστήματα προ-εγκατάστασης και τα εξειδικευμένα δίκτυα διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή πάνω στις τεχνολογίες διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου εμβάθυνε περισσότερο στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση σε επίπεδο εφαρμογής, στη δημιουργία τεχνητής διαδικτυακής δραστηριότητας, στην προσομοίωση και αξιολόγηση της αποδοτικότητας των στρατηγικών αντικατάστασης των αντικειμένων σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού, και στη δυνατότητα ολοκλήρωσης και συνεργασίας των συστημάτων προ-

εγκατάστασης με συστήματα υποβοήθησης του χρήστη στην αναζήτηση του διαδικτυακού περιεχομένου της αρεσκείας του.

Σε πρώτη φάση, πραγματοποιήσαμε μια εκτεταμένη βιβλιογραφική μελέτη, όσον αφορά στο χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση των σύγχρονων διαδικτυακών εφαρμογών, που θεωρούνται ότι καταπονούν τις διαδικτυακές υποδομές, εξαιτίας του κυκλοφοριακού που παράγουν. Μέσα από αυτήν τη μελέτη, εξοπλίσαμε τον επίδοξο ερευνητή με όλη την απαραίτητη γνώση που πρέπει να διαθέτει, ώστε να πραγματοποιήσει τα δικά του πειράματα χαρακτηρισμού και μοντελοποίησης.

Συγκεκριμένα, αναλύσαμε διεξοδικά το σύνολο της βιβλιογραφίας σχετικά με το χαρακτηρισμό και τη μοντελοποίηση του παγκοσμίου ιστού, των δικτυακών πολυμεσιών εφαρμογών, των εφαρμογών ομότιμων δικτύων για την ανταλλαγή αρχείων και των διαδικτυακών παιχνιδιών. Αυτή η βιβλιογραφική έρευνα μας οδήγησε στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μια ποικιλία μοντέλων, που μπορεί να περιγράψει τα βασικά χαρακτηριστικά της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής. Επιπλέον, αν και πολλές έρευνες συμφωνούν ως προς τη μοντελοποίηση κάποιων χαρακτηριστικών της διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής, υπάρχουν μελέτες που οδηγούνται σε εντελώς διαφορετικά συμπεράσματα.

Τα παραπάνω συμπεράσματα, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι σύγχρονες μηχανές παραγωγής τεχνητών διαδικτυακών φόρτων σε επίπεδο εφαρμογής στηρίχθηκαν αποκλειστικά σε συγκεκριμένες μελέτες χαρακτηρισμού και μοντελοποίησης, συνηγορούν στην ανάγκη σχεδιασμού και υλοποίησης μιας γενικευμένης πλατφόρμας για τη δημιουργία τεχνητής δραστηριότητας στο πλαίσιο των διαδικτυακών εφαρμογών. Μια τέτοια πλατφόρμα είναι η SYNTHIA, την οποία σχεδιάσαμε και υλοποιήσαμε στο πλαίσιο αυτής της διατριβής. Οι προδιαγραφές της SYNTHIA προέκυψαν από τις αδυναμίες που διαπιστώσαμε στις υφιστάμενες μηχανές παραγωγής τεχνητών διαδικτυακών φόρτων.

Ως εκ τούτου, η SYNTHIA έχει τη δυνατότητα για γενικευμένη σύνθεση διαδικτυακής δραστηριότητας σε επίπεδο εφαρμογής και είναι σε θέση να προσφέρει συμβατότητα με προηγούμενες μηχανές παραγωγής τεχνητού διαδικτυακού φόρτου, αλλά και δυνατότητα αναβάθμισής τους. Επιπλέον, προσφέρει τη δυνατότητα αναβάθμισης και επέκτασης, ώστε να μπορεί να υποστηρίξει όλες τις νέες και καινοτόμες εφαρμογές, που εμφανίζονται στο Διαδίκτυο. Ανάμεσα στα πλεονεκτήματά της είναι, επίσης, η ευελιξία και η προσαρμοστικότητα στα συνεχώς μεταβαλλόμενα μοντέλα και στις τάσεις που περιγράφουν

το Διαδίκτυο, σήμερα. Τέλος, μπορεί να λειτουργεί κάτω από διαφορετικές πλατφόρμες και λειτουργικά συστήματα – δηλαδή, MS Windows, Linux, MacOS, κλπ. – παρέχοντας στο χρήστη μια εύχρηστη, διαδραστική διεπαφή.

Πραγματοποιήσαμε την τεκμηρίωση της ορθής λειτουργίας της στατιστικής βιβλιοθήκης της SYNTHIA και συμπεράναμε ότι είναι σε θέση να αναπαράγει με μεγάλη ακρίβεια τα μοντέλα στα οποία ενδέχεται να καταλήξει η έρευνα.

Σε δεύτερη φάση, η έρευνα της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής μετατοπίστηκε στις στρατηγικές αντικατάστασης περιεχομένου σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού. Πρόκειται για ένα αντικείμενο που απασχόλησε την επιστημονική κοινότητα σε μεγάλο βαθμό την τελευταία δεκαπενταετία. Η απόφαση, για το ποια αντικείμενα του παγκοσμίου ιστού θα πρέπει να αντικατασταθούν στην ασφυκτικά γεμάτη μνήμη της από άλλα νεο-εισερχόμενα, είναι ένας κρίσιμος παράγοντας, που καθορίζει τις επιδόσεις μιας εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης. Η βιβλιογραφία βρίθει από προτάσεις σχετικά με αλγορίθμους – δηλαδή στρατηγικές – που μπορούν να οδηγήσουν σε καλύτερες επιδόσεις, με αποτέλεσμα να επικρατήσει, τελικά, μια σύγχυση ως προς την καλύτερη στρατηγική. Στο τέλος, η ανυπαρξία μιας στρατηγικής, που να είναι σε θέση να βελτιστοποιήσει ταυτόχρονα τους βασικούς δείκτες επίδοσης, ανεξάρτητα από το μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, δεν έδωσε μια ξεκάθαρη εικόνα και λύση στο πρόβλημα.

Για να δώσουμε, λοιπόν, μια εφικτή και χρήσιμη λύση στο πρόβλημα της αναζήτησης των αντικειμενικά καλύτερων στρατηγιών, θα έπρεπε να αναπτύξουμε ένα εργαλείο προσομοίωσης, το οποίο να υποστηρίζει, αν όχι όλες, τότε τις περισσότερες και κυριότερες στρατηγιές αντικατάστασης περιεχομένου σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού. Έτσι, προχωρήσαμε στην αναβάθμιση του προσομοιωτή εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης του Wisconsin, ο οποίος στην αναβαθμισμένη του, πλέον, έκδοση περιέχει τη μεγαλύτερη και πλουσιότερη βάση στρατηγιών αντικατάστασης περιεχομένου.

Η επιλογή του προσομοιωτή του Wisconsin βασίστηκε σε κάποια επιθυμητά του χαρακτηριστικά, που θέσαμε στις προδιαγραφές, όπως η ευκολία στην αναβάθμιση, η ικανότητά του να επικεντρώνει κυρίως στη δραστηριότητα σε επίπεδο εφαρμογής και η ικανότητά του να προσομοιώνει μια ποικιλία υπαρχόντων και προτεινόμενων στρατηγιών αντικατάστασης περιεχομένου. Τα κυριότερα στοιχεία που προσθέσαμε, στο πλαίσιο της

αναβάθμισης του προσομοιωτή, ήταν η υποστήριξη των στρατηγικών αντικατάστασης περιεχομένου του παγκοσμίου ιστού, οι οποίες βασίζονται στην τυχαία επιλογή, η εξασφάλιση προτεραιοτήτων στην αλληλουχία των αποκρίσεων, η δημιουργία μιας διαδραστικής διεπαφής για επικοινωνία με το χρήστη, η ανάπτυξη ενός μηχανισμού κάτω υδατοσήμου – κατά τα πρότυπα του Squid – για μείωση του χρόνου προσομοίωσης, κυρίως, των πολυπλοκότερων στρατηγικών και η ανάπτυξη ενός μηχανισμού προθέρμανσης της προσομοίωσης, ώστε να εξασφαλίζεται η ενημέρωση των δεικτών επίδοσης μόνο για τις περιόδους ομαλής λειτουργίας της προσομοιωμένης εφαρμογής ενδιάμεσης αποθήκευσης. Μια σειρά πειραμάτων, που πραγματοποιήσαμε, έδειξε ότι οι δύο τελευταίοι μηχανισμοί είναι εντελώς ουδέτεροι και δεν επηρεάζουν καθόλου τη διαδικασία της συγκριτικής αξιολόγησης των στρατηγικών.

Στη συνέχεια, κάναμε την παραδοχή ότι οι καλύτερες στρατηγιές είναι οι αποδοτικότερες, δηλαδή αυτές που εμφανίζουν τις καλύτερες δυνατές επιδόσεις – σε όρους δείκτη επιτυχίας (HR) και δείκτη επιτυχίας σε μονάδες πληροφορίας (BHR) – με το λιγότερο δυνατό κόστος – σε όρους μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης. Έτσι, επικεντρωθήκαμε στην αναζήτηση των πραγματικά αποδοτικών στρατηγικών αντικατάστασης περιεχομένου σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού. Για να επιτύχουμε αυτόν το στόχο, καταφύγαμε στη δοκιμασμένη, από την επιχειρησιακή έρευνα, μεθοδολογία της περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων (ΠΑΔ), την οποία την αξιοποιήσαμε ως ένα συμπληρωματικό εργαλείο της προσομοίωσης.

Το κομμάτι της προσομοίωσης βασίστηκε στην αναβαθμισμένη έκδοση του προσομοιωτή εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης του Wisconsin. Χρησιμοποιήσαμε αρχεία ιχνών που παρέπεμπαν τόσο στη δραστηριότητα στα πρώτα χρόνια λειτουργίας, όσο και στη σύγχρονη δραστηριότητα του παγκοσμίου ιστού. Για όσες στρατηγιές ήταν σε μεγάλο βαθμό παραμετροποιημένες, ενώ στα αρχικά πειράματά μας χρησιμοποιήσαμε εκείνες τις τιμές των παραμέτρων που προτείνονται στη βιβλιογραφία, στη συνέχεια, χρησιμοποιήσαμε εκείνες τις τιμές των παραμέτρων, που οδηγούσαν στα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα σε όρους HR και BHR. Κατά αυτόν τον τρόπο, επιτρέψαμε στην κάθε στρατηγική να αξιολογηθεί από την ΠΑΔ, κάτω από τις καλύτερες δυνατές προϋποθέσεις. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων προσομοίωσης αξιοποιήθηκαν στην περαιτέρω αξιολόγηση της αποδοτικότητας των στρατηγικών με χρήση της ΠΑΔ.

Ακολουθήσαμε δύο τεχνικές, όσον αφορά στην αξιολόγηση της αποδοτικότητας των στρατηγιών. Στην πρώτη τεχνική, οι στρατηγιές ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με το μέγεθος της μνήμης της ενδιάμεσης αποθήκευσης και προβήκαμε στην επίλυση του προβλήματος της αποδοτικότητας για κάθε κατηγορία. Στην αρχική αντιμετώπιση του προβλήματος, με αρχεία ιχνών που αφορούσαν στη δραστηριότητα στα πρώτα στάδια της λειτουργίας του παγκοσμίου ιστού, χρησιμοποιήσαμε ένα προσανατολισμένο στις εκροές μοντέλο της ΠΑΔ, όπου η συνάρτηση παραγωγής ακολουθεί κλίμακα μεταβλητών αποδόσεων. Αξιολογήσαμε 29 στρατηγιές και εκδοχές στρατηγιών αντικατάστασης περιεχομένου. Το μοντέλο ΠΑΔ ανέδειξε ως αποδοτικές τις στρατηγιές PSS, MIX και GDF(1), η οποία είναι γνωστή και ως LFU-DA.

Ακολουθώντας την ίδια τεχνική, επαναλάβουμε τα πειράματα αξιοποιώντας ένα αντίστοιχο μοντέλο υπερ-αποδοτικότητας της ΠΑΔ, επιδιώκοντας να αποκτήσουμε μια περαιτέρω και εις βάθος ταξινόμηση των πραγματικά αποδοτικών στρατηγιών. Αυτήν τη φορά, αυξήσαμε κατά πολύ το σύνολο των υπό αξιολόγηση μονάδων λήψης απόφασης (ΜΛΑ), οι οποίες έφθασαν τις 45 στρατηγιές και εκδοχές στρατηγιών. Επιπλέον, λάβαμε υπόψη αρχεία ιχνών, που αφορούσαν στη σύγχρονη διαδικτυακή δραστηριότητα του παγκοσμίου ιστού. Τελικά, το αναβαθμισμένο μοντέλο ΠΑΔ ανέδειξε τις στρατηγιές gGDSF(1) – που είναι μια γενικευμένη μορφή της GDSF(1), η οποία δίνει έμφαση στη συχνότητα ζήτησης των αντικειμένων – και LRU-SP – που αποτελεί μια αναβάθμιση της PSS, με την εισαγωγή, επίσης, του παράγοντα της δημοτικότητας – οι οποίες μπορεί να θεωρηθούν ως πρότυπα λειτουργίας και σύγκρισης, αλλά και ως δύο καλές επιλογές για υλοποίηση σε πραγματικές εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης. Από τις λύσεις που προτείνονται στα πραγματικά συστήματα ενδιάμεσης αποθήκευσης, η GDSF(1) αποτελεί μια καλή επιλογή ως προς την αποδοτικότητά της, όταν αντιμετωπίζει τη σύγχρονη δραστηριότητα του παγκοσμίου ιστού.

Στη δεύτερη τεχνική, εκτελέσαμε το μοντέλο ΠΑΔ καθολικά για όλα τα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, ώστε να επιτρέψουμε στην κάθε στρατηγική να ανταγωνιστεί τον εαυτό της στα διαφορετικά μεγέθη μνήμης. Χρησιμοποιήσαμε ένα προσανατολισμένο στις εκροές μοντέλο της ΠΑΔ, όπου η συνάρτηση παραγωγής ακολουθεί κλίμακα μεταβλητών αποδόσεων. Σε αυτήν τη σειρά των πειραμάτων, αξιοποιήσαμε τόσο τα παλιά, όσο και τα σύγχρονα αρχεία ιχνών, και λάβαμε υπόψη το σύνολο των 45 στρατηγιών. Η τεχνική αυτή δεν κατάφερε να αναδείξει κάποιες συγκεκριμένες

στρατηγικές, που να είναι αποδοτικές για όλα τα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, κυρίως για τη σύγχρονη δραστηριότητα του παγκοσμίου ιστού. Απλώς, κατάφερε να αναδείξει συγκεκριμένες ΜΛΑ, δηλαδή στρατηγικές που να λειτουργούν αποδοτικά για συγκεκριμένη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Και οι δύο τεχνικές, που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της αποδοτικότητας των στρατηγιών, ανέδειξαν την καθοριστική επίδραση του πολύ μεγάλου μεγέθους της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης – τουλάχιστον όσον αφορά στα πειράματα, που βασίζονται στα πεπερασμένους μεγέθους αρχεία ιχνών δραστηριότητας του παγκοσμίου ιστού – στη λειτουργία των εφαρμογών ενδιάμεσης αποθήκευσης, που ακολουθούν κάποια στρατηγική για αντικατάσταση περιεχομένου. Συγκεκριμένα, έδειξαν ότι η παρουσία μεγάλης ποσότητας μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης μπορεί να καταστήσει αποδοτικό ένα μεγάλο αριθμό στρατηγιών, εξαιτίας του θορύβου που παράγεται στα αποτελέσματα, ο οποίος εμποδίζει τις στρατηγικές να επιδείξουν τις ποιοτικές διαφορές και τις ικανότητές τους.

Τέλος, η ΠΑΔ επέδειξε την απόλυτη συνέπεια, όσον αφορά στην ανάδειξη των αποδοτικών στρατηγιών με βάση τις δύο διαφορετικές τεχνικές.

Στο τρίτο μέρος της διατριβής, επικεντρωθήκαμε στις προ-ενεργητικές τεχνολογίες διανομής και παράδοσης και συγκεκριμένα στα συστήματα προ-εγκατάστασης του διαδικτυακού περιεχομένου. Αφού παρουσιάσαμε τα δομικά στοιχεία αυτών των συστημάτων και τις πιθανές αρχιτεκτονικές, στις οποίες αυτά είναι οργανωμένα, δώσαμε έμφαση στις τεχνικές πρόβλεψης, που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη της προ-εγκατάστασης. Η γενικότερη εντύπωση που αποκομίσαμε είναι πως η βιβλιογραφία επικεντρώνει περισσότερο στις τεχνικές πρόβλεψης που βασίζονται στο ιστορικό των προσπελάσεων και λιγότερο σε μηχανισμούς που αξιοποιούν το περιεχόμενο των διαδικτυακών αντικειμένων. Τα βαθύτερα αίτια πίσω από αυτό το φαινόμενο έχουν να κάνουν με την ευκολία τόσο στην ανάπτυξη, όσο και στην αξιολόγηση των τεχνικών πρόβλεψης της πρώτης κατηγορίας, από ό,τι αυτών της δεύτερης.

Η δυνατότητα για πρόβλεψη και προ-εγκατάσταση διαδικτυακών αντικειμένων, τα οποία δεν έχουν προσπελαστεί στο παρελθόν, αποτέλεσε ένα ισχυρό κίνητρο, ώστε να ασχοληθούμε με τις τεχνικές πρόβλεψης, που αξιοποιούν το περιεχόμενο των διαδικτυακών αντικειμένων. Έτσι, προτείναμε την αξιοποίηση του προφίλ ενδιαφερόντων του χρήστη που μπορεί να κατασκευαστεί, είτε από τις απλές μηχανές αναζήτησης, είτε από περισσότερο

ευφείς πράκτορες ή συστήματα πρακτόρων για την υποβοήθηση στην αναζήτηση του διαδικτυακού περιεχομένου. Πιστεύουμε ότι ο ενεργός ρόλος του χρήστη στη διαμόρφωση του προφίλ μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη ακρίβεια προβλέψεων από ό,τι συμβαίνει σε άλλα συστήματα προ-εγκατάστασης περιεχομένου αυτής της κατηγορίας, που έχουν προταθεί μέχρι στιγμής.

Στα πλαίσια, λοιπόν, αυτής της έρευνάς μας, πραγματοποιήσαμε μια περιπτωσιολογική μελέτη, όπου αναλύσαμε την αρχιτεκτονική και τη λειτουργία του WebNaut, ενός συστήματος πρακτόρων για την υποβοήθηση του χρήστη στη ανεύρεση περιεχομένου που τον ενδιαφέρει. Στη συνέχεια, προτείναμε την αναβάθμιση του WebNaut με την υλοποίηση ενός πράκτορα ενδιάμεσης αποθήκευσης και προ-εγκατάστασης και την ολοκλήρωσή του στην ευρύτερη αρχιτεκτονική πρακτόρων του συστήματος.

7.2 Μελλοντική Έρευνα

Η αναβάθμιση της SYNTHIA, αλλά και του προσομοιωτή του Wisconsin, αναμένεται να αποτελέσουν δύο βασικούς άξονες δραστηριοποίησης, όσον αφορά στην μελλοντική μας έρευνα, πάνω στην υποστήριξη των τεχνολογιών διανομής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου. Ο στόχος μας, σχετικά με τη SYNTHIA, είναι η συνεχής ενημέρωσή της πάνω σε ό,τι νέο μοντέλο προκύψει στο μέλλον, με την αναβάθμιση της στατιστικής της βιβλιοθήκης, καθώς και η υποστήριξη επιπρόσθετων διαδικτυακών εφαρμογών, όπως, για παράδειγμα, των εφαρμογών ομότιμων δικτύων στην ανταλλαγή αρχείων.

Όσον αφορά στην αναβάθμιση του προσομοιωτή του Wisconsin, αυτή θα προσανατολιστεί στα ακόλουθα σημεία:

- Στην ενημέρωση της βάσης με τις στρατηγικές αντικατάστασης περιεχομένου, με την προσθήκη νέων αλγορίθμων. Σε αυτούς συμπεριλαμβάνονται και οι αλγόριθμοι που σχετίζονται με εξειδικευμένες στρατηγικές αντικατάστασης που έχουν προταθεί για άλλες εφαρμογές, εκτός του παγκοσμίου ιστού, όπως, για παράδειγμα, στα ομότιμα δίκτυα [Wier04].
- Στη δημιουργία των απαραίτητων υποδομών για την υποστήριξη στρατηγικών, που αντικαθιστούν τα αντικείμενα, λαμβάνοντας υπόψη πολλαπλά κλειδιά με την αξιοποίηση των τριαδικών δέντρων, όπως στον προσομοιωτή των Cardenas et al [Card04].

- Στη δημιουργία ενός γενικευμένου και ολοκληρωμένου μηχανισμού τυχαιοποίησης των στρατηγικών αντικατάστασης, σύμφωνα με τη μεθοδολογία των Psounis και Prabhakar [Psou01, Psou02], ώστε να μειώνεται η πολυπλοκότητά τους στο ελάχιστο. Προς το παρόν, αυτός ο μηχανισμός έχει υλοποιηθεί μόνο για τη στρατηγική MIX, με αποτέλεσμα να προκύψει η τυχαιοποιημένη έκδοσή της RAND-MIX.
- Στην παροχή της δυνατότητας παρακολούθησης των διαφόρων στιγμιότυπων της προσομοίωσης, κατά τα πρότυπα του προσομοιωτή WebCASE [Zha99a]. Κατά αυτόν τον τρόπο, ο χρήστης θα μπορεί να παρακολουθεί τη διαμόρφωση των τιμών των δεικτών επίδοσης σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή.
- Στην προσθήκη ενός ενιαίου μηχανισμού απόφασης (Placement Policy) για την εισαγωγή, ή όχι, των αντικειμένων στη μνήμη ενδιάμεσης αποθήκευσης.
- Στην υποστήριξη και τη μελέτη διαφόρων αρχιτεκτονικών από πληρεξούσιους εξυπηρετητές που τρέχουν εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης.
- Στην υποστήριξη και τη μελέτη εφαρμογών προ-εγκατάστασης περιεχομένου, που να συνεργάζονται με τις εφαρμογές της ενδιάμεσης αποθήκευσης.
- Στην αναβάθμιση της διαδραστικής διεπαφής του χρήστη, ώστε να γίνει ακόμη πιο φιλική προς αυτόν. Η δημιουργία ενός σύγχρονου παραθυρικού περιβάλλοντος θα κάνει πιο ευχάριστο το χειρισμό του προσομοιωτή από το χρήστη.
- Στην ολοκλήρωση και ενσωμάτωση του προσομοιωτή, με τη SYNTHIA, σε μια γενικευμένη και ολοκληρωμένη πλατφόρμα έρευνας πάνω σε τεχνολογίες διαμονής και παράδοσης του διαδικτυακού περιεχομένου.

Η επίτευξη των δύο τελευταίων στόχων προϋποθέτει την κωδικοποίηση του προσομοιωτή σε γλώσσα προγραμματισμού Java, δεδομένου ότι η γλώσσα, στην οποία είναι ήδη κωδικοποιημένος, αδυνατεί να υποστηρίξει παραθυρικά περιβάλλοντα εργασίας του χρήστη. Επιπλέον, η SYNTHIA είναι κωδικοποιημένη εξ ολοκλήρου σε γλώσσα προγραμματισμού Java.

Όσον αφορά στην αξιολόγηση της αποδοτικότητας των στρατηγικών αντικατάστασης των αντικειμένων του παγκοσμίου ιστού, με χρήση της περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων, προέχει η δημιουργία ενός μοντέλου που να λαμβάνει υπόψη του τη χρονική και χωρική

πολυπλοκότητά τους. Το νέο μοντέλο ΠΑΔ θα μας βοηθήσει να κατανοήσουμε τις πραγματικές διαστάσεις του προβλήματος. Έτσι, θα αποκτήσουμε τη δυνατότητα για μια ανάλυση των στρατηγιών σε βάθος, σε σύγκριση με τις προηγούμενες έρευνες, που αναλώθηκαν αποκλειστικά σε μια επιφανειακή αναζήτηση των κορυφαίων επιδόσεων, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη το κόστος, σε συνδυασμό με τις δυσκολίες, που θέτει το ευρύτερο περιβάλλον, στο οποίο καλούνται να λειτουργήσουν οι εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης. Τα συμπεράσματα, που θα εξαχθούν από την αξιοποίηση του νέου μοντέλου ΠΑΔ, θα μας δώσουν μια σφαιρική αντίληψη σχετικά με τις δυνατότητες των διαφόρων αλγορίθμων που έχουν προταθεί, από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, μέχρι και σήμερα.

Ένας, επιπλέον, ενδιαφέρον τομέας για έρευνα αφορά στην αναζήτηση μιας πραγματικά πρωταθλήτριας στρατηγικής, η οποία να είναι σε θέση να δώσει τις βέλτιστες τιμές για όλα τα εξεταζόμενα μεγέθη μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, στα διάφορα αρχεία ιχνών δραστηριότητας. Οι αποδοτικές στρατηγιές, στις οποίες καταλήξαμε με χρήση του μοντέλου ΠΑΔ, μπορούν να αποτελέσουν τη μαγιά για τη σύνθεση αυτής της στρατηγικής. Η ίδια η ΠΑΔ μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο προς την επίτευξη αυτού του στόχου, δεδομένης της ικανότητάς της να ξεχωρίζει τις στρατηγιές, που δίνουν βέλτιστες τιμές στους δείκτες επίδοσης.

Η περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων μπορεί, επίσης, να αξιοποιηθεί στη γενικότερη αξιολόγηση της αποδοτικότητας των συστημάτων ενδιάμεσης αποθήκευσης, λαμβάνοντας υπόψη και άλλες, επιπρόσθετες παραμέτρους λειτουργίας τους, εκτός από τις στρατηγιές αντικατάστασης αντικειμένων. Για παράδειγμα, το πρόβλημα θα μπορούσε να γενικευτεί, ώστε να συμπεριλάβει τυχόν εφαρμογές προ-εγκατάστασης – που, όπως είδαμε, είναι αλγόριθμοι που διαθέτουν πολυπλοκότητα – που να ενσωματώνονται στο σύστημα ενδιάμεσης αποθήκευσης.

Επιπλέον, θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε την ΠΑΔ και να επικεντρώσουμε αποκλειστικά στη μελέτη της αποδοτικότητας των διαφορετικών αλγορίθμων, που έχουν κατά καιρούς προταθεί, για προ-εγκατάσταση περιεχομένου σε μνήμες ενδιάμεσης αποθήκευσης. Συγκριτικά με τις στρατηγιές αντικατάστασης, οι αλγόριθμοι προ-εγκατάστασης διαφέρουν ως προς την ποικιλομορφία των δεικτών επίδοσής τους. Οι Domenech et al [Dom06a] διεξήγαγαν μια λεπτομερή και εμπεριστατωμένη μελέτη σχετικά με τις διαφορετικές κατηγορίες των δεικτών επίδοσης, που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην έρευνα των αλγορίθμων προ-εγκατάστασης του διαδικτυακού περιεχομένου. Ως εκ

τούτου, η αξιοποίηση της ΠΑΔ θα μπορούσε να δώσει μια πολύ ξεκάθαρη εικόνα ως προς τους αποδοτικούς αλγόριθμους.

Όσον αφορά στην ανάπτυξη προσωπικών συστημάτων προ-εγκατάστασης περιεχομένου, που να βασίζονται στο προφίλ, στη διαμόρφωση του οποίου συμμετέχει ενεργά ο χρήστης, προσανατολιζόμαστε στο σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός πράκτορα προ-εγκατάστασης, ο οποίος να ενεργοποιείται, όταν ο χρήστης χρησιμοποιεί κάποια μηχανή αναζήτησης στο Διαδίκτυο. Ο πράκτορας προ-εγκατάστασης θα πρέπει να είναι σε θέση να εντοπίζει τη χρήση μιας μηχανής αναζήτησης από το χρήστη, να ανακτά τις λέξεις-κλειδιά σχηματίζοντας το τρέχον προφίλ του χρήστη και να αποφορτώνει αντικείμενα που ενδέχεται να ενδιαφέρουν το χρήστη.

Τα βασικά αίτια πίσω από αυτή μας την επιλογή είναι τα εξής: Οι μηχανές αναζήτησης αποτελούν ένα μέσο, στο οποίο ο χρήστης δηλώνει άμεσα τα τρέχοντα ενδιαφέροντα του, με τη μορφή λέξεων-κλειδιών. Πιστεύουμε ότι αυτή η γνώση των άμεσων ενδιαφερόντων του χρήστη, την οποία μεταφέρει στο σύστημα, εμμέσως, ο ίδιος ο χρήστης, μπορεί να βελτιώσει κατά πολύ την ακρίβεια των προβλέψεων, σε σύγκριση με το σύστημα προ-εγκατάστασης που προτάθηκε από τον Davison [Dav02a]. Επιπλέον, ένα μεγάλο μέρος των δικτυακών τόπων έχουν ενσωματωμένες μηχανές αναζήτησης για την κάλυψη των πληροφοριακών αναγκών των επισκεπτών τους.

Υπάρχουν δύο εναλλακτικοί τρόποι για την υλοποίηση του εν λόγω πράκτορα προ-εγκατάστασης. Ο πρώτος τρόπος θέλει τον πράκτορα να είναι συνδεδεμένος με μια εφαρμογή πληρεξουσίου στο μηχάνημα του χρήστη, από όπου να περνά το κυκλοφοριακό HTTP. Σε αυτήν την περίπτωση, όλο το πρόγραμμα (πληρεξούσιος και πράκτορας προ-ανάκτησης) μπορεί να φτιαχτεί σε κάποια γλώσσα προγραμματισμού που υποστηρίζει δικτυακές εφαρμογές. Η Java είναι μια καλή λύση. Ο δεύτερος τρόπος αντιμετώπισης θέλει τον πράκτορα προ-ανάκτησης να προσαρμόζεται απευθείας στον φυλλομετρητή, ο οποίος, προφανώς, θα πρέπει να είναι ανοικτού κώδικα. Σε αυτήν την περίπτωση, όπου ο φυλλομετρητής μάλλον θα είναι ο mozilla firefox, είναι απαραίτητη η γνώση σχετικά με τη δημιουργία πρόσθετων εργαλείων (add-ons).

Παράρτημα Α

ΜΟΡΦΟΚΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΟΜΟΙΟΤΗΤΑ

Γενικά, η μορφοκλασματική ομοιότητα είναι ένα χαρακτηριστικό των μορφοκλασματικών σχημάτων και προσδιορίζει την ικανότητά τους να διατηρούν τα βασικά χαρακτηριστικά τους κάτω από διαφορετικές κλίμακες ανάλυσης. Οποτεδήποτε αντιμετωπίζουμε τη διαδικτυακή δραστηριότητα, σε οποιοδήποτε επίπεδο ανάλυσης (δηλαδή, σύνδεσης, δικτύου, μεταφοράς και εφαρμογής), ως ένα γεγονός που εξελίσσεται σε συνάρτηση του χρόνου, δηλαδή ως μια χρονολογική σειρά (Time Series) – η μορφοκλασματική ομοιότητα υποδηλώνει ότι οι παρατηρούμενες κατανομές και τα λοιπά στατιστικά χαρακτηριστικά παραμένουν ακριβώς τα ίδια και μπορούν να περιγράψουν αποτελεσματικά τις απότομες διακυμάνσεις του κυκλοφοριακού, για όλες τις χρονικές κλίμακες στις οποίες γίνεται η έρευνα.

Είναι γνωστό ότι οι μορφοκλασματικές διαδικασίες επιδεικνύουν εξάρτηση μεγάλου εύρους (Long-Range Dependence), δηλαδή, οι τιμές των στατιστικών χαρακτηριστικών τους σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή συσχετίζονται θετικά με τις τιμές τους σε όλες τις άλλες μελλοντικές στιγμές. Αυτό σημαίνει ότι, η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης (Autocorrelation Function) – δηλαδή, η συνάρτηση που προσδιορίζει τους συσχετισμούς ανάμεσα στα γεγονότα σε διαφορετικά χρονικά σημεία – για τις μορφοκλασματικές διαδικασίες αποτελεί κατανομή ενισχυμένου άκρου και ακολουθεί το νόμο της δύναμης – όπως περιγράφεται από την εξίσωση 2.17, του δεύτερου κεφαλαίου, του παρόντος – με την παράμετρο μορφοποίησης a να ανήκει στο σύνολο $(0,1)$ [Cron97].

Η ύπαρξη της μορφοκλασματικής ομοιότητας στη δραστηριότητα του παγκοσμίου ιστού έχει παρατηρηθεί σε μια σειρά από έρευνες [Abd97, Cron97]. Οι Cronvella και Bestavros [Cron97] προβλέπουν ότι, όσο εντείνεται το κυκλοφοριακό στα δικτυακά περιβάλλοντα, η μορφοκλασματική ομοιότητα αναμένεται να είναι ακόμα εντονότερη και την αποδίδουν σε δύο παράγοντες:

- Κυρίως, στο ενισχυμένο άκρο της κατανομής του μεγέθους των αντικειμένων.

- Στην κατανομή των νεκρών χρονικών διαστημάτων μεταξύ των μεταφορών, και αποκλειστικά αυτών που οφείλονται στη συμπεριφορά των χρηστών, αλλά εξαιτίας του λιγότερο ενισχυμένου άκρου τους, ο ρόλος τους είναι υποβαθμισμένος.

Περισσότερες λεπτομέρειες πάνω στη μορφολογική ομοιότητα σε σχέση με τη διαδικτυακή δραστηριότητα και τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η εκτίμησή της δίνονται στην εργασία των Tutsch et al [Tuts08]. Μεταξύ άλλων, οι Tutsch et al παραθέτουν μια πλούσια βιβλιογραφία σχετικά με την εκτίμηση της μορφολογικής ομοιότητας σε διάφορα επίπεδα της διαδικτυακής δραστηριότητας. Κυρίως, όμως, επικεντρώνουν στην εκτίμηση της μορφολογικής ομοιότητας για τη διαδικτυακή δραστηριότητα, που παράγεται από το δίκτυο ομότιμων μηχανών Gnutella.

Παράρτημα Β

ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζονται οι αναλυτικοί πίνακες αποδοτικότητας, στους οποίους κατέληξε το λογισμικό EMS, που χρησιμοποιήθηκε κατά την αξιολόγηση των στρατηγικών αντικατάστασης περιεχομένου σε εφαρμογές ενδιάμεσης αποθήκευσης του παγκοσμίου ιστού, στο κεφάλαιο 5: «Αξιολόγηση των Στρατηγικών Αντικατάστασης Περιεχομένου του Παγκοσμίου Ιστού με Χρήση της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων».

Στο παράρτημα αυτό, παρουσιάζονται οι πίνακες που αφορούν στην αποδοτικότητα των στρατηγικών, όπως προέκυψαν από τις δύο διαφορετικές τεχνικές ΠΑΔ, που ακολουθήσαμε στο κεφάλαιο 5. Σε όλους τους πίνακες του παραρτήματος, οι ΜΛΑ παρουσιάζονται ταξινομημένες από τις αποδοτικές προς τις λιγότερο αποδοτικές. Δεδομένου ότι χρησιμοποιούμε το προσανατολισμένο στις εκροές μοντέλο BCC της ΠΑΔ, οι μη αποδοτικές ΜΛΑ παρουσιάζουν τιμές μεγαλύτερες από τη μονάδα (δηλαδή 100%), όσον αφορά στο δείκτη αποδοτικότητας.

Ο κάθε πίνακας παρουσιάζει τη μονάδα λήψης απόφασης (ΜΛΑ), το δείκτη αποδοτικότητας, το συντελεστή βαρύτητας της μοναδικής εισροής που είναι το μέγεθος της μνήμης ενδιάμεσης αποθήκευσης, και τους συντελεστές βαρύτητας των δύο εκροών, δηλαδή του δείκτη επιτυχίας (HR) και του δείκτη επιτυχίας σε μονάδες πληροφορίας (BHR).

Τεχνική 1: Ομαδοποίηση Στρατηγικών κατά Μέγεθος Μνήμης Ενδιάμεσης Αποθήκευσης

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ: UC

A/A	ΜΛΑ	Δ.Α.	Σ.Β.ΕΙΣ. (ΜΝΗΜΗ)	Σ.Β.ΕΚ. (HR)	Σ.Β.ΕΚ. (BHR)	A/A	ΜΛΑ	Δ.Α.	Σ.Β.ΕΙΣ. (ΜΝΗΜΗ)	Σ.Β.ΕΚ. (HR)	Σ.Β.ΕΚ. (BHR)
ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 3%						ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 5%					
1	MIX	99,73%	0	0,24	0,76	37	LRU-C	102,13%	0	0	1
2	gGDSF(packets)	99,95%	0	0,03	0,97	38	LRU-CS	102,18%	0	0	1
3	gGDSF(1)	99,97%	0	1	0	39	GD*(latency)	102,23%	0	0	1
4	M-METRIC	100,00%	0	0	1	40	GDS(latency)	103,04%	0	0	1
5	LRU-SP	100,02%	0	0,58	0,42	41	GDF(latency)	104,35%	0	0	1
6	GDSF(1)	100,03%	0	1	0	42	GDF(packets)	104,51%	0	0	1
7	GD*(1)	100,03%	0	1	0	43	LUV	105,41%	0	0	1
8	GDSF(packets)	100,04%	0	0,16	0,84	44	PART-LRU	106,31%	0	1	0
9	PSS	100,12%	0	1	0	45	LLF	106,61%	0	0	1
10	gGDSF(hops)	100,12%	0	1	0	1	GD*(packets)	99,81%	0	0,13	0,87
11	SLRU	100,15%	0	0	1	2	MIX	99,85%	0	0,33	0,67
12	GDS(1)	100,15%	0	1	0	3	gGDSF(1)	99,97%	0	1	0
13	GDSF(hops)	100,15%	0	1	0	4	LRU-SP	99,98%	0	0,81	0,19
14	GD*(hops)	100,15%	0	1	0	5	GDSF(1)	100,03%	0	1	0
15	GDF(1)	100,20%	0	0	1	6	GD*(1)	100,03%	0	1	0
16	LRU-SP-LAT	100,21%	0	0,58	0,42	7	PSS	100,06%	0	1	0
17	GDS(hops)	100,33%	0	1	0	8	GDS(1)	100,06%	0	1	0
18	GD*(packets)	100,37%	0	0,17	0,83	9	GDSF(hops)	100,06%	0	1	0
19	LRU-MIN	100,39%	0	1	0	10	GD*(hops)	100,06%	0	1	0
20	PSS-LAT	100,39%	0	1	0	11	gGDSF(hops)	100,06%	0	0,88	0,12
21	RAND-MIX	100,49%	0	0,17	0,83	12	LRU-SP-LAT	100,09%	0	0,88	0,12
22	LRU*	100,51%	0	0	1	13	gGDSF(packets)	100,09%	0	0	1
23	SIZE	100,72%	0	1	0	14	LRU-MIN	100,12%	0	0,88	0,12
24	GDS(packets)	100,92%	0	0	1	15	GDS(hops)	100,12%	0	1	0
25	LRU	101,03%	0	0	1	16	GDSF(packets)	100,13%	0	0	1
26	gGDSF(latency)	101,15%	0	1	0	17	GDF(1)	100,13%	0	0	1
27	FIFO	101,44%	0	0	1	18	M-METRIC	100,13%	0	0	1
28	EXP1	101,70%	0	0	1	19	PSS-LAT	100,14%	0	1	0
29	TSP	101,70%	0	0	1	20	SLRU	100,18%	0	0	1
30	LFU (In-Cache)	101,81%	0	0	1	21	LRU*	100,18%	0	0	1
31	RAND	101,81%	0	0	1	22	SIZE	100,20%	0	1	0
32	A-Aging (In-Cache)	101,92%	0	0	1	23	RAND-MIX	100,35%	0	0,24	0,76
33	GDSF(latency)	101,97%	0	0	1	24	GDS(packets)	100,44%	0	0	1
34	GDF(hops)	102,02%	0	0	1	25	LRU	100,48%	0	0	1
35	HYBRID	102,04%	0	0,17	0,83	26	gGDSF(latency)	100,73%	0	1	0
36	LRU-S	102,07%	0	0	1	27	FIFO	100,88%	0	0	1

28	HYBRID	100,95%	0	0,75	0,25	29	FIFO	100,29%	0	0	1
29	LRU-S	100,97%	0	0	1	30	gGDSF(latency)	100,32%	0	1	0
30	LRU-CS	101,02%	0	0	1	31	TSP	100,42%	0	0	1
31	GDF(hops)	101,06%	0	0	1	32	GDSF(latency)	100,44%	0	0	1
32	LRU-C	101,06%	0	0	1	33	GD*(latency)	100,47%	0	0	1
33	TSP	101,15%	0	0	1	34	LRU-S	100,52%	0	0	1
34	GDSF(latency)	101,24%	0	0	1	35	LRU-C	100,55%	0	0	1
35	GD*(latency)	101,37%	0	0	1	36	LRU-CS	100,55%	0	0	1
36	RAND	101,46%	0	0	1	37	EXP1	100,63%	0	0	1
37	EXP1	101,51%	0	0	1	38	LFU (In-Cache)	100,63%	0	0	1
38	LFU (In-Cache)	101,51%	0	0	1	39	A-Aging (In-Cache)	100,76%	0	0	1
39	A-Aging (In-Cache)	101,55%	0	0	1	40	GDS(latency)	100,76%	0	0	1
40	GDS(latency)	101,92%	0	0	1	41	LUV	101,21%	0	0	1
41	LUV	103,44%	0	0	1	42	GDF(packets)	101,50%	0	0	1
42	GDF(packets)	103,53%	0	0	1	43	GDF(latency)	101,85%	0	0	1
43	GDF(latency)	103,95%	0	0	1	44	LLF	102,23%	0	0	1
44	PART-LRU	105,09%	0	1	0	45	PART-LRU	111,60%	0	1	0
45	LLF	105,29%	0	0	1	ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 15%					
ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 10%						1	LRU-MIN	99,94%	0	0,42	0,58
1	GD*(packets)	99,94%	0	0,16	0,84	2	SIZE	100,00%	0	1	0
2	SIZE	100,00%	0	1	0	3	PSS	100,00%	0	1	0
3	PSS	100,00%	0	1	0	4	PSS-LAT	100,00%	0	1	0
4	PSS-LAT	100,00%	0	1	0	5	LRU-SP	100,00%	0	0,89	0,11
5	LRU-SP	100,00%	0	1	0	6	LRU-SP-LAT	100,00%	0	0,89	0,11
6	LRU-SP-LAT	100,00%	0	0,6	0,4	7	HYBRID	100,00%	0	1	0
7	GDS(1)	100,00%	0	1	0	8	GDS(1)	100,00%	0	1	0
8	GDS(hops)	100,00%	0	1	0	9	GDS(hops)	100,00%	0	1	0
9	GDSF(1)	100,00%	0	1	0	10	GDSF(1)	100,00%	0	1	0
10	GDSF(hops)	100,00%	0	1	0	11	GDSF(hops)	100,00%	0	1	0
11	GDSF(packets)	100,00%	0	0	1	12	gGDSF(1)	100,00%	0	1	0
12	GD*(1)	100,00%	0	1	0	13	gGDSF(hops)	100,00%	0	1	0
13	GD*(hops)	100,00%	0	1	0	14	MIX	100,00%	0	1	0
14	gGDSF(1)	100,00%	0	1	0	15	GD*(1)	100,02%	0	1	0
15	gGDSF(hops)	100,00%	0	1	0	16	GD*(hops)	100,02%	0	1	0
16	gGDSF(packets)	100,00%	0	0	1	17	RAND-MIX	100,04%	0	0	1
17	MIX	100,00%	0	0,6	0,4	18	GDS(packets)	100,06%	0	0	1
18	SLRU	100,03%	0	0	1	19	GDSF(packets)	100,06%	0	0	1
19	M-METRIC	100,03%	0	0	1	20	GDF(1)	100,06%	0	0	1
20	LRU-MIN	100,04%	0	0,25	0,75	21	GD*(packets)	100,06%	0	0	1
21	LRU*	100,05%	0	0	1	22	gGDSF(packets)	100,06%	0	0	1
22	GDS(packets)	100,05%	0	0	1	23	M-METRIC	100,09%	0	0	1
23	GDF(1)	100,05%	0	0	1	24	LRU	100,11%	0	0	1
24	RAND-MIX	100,09%	0	0,25	0,75	25	SLRU	100,11%	0	0	1
25	HYBRID	100,10%	0	1	0	26	LRU*	100,11%	0	0	1
26	GDF(hops)	100,10%	0	0	1	27	GDSF(latency)	100,13%	0	0	1
27	LRU	100,13%	0	0	1	28	GDF(hops)	100,13%	0	0	1
28	RAND	100,26%	0	0	1	29	gGDSF(latency)	100,16%	0	1	0

30	FIFO	100,17%	0	0	1	31	FIFO	100,11%	0	0	1
31	TSP	100,21%	0	0	1	32	LRU-S	100,14%	0	0	1
32	LRU-S	100,21%	0	0	1	33	LRU-C	100,16%	0	0	1
33	LRU-C	100,21%	0	0	1	34	LRU-CS	100,16%	0	0	1
34	LRU-CS	100,21%	0	0	1	35	GD*(latency)	100,18%	0	0	1
35	RAND	100,26%	0	0	1	36	GDS(latency)	100,25%	0	0	1
36	GDS(latency)	100,34%	0	0	1	37	RAND	100,27%	0	0	1
37	GD*(latency)	100,37%	0	0	1	38	EXP1	100,31%	0	0	1
38	EXP1	100,41%	0	0	1	39	LFU (In-Cache)	100,31%	0	0	1
39	LFU (In-Cache)	100,41%	0	0	1	40	A-Aging (In-Cache)	100,36%	0	0	1
40	A-Aging (In-Cache)	100,50%	0	0	1	41	LUV	100,47%	0	0	1
41	LUV	100,76%	0	0	1	42	GDF(latency)	100,58%	0	0	1
42	GDF(packets)	100,95%	0	0	1	43	GDF(packets)	100,58%	0	0	1
43	GDF(latency)	101,17%	0	0	1	44	LLF	100,94%	0	0	1
44	LLF	101,39%	0	0	1	45	PART-LRU	110,63%	0	0	1
45	PART-LRU	114,93%	0	0	1	ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 25%					
ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 20%						1	SIZE	100,00%	0	0,52	0,48
1	LRU-MIN	100,00%	0	0,55	0,45	2	PSS	100,00%	0	0,52	0,48
2	SIZE	100,00%	0	1	0	3	PSS-LAT	100,00%	0	0,52	0,48
3	PSS	100,00%	0	0,55	0,45	4	LRU-SP	100,00%	0	0,52	0,48
4	PSS-LAT	100,00%	0	1	0	5	LRU-SP-LAT	100,00%	0	0,52	0,48
5	LRU-SP	100,00%	0	0,55	0,45	6	HYBRID	100,00%	0	1	0
6	LRU-SP-LAT	100,00%	0	0,55	0,45	7	GDS(1)	100,00%	0	1	0
7	HYBRID	100,00%	0	1	0	8	GDS(hops)	100,00%	0	1	0
8	GDS(1)	100,00%	0	1	0	9	GDS(packets)	100,00%	0	1	0
9	GDS(hops)	100,00%	0	1	0	10	GDSF(1)	100,00%	0	1	0
10	GDSF(1)	100,00%	0	1	0	11	GDSF(hops)	100,00%	0	1	0
11	GDSF(hops)	100,00%	0	1	0	12	GDSF(packets)	100,00%	0	1	0
12	GD*(1)	100,00%	0	1	0	13	GD*(packets)	100,00%	0	1	0
13	GD*(hops)	100,00%	0	1	0	14	gGDSF(1)	100,00%	0	1	0
14	gGDSF(1)	100,00%	0	1	0	15	gGDSF(hops)	100,00%	0	1	0
15	gGDSF(hops)	100,00%	0	1	0	16	gGDSF(packets)	100,00%	0	1	0
16	MIX	100,00%	0	1	0	17	MIX	100,00%	0	1	0
17	GDS(packets)	100,02%	0	0	1	18	LRU	100,01%	0	0	1
18	GD*(packets)	100,02%	0	0	1	19	LRU-MIN	100,01%	0	1	0
19	GDSF(packets)	100,04%	0	0	1	20	SLRU	100,01%	0	0	1
20	gGDSF(packets)	100,04%	0	0	1	21	LRU*	100,01%	0	0	1
21	LRU	100,05%	0	0	1	22	GD*(1)	100,01%	0	1	0
22	SLRU	100,05%	0	0	1	23	GD*(hops)	100,01%	0	1	0
23	LRU*	100,05%	0	0	1	24	M-METRIC	100,01%	0	0	1
24	GDF(1)	100,05%	0	0	1	25	TSP	100,03%	0	0	1
25	GDF(hops)	100,05%	0	0	1	26	RAND-MIX	100,03%	0	1	0
26	M-METRIC	100,05%	0	0	1	27	FIFO	100,04%	0	0	1
27	TSP	100,05%	0	0	1	28	GDSF(latency)	100,06%	0	0	1
28	RAND-MIX	100,05%	0	1	0	29	GDF(1)	100,06%	0	0	1
29	gGDSF(latency)	100,08%	0	1	0	30	GDF(hops)	100,06%	0	0	1
30	GDSF(latency)	100,09%	0	0	1	31	GD*(latency)	100,06%	0	0	1

32	gGDSF(latency)	100,06%	0	1	0	33	RAND-MIX	100,01%	0	1	0
33	LRU-S	100,06%	0	0	1	34	LRU-S	100,03%	0	0	1
34	LRU-C	100,07%	0	0	1	35	GDS(latency)	100,04%	0	0	1
35	LRU-CS	100,07%	0	0	1	36	RAND	100,04%	0	0	1
36	RAND	100,10%	0	0	1	37	LRU-C	100,04%	0	0	1
37	EXP1	100,13%	0	0	1	38	LRU-CS	100,04%	0	0	1
38	LFU (In-Cache)	100,13%	0	0	1	39	EXP1	100,06%	0	0	1
39	A-Aging (In-Cache)	100,16%	0	0	1	40	A-Aging (In-Cache)	100,09%	0	0	1
40	GDS(latency)	100,18%	0	0	1	41	GDF(packets)	100,11%	0	0	1
41	GDF(packets)	100,27%	0	0	1	42	GDF(latency)	100,13%	0	0	1
42	GDF(latency)	100,31%	0	0	1	43	LUV	100,15%	0	0	1
43	LUV	100,31%	0	0	1	44	LLF	100,21%	0	0	1
44	LLF	100,59%	0	0	1	45	PART-LRU	109,11%	0	1	0
45	PART-LRU	105,08%	0	1	0	ΜΕΤΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 35%					
ΜΕΤΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 30%						1	LRU	100,00%	0	0	1
1	LRU	100,00%	0	0	1	2	LRU-MIN	100,00%	0	0,7	0,3
2	LRU-MIN	100,00%	0	0,55	0,45	3	SIZE	100,00%	0	0,7	0,3
3	SIZE	100,00%	0	0,55	0,45	4	PSS	100,00%	0	0,7	0,3
4	PSS	100,00%	0	0,55	0,45	5	PSS-LAT	100,00%	0	0,7	0,3
5	PSS-LAT	100,00%	0	0,55	0,45	6	SLRU	100,00%	0	0	1
6	SLRU	100,00%	0	0	1	7	LRU*	100,00%	0	0	1
7	LRU*	100,00%	0	0	1	8	LRU-SP	100,00%	0	0,7	0,3
8	LRU-SP	100,00%	0	0,55	0,45	9	LRU-SP-LAT	100,00%	0	0,7	0,3
9	LRU-SP-LAT	100,00%	0	0,55	0,45	10	HYBRID	100,00%	0	0,7	0,3
10	HYBRID	100,00%	0	0,55	0,45	11	GDS(1)	100,00%	0	0,7	0,3
11	GDS(1)	100,00%	0	1	0	12	GDS(hops)	100,00%	0	0,7	0,3
12	GDS(hops)	100,00%	0	1	0	13	GDS(packets)	100,00%	0	0,7	0,3
13	GDS(packets)	100,00%	0	0,55	0,45	14	GDSF(1)	100,00%	0	0,7	0,3
14	GDSF(1)	100,00%	0	1	0	15	GDSF(hops)	100,00%	0	0,7	0,3
15	GDSF(hops)	100,00%	0	1	0	16	GDSF(packets)	100,00%	0	0,7	0,3
16	GDSF(packets)	100,00%	0	0,55	0,45	17	GD*(1)	100,00%	0	0,7	0,3
17	GD*(1)	100,00%	0	1	0	18	GD*(hops)	100,00%	0	0,7	0,3
18	GD*(hops)	100,00%	0	1	0	19	GD*(packets)	100,00%	0	0,7	0,3
19	GD*(packets)	100,00%	0	0,55	0,45	20	gGDSF(1)	100,00%	0	0,7	0,3
20	gGDSF(1)	100,00%	0	1	0	21	gGDSF(latency)	100,00%	0	0	1
21	gGDSF(hops)	100,00%	0	1	0	22	gGDSF(hops)	100,00%	0	0,7	0,3
22	gGDSF(packets)	100,00%	0	0,55	0,45	23	gGDSF(packets)	100,00%	0	0,7	0,3
23	M-METRIC	100,00%	0	0	1	24	M-METRIC	100,00%	0	0	1
24	MIX	100,00%	0	0,55	0,45	25	MIX	100,00%	0	0,7	0,3
25	TSP	100,00%	0	0	1	26	RAND-MIX	100,00%	0	0	1
26	FIFO	100,01%	0	0	1	27	FIFO	100,01%	0	0	1
27	LFU (In-Cache)	100,01%	0	0	1	28	EXP1	100,01%	0	0	1
28	GDSF(latency)	100,01%	0	0	1	29	LFU (In-Cache)	100,01%	0	0	1
29	GDF(1)	100,01%	0	0	1	30	A-Aging (In-Cache)	100,01%	0	0	1
30	GDF(hops)	100,01%	0	0	1	31	GDSF(latency)	100,01%	0	0	1
31	GD*(latency)	100,01%	0	0	1	32	GDF(1)	100,01%	0	0	1
32	gGDSF(latency)	100,01%	0	0	1	33	GDF(hops)	100,01%	0	0	1

34	GD*(latency)	100,01%	0	0	1	40	GDF(packets)	100,03%	0	0	1
35	TSP	100,01%	0	0	1	41	GDF(latency)	100,04%	0	0	1
36	RAND	100,01%	0	0	1	42	LLF	100,08%	0	0	1
37	LRU-S	100,01%	0	0	1	43	GDS(latency)	100,10%	0	0	1
38	LRU-C	100,02%	0	0	1	44	LUV	100,10%	0	0	1
39	LRU-CS	100,02%	0	0	1	45	PART-LRU	114,17%	0	1	0

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ: NY

A/A	ΜΑΑ	Δ.Α.	Σ.Β.ΕΙΣ. (ΜΝΗΜΗ)	Σ.Β.ΕΚ. (HR)	Σ.Β.ΕΚ. (BHR)	A/A	ΜΑΑ	Δ.Α.	Σ.Β.ΕΙΣ. (ΜΝΗΜΗ)	Σ.Β.ΕΚ. (HR)	Σ.Β.ΕΚ. (BHR)						
ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 3%																	
1	GD*(1)	99,39%	0	1	0	34	GDSF(latency)	104,58%	0	0	1						
2	LRU-SP	99,92%	0	0,48	0,52	35	GDS(latency)	104,93%	0	0	1						
3	gGDSF(1)	100,00%	0	0	1	36	GD*(latency)	105,45%	0	0	1						
4	GDSF(1)	100,02%	0	0,62	0,38	37	HYBRID	105,97%	0	0	1						
5	gGDSF(hops)	100,16%	0	0	1	38	LFU (In-Cache)	106,32%	0	0	1						
6	MIX	100,31%	0	0	1	39	A-Aging (In-Cache)	106,32%	0	0	1						
7	PSS	100,55%	0	0,62	0,38	40	EXP1	107,21%	0	0	1						
8	GDSF(hops)	100,63%	0	0	1	41	GDF(latency)	112,30%	0	0	1						
9	GDS(1)	100,67%	0	0,62	0,38	42	GDF(packets)	112,70%	0	0	1						
10	LRU-SP-LAT	100,80%	0	0,62	0,38	43	LUV	112,90%	0	0	1						
11	GD*(packets)	100,95%	0	0	1	44	LLF	115,55%	0	0	1						
12	GDSF(packets)	101,11%	0	0	1	45	PART-LRU	119,22%	0	0	1						
13	M-METRIC	101,11%	0	0	1	ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 5%											
14	PSS-LAT	101,47%	0	1	0	1	gGDSF(1)	99,96%	0	0,77	0,23						
15	RAND-MIX	101,59%	0	0	1	2	LRU-SP	100,00%	0	0	1						
16	GD*(hops)	101,66%	0	0,62	0,38	3	GDSF(1)	100,00%	0	1	0						
17	SLRU	101,75%	0	0	1	4	GD*(1)	100,00%	0	1	0						
18	LRU*	101,75%	0	0	1	5	gGDSF(hops)	100,00%	0	0	1						
19	GDS(packets)	101,75%	0	0	1	6	MIX	100,08%	0	0	1						
20	GDF(1)	101,75%	0	0	1	7	GDS(1)	100,15%	0	1	0						
21	SIZE	101,87%	0	1	0	8	GDSF(hops)	100,17%	0	0	1						
22	LRU-MIN	102,24%	0	0	1	9	PSS	100,20%	0	1	0						
23	gGDSF(latency)	102,24%	0	0	1	10	GD*(hops)	100,54%	0	1	0						
24	gGDSF(packets)	102,33%	0	1	0	11	LRU-MIN	100,59%	0	1	0						
25	GDS(hops)	102,40%	0	0	1	12	RAND-MIX	100,59%	0	0	1						
26	LRU	102,57%	0	0	1	13	LRU-SP-LAT	100,74%	0	1	0						
27	FIFO	103,23%	0	0	1	14	GDS(hops)	100,76%	0	0	1						
28	GDF(hops)	103,23%	0	0	1	15	GD*(packets)	100,85%	0	0	1						
29	LRU-C	103,57%	0	0	1	16	PSS-LAT	100,88%	0	1	0						
30	RAND	103,73%	0	0	1	17	SIZE	100,93%	0	1	0						
31	LRU-S	103,90%	0	0	1	18	M-METRIC	100,93%	0	0	1						
32	TSP	104,07%	0	0	1	19	GDSF(packets)	101,02%	0	0	1						
33	LRU-CS	104,07%	0	0	1	20	gGDSF(latency)	101,02%	0	0	1						
						21	GDS(packets)	101,10%	0	0	1						

22	GDF(1)	101,10%	0	0	1	23	GDS(packets)	100,71%	0	0	1
23	LRU*	101,19%	0	0	1	24	GDF(1)	100,71%	0	0	1
24	SLRU	101,27%	0	0	1	25	HYBRID	100,78%	0	0	1
25	GDF(hops)	101,45%	0	0	1	26	GDF(hops)	100,78%	0	0	1
26	LRU	101,62%	0	0	1	27	LRU	100,91%	0	0	1
27	TSP	101,71%	0	0	1	28	TSP	101,11%	0	0	1
28	LRU-S	101,79%	0	0	1	29	GDSF(latency)	101,17%	0	0	1
29	LRU-C	101,88%	0	0	1	30	FIFO	101,30%	0	0	1
30	LRU-CS	101,88%	0	0	1	31	gGDSF(packets)	101,37%	0	1	0
31	FIFO	101,97%	0	0	1	32	LRU-S	101,44%	0	0	1
32	GDSF(latency)	102,05%	0	0	1	33	LRU-CS	101,44%	0	0	1
33	gGDSF(packets)	102,14%	0	1	0	34	GD*(latency)	101,50%	0	0	1
34	HYBRID	102,23%	0	0	1	35	RAND	101,50%	0	0	1
35	GDS(latency)	102,49%	0	0	1	36	LRU-C	101,50%	0	0	1
36	GD*(latency)	102,76%	0	0	1	37	GDS(latency)	101,77%	0	0	1
37	RAND	102,94%	0	0	1	38	EXP1	102,57%	0	0	1
38	EXP1	103,03%	0	0	1	39	LFU (In-Cache)	102,57%	0	0	1
39	LFU (In-Cache)	103,03%	0	0	1	40	A-Aging (In-Cache)	102,71%	0	0	1
40	A-Aging (In-Cache)	103,11%	0	0	1	41	LUV	103,74%	0	0	1
41	LUV	105,77%	0	0	1	42	GDF(latency)	104,71%	0	0	1
42	GDF(latency)	106,71%	0	0	1	43	GDF(packets)	105,00%	0	0	1
43	GDF(packets)	106,71%	0	0	1	44	LLF	105,78%	0	0	1
44	LLF	108,27%	0	0	1	45	PART-LRU	111,63%	0	0	1
45	PART-LRU	110,58%	0	0	1	ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 15%					
ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 10%						1	LRU-MIN	99,91%	0	0	1
1	LRU-SP	99,94%	0	0	1	2	PSS	100,00%	0	0,62	0,38
2	GDSF(1)	100,00%	0	1	0	3	LRU-SP	100,00%	0	0,62	0,38
3	GD*(1)	100,00%	0	1	0	4	LRU-SP-LAT	100,00%	0	0,62	0,38
4	gGDSF(1)	100,00%	0	1	0	5	GDS(1)	100,00%	0	0,62	0,38
5	PSS	100,04%	0	1	0	6	GDS(hops)	100,00%	0	0,62	0,38
6	GDS(1)	100,04%	0	1	0	7	GDSF(1)	100,00%	0	0,62	0,38
7	GDSF(hops)	100,04%	0	1	0	8	GDSF(hops)	100,00%	0	0,62	0,38
8	GD*(hops)	100,04%	0	1	0	9	GD*(1)	100,00%	0	1	0
9	gGDSF(hops)	100,04%	0	1	0	10	GD*(hops)	100,00%	0	1	0
10	MIX	100,04%	0	1	0	11	gGDSF(1)	100,00%	0	0,62	0,38
11	LRU-SP-LAT	100,06%	0	0	1	12	gGDSF(hops)	100,00%	0	0,62	0,38
12	GDS(hops)	100,09%	0	1	0	13	MIX	100,00%	0	1	0
13	PSS-LAT	100,13%	0	1	0	14	SIZE	100,03%	0	1	0
14	SIZE	100,17%	0	1	0	15	PSS-LAT	100,03%	0	1	0
15	LRU-MIN	100,32%	0	0	1	16	GD*(packets)	100,22%	0	0	1
16	GD*(packets)	100,39%	0	0	1	17	gGDSF(latency)	100,23%	0	0,4	0,6
17	GDSF(packets)	100,45%	0	0	1	18	HYBRID	100,30%	0	0,4	0,6
18	RAND-MIX	100,45%	0	0	1	19	GDSF(packets)	100,30%	0	0	1
19	M-METRIC	100,52%	0	0	1	20	RAND-MIX	100,35%	0	0	1
20	SLRU	100,65%	0	0	1	21	GDS(packets)	100,39%	0	0	1
21	LRU*	100,65%	0	0	1	22	M-METRIC	100,39%	0	0	1
22	gGDSF(latency)	100,66%	0	1	0	23	SLRU	100,43%	0	0	1

24	LRU*	100,43%	0	0	1	25	GDF(hops)	100,40%	0	0	1
25	GDF(1)	100,48%	0	0	1	26	LRU	100,43%	0	0	1
26	GDF(hops)	100,48%	0	0	1	27	GDF(1)	100,43%	0	0	1
27	TSP	100,56%	0	0	1	28	TSP	100,43%	0	0	1
28	LRU	100,61%	0	0	1	29	FIFO	100,50%	0	0	1
29	FIFO	100,65%	0	0	1	30	GDSF(latency)	100,50%	0	0	1
30	LRU-S	100,65%	0	0	1	31	LRU-S	100,54%	0	0	1
31	GDSF(latency)	100,69%	0	0	1	32	LRU-CS	100,54%	0	0	1
32	LRU-CS	100,69%	0	0	1	33	LRU-C	100,58%	0	0	1
33	LRU-C	100,74%	0	0	1	34	GDS(latency)	100,61%	0	0	1
34	GDS(latency)	100,83%	0	0	1	35	GD*(latency)	100,61%	0	0	1
35	GD*(latency)	100,83%	0	0	1	36	gGDSF(packets)	100,65%	0	0	1
36	gGDSF(packets)	100,96%	0	1	0	37	RAND	100,65%	0	0	1
37	RAND	101,05%	0	0	1	38	EXP1	100,94%	0	0	1
38	EXP1	101,27%	0	0	1	39	LFU (In-Cache)	100,94%	0	0	1
39	LFU (In-Cache)	101,27%	0	0	1	40	A-Aging (In-Cache)	100,94%	0	0	1
40	A-Aging (In-Cache)	101,49%	0	0	1	41	LUV	101,05%	0	0	1
41	LUV	101,80%	0	0	1	42	GDF(latency)	102,09%	0	0	1
42	GDF(latency)	102,70%	0	0	1	43	GDF(packets)	102,16%	0	0	1
43	GDF(packets)	102,88%	0	0	1	44	LLF	102,50%	0	0	1
44	LLF	103,25%	0	0	1	45	PART-LRU	110,36%	0	0	1
45	PART-LRU	116,11%	0	1	0	ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 25%					
ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 20%						1	LRU-MIN	100,00%	0	0	1
1	SIZE	100,00%	0	0,58	0,42	2	SIZE	100,00%	0	0,56	0,44
2	PSS	100,00%	0	1	0	3	PSS	100,00%	0	1	0
3	PSS-LAT	100,00%	0	0,58	0,42	4	PSS-LAT	100,00%	0	1	0
4	LRU-SP	100,00%	0	1	0	5	LRU-SP	100,00%	0	1	0
5	LRU-SP-LAT	100,00%	0	0,58	0,42	6	LRU-SP-LAT	100,00%	0	1	0
6	GDS(1)	100,00%	0	1	0	7	GDS(1)	100,00%	0	1	0
7	GDS(hops)	100,00%	0	0,58	0,42	8	GDS(hops)	100,00%	0	0,56	0,44
8	GDSF(1)	100,00%	0	1	0	9	GDSF(1)	100,00%	0	0,56	0,44
9	GDSF(hops)	100,00%	0	1	0	10	GDSF(hops)	100,00%	0	0,56	0,44
10	GD*(1)	100,00%	0	1	0	11	GD*(1)	100,00%	0	1	0
11	GD*(hops)	100,00%	0	1	0	12	GD*(hops)	100,00%	0	1	0
12	gGDSF(1)	100,00%	0	1	0	13	gGDSF(1)	100,00%	0	0,56	0,44
13	gGDSF(hops)	100,00%	0	1	0	14	gGDSF(hops)	100,00%	0	1	0
14	LRU-MIN	100,03%	0	1	0	15	MIX	100,00%	0	1	0
15	MIX	100,03%	0	1	0	16	HYBRID	100,02%	0	1	0
16	HYBRID	100,04%	0	0	1	17	GD*(packets)	100,09%	0	1	0
17	gGDSF(latency)	100,17%	0	1	0	18	gGDSF(latency)	100,09%	0	1	0
18	GD*(packets)	100,18%	0	0	1	19	GDS(packets)	100,12%	0	0	1
19	GDSF(packets)	100,22%	0	0	1	20	GDSF(packets)	100,14%	0	0	1
20	RAND-MIX	100,22%	0	0	1	21	RAND-MIX	100,14%	0	1	0
21	GDS(packets)	100,25%	0	0	1	22	LRU*	100,23%	0	0	1
22	LRU*	100,32%	0	0	1	23	GDF(hops)	100,23%	0	0	1
23	M-METRIC	100,32%	0	0	1	24	M-METRIC	100,23%	0	0	1
24	SLRU	100,40%	0	0	1	25	SLRU	100,26%	0	0	1

26	GDF(1)	100,26%	0	0	1	27	GDF(1)	100,15%	0	0	1
27	LRU	100,29%	0	0	1	28	TSP	100,20%	0	0	1
28	TSP	100,29%	0	0	1	29	FIFO	100,23%	0	0	1
29	FIFO	100,35%	0	0	1	30	GDSF(latency)	100,23%	0	0	1
30	GDSF(latency)	100,35%	0	0	1	31	GD*(latency)	100,25%	0	0	1
31	GD*(latency)	100,38%	0	0	1	32	GDS(latency)	100,28%	0	0	1
32	GDS(latency)	100,41%	0	0	1	33	RAND	100,28%	0	0	1
33	LRU-S	100,41%	0	0	1	34	LRU-S	100,28%	0	0	1
34	LRU-C	100,41%	0	0	1	35	LRU-C	100,28%	0	0	1
35	LRU-CS	100,41%	0	0	1	36	LRU-CS	100,28%	0	0	1
36	gGDSF(packets)	100,44%	0	1	0	37	EXP1	100,30%	0	0	1
37	RAND	100,46%	0	0	1	38	LFU (In-Cache)	100,33%	0	0	1
38	EXP1	100,58%	0	0	1	39	gGDSF(packets)	100,33%	0	1	0
39	LFU (In-Cache)	100,58%	0	0	1	40	LUV	100,41%	0	0	1
40	A-Aging (In-Cache)	100,67%	0	0	1	41	A-Aging (In-Cache)	100,48%	0	0	1
41	LUV	100,67%	0	0	1	42	GDF(latency)	101,07%	0	0	1
42	GDF(latency)	101,47%	0	0	1	43	GDF(packets)	101,10%	0	0	1
43	GDF(packets)	101,50%	0	0	1	44	LLF	101,17%	0	0	1
44	LLF	101,64%	0	0	1	45	PART-LRU	119,43%	0	0	1
45	PART-LRU	116,97%	0	0	1	ΜΕΤΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 35%					
ΜΕΤΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 30%						1	SIZE	100,00%	0	0,53	0,47
1	LRU-MIN	100,00%	0	0	1	2	PSS	100,00%	0	0,53	0,47
2	SIZE	100,00%	0	0,57	0,43	3	PSS-LAT	100,00%	0	0,53	0,47
3	PSS	100,00%	0	0,57	0,43	4	LRU-SP	100,00%	0	0,53	0,47
4	PSS-LAT	100,00%	0	0,57	0,43	5	LRU-SP-LAT	100,00%	0	0,53	0,47
5	LRU-SP	100,00%	0	0,57	0,43	6	HYBRID	100,00%	0	1	0
6	LRU-SP-LAT	100,00%	0	0,57	0,43	7	GDS(1)	100,00%	0	1	0
7	HYBRID	100,00%	0	0	1	8	GDS(hops)	100,00%	0	1	0
8	GDS(1)	100,00%	0	0,57	0,43	9	GDS(packets)	100,00%	0	1	0
9	GDS(hops)	100,00%	0	1	0	10	GDSF(1)	100,00%	0	1	0
10	GDSF(1)	100,00%	0	0,57	0,43	11	GDSF(hops)	100,00%	0	1	0
11	GDSF(hops)	100,00%	0	0,57	0,43	12	GD*(1)	100,00%	0	1	0
12	GD*(1)	100,00%	0	1	0	13	GD*(hops)	100,00%	0	1	0
13	GD*(hops)	100,00%	0	1	0	14	gGDSF(1)	100,00%	0	1	0
14	gGDSF(1)	100,00%	0	0,57	0,43	15	gGDSF(hops)	100,00%	0	1	0
15	gGDSF(hops)	100,00%	0	1	0	16	MIX	100,00%	0	1	0
16	MIX	100,02%	0	1	0	17	LRU-MIN	100,02%	0	1	0
17	GDS(packets)	100,03%	0	0	1	18	GD*(packets)	100,02%	0	1	0
18	GD*(packets)	100,03%	0	0	1	19	GDSF(packets)	100,03%	0	1	0
19	GDSF(packets)	100,05%	0	0	1	20	RAND-MIX	100,03%	0	1	0
20	gGDSF(latency)	100,08%	0	0	1	21	gGDSF(latency)	100,05%	0	1	0
21	RAND-MIX	100,08%	0	1	0	22	LRU	100,09%	0	0	1
22	LRU*	100,13%	0	0	1	23	LRU*	100,09%	0	0	1
23	GDF(hops)	100,13%	0	0	1	24	M-METRIC	100,09%	0	0	1
24	M-METRIC	100,13%	0	0	1	25	SLRU	100,11%	0	0	1
25	LRU	100,15%	0	0	1	26	GDF(hops)	100,11%	0	0	1
26	SLRU	100,15%	0	0	1	27	GDF(1)	100,13%	0	0	1

28	FIFO	100,15%	0	0	1	37	EXP1	100,21%	0	0	1
29	TSP	100,15%	0	0	1	38	LFU (In-Cache)	100,23%	0	0	1
30	GDSF(latency)	100,17%	0	0	1	39	gGDSF(packets)	100,24%	0	1	0
31	GD*(latency)	100,17%	0	0	1	40	A-Aging (In-Cache)	100,28%	0	0	1
32	LRU-S	100,17%	0	0	1	41	LUV	100,28%	0	0	1
33	GDS(latency)	100,19%	0	0	1	42	GDF(latency)	100,75%	0	0	1
34	RAND	100,19%	0	0	1	43	GDF(packets)	100,77%	0	0	1
35	LRU-C	100,19%	0	0	1	44	LLF	100,86%	0	0	1
36	LRU-CS	100,19%	0	0	1	45	PART-LRU	128,31%	0	0	1

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ: SD

A/A	ΜΑΑ	Δ.Α.	Σ.Β.ΕΙΣ. (ΜΝΗΜΗ)	Σ.Β.ΕΚ. (HR)	Σ.Β.ΕΚ. (BHR)	A/A	ΜΑΑ	Δ.Α.	Σ.Β.ΕΙΣ. (ΜΝΗΜΗ)	Σ.Β.ΕΚ. (HR)	Σ.Β.ΕΚ. (BHR)						
ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 3%																	
1	MIX	99,53%	0	0,13	0,87	30	LRU-C	101,36%	0	0	1						
2	gGDSF(1)	99,96%	0	1	0	31	LRU-CS	101,36%	0	0	1						
3	LRU-SP	99,98%	0	0,7	0,3	32	A-Aging (In-Cache)	101,53%	0	0	1						
4	GDSF(1)	100,04%	0	1	0	33	LFU (In-Cache)	101,62%	0	0	1						
5	GD*(1)	100,08%	0	1	0	34	SIZE	101,65%	0	1	0						
6	RAND-MIX	100,08%	0	0	1	35	GD*(latency)	101,79%	0	0	1						
7	gGDSF(packets)	100,17%	0	0	1	36	RAND	101,79%	0	0	1						
8	M-METRIC	100,17%	0	0	1	37	gGDSF(latency)	101,95%	0	1	0						
9	LRU-SP-LAT	100,20%	0	1	0	38	EXP1	102,23%	0	0	1						
10	SLRU	100,25%	0	0	1	39	HYBRID	102,94%	0	0,67	0,33						
11	GDF(1)	100,25%	0	0	1	40	GDS(latency)	103,02%	0	0	1						
12	PSS	100,29%	0	1	0	41	GDF(packets)	103,74%	0	0	1						
13	LRU*	100,34%	0	0	1	42	GDF(latency)	104,01%	0	0	1						
14	GD*(packets)	100,34%	0	0	1	43	PART-LRU	108,54%	0	0,67	0,33						
15	LRU-MIN	100,37%	0	1	0	44	LLF	113,07%	0	0	1						
16	gGDSF(hops)	100,39%	0	0,81	0,19	45	LUV	113,28%	0	0	1						
17	GDS(1)	100,41%	0	1	0	ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 5%											
18	GDSF(packets)	100,42%	0	0	1	1	MIX	99,79%	0	0,15	0,85						
19	PSS-LAT	100,45%	0	1	0	2	RAND-MIX	99,92%	0	0,02	0,98						
20	GDSF(hops)	100,49%	0	1	0	3	GDSF(1)	100,00%	0	1	0						
21	GDS(packets)	100,59%	0	0	1	4	GDF(1)	100,00%	0	0	1						
22	LRU	100,67%	0	0	1	5	GD*(1)	100,00%	0	1	0						
23	GD*(hops)	100,70%	0	1	0	6	M-METRIC	100,00%	0	0	1						
24	GDS(hops)	100,74%	0	1	0	7	LRU-SP	100,02%	0	0,81	0,19						
25	FIFO	100,84%	0	0	1	8	PSS-LAT	100,04%	0	1	0						
26	TSP	100,93%	0	0	1	9	LRU-SP-LAT	100,04%	0	1	0						
27	GDSF(latency)	101,10%	0	0	1	10	GDS(1)	100,04%	0	1	0						
28	GDF(hops)	101,10%	0	0	1	11	GDSF(packets)	100,06%	0	0	1						
29	LRU-S	101,36%	0	0	1	12	SLRU	100,13%	0	0	1						
						13	gGDSF(1)	100,13%	0	0,81	0,19						

14	PSS	100,14%	0	1	0	15	GD*(hops)	100,03%	0	1	0
15	LRU*	100,19%	0	0	1	16	LRU-MIN	100,06%	0	1	0
16	GDS(packets)	100,19%	0	0	1	17	gGDSF(packets)	100,06%	0	0,03	0,97
17	LRU-MIN	100,25%	0	1	0	18	HYBRID	100,15%	0	1	0
18	GD*(packets)	100,26%	0	0	1	19	GD*(packets)	100,18%	0	0,03	0,97
19	gGDSF(packets)	100,26%	0	0	1	20	GDSF(packets)	100,19%	0	0,03	0,97
20	LRU	100,32%	0	0	1	21	SLRU	100,26%	0	0	1
21	GDSF(hops)	100,33%	0	0,81	0,19	22	GDF(1)	100,35%	0	0	1
22	gGDSF(hops)	100,35%	0	0,81	0,19	23	LRU*	100,39%	0	0	1
23	SIZE	100,36%	0	1	0	24	GDS(packets)	100,41%	0	0,03	0,97
24	GD*(hops)	100,40%	0	0,81	0,19	25	RAND-MIX	100,45%	0	0,03	0,97
25	FIFO	100,45%	0	0	1	26	LRU	100,48%	0	0	1
26	GDS(hops)	100,61%	0	1	0	27	TSP	100,49%	0	0,03	0,97
27	LRU-C	100,64%	0	0	1	28	FIFO	100,57%	0	0	1
28	LRU-S	100,71%	0	0	1	29	GDF(hops)	100,65%	0	0	1
29	LRU-CS	100,71%	0	0	1	30	RAND	100,70%	0	0	1
30	TSP	100,84%	0	0	1	31	LRU-C	100,70%	0	0	1
31	GDF(hops)	100,97%	0	0	1	32	LRU ² S	100,74%	0	0	1
32	RAND	100,97%	0	0	1	33	LRU-CS	100,74%	0	0	1
33	GDSF(latency)	101,10%	0	0	1	34	GDSF(latency)	100,76%	0	0,03	0,97
34	GD*(latency)	101,23%	0	0	1	35	gGDSF(latency)	100,83%	0	1	0
35	gGDSF(latency)	101,23%	0	1	0	36	GD*(latency)	100,89%	0	0,03	0,97
36	A-Aging (In-Cache)	101,43%	0	0	1	37	GDS(latency)	101,03%	0	0,03	0,97
37	EXP1	101,50%	0	0	1	38	EXP1	101,41%	0	0	1
38	LFU (In-Cache)	101,50%	0	0	1	39	LFU (In-Cache)	101,50%	0	0	1
39	HYBRID	101,62%	0	0,81	0,19	40	A-Aging (In-Cache)	101,54%	0	0	1
40	GDS(latency)	101,83%	0	0	1	41	GDF(latency)	102,12%	0	0	1
41	GDF(latency)	103,04%	0	0	1	42	GDF(packets)	102,31%	0	0	1
42	GDF(packets)	103,10%	0	0	1	43	LUV	103,02%	0	0,03	0,97
43	LUV	106,41%	0	0	1	44	LLF	104,06%	0	0	1
44	LLF	107,66%	0	0	1	45	PART-LRU	105,63%	0	1	0
45	PART-LRU	109,04%	0	1	0	ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 15%					
ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 10%						1	PSS-LAT	99,87%	0	0	1
1	MIX	99,77%	0	0,11	0,89	2	SIZE	100,00%	0	1	0
2	M-METRIC	99,91%	0	0	1	3	PSS	100,00%	0	1	0
3	PSS	100,00%	0	1	0	4	LRU-SP	100,00%	0	1	0
4	PSS-LAT	100,00%	0	1	0	5	LRU-SP-LAT	100,00%	0	1	0
5	LRU-SP	100,00%	0	1	0	6	HYBRID	100,00%	0	1	0
6	LRU-SP-LAT	100,00%	0	1	0	7	GDS(1)	100,00%	0	1	0
7	GDSF(1)	100,00%	0	1	0	8	GDS(hops)	100,00%	0	1	0
8	GDSF(hops)	100,00%	0	1	0	9	GDSF(1)	100,00%	0	1	0
9	gGDSF(1)	100,00%	0	1	0	10	GDSF(hops)	100,00%	0	1	0
10	gGDSF(hops)	100,00%	0	1	0	11	GD*(1)	100,00%	0	1	0
11	SIZE	100,03%	0	1	0	12	GD*(hops)	100,00%	0	1	0
12	GDS(1)	100,03%	0	1	0	13	gGDSF(1)	100,00%	0	1	0
13	GDS(hops)	100,03%	0	1	0	14	gGDSF(hops)	100,00%	0	1	0
14	GD*(1)	100,03%	0	1	0	15	MIX	100,00%	0	1	0

16	LRU-MIN	100,05%	0	1	0	17	GD*(packets)	100,19%	0	0	1
17	GD*(packets)	100,13%	0	0	1	18	M-METRIC	100,19%	0	0	1
18	gGDSF(packets)	100,13%	0	0	1	19	SLRU	100,21%	0	0	1
19	SLRU	100,16%	0	0	1	20	GDSF(packets)	100,21%	0	0	1
20	GDSF(packets)	100,16%	0	0	1	21	gGDSF(packets)	100,21%	0	0	1
21	M-METRIC	100,16%	0	0	1	22	GDS(packets)	100,27%	0	0	1
22	LRU*	100,23%	0	0	1	23	GDF(hops)	100,27%	0	0	1
23	RAND-MIX	100,23%	0	0	1	24	RAND-MIX	100,27%	0	0	1
24	GD*(latency)	100,32%	0	0	1	25	LRU*	100,30%	0	0	1
25	TSP	100,32%	0	0	1	26	GDF(1)	100,30%	0	0	1
26	LRU	100,36%	0	0	1	27	GDSF(latency)	100,32%	0	0	1
27	GDF(1)	100,36%	0	0	1	28	GD*(latency)	100,32%	0	0	1
28	FIFO	100,39%	0	0	1	29	TSP	100,32%	0	0	1
29	GDS(packets)	100,39%	0	0	1	30	LRU	100,38%	0	0	1
30	GDSF(latency)	100,39%	0	0	1	31	FIFO	100,43%	0	0	1
31	GDF(hops)	100,39%	0	0	1	32	GDS(latency)	100,43%	0	0	1
32	LRU-S	100,52%	0	0	1	33	gGDSF(latency)	100,45%	0	1	0
33	LRU-C	100,52%	0	0	1	34	RAND	100,48%	0	0	1
34	GDS(latency)	100,55%	0	0	1	35	LRU-S	100,57%	0	0	1
35	gGDSF(latency)	100,57%	0	1	0	36	LRU-C	100,57%	0	0	1
36	LRU-CS	100,59%	0	0	1	37	LRU-CS	100,57%	0	0	1
37	RAND	100,65%	0	0	1	38	A-Aging (In-Cache)	100,73%	0	0	1
38	A-Aging (In-Cache)	100,95%	0	0	1	39	EXP1	100,86%	0	0	1
39	EXP1	100,98%	0	0	1	40	LFU (In-Cache)	100,86%	0	0	1
40	LFU (In-Cache)	101,01%	0	0	1	41	LUV	101,03%	0	0	1
41	GDF(latency)	101,51%	0	0	1	42	GDF(packets)	101,11%	0	0	1
42	GDF(packets)	101,71%	0	0	1	43	GDF(latency)	101,16%	0	0	1
43	LUV	101,71%	0	0	1	44	LLF	101,66%	0	0	1
44	LLF	102,69%	0	0	1	45	PART-LRU	107,66%	0	1	0
45	PART-LRU	109,78%	0	1	0	ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 25%					
ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 20%						1	GDSF(hops)	99,98%	0	0	1
1	MIX	99,95%	0	0	1	2	LRU-MIN	100,00%	0	1	0
2	LRU-MIN	100,00%	0	1	0	3	SIZE	100,00%	0	1	0
3	SIZE	100,00%	0	1	0	4	PSS	100,00%	0	1	0
4	PSS	100,00%	0	1	0	5	PSS-LAT	100,00%	0	1	0
5	PSS-LAT	100,00%	0	1	0	6	LRU-SP	100,00%	0	1	0
6	LRU-SP	100,00%	0	1	0	7	LRU-SP-LAT	100,00%	0	1	0
7	LRU-SP-LAT	100,00%	0	1	0	8	HYBRID	100,00%	0	1	0
8	HYBRID	100,00%	0	1	0	9	GDS(1)	100,00%	0	1	0
9	GDS(1)	100,00%	0	1	0	10	GDS(hops)	100,00%	0	1	0
10	GDS(hops)	100,00%	0	1	0	11	GDSF(1)	100,00%	0	1	0
11	GDSF(1)	100,00%	0	1	0	12	GD*(1)	100,00%	0	1	0
12	GDSF(hops)	100,00%	0	1	0	13	GD*(hops)	100,00%	0	1	0
13	GD*(1)	100,00%	0	1	0	14	gGDSF(1)	100,00%	0	1	0
14	GD*(hops)	100,00%	0	1	0	15	gGDSF(hops)	100,00%	0	1	0
15	gGDSF(1)	100,00%	0	1	0	16	MIX	100,00%	0	1	0
16	gGDSF(hops)	100,00%	0	1	0	17	GDS(packets)	100,12%	0	1	0

18	RAND-MIX	100,14%	0	0	1	19	GDS(packets)	100,13%	0	0	1
19	GDSF(packets)	100,16%	0	0	1	20	GDSF(packets)	100,13%	0	1	0
20	GDF(1)	100,16%	0	0	1	21	gGDSF(packets)	100,13%	0	1	0
21	GDF(hops)	100,16%	0	0	1	22	gGDSF(latency)	100,14%	0	1	0
22	GD*(packets)	100,21%	0	0	1	23	M-METRIC	100,15%	0	0	1
23	gGDSF(latency)	100,21%	0	0	1	24	TSP	100,22%	0	0	1
24	LRU*	100,23%	0	0	1	25	LRU	100,26%	0	0	1
25	gGDSF(packets)	100,23%	0	0	1	26	LRU*	100,26%	0	0	1
26	TSP	100,23%	0	0	1	27	GDS(latency)	100,26%	0	0	1
27	SLRU	100,25%	0	0	1	28	GDF(1)	100,26%	0	0	1
28	M-METRIC	100,25%	0	0	1	29	GDF(hops)	100,26%	0	0	1
29	LRU	100,30%	0	0	1	30	SLRU	100,28%	0	0	1
30	GDS(latency)	100,32%	0	0	1	31	RAND	100,28%	0	0	1
31	GDSF(latency)	100,32%	0	0	1	32	GDSF(latency)	100,30%	0	0	1
32	GD*(latency)	100,32%	0	0	1	33	FIFO	100,31%	0	0	1
33	FIFO	100,34%	0	0	1	34	GD*(latency)	100,31%	0	0	1
34	RAND	100,34%	0	0	1	35	LRU-S	100,31%	0	0	1
35	LRU-S	100,39%	0	0	1	36	LRU-CS	100,35%	0	0	1
36	LRU-C	100,41%	0	0	1	37	LRU-C	100,37%	0	0	1
37	LRU-CS	100,41%	0	0	1	38	EXP1	100,43%	0	0	1
38	A-Aging (In-Cache)	100,67%	0	0	1	39	LFU (In-Cache)	100,43%	0	0	1
39	LUV	100,69%	0	0	1	40	A-Aging (In-Cache)	100,46%	0	0	1
40	EXP1	100,76%	0	0	1	41	LUV	100,50%	0	0	1
41	LFU (In-Cache)	100,76%	0	0	1	42	GDF(packets)	100,56%	0	0	1
42	GDF(packets)	100,76%	0	0	1	43	GDF(latency)	100,59%	0	0	1
43	GDF(latency)	100,81%	0	0	1	44	LLF	100,78%	0	0	1
44	LLF	101,27%	0	0	1	45	PART-LRU	127,30%	0	1	0
45	PART-LRU	117,54%	0	0	1	ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 35%					
ΜΕΓΕΘΟΣ ΜΝΗΜΗΣ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ: 30%						1	SIZE	99,92%	0	0	1
1	SIZE	99,94%	0	0	1	2	PSS	100,00%	0	1	0
2	LRU-MIN	100,00%	0	1	0	3	PSS-LAT	100,00%	0	1	0
3	PSS	100,00%	0	1	0	4	LRU-SP	100,00%	0	1	0
4	PSS-LAT	100,00%	0	1	0	5	LRU-SP-LAT	100,00%	0	1	0
5	LRU-SP	100,00%	0	1	0	6	HYBRID	100,00%	0	1	0
6	LRU-SP-LAT	100,00%	0	1	0	7	GDSF(1)	100,00%	0	1	0
7	HYBRID	100,00%	0	1	0	8	GDSF(hops)	100,00%	0	1	0
8	GDS(1)	100,00%	0	1	0	9	gGDSF(1)	100,00%	0	1	0
9	GDS(hops)	100,00%	0	1	0	10	gGDSF(hops)	100,00%	0	1	0
10	GDSF(1)	100,00%	0	1	0	11	MIX	100,00%	0	1	0
11	GDSF(hops)	100,00%	0	1	0	12	LRU-MIN	100,01%	0	1	0
12	GD*(1)	100,00%	0	1	0	13	GDS(1)	100,01%	0	1	0
13	GD*(hops)	100,00%	0	1	0	14	GDS(hops)	100,01%	0	1	0
14	gGDSF(1)	100,00%	0	1	0	15	GDS(packets)	100,01%	0	1	0
15	gGDSF(hops)	100,00%	0	1	0	16	GD*(1)	100,01%	0	1	0
16	MIX	100,00%	0	1	0	17	GD*(hops)	100,01%	0	1	0
17	GD*(packets)	100,06%	0	1	0	18	RAND-MIX	100,06%	0	1	0
18	RAND-MIX	100,10%	0	1	0	19	GD*(packets)	100,07%	0	1	0

20	GDSF(packets)	100,09%	0	1	0	33	LRU-CS	100,21%	0	0	1
21	gGDSF(packets)	100,09%	0	1	0	34	GDS(latency)	100,25%	0	0	1
22	gGDSF(latency)	100,12%	0	1	0	35	GDF(1)	100,25%	0	0	1
23	LRU*	100,15%	0	0	1	36	GDF(hops)	100,25%	0	0	1
24	M-METRIC	100,15%	0	0	1	37	EXP1	100,26%	0	0	1
25	LRU	100,16%	0	0	1	38	LFU (In-Cache)	100,26%	0	0	1
26	SLRU	100,16%	0	0	1	39	A-Aging (In-Cache)	100,28%	0	0	1
27	TSP	100,16%	0	1	0	40	RAND	100,28%	0	0	1
28	FIFO	100,18%	0	0	1	41	LUV	100,33%	0	0	1
29	GDSF(latency)	100,21%	0	0	1	42	GDF(packets)	100,41%	0	0	1
30	GD*(latency)	100,21%	0	0	1	43	GDF(latency)	100,44%	0	0	1
31	LRU-S	100,21%	0	0	1	44	ILF	100,61%	0	0	1
32	LRU-C	100,21%	0	0	1	45	PART-LRU	112,09%	0	1	0

Τεχνική 2: Γενικευμένο Μοντέλο ΠΑΔ για την Αξιολόγηση των Στρατηγικών

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ: BOSTON

A/A	ΜΛΑ	Δ.Α.	Σ.Β.ΕΙΣ. (ΜΝΗΜΗ)	Σ.Β.ΕΚ. (HR)	Σ.Β.ΕΚ. (BHR)	A/A	ΜΛΑ	Δ.Α.	Σ.Β.ΕΙΣ. (ΜΝΗΜΗ)	Σ.Β.ΕΚ. (HR)	Σ.Β.ΕΚ. (BHR)
1	LRU-MIN_35	100,00%	1	0,25	0,75	38	gGDSF(latency)_35	100,11%	1	1	0
2	SIZE_35	100,00%	1	1	0	39	LRU*_35	100,12%	1	0	1
3	PSS_35	100,00%	1	1	0	40	GDF(1)_35	100,12%	1	0	1
4	PSS-LAT_35	100,00%	1	1	0	41	gGDSF(1)_3	100,12%	1	0,99	0,01
5	LRU-SP_3	100,00%	1	0,88	0,12	42	LRU_35	100,15%	1	0	1
6	LRU-SP_10	100,00%	1	0,71	0,29	43	GDSF(latency)_35	100,16%	1	1	0
7	LRU-SP_35	100,00%	1	1	0	44	GD*(latency)_35	100,16%	1	1	0
8	LRU-SP-LAT_35	100,00%	1	0,8	0,2	45	RAND-MIX_35	100,18%	1	0,8	0,2
9	GDS(1)_35	100,00%	1	1	0	46	LRU*_20	100,19%	1	0	1
10	GDSF(1)_3	100,00%	1	1	0	47	GD*(1)_3	100,19%	1	1	0
11	GDSF(1)_35	100,00%	1	1	0	48	GD*(packets)_15	100,19%	1	0,09	0,91
12	GDSF(hops)_35	100,00%	1	1	0	49	GDF(hops)_35	100,20%	1	0	1
13	GDF(1)_10	100,00%	1	0	1	50	LRU*_25	100,22%	1	0	1
14	GD*(packets)_3	100,00%	1	0,52	0,48	51	gGDSF(hops)_10	100,22%	1	0,93	0,07
15	GD*(packets)_5	100,00%	1	0,54	0,46	52	GD*(1)_10	100,23%	1	0,93	0,07
16	GD*(packets)_10	100,00%	1	0,57	0,43	53	LRU-SP_5	100,24%	1	0,73	0,27
17	gGDSF(1)_10	100,00%	1	0,93	0,07	54	GDS(latency)_35	100,24%	1	1	0
18	gGDSF(1)_35	100,00%	1	1	0	55	PSS_10	100,25%	1	0,93	0,07
19	gGDSF(hops)_35	100,00%	1	1	0	56	GDSF(packets)_10	100,25%	1	0,1	0,9
20	gGDSF(packets)_3	100,00%	1	0	1	57	RAND-MIX_3	100,25%	1	0,58	0,42
21	gGDSF(packets)_5	100,00%	1	0	1	58	gGDSF(packets)_10	100,28%	1	0,1	0,9
22	MIX_3	100,00%	1	0,63	0,37	59	gGDSF(packets)_15	100,29%	1	0	1
23	MIX_5	100,00%	1	0,68	0,32	60	M-METRIC_35	100,29%	1	0	1
24	HYBRID_35	100,01%	1	1	0	61	GDSF(packets)_15	100,34%	1	0,09	0,91
25	GDS(hops)_35	100,01%	1	1	0	62	gGDSF(1)_5	100,37%	1	0,99	0,01
26	GD*(1)_35	100,01%	1	1	0	63	GDS(1)_10	100,38%	1	0,93	0,07
27	GD*(hops)_35	100,01%	1	1	0	64	GDS(1)_3	100,39%	1	1	0
28	MIX_35	100,05%	1	0,8	0,2	65	GDSF(1)_5	100,39%	1	0,99	0,01
29	GD*(packets)_35	100,06%	1	0,8	0,2	66	PSS-LAT_10	100,42%	1	0,93	0,07
30	GDSF(packets)_35	100,08%	1	0,8	0,2	67	GDF(1)_15	100,42%	1	0	1
31	SLRU_35	100,09%	1	0	1	68	GDSF(packets)_5	100,43%	1	0,34	0,66
32	LRU-SP-LAT_10	100,09%	1	0,91	0,09	69	FIFO_35	100,44%	1	0	1
33	GDSF(1)_10	100,09%	1	0,93	0,07	70	GDSF(hops)_10	100,44%	1	0,93	0,07
34	gGDSF(packets)_35	100,09%	1	0,8	0,2	71	MIX_20	100,46%	1	0,66	0,34
35	MIX_10	100,09%	1	0,69	0,31	72	GD*(packets)_20	100,47%	1	0,09	0,91
36	TSP_35	100,10%	1	1	0	73	PSS_3	100,48%	1	0,99	0,01
37	GDS(packets)_35	100,11%	1	0,8	0,2	74	SLRU_25	100,49%	1	0	1

75	SLRU_15	100,50%	1	0	1	122	gGDSF(hops)_20	100,80%	1	0,67	0,33
76	GDSF(packets)_20	100,50%	1	0,09	0,91	123	GDS(hops)_10	100,81%	1	0,93	0,07
77	gGDSF(1)_25	100,50%	1	0,66	0,34	124	LRU-MIN_30	100,83%	1	0	1
78	gGDSF(1)_20	100,51%	1	0,66	0,34	125	LRU*_15	100,83%	1	0	1
79	gGDSF(packets)_20	100,51%	1	0,09	0,91	126	MIX_30	100,83%	1	0	1
80	LRU-MIN_10	100,52%	1	0,93	0,07	127	SIZE_25	100,89%	1	0,98	0,02
81	GD*(1)_5	100,54%	1	0,99	0,01	128	TSP_25	100,89%	1	0,81	0,19
82	SLRU_20	100,55%	1	0	1	129	LRU-S_35	100,89%	1	0,8	0,2
83	LUV_35	100,55%	1	1	0	130	PSS-LAT_5	100,91%	1	0,99	0,01
84	LRU-SP-LAT_5	100,57%	1	0,99	0,01	131	FIFO_25	100,92%	1	0,09	0,91
85	gGDSF(hops)_25	100,57%	1	0,81	0,19	132	PSS_20	100,92%	1	0,67	0,33
86	SLRU_10	100,58%	1	0,1	0,9	133	GDF(hops)_25	100,94%	1	0,09	0,91
87	LRU-SP_25	100,58%	1	0,81	0,19	134	RAND-MIX_5	100,94%	1	0,63	0,37
88	GDSF(packets)_25	100,58%	1	0,09	0,91	135	LRU-C_35	100,95%	1	0	1
89	LRU*_30	100,60%	1	0	1	136	LRU-CS_35	100,95%	1	0	1
90	LRU_25	100,61%	1	0	1	137	GDSF(1)_20	100,96%	1	0,82	0,18
91	M-METRIC_25	100,61%	1	0	1	138	gGDSF(latency)_25	100,96%	1	0,81	0,19
92	LRU-MIN_25	100,62%	1	0,66	0,34	139	LRU-MIN_20	100,97%	1	0,67	0,33
93	GDS(1)_5	100,62%	1	0,99	0,01	140	MIX_15	100,97%	1	0,68	0,32
94	GDSF(packets)_3	100,62%	1	0,58	0,42	141	FIFO_30	101,00%	1	0	1
95	GDF(1)_30	100,62%	1	0	1	142	GDF(hops)_20	101,01%	1	0	1
96	LRU-SP-LAT_25	100,63%	1	0,81	0,19	143	GDF(1)_3	101,02%	1	0,24	0,76
97	GD*(packets)_25	100,63%	1	0,65	0,35	144	GD*(1)_20	101,05%	1	0,92	0,08
98	PSS_5	100,64%	1	0,94	0,06	145	SLRU_5	101,07%	1	0,34	0,66
99	GD*(hops)_10	100,64%	1	0,93	0,07	146	GDSF(hops)_20	101,07%	1	0,92	0,08
100	GDSF(1)_25	100,65%	1	0,81	0,19	147	LRU-MIN_5	101,08%	1	0,99	0,01
101	GDSF(hops)_25	100,66%	1	0,89	0,11	148	GDS(packets)_25	101,08%	1	0,66	0,34
102	GD*(1)_25	100,66%	1	0,89	0,11	149	LRU-SP-LAT_3	101,09%	1	1	0
103	PSS_25	100,67%	1	0,89	0,11	150	PSS-LAT_20	101,10%	1	0,92	0,08
104	PSS-LAT_25	100,67%	1	0,81	0,19	151	GDS(1)_20	101,10%	1	0,92	0,08
105	GDF(hops)_30	100,68%	1	0	1	152	LRU-MIN_3	101,12%	1	0,99	0,01
106	GD*(hops)_25	100,69%	1	0,89	0,11	153	LRU-SP-LAT_15	101,13%	1	0,68	0,32
107	RAND-MIX_25	100,69%	1	0,65	0,35	154	LRU-SP-LAT_30	101,13%	1	0,65	0,35
108	LRU_30	100,70%	1	0	1	155	GD*(hops)_20	101,13%	1	0,92	0,08
109	SLRU_30	100,70%	1	0	1	156	RAND-MIX_20	101,13%	1	0,66	0,34
110	GDS(1)_25	100,70%	1	0,91	0,09	157	GDSF(packets)_30	101,14%	1	0,08	0,92
111	LRU-SP-LAT_20	100,71%	1	0,67	0,33	158	GDS(packets)_30	101,18%	1	0,08	0,92
112	GDF(1)_25	100,72%	1	0,09	0,91	159	GDS(hops)_20	101,19%	1	0,92	0,08
113	GDS(hops)_25	100,73%	1	0,91	0,09	160	GD*(latency)_25	101,20%	1	0,92	0,08
114	GDF(1)_20	100,73%	1	0	1	161	LRU-SP_30	101,21%	1	0,65	0,35
115	LRU-SP_20	100,75%	1	0,67	0,33	162	GDS(packets)_20	101,21%	1	0,66	0,34
116	MIX_25	100,75%	1	0,81	0,19	163	GDSF(latency)_25	101,21%	1	0,92	0,08
117	gGDSF(packets)_25	100,76%	1	0,65	0,35	164	GD*(packets)_30	101,21%	1	0,08	0,92
118	HYBRID_25	100,77%	1	0,91	0,09	165	gGDSF(1)_15	101,21%	1	0,68	0,32
119	M-METRIC_30	100,77%	1	0	1	166	gGDSF(latency)_10	101,22%	1	0,93	0,07
120	RAND-MIX_10	100,77%	1	0,69	0,31	167	gGDSF(packets)_30	101,22%	1	0,08	0,92
121	LRU*_10	100,78%	1	0,1	0,9	168	LRU_20	101,24%	1	0,09	0,91

169	GDSF(hops)_5	101,25%	1	0,99	0,01	216	GDS(hops)_5	101,68%	1	0,99	0,01
170	GDF(hops)_15	101,25%	1	0	1	217	GDS(hops)_15	101,68%	1	0,92	0,08
171	TSP_20	101,25%	1	0,67	0,33	218	GDS(packets)_10	101,68%	1	0,69	0,31
172	GDF(1)_5	101,26%	1	0	1	219	GDSF(latency)_20	101,68%	1	0,92	0,08
173	gGDSF(hops)_5	101,27%	1	0,99	0,01	220	GDSF(latency)_30	101,69%	1	0,91	0,09
174	PSS-LAT_30	101,29%	1	0,65	0,35	221	RAND-MIX_15	101,71%	1	0,68	0,32
175	LRU-SP_15	101,30%	1	0,68	0,32	222	GD*(latency)_30	101,72%	1	0,91	0,09
176	gGDSF(hops)_30	101,30%	1	0,65	0,35	223	FIFO_20	101,74%	1	0,09	0,91
177	GD*(1)_30	101,33%	1	0,8	0,2	224	gGDSF(hops)_3	101,74%	1	1	0
178	PSS_30	101,34%	1	0,8	0,2	225	HYBRID_10	101,83%	1	0,98	0,02
179	gGDSF(1)_30	101,35%	1	0,8	0,2	226	GD*(latency)_20	101,86%	1	0,92	0,08
180	EXP1_35	101,37%	1	0,8	0,2	227	RAND_30	101,88%	1	0	1
181	GD*(hops)_30	101,37%	1	0,8	0,2	228	GDS(latency)_30	101,89%	1	1	0
182	GDS(latency)_25	101,38%	1	0,98	0,02	229	GD*(latency)_10	101,89%	1	0,93	0,07
183	RAND-MIX_30	101,38%	1	0,65	0,35	230	PSS-LAT_3	101,94%	1	1	0
184	GDSF(1)_30	101,39%	1	0,8	0,2	231	GDS(packets)_15	101,98%	1	0,67	0,33
185	SIZE_20	101,40%	1	0,98	0,02	232	M-METRIC_10	101,98%	1	0,1	0,9
186	LRU*_3	101,40%	1	0,24	0,76	233	LRU*_5	102,00%	1	0,34	0,66
187	LFU (In-Cache)_35	101,41%	1	0,8	0,2	234	GDS(latency)_20	102,03%	1	0,92	0,08
188	GDSF(1)_15	101,41%	1	0,9	0,1	235	RAND_25	102,05%	1	0	1
189	HYBRID_30	101,42%	1	0,91	0,09	236	GDF(latency)_35	102,07%	1	0	1
190	GDSF(hops)_30	101,43%	1	0,91	0,09	237	SIZE_15	102,08%	1	0,92	0,08
191	RAND_35	101,43%	1	0,8	0,2	238	HYBRID_15	102,09%	1	0,92	0,08
192	GDS(1)_30	101,45%	1	0,91	0,09	239	LRU-C_30	102,09%	1	0	1
193	HYBRID_20	101,46%	1	0,98	0,02	240	gGDSF(latency)_15	102,11%	1	0,68	0,32
194	PSS_15	101,47%	1	0,9	0,1	241	TSP_15	102,11%	1	0,68	0,32
195	M-METRIC_20	101,47%	1	0,09	0,91	242	LRU-S_30	102,11%	1	0	1
196	SIZE_30	101,48%	1	0,91	0,09	243	LRU-CS_30	102,11%	1	0	1
197	GDS(hops)_30	101,48%	1	0,91	0,09	244	M-METRIC_15	102,27%	1	0,09	0,91
198	GD*(1)_15	101,48%	1	0,92	0,08	245	GDS(packets)_5	102,29%	1	0,63	0,37
199	gGDSF(hops)_15	101,48%	1	0,9	0,1	246	GDF(packets)_35	102,30%	1	0	1
200	TSP_30	101,48%	1	0,65	0,35	247	GDS(packets)_3	102,34%	1	0,58	0,42
201	GDSF(hops)_15	101,51%	1	0,92	0,08	248	gGDSF(latency)_5	102,35%	1	0,99	0,01
202	gGDSF(latency)_20	101,52%	1	0,82	0,18	249	LRU-S_25	102,38%	1	0,65	0,35
203	gGDSF(latency)_30	101,54%	1	0,8	0,2	250	LUV_25	102,41%	1	1	0
204	PSS-LAT_15	101,56%	1	0,92	0,08	251	GDS(latency)_10	102,42%	1	0,93	0,07
205	GDS(1)_15	101,56%	1	0,92	0,08	252	GDSF(latency)_15	102,44%	1	0,92	0,08
206	GDSF(latency)_10	101,58%	1	0,93	0,07	253	LRU-CS_25	102,44%	1	0,65	0,35
207	LRU-MIN_15	101,60%	1	0,92	0,08	254	GD*(hops)_3	102,46%	1	1	0
208	SIZE_10	101,60%	1	0,98	0,02	255	LUV_30	102,49%	1	1	0
209	M-METRIC_3	101,61%	1	0,24	0,76	256	LRU-C_25	102,51%	1	0,65	0,35
210	GDSF(hops)_3	101,62%	1	1	0	257	EXP1_25	102,52%	1	0,09	0,91
211	GD*(hops)_15	101,62%	1	0,92	0,08	258	LFU (In-Cache)_25	102,52%	1	0,09	0,91
212	TSP_10	101,63%	1	0,91	0,09	259	LRU_10	102,53%	1	0,1	0,9
213	A-Aging (In-Cache)_35	101,64%	1	0,8	0,2	260	M-METRIC_5	102,53%	1	0,34	0,66
214	GD*(hops)_5	101,64%	1	1	0	261	LRU_15	102,54%	1	0,09	0,91
215	SLRU_3	101,68%	1	0,24	0,76	262	GDSF(latency)_5	102,57%	1	0,99	0,01

263	GDF(hops)_10	102,60%	1	0,1	0,9	310	GDF(latency)_25	105,36%	1	0	1
264	TSP_5	102,60%	1	0,72	0,28	311	FIFO_3	105,37%	1	0,24	0,76
265	EXP1_30	102,61%	1	0	1	312	PART-LRU_35	105,42%	1	1	0
266	LRU-C_20	102,65%	1	0,09	0,91	313	LFU (In-Cache)_15	105,47%	1	0	1
267	GD*(latency)_15	102,66%	1	0,92	0,08	314	GDS(latency)_3	105,61%	1	1	0
268	TSP_3	102,69%	1	0,69	0,31	315	EXP1_15	105,64%	1	0,09	0,91
269	RAND_20	102,70%	1	0	1	316	A-Aging (In-Cache)_15	105,84%	1	0,09	0,91
270	A-Aging (In-Cache)_30	102,71%	1	0	1	317	PART-LRU_10	106,14%	1	0,93	0,07
271	GDS(hops)_3	102,71%	1	1	0	318	LRU-S_5	106,25%	1	0,63	0,37
272	FIFO_15	102,75%	1	0,09	0,91	319	A-Aging (In-Cache)_10	106,30%	1	0,1	0,9
273	gGDSF(latency)_3	102,79%	1	0,99	0,01	320	LRU-C_5	106,48%	1	0,62	0,38
274	PART-LRU_5	102,80%	1	0,63	0,37	321	LRU-CS_5	106,48%	1	0,62	0,38
275	A-Aging (In-Cache)_25	102,84%	1	0,09	0,91	322	GDF(packets)_20	106,55%	1	0	1
276	FIFO_10	102,89%	1	0,1	0,9	323	EXP1_10	106,59%	1	0,1	0,9
277	LRU-S_20	102,97%	1	0,09	0,91	324	LLF_35	106,66%	1	0	1
278	GDS(latency)_15	103,00%	1	0,92	0,08	325	LUV_15	106,84%	1	1	0
279	LRU-CS_20	103,07%	1	0,09	0,91	326	GDF(hops)_5	106,91%	1	0,63	0,37
280	LRU_3	103,09%	1	0,24	0,76	327	LFU (In-Cache)_10	107,34%	1	0,1	0,9
281	LFU (In-Cache)_30	103,14%	1	0	1	328	LRU-S_3	107,36%	1	0,24	0,76
282	GD*(latency)_5	103,14%	1	0,99	0,01	329	LRU-CS_3	107,54%	1	0,24	0,76
283	PART-LRU_3	103,23%	1	0,58	0,42	330	LRU-C_3	107,66%	1	0,24	0,76
284	LRU_5	103,25%	1	0,62	0,38	331	RAND_5	108,53%	1	0,63	0,37
285	GDSF(latency)_3	103,26%	1	1	0	332	SIZE_3	108,71%	1	1	0
286	A-Aging (In-Cache)_20	103,50%	1	0,09	0,91	333	GDF(latency)_20	108,91%	1	0	1
287	EXP1_20	103,74%	1	0,09	0,91	334	GDF(hops)_3	109,13%	1	0,58	0,42
288	LRU-S_15	103,74%	1	0,09	0,91	335	LLF_30	109,40%	1	0	1
289	LRU-C_15	103,76%	1	0,09	0,91	336	LFU (In-Cache)_5	109,43%	1	0,34	0,66
290	LRU-CS_15	103,76%	1	0,09	0,91	337	RAND_3	109,81%	1	0,24	0,76
291	RAND_15	103,78%	1	0	1	338	GDF(packets)_15	109,82%	1	0	1
292	LFU (In-Cache)_20	103,84%	1	0,09	0,91	339	HYBRID_3	109,90%	1	1	0
293	PART-LRU_20	103,90%	1	0,82	0,18	340	EXP1_5	110,36%	1	0,34	0,66
294	GDF(packets)_30	103,96%	1	0	1	341	LUV_10	110,40%	1	1	0
295	LUV_20	104,01%	1	1	0	342	A-Aging (In-Cache)_5	110,69%	1	0,63	0,37
296	GDF(latency)_30	104,20%	1	0	1	343	LLF_25	112,61%	1	0	1
297	GDS(latency)_5	104,23%	1	0,99	0,01	344	A-Aging (In-Cache)_3	114,63%	1	0,59	0,41
298	GD*(latency)_3	104,23%	1	1	0	345	GDF(latency)_15	115,07%	1	0	1
299	PART-LRU_25	104,30%	1	0,91	0,09	346	LFU (In-Cache)_3	115,32%	1	0,69	0,31
300	FIFO_5	104,42%	1	0,62	0,38	347	GDF(packets)_10	115,63%	1	0	1
301	SIZE_5	104,53%	1	1	0	348	LLF_20	118,06%	1	0	1
302	LRU-S_10	104,55%	1	0,1	0,9	349	EXP1_3	118,91%	1	0,7	0,3
303	LRU-C_10	104,57%	1	0,1	0,9	350	LUV_5	119,51%	1	1	0
304	LRU-CS_10	104,59%	1	0,1	0,9	351	GDF(latency)_10	121,05%	1	0	1
305	PART-LRU_30	104,86%	1	0,91	0,09	352	LLF_15	125,38%	1	0	1
306	RAND_10	104,90%	1	0,1	0,9	353	LUV_3	125,82%	1	1	0
307	HYBRID_5	105,01%	1	1	0	354	GDF(packets)_5	125,96%	1	0	1
308	GDF(packets)_25	105,02%	1	0	1	355	GDF(packets)_3	132,15%	1	0	1
309	PART-LRU_15	105,07%	1	0,9	0,1	356	GDF(latency)_5	134,24%	1	0,34	0,66

357	LLF_10	135,55%	1	0	1					
358	GDF(latency)_3	139,15%	1	0,58	0,42					
359	LLF_5	156,84%	1	0,63	0,37					
360	LLF_3	172,44%	1	0,7	0,3					

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ: DIGITAL

A/A	ΜΑΑ	Δ.Α.	Σ.Β.ΕΙΣ. (ΜΝΗΜΗ)	Σ.Β.ΕΚ. (HR)	Σ.Β.ΕΚ. (BHR)	A/A	ΜΑΑ	Δ.Α.	Σ.Β.ΕΙΣ. (ΜΝΗΜΗ)	Σ.Β.ΕΚ. (HR)	Σ.Β.ΕΚ. (BHR)
1	LRU*_35	100,00%	1	0	1	37	GDSF(1)_30	100,01%	1	0,98	0,02
2	GDSF(1)_3	100,00%	1	0,87	0,13	38	SLRU_35	100,02%	1	0	1
3	GDSF(1)_10	100,00%	1	0,93	0,07	39	LRU*_20	100,02%	1	0	1
4	GDSF(1)_15	100,00%	1	0,95	0,05	40	gGDSF(packets)_35	100,02%	1	0	1
5	GDSF(1)_20	100,00%	1	0,97	0,03	41	M-METRIC_20	100,02%	1	0	1
6	GDSF(1)_25	100,00%	1	0,99	0,01	42	LRU-SP_35	100,03%	1	1	0
7	GDSF(1)_35	100,00%	1	1	0	43	GDSF(packets)_25	100,03%	1	0,2	0,8
8	GDSF(packets)_20	100,00%	1	0,07	0,93	44	GD*(packets)_30	100,03%	1	0,19	0,81
9	GD*(1)_3	100,00%	1	1	0	45	GDS(1)_35	100,04%	1	1	0
10	GD*(1)_5	100,00%	1	1	0	46	GDSF(1)_5	100,04%	1	0,89	0,11
11	GD*(1)_10	100,00%	1	1	0	47	LRU-SP_30	100,05%	1	0,98	0,02
12	GD*(1)_15	100,00%	1	1	0	48	GDSF(packets)_35	100,05%	1	0	1
13	GD*(1)_20	100,00%	1	1	0	49	PSS_35	100,06%	1	1	0
14	GD*(1)_25	100,00%	1	1	0	50	LRU-SP_25	100,06%	1	0,98	0,02
15	GD*(1)_30	100,00%	1	1	0	51	LRU-SP-LAT_35	100,07%	1	1	0
16	GD*(1)_35	100,00%	1	1	0	52	GDSF(hops)_35	100,07%	1	1	0
17	GD*(packets)_5	100,00%	1	0,2	0,8	53	GD*(hops)_35	100,07%	1	1	0
18	GD*(packets)_10	100,00%	1	0,27	0,73	54	gGDSF(hops)_35	100,07%	1	1	0
19	GD*(packets)_15	100,00%	1	0,27	0,73	55	MIX_25	100,07%	1	0,98	0,02
20	GD*(packets)_20	100,00%	1	0,3	0,7	56	gGDSF(packets)_30	100,08%	1	0,11	0,89
21	GD*(packets)_25	100,00%	1	0,25	0,75	57	MIX_20	100,09%	1	0,97	0,03
22	GD*(packets)_35	100,00%	1	0,07	0,93	58	MIX_35	100,09%	1	1	0
23	gGDSF(1)_3	100,00%	1	0,25	0,75	59	PSS-LAT_35	100,10%	1	1	0
24	gGDSF(1)_5	100,00%	1	0,3	0,7	60	M-METRIC_35	100,10%	1	0	1
25	gGDSF(1)_10	100,00%	1	0,38	0,62	61	MIX_30	100,10%	1	0,98	0,02
26	gGDSF(1)_15	100,00%	1	0,39	0,61	62	LRU-SP_20	100,11%	1	0,97	0,03
27	gGDSF(1)_20	100,00%	1	0,54	0,46	63	GDS(1)_30	100,11%	1	1	0
28	gGDSF(1)_25	100,00%	1	0,38	0,62	64	GD*(packets)_3	100,11%	1	0,18	0,82
29	gGDSF(1)_30	100,00%	1	0,87	0,13	65	PSS_30	100,12%	1	0,98	0,02
30	gGDSF(1)_35	100,00%	1	0,27	0,73	66	SLRU_20	100,13%	1	0	1
31	gGDSF(packets)_3	100,00%	1	0,07	0,93	67	LRU-SP-LAT_30	100,13%	1	0,98	0,02
32	gGDSF(packets)_5	100,00%	1	0,04	0,96	68	GDSF(packets)_30	100,13%	1	0,11	0,89
33	gGDSF(packets)_10	100,00%	1	0	1	69	MIX_15	100,13%	1	0,95	0,05
34	gGDSF(packets)_15	100,00%	1	0	1	70	GDS(hops)_35	100,14%	1	1	0
35	gGDSF(packets)_20	100,00%	1	0	1	71	GDSF(hops)_30	100,14%	1	0,98	0,02
36	gGDSF(packets)_25	100,00%	1	0	1	72	GD*(hops)_30	100,14%	1	1	0

73	gGDSF(hops)_30	100,14%	1	0,98	0,02	120	SIZE_30	100,46%	1	1	0
74	LRU-SP_15	100,15%	1	0,95	0,05	121	SLRU_10	100,46%	1	0	1
75	LRU-SP-LAT_25	100,15%	1	0,98	0,02	122	GDF(1)_30	100,48%	1	0	1
76	GDS(1)_25	100,16%	1	1	0	123	GD*(hops)_20	100,48%	1	1	0
77	GDSF(packets)_15	100,16%	1	0,11	0,89	124	GDS(hops)_25	100,49%	1	1	0
78	SLRU_25	100,17%	1	0	1	125	GDSF(hops)_20	100,49%	1	0,98	0,02
79	M-METRIC_25	100,17%	1	0	1	126	gGDSF(hops)_20	100,49%	1	0,97	0,03
80	PSS-LAT_30	100,18%	1	1	0	127	GDS(1)_15	100,54%	1	1	0
81	PSS_25	100,19%	1	1	0	128	LRU_35	100,59%	1	0	1
82	LRU*_30	100,19%	1	0	1	129	GDS(packets)_35	100,59%	1	0,11	0,89
83	SIZE_35	100,20%	1	1	0	130	LRU-MIN_30	100,62%	1	0,24	0,76
84	LRU-SP_10	100,20%	1	0,93	0,07	131	PSS_15	100,63%	1	0,95	0,05
85	LRU-SP-LAT_20	100,20%	1	0,97	0,03	132	gGDSF(latency)_25	100,63%	1	1	0
86	LRU*_25	100,21%	1	0	1	133	LRU-MIN_20	100,68%	1	0,36	0,64
87	GDF(1)_20	100,21%	1	0	1	134	GDF(hops)_30	100,68%	1	0	1
88	MIX_10	100,21%	1	0,93	0,07	135	GDSF(packets)_5	100,69%	1	0,18	0,82
89	LRU*_15	100,24%	1	0	1	136	RAND-MIX_35	100,71%	1	1	0
90	LRU-SP-LAT_15	100,25%	1	0,95	0,05	137	RAND-MIX_30	100,73%	1	0,24	0,76
91	GDSF(hops)_25	100,26%	1	1	0	138	GDS(packets)_30	100,74%	1	0,19	0,81
92	GD*(hops)_25	100,26%	1	1	0	139	HYBRID_30	100,75%	1	1	0
93	gGDSF(hops)_25	100,26%	1	0,98	0,02	140	GDF(hops)_25	100,77%	1	0	1
94	PSS-LAT_25	100,27%	1	1	0	141	PSS-LAT_15	100,78%	1	1	0
95	LRU-SP_3	100,27%	1	0,84	0,16	142	LRU-SP-LAT_5	100,78%	1	0,89	0,11
96	GDS(hops)_30	100,27%	1	1	0	143	RAND-MIX_20	100,81%	1	0,36	0,64
97	gGDSF(latency)_35	100,27%	1	1	0	144	LRU*_10	100,82%	1	0	1
98	LRU-SP_5	100,28%	1	0,88	0,12	145	SIZE_25	100,83%	1	1	0
99	GDS(1)_20	100,29%	1	1	0	146	LRU-MIN_25	100,84%	1	0,28	0,72
100	M-METRIC_30	100,30%	1	0	1	147	GDS(hops)_20	100,90%	1	1	0
101	MIX_5	100,30%	1	0,88	0,12	148	gGDSF(hops)_15	100,93%	1	0,94	0,06
102	GDF(1)_25	100,31%	1	0	1	149	gGDSF(latency)_20	100,95%	1	0,98	0,02
103	SLRU_30	100,32%	1	0	1	150	GDSF(hops)_15	100,96%	1	0,95	0,05
104	LRU-SP-LAT_10	100,32%	1	0,93	0,07	151	RAND-MIX_25	100,96%	1	0,28	0,72
105	M-METRIC_15	100,33%	1	0	1	152	LRU_30	100,98%	1	0	1
106	MIX_3	100,35%	1	0,84	0,16	153	GD*(hops)_15	100,99%	1	1	0
107	LRU-MIN_35	100,36%	1	0,11	0,89	154	GDS(packets)_25	101,00%	1	0,27	0,73
108	PSS_20	100,36%	1	0,98	0,02	155	GDS(1)_10	101,04%	1	0,93	0,07
109	M-METRIC_5	100,37%	1	0	1	156	SLRU_5	101,05%	1	0	1
110	SLRU_15	100,38%	1	0	1	157	TSP_35	101,06%	1	0,04	0,96
111	M-METRIC_10	100,38%	1	0	1	158	GDSF(packets)_3	101,07%	1	0,18	0,82
112	HYBRID_35	100,39%	1	1	0	159	GDF(1)_10	101,13%	1	0	1
113	M-METRIC_3	100,39%	1	0	1	160	RAND-MIX_15	101,14%	1	0,32	0,68
114	GDF(1)_35	100,41%	1	0	1	161	PSS_10	101,15%	1	0,93	0,07
115	GDF(hops)_35	100,41%	1	0	1	162	LRU-MIN_15	101,17%	1	0,95	0,05
116	gGDSF(latency)_30	100,43%	1	0,98	0,02	163	GDSF(latency)_35	101,21%	1	0,11	0,89
117	GDSF(packets)_10	100,44%	1	0,1	0,9	164	GDS(packets)_20	101,26%	1	0,08	0,92
118	PSS-LAT_20	100,45%	1	1	0	165	GDF(hops)_20	101,26%	1	0	1
119	GDF(1)_15	100,45%	1	0	1	166	LRU_25	101,28%	1	0	1

167	HYBRID_25	101,30%	1	1	0	214	FIFO_30	102,96%	1	0	1
168	RAND-MIX_10	101,30%	1	0,32	0,68	215	SIZE_15	103,00%	1	1	0
169	LRU*_5	101,33%	1	0	1	216	GDS(latency)_30	103,24%	1	0,24	0,76
170	GDF(1)_5	101,40%	1	0	1	217	LRU-C_30	103,34%	1	0	1
171	SLRU_3	101,44%	1	0	1	218	PSS-LAT_5	103,39%	1	1	0
172	gGDSF(latency)_15	101,45%	1	0,95	0,05	219	GDS(1)_3	103,41%	1	0,89	0,11
173	GD*(latency)_35	101,46%	1	0,11	0,89	220	GDS(packets)_10	103,47%	1	0,1	0,9
174	PSS-LAT_10	101,47%	1	1	0	221	LRU-S_30	103,59%	1	0	1
175	LRU_20	101,50%	1	0	1	222	FIFO_25	103,60%	1	0	1
176	TSP_30	101,58%	1	0,2	0,8	223	GD*(latency)_20	103,60%	1	0,35	0,65
177	SIZE_20	101,59%	1	1	0	224	GDF(latency)_35	103,61%	1	0	1
178	LRU-SP-LAT_3	101,67%	1	0,89	0,11	225	LRU-CS_30	103,61%	1	0	1
179	LFU (In-Cache)_35	101,70%	1	0	1	226	EXP1_25	103,62%	1	0	1
180	EXP1_35	101,71%	1	0	1	227	RAND_30	103,62%	1	0	1
181	GDSF(latency)_30	101,72%	1	0,24	0,76	228	LFU (In-Cache)_25	103,64%	1	0	1
182	GDS(hops)_15	101,75%	1	1	0	229	GDS(hops)_10	103,64%	1	1	0
183	GDF(1)_3	101,76%	1	0	1	230	PSS_3	103,66%	1	0,88	0,12
184	GDS(packets)_15	101,82%	1	0,11	0,89	231	A-Aging (In-Cache)_30	103,66%	1	0	1
185	gGDSF(hops)_10	101,83%	1	0,93	0,07	232	LRU_10	103,72%	1	0	1
186	LRU-MIN_10	101,92%	1	1	0	233	GDSF(latency)_15	104,02%	1	0,32	0,68
187	LRU*_3	101,96%	1	0	1	234	LRU-C_25	104,06%	1	0	1
188	GDSF(hops)_10	102,00%	1	0,93	0,07	235	GDS(latency)_25	104,09%	1	0,27	0,73
189	TSP_25	102,02%	1	0,27	0,73	236	TSP_15	104,11%	1	0,32	0,68
190	RAND-MIX_5	102,06%	1	0,22	0,78	237	gGDSF(hops)_5	104,20%	1	0,88	0,12
191	GD*(latency)_30	102,08%	1	0,24	0,76	238	RAND_25	104,20%	1	0	1
192	GD*(hops)_10	102,11%	1	1	0	239	HYBRID_15	104,21%	1	1	0
193	GDSF(latency)_25	102,15%	1	0,27	0,73	240	LFU (In-Cache)_20	104,23%	1	0	1
194	FIFO_35	102,19%	1	0	1	241	FIFO_20	104,28%	1	0	1
195	RAND-MIX_3	102,21%	1	0,19	0,81	242	EXP1_20	104,32%	1	0	1
196	GDS(1)_5	102,28%	1	0,89	0,11	243	GDF(packets)_30	104,33%	1	0	1
197	HYBRID_20	102,30%	1	1	0	244	LRU-S_25	104,33%	1	0	1
198	LRU_15	102,32%	1	0	1	245	LRU-CS_25	104,35%	1	0	1
199	GDS(latency)_35	102,32%	1	0,11	0,89	246	PART-LRU_30	104,39%	1	0,24	0,76
200	PSS_5	102,49%	1	0,89	0,11	247	PART-LRU_20	104,54%	1	0,08	0,92
201	gGDSF(latency)_10	102,49%	1	1	0	248	PART-LRU_35	104,54%	1	1	0
202	RAND_35	102,55%	1	0	1	249	PART-LRU_25	104,55%	1	0,27	0,73
203	LFU (In-Cache)_30	102,65%	1	0	1	250	PART-LRU_15	104,65%	1	0,11	0,89
204	EXP1_30	102,67%	1	0	1	251	A-Aging (In-Cache)_25	104,75%	1	0	1
205	LRU-C_35	102,72%	1	0	1	252	LRU-C_20	104,93%	1	0	1
206	A-Aging (In-Cache)_35	102,77%	1	0	1	253	LUV_35	104,98%	1	1	0
207	TSP_20	102,78%	1	0,35	0,65	254	LRU-S_20	105,00%	1	0	1
208	GDF(packets)_35	102,79%	1	0	1	255	LRU-CS_20	105,02%	1	0	1
209	GD*(latency)_25	102,79%	1	0,27	0,73	256	GDSF(hops)_5	105,03%	1	0,89	0,11
210	GDSF(latency)_20	102,82%	1	0,35	0,65	257	gGDSF(latency)_5	105,03%	1	1	0
211	LRU-S_35	102,88%	1	0	1	258	GDS(packets)_5	105,15%	1	0,18	0,82
212	LRU-CS_35	102,91%	1	0	1	259	A-Aging (In-Cache)_20	105,18%	1	0	1
213	GDF(hops)_15	102,92%	1	0	1	260	LRU-MIN_5	105,25%	1	1	0

261	PSS-LAT_3	105,28%	1	1	0	308	RAND_10	110,07%	1	0	1
262	GD*(latency)_15	105,34%	1	0,32	0,68	309	FIFO_5	110,62%	1	0	1
263	GDS(latency)_20	105,36%	1	0,35	0,65	310	GDS(latency)_10	110,99%	1	0,31	0,69
264	FIFO_15	105,51%	1	0	1	311	GD*(hops)_3	111,15%	1	1	0
265	RAND_20	105,51%	1	0	1	312	LRU-S_5	111,19%	1	0	1
266	GDF(latency)_30	105,58%	1	0	1	313	GDSF(latency)_3	111,21%	1	0,19	0,81
267	PART-LRU_10	105,75%	1	0,1	0,9	314	TSP_3	111,23%	1	0,19	0,81
268	LRU_5	105,86%	1	0	1	315	LRU-C_5	111,24%	1	0	1
269	GDSF(latency)_10	105,87%	1	0,31	0,69	316	LRU-CS_5	111,24%	1	0	1
270	EXPI_15	105,98%	1	0	1	317	GDF(latency)_20	111,46%	1	0	1
271	LFU (In-Cache)_15	105,98%	1	0	1	318	GDF(hops)_5	112,62%	1	0	1
272	GDF(packets)_25	106,09%	1	0	1	319	FIFO_3	112,81%	1	0	1
273	GD*(hops)_5	106,12%	1	1	0	320	LRU-S_3	113,45%	1	0	1
274	LRU-C_15	106,12%	1	0	1	321	LRU-C_3	113,50%	1	0	1
275	TSP_10	106,14%	1	0,31	0,69	322	LRU-CS_3	113,50%	1	0	1
276	LRU-S_15	106,30%	1	0	1	323	RAND_5	113,57%	1	0	1
277	LRU-CS_15	106,33%	1	0	1	324	LUV_20	113,59%	1	0,36	0,64
278	SIZE_10	106,48%	1	1	0	325	GD*(latency)_5	113,70%	1	0,22	0,78
279	PART-LRU_5	106,49%	1	0,18	0,82	326	LLF_30	114,04%	1	0	1
280	GDS(packets)_3	106,58%	1	0,18	0,82	327	LFU (In-Cache)_5	114,40%	1	0	1
281	gGDSF(hops)_3	106,61%	1	0,84	0,16	328	GDF(packets)_15	114,44%	1	0	1
282	A-Aging (In-Cache)_15	106,89%	1	0	1	329	A-Aging (In-Cache)_5	114,48%	1	0	1
283	LRU-MIN_3	106,91%	1	1	0	330	GDS(hops)_3	114,99%	1	0,89	0,11
284	GDF(hops)_10	107,06%	1	0	1	331	RAND_3	115,88%	1	0	1
285	LRU_3	107,09%	1	0	1	332	GDF(hops)_3	116,03%	1	0	1
286	LUV_30	107,24%	1	0,98	0,02	333	GDS(latency)_5	116,56%	1	0,22	0,78
287	gGDSF(latency)_3	107,34%	1	1	0	334	SIZE_5	117,05%	1	1	0
288	RAND_15	107,55%	1	0	1	335	GDF(latency)_15	117,52%	1	0	1
289	GDS(latency)_15	107,62%	1	0,32	0,68	336	A-Aging (In-Cache)_3	119,01%	1	0	1
290	PART-LRU_3	107,71%	1	0	1	337	LLF_25	119,04%	1	0	1
291	FIFO_10	107,78%	1	0	1	338	GD*(latency)_3	119,28%	1	0,2	0,8
292	GDF(latency)_25	107,89%	1	0	1	339	LFU (In-Cache)_3	119,34%	1	0	1
293	GDSF(hops)_3	108,18%	1	0,88	0,12	340	LUV_15	119,77%	1	0,33	0,67
294	LRU-C_10	108,23%	1	0	1	341	EXPI_5	120,11%	1	0	1
295	GD*(latency)_10	108,28%	1	0,31	0,69	342	HYBRID_5	121,12%	1	1	0
296	HYBRID_10	108,35%	1	1	0	343	GDS(latency)_3	121,89%	1	0,19	0,81
297	LRU-S_10	108,42%	1	0	1	344	GDF(packets)_10	123,58%	1	0	1
298	LRU-CS_10	108,45%	1	0	1	345	LLF_20	126,76%	1	0	1
299	GDSF(latency)_5	108,51%	1	0,22	0,78	346	GDF(latency)_10	128,01%	1	0	1
300	TSP_5	108,75%	1	0,21	0,79	347	SIZE_3	128,39%	1	1	0
301	LFU (In-Cache)_10	108,93%	1	0	1	348	LUV_10	130,26%	1	0,33	0,67
302	GDF(packets)_20	109,04%	1	0	1	349	EXPI_3	132,55%	1	0	1
303	GDS(hops)_5	109,27%	1	0,89	0,11	350	HYBRID_3	135,51%	1	1	0
304	EXPI_10	109,29%	1	0	1	351	LLF_15	138,42%	1	0	1
305	A-Aging (In-Cache)_10	109,55%	1	0	1	352	GDF(packets)_5	141,50%	1	0	1
306	LLF_35	109,84%	1	0	1	353	GDF(latency)_5	147,89%	1	0	1
307	LUV_25	110,02%	1	0,28	0,72	354	LUV_5	152,14%	1	0,89	0,11

355	GDF(packets)_3	156,98%	1	0	1	360	LLF_3	247,19%	1	0	1
356	LLF_10	159,07%	1	0	1						
357	GDF(latency)_3	162,58%	1	0	1						
358	LUV_3	171,39%	1	1	0						
359	LLF_5	205,38%	1	0	1						

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ: BERKELEY

A/A	ΜΑΑ	Δ.Α.	Σ.Β.ΕΙΣ. (ΜΝΗΜΗ)	Σ.Β.ΕΚ. (HR)	Σ.Β.ΕΚ. (BHR)	A/A	ΜΑΑ	Δ.Α.	Σ.Β.ΕΙΣ. (ΜΝΗΜΗ)	Σ.Β.ΕΚ. (HR)	Σ.Β.ΕΚ. (BHR)
1	SIZE_35	100,00%	1	0,52	0,48	35	RAND-MIX_35	100,02%	1	1	0
2	PSS_35	100,00%	1	0,52	0,48	36	LRU-SP_5	100,03%	1	0,57	0,43
3	PSS-LAT_35	100,00%	1	0,52	0,48	37	GDSF(1)_15	100,03%	1	0,62	0,38
4	LRU-SP_15	100,00%	1	0,3	0,7	38	LRU*_35	100,04%	1	0	1
5	LRU-SP_35	100,00%	1	0,52	0,48	39	LRU_35	100,05%	1	0	1
6	LRU-SP-LAT_35	100,00%	1	1	0	40	SLRU_35	100,05%	1	0	1
7	GDS(1)_35	100,00%	1	0,52	0,48	41	LRU-SP_10	100,05%	1	0,67	0,33
8	GDS(hops)_35	100,00%	1	0,52	0,48	42	M-METRIC_35	100,05%	1	0	1
9	GDS(packets)_35	100,00%	1	1	0	43	TSP_35	100,06%	1	0	1
10	GDSF(1)_3	100,00%	1	0,69	0,31	44	GDSF(latency)_35	100,07%	1	0	1
11	GDSF(1)_5	100,00%	1	0,66	0,34	45	GDF(hops)_35	100,07%	1	0	1
12	GDSF(1)_10	100,00%	1	0,78	0,22	46	GD*(1)_15	100,07%	1	0,62	0,38
13	GDSF(1)_35	100,00%	1	0,52	0,48	47	GD*(latency)_35	100,07%	1	0	1
14	GDSF(hops)_35	100,00%	1	0,52	0,48	48	GDF(1)_35	100,08%	1	0	1
15	GDSF(packets)_35	100,00%	1	1	0	49	LRU-SP_20	100,10%	1	0,84	0,16
16	GD*(1)_3	100,00%	1	1	0	50	GD*(packets)_3	100,10%	1	0	1
17	GD*(1)_5	100,00%	1	1	0	51	gGDSF(1)_20	100,10%	1	0,84	0,16
18	GD*(1)_10	100,00%	1	1	0	52	gGDSF(hops)_15	100,10%	1	0,62	0,38
19	GD*(1)_35	100,00%	1	0,52	0,48	53	EXP1_35	100,11%	1	0	1
20	GD*(hops)_35	100,00%	1	0,52	0,48	54	LFU (In-Cache)_35	100,11%	1	0	1
21	GD*(packets)_35	100,00%	1	1	0	55	LRU-SP_3	100,11%	1	0,57	0,43
22	gGDSF(1)_3	100,00%	1	0,11	0,89	56	LRU-SP-LAT_15	100,11%	1	0,62	0,38
23	gGDSF(1)_5	100,00%	1	0	1	57	GDSF(1)_20	100,11%	1	0,84	0,16
24	gGDSF(1)_10	100,00%	1	0,46	0,54	58	GD*(1)_20	100,11%	1	1	0
25	gGDSF(1)_15	100,00%	1	0,3	0,7	59	PSS_15	100,12%	1	0,62	0,38
26	gGDSF(1)_35	100,00%	1	0,52	0,48	60	LRU-SP-LAT_20	100,12%	1	0,84	0,16
27	gGDSF(latency)_35	100,00%	1	0	1	61	gGDSF(hops)_20	100,12%	1	0,84	0,16
28	gGDSF(hops)_35	100,00%	1	0,52	0,48	62	PSS_20	100,13%	1	1	0
29	gGDSF(packets)_30	100,00%	1	0	1	63	GDS(1)_20	100,13%	1	1	0
30	gGDSF(packets)_35	100,00%	1	1	0	64	GDSF(hops)_20	100,13%	1	1	0
31	LRU-MIN_35	100,01%	1	1	0	65	GDF(packets)_35	100,13%	1	0	1
32	HYBRID_35	100,01%	1	1	0	66	GD*(hops)_20	100,13%	1	1	0
33	MIX_15	100,02%	1	0,04	0,96	67	GD*(packets)_15	100,13%	1	0	1
34	MIX_35	100,02%	1	1	0	68	PSS-LAT_20	100,14%	1	1	0

69	GDS(hops)_20	100,14%	1	1	0	116	GD*(1)_30	100,45%	1	1	0
70	GDSF(hops)_15	100,14%	1	0,62	0,38	117	gGDSF(1)_30	100,45%	1	1	0
71	GDSF(packets)_15	100,15%	1	0	1	118	gGDSF(hops)_30	100,45%	1	1	0
72	FIFO_35	100,16%	1	0	1	119	SIZE_30	100,46%	1	1	0
73	GDS(latency)_35	100,16%	1	0	1	120	PSS_30	100,46%	1	1	0
74	GD*(hops)_15	100,16%	1	0,62	0,38	121	PSS-LAT_30	100,46%	1	1	0
75	MIX_20	100,17%	1	0,84	0,16	122	LRU-SP_30	100,46%	1	0,83	0,17
76	A-Aging (In-Cache)_35	100,18%	1	0	1	123	LRU-SP-LAT_30	100,46%	1	0,83	0,17
77	gGDSF(packets)_15	100,18%	1	0	1	124	GDS(1)_30	100,46%	1	1	0
78	MIX_10	100,18%	1	0,38	0,62	125	GDS(hops)_30	100,46%	1	1	0
79	RAND_35	100,18%	1	0	1	126	GDS(packets)_30	100,46%	1	1	0
80	GDS(1)_10	100,19%	1	1	0	127	GDSF(packets)_30	100,46%	1	1	0
81	GDS(1)_15	100,19%	1	0,65	0,35	128	GD*(hops)_30	100,46%	1	1	0
82	GDF(latency)_35	100,19%	1	0	1	129	GD*(packets)_30	100,46%	1	1	0
83	PSS_10	100,23%	1	1	0	130	gGDSF(latency)_15	100,46%	1	0,62	0,38
84	LRU-SP-LAT_10	100,23%	1	1	0	131	LRU-SP_25	100,47%	1	0,39	0,61
85	SIZE_20	100,24%	1	1	0	132	LLF_35	100,47%	1	0	1
86	LRU*_15	100,24%	1	0	1	133	gGDSF(1)_25	100,47%	1	0,39	0,61
87	PSS-LAT_15	100,25%	1	0,65	0,35	134	GDSF(1)_25	100,48%	1	0,39	0,61
88	GD*(packets)_5	100,25%	1	0	1	135	gGDSF(latency)_30	100,48%	1	1	0
89	gGDSF(packets)_3	100,25%	1	0	1	136	LRU-MIN_30	100,49%	1	1	0
90	LUV_35	100,25%	1	0	1	137	SLRU_5	100,49%	1	0	1
91	gGDSF(latency)_20	100,28%	1	1	0	138	LRU-SP-LAT_25	100,49%	1	0,39	0,61
92	LRU-MIN_20	100,29%	1	0,64	0,36	139	GD*(1)_25	100,49%	1	0,59	0,41
93	MIX_5	100,29%	1	0	1	140	gGDSF(hops)_25	100,49%	1	0,39	0,61
94	RAND-MIX_15	100,30%	1	0,04	0,96	141	MIX_30	100,49%	1	1	0
95	LRU-C_35	100,31%	1	0	1	142	PSS_25	100,50%	1	0,53	0,47
96	GDS(hops)_15	100,32%	1	0,65	0,35	143	HYBRID_30	100,50%	1	1	0
97	GDSF(hops)_10	100,32%	1	0,86	0,14	144	GDSF(hops)_25	100,51%	1	0,59	0,41
98	GD*(hops)_10	100,32%	1	1	0	145	GD*(hops)_25	100,51%	1	0,59	0,41
99	LRU-S_35	100,32%	1	0	1	146	RAND-MIX_30	100,51%	1	1	0
100	LRU-MIN_15	100,33%	1	0,65	0,35	147	HYBRID_20	100,52%	1	1	0
101	GD*(packets)_20	100,33%	1	0,64	0,36	148	PSS-LAT_25	100,53%	1	0,59	0,41
102	SLRU_15	100,34%	1	0	1	149	GDS(1)_25	100,53%	1	0,59	0,41
103	GDSF(packets)_20	100,34%	1	0,64	0,36	150	LRU-MIN_25	100,54%	1	0,59	0,41
104	LRU-CS_35	100,34%	1	0	1	151	GDS(hops)_25	100,54%	1	0,59	0,41
105	GDSF(packets)_3	100,35%	1	0	1	152	GDSF(packets)_10	100,54%	1	0	1
106	gGDSF(hops)_10	100,35%	1	0,67	0,33	153	GDF(hops)_15	100,54%	1	0	1
107	gGDSF(packets)_20	100,35%	1	0,6	0,4	154	MIX_25	100,54%	1	0,53	0,47
108	RAND-MIX_20	100,35%	1	0,84	0,16	155	LRU-MIN_10	100,55%	1	1	0
109	GDS(packets)_15	100,36%	1	0	1	156	SLRU_3	100,55%	1	0	1
110	GDSF(packets)_5	100,37%	1	0	1	157	GD*(packets)_25	100,55%	1	0,39	0,61
111	gGDSF(packets)_5	100,37%	1	0	1	158	GDS(packets)_25	100,57%	1	0,59	0,41
112	GDS(packets)_20	100,38%	1	0,64	0,36	159	GDSF(packets)_25	100,57%	1	0,39	0,61
113	GDF(1)_15	100,38%	1	0	1	160	GD*(packets)_10	100,57%	1	0	1
114	GDSF(1)_30	100,45%	1	1	0	161	gGDSF(latency)_25	100,57%	1	0,5	0,5
115	GDSF(hops)_30	100,45%	1	1	0	162	gGDSF(packets)_25	100,57%	1	0,39	0,61

163	LRU-SP-LAT_5	100,59%	1	1	0	210	gGDSF(latency)_10	100,99%	1	0,86	0,14
164	M-METRIC_15	100,59%	1	0	1	211	TSP_20	100,99%	1	0	1
165	GDS(hops)_10	100,60%	1	1	0	212	GD*(latency)_25	101,00%	1	0,04	0,96
166	LRU*_30	100,61%	1	0,38	0,62	213	A-Aging (In-Cache)_30	101,02%	1	0,38	0,62
167	RAND-MIX_25	100,61%	1	0,39	0,61	214	GDSF(latency)_15	101,02%	1	0	1
168	LRU*_5	100,62%	1	0	1	215	RAND_30	101,05%	1	0,38	0,62
169	LRU_15	100,63%	1	0	1	216	MIX_3	101,06%	1	0	1
170	SLRU_30	100,63%	1	0,38	0,62	217	GDSF(latency)_20	101,07%	1	0	1
171	gGDSF(packets)_10	100,63%	1	0	1	218	GDF(packets)_30	101,09%	1	0	1
172	SIZE_25	100,64%	1	1	0	219	LRU*_3	101,11%	1	0	1
173	LRU_30	100,65%	1	0,38	0,62	220	FIFO_25	101,13%	1	0	1
174	GDF(1)_30	100,67%	1	0,38	0,62	221	GDS(packets)_10	101,16%	1	0	1
175	M-METRIC_30	100,67%	1	0,38	0,62	222	GD*(latency)_20	101,16%	1	0	1
176	PSS-LAT_10	100,68%	1	1	0	223	EXP1_25	101,18%	1	0	1
177	GDF(hops)_30	100,68%	1	0,38	0,62	224	LFU (In-Cache)_25	101,18%	1	0	1
178	SIZE_15	100,69%	1	1	0	225	LRU-SP-LAT_3	101,18%	1	1	0
179	LRU*_10	100,69%	1	0	1	226	GDS(latency)_25	101,24%	1	0	1
180	HYBRID_25	100,69%	1	0,59	0,41	227	LRU-S_30	101,24%	1	0,38	0,62
181	LRU*_20	100,70%	1	0,04	0,96	228	LRU-C_30	101,25%	1	0,38	0,62
182	TSP_30	100,70%	1	0,38	0,62	229	LRU-CS_30	101,26%	1	0,38	0,62
183	SLRU_10	100,72%	1	0	1	230	HYBRID_15	101,28%	1	0,62	0,38
184	SLRU_20	100,73%	1	0,04	0,96	231	GD*(latency)_15	101,28%	1	0	1
185	LRU*_25	100,73%	1	0,39	0,61	232	GDF(latency)_30	101,29%	1	0	1
186	GDSF(latency)_30	100,75%	1	0,38	0,62	233	GDF(packets)_25	101,29%	1	0	1
187	SLRU_25	100,77%	1	0,39	0,61	234	FIFO_20	101,35%	1	0	1
188	GDF(1)_5	100,78%	1	0	1	235	EXP1_20	101,37%	1	0	1
189	GDF(1)_20	100,78%	1	0,04	0,96	236	LFU (In-Cache)_20	101,37%	1	0	1
190	GD*(latency)_30	100,78%	1	0,38	0,62	237	GDF(hops)_10	101,37%	1	0	1
191	LRU_25	100,80%	1	0,04	0,96	238	RAND_25	101,37%	1	0	1
192	GDS(1)_5	100,80%	1	1	0	239	FIFO_15	101,39%	1	0	1
193	GDF(1)_25	100,82%	1	0,39	0,61	240	LRU-C_25	101,40%	1	0	1
194	GDF(hops)_20	100,82%	1	0,04	0,96	241	LRU-S_25	101,42%	1	0	1
195	EXP1_30	100,83%	1	0,38	0,62	242	LRU-CS_25	101,42%	1	0	1
196	LFU (In-Cache)_30	100,83%	1	0,38	0,62	243	LUV_30	101,44%	1	0,38	0,62
197	GDF(1)_10	100,83%	1	0	1	244	M-METRIC_10	101,46%	1	0	1
198	GDF(hops)_25	100,83%	1	0,39	0,61	245	A-Aging (In-Cache)_25	101,47%	1	0	1
199	LRU_20	100,86%	1	0	1	246	LRU_10	101,49%	1	0	1
200	M-METRIC_25	100,87%	1	0,04	0,96	247	EXP1_15	101,51%	1	0	1
201	RAND-MIX_10	100,87%	1	0,38	0,62	248	LFU (In-Cache)_15	101,51%	1	0	1
202	GDF(1)_3	100,90%	1	0	1	249	gGDSF(hops)_5	101,52%	1	0,56	0,44
203	TSP_15	100,91%	1	0	1	250	RAND-MIX_5	101,58%	1	0	1
204	TSP_25	100,92%	1	0,04	0,96	251	GDS(latency)_20	101,60%	1	0	1
205	GDSF(latency)_25	100,95%	1	0,04	0,96	252	GDS(1)_3	101,62%	1	1	0
206	M-METRIC_20	100,95%	1	0	1	253	SIZE_10	101,63%	1	1	0
207	PSS_5	100,96%	1	1	0	254	GDF(latency)_25	101,63%	1	0	1
208	GDS(latency)_30	100,97%	1	0,38	0,62	255	LRU-C_20	101,71%	1	0	1
209	FIFO_30	100,99%	1	0,38	0,62	256	GDF(packets)_20	101,73%	1	0	1

257	LRU-S_20	101,73%	1	0	1	304	TSP_5	104,35%	1	0	1
258	RAND_20	101,75%	1	0	1	305	GDSF(latency)_5	104,39%	1	0	1
259	LRU-CS_20	101,75%	1	0	1	306	LFU (In-Cache)_5	104,44%	1	0	1
260	GDSF(hops)_5	101,76%	1	0,74	0,26	307	GDF(hops)_5	104,44%	1	0	1
261	A-Aging (In-Cache)_20	101,79%	1	0	1	308	gGDSF(latency)_3	104,64%	1	0,78	0,22
262	GD*(hops)_5	101,86%	1	1	0	309	LRU_3	104,91%	1	0	1
263	PSS_3	101,88%	1	1	0	310	GDF(packets)_10	105,09%	1	0	1
264	GDS(latency)_15	101,95%	1	0	1	311	A-Aging (In-Cache)_5	105,15%	1	0	1
265	LRU-S_15	101,95%	1	0	1	312	PART-LRU_20	105,22%	1	1	0
266	LRU-C_15	101,95%	1	0	1	313	FIFO_5	105,29%	1	0	1
267	LRU-CS_15	101,98%	1	0	1	314	PART-LRU_15	105,31%	1	1	0
268	RAND_15	102,05%	1	0	1	315	PSS-LAT_3	105,55%	1	1	0
269	LLF_30	102,06%	1	0	1	316	SIZE_5	105,62%	1	1	0
270	A-Aging (In-Cache)_15	102,07%	1	0	1	317	PART-LRU_3	105,63%	1	0	1
271	TSP_10	102,12%	1	0	1	318	LLF_20	105,75%	1	0	1
272	M-METRIC_5	102,13%	1	0	1	319	GD*(latency)_5	105,79%	1	0	1
273	GDSF(latency)_10	102,24%	1	0	1	320	PART-LRU_5	105,84%	1	0	1
274	LUV_25	102,26%	1	0	1	321	PART-LRU_25	105,93%	1	1	0
275	GDS(packets)_5	102,34%	1	0	1	322	LUV_15	106,21%	1	0	1
276	GDF(packets)_15	102,35%	1	0	1	323	GDSF(latency)_3	106,36%	1	0	1
277	LRU-MIN_5	102,37%	1	1	0	324	PART-LRU_10	106,41%	1	0,38	0,62
278	RAND-MIX_3	102,40%	1	0	1	325	LRU-S_5	106,57%	1	0	1
279	GDF(latency)_20	102,41%	1	0	1	326	LRU-C_5	106,62%	1	0	1
280	FIFO_10	102,76%	1	0	1	327	GDS(hops)_3	106,67%	1	1	0
281	gGDSF(latency)_5	102,76%	1	0,74	0,26	328	LRU-CS_5	106,67%	1	0	1
282	M-METRIC_3	102,76%	1	0	1	329	PART-LRU_30	106,68%	1	1	0
283	GD*(latency)_10	102,89%	1	0	1	330	TSP_3	106,81%	1	0	1
284	LRU_5	102,94%	1	0	1	331	PART-LRU_35	106,82%	1	1	0
285	LFU (In-Cache)_10	102,95%	1	0	1	332	GDF(latency)_10	107,02%	1	0	1
286	gGDSF(hops)_3	102,97%	1	0,57	0,43	333	LFU (In-Cache)_3	107,04%	1	0	1
287	EXP1_10	103,04%	1	0	1	334	RAND_5	107,04%	1	0	1
288	HYBRID_10	103,18%	1	1	0	335	A-Aging (In-Cache)_3	107,09%	1	0	1
289	GDS(hops)_5	103,21%	1	1	0	336	FIFO_3	107,84%	1	0	1
290	LLF_25	103,33%	1	0	1	337	GDF(hops)_3	107,90%	1	0	1
291	PSS-LAT_5	103,37%	1	1	0	338	EXP1_5	108,27%	1	0	1
292	GDF(latency)_15	103,50%	1	0	1	339	GD*(latency)_3	108,66%	1	0	1
293	A-Aging (In-Cache)_10	103,60%	1	0	1	340	GDS(latency)_5	108,75%	1	0	1
294	LRU-C_10	103,60%	1	0	1	341	LRU-C_3	109,49%	1	0	1
295	LRU-S_10	103,63%	1	0	1	342	LLF_15	109,52%	1	0	1
296	LRU-CS_10	103,66%	1	0	1	343	LRU-S_3	109,55%	1	0	1
297	LUV_20	103,70%	1	0	1	344	LRU-CS_3	109,61%	1	0	1
298	GDSF(hops)_3	103,71%	1	0,78	0,22	345	HYBRID_5	109,79%	1	1	0
299	GDS(packets)_3	103,99%	1	0	1	346	SIZE_3	109,91%	1	1	0
300	LRU-MIN_3	104,08%	1	1	0	347	RAND_3	110,03%	1	0	1
301	GDS(latency)_10	104,13%	1	0	1	348	GDF(packets)_5	112,29%	1	0	1
302	RAND_10	104,13%	1	0	1	349	GDS(latency)_3	112,94%	1	0	1
303	GD*(hops)_3	104,15%	1	1	0	350	LUV_10	113,00%	1	0	1

351	GDF(latency)_5	114,88%	1	0	1	358	LLF_5	138,93%	1	0	1
352	EXP1_3	117,15%	1	0	1	359	LUV_3	148,44%	1	0,78	0,22
353	HYBRID_3	117,27%	1	1	0	360	LLF_3	165,95%	1	0	1
354	LLF_10	118,25%	1	0	1						
355	GDF(packets)_3	120,53%	1	0	1						
356	GDF(latency)_3	122,81%	1	0	1						
357	LUV_5	130,28%	1	0	1						

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ: UC

A/A	ΜΑΑ	Δ.Α.	Σ.Β.ΕΙΣ. (ΜΝΗΜΗ)	Σ.Β.ΕΚ. (HR)	Σ.Β.ΕΚ. (BHR)	A/A	ΜΑΑ	Δ.Α.	Σ.Β.ΕΙΣ. (ΜΝΗΜΗ)	Σ.Β.ΕΚ. (HR)	Σ.Β.ΕΚ. (BHR)
1	LRU_35	100,00%	1	0	1	33	GD*(hops)_35	100,00%	1	0,29	0,71
2	LRU-MIN_20	100,00%	1	0,69	0,31	34	GD*(packets)_10	100,00%	1	0,16	0,84
3	LRU-MIN_35	100,00%	1	0,29	0,71	35	GD*(packets)_35	100,00%	1	0,29	0,71
4	SIZE_20	100,00%	1	1	0	36	gGDSF(1)_3	100,00%	1	1	0
5	SIZE_35	100,00%	1	0,29	0,71	37	gGDSF(1)_20	100,00%	1	1	0
6	PSS_20	100,00%	1	0,69	0,31	38	gGDSF(1)_35	100,00%	1	0,29	0,71
7	PSS_35	100,00%	1	0,29	0,71	39	gGDSF(latency)_35	100,00%	1	0	1
8	PSS-LAT_20	100,00%	1	1	0	40	gGDSF(hops)_20	100,00%	1	1	0
9	PSS-LAT_35	100,00%	1	0,29	0,71	41	gGDSF(hops)_35	100,00%	1	0,29	0,71
10	SLRU_35	100,00%	1	0	1	42	gGDSF(packets)_3	100,00%	1	0,03	0,97
11	LRU*_35	100,00%	1	0	1	43	gGDSF(packets)_10	100,00%	1	0	1
12	LRU-SP_20	100,00%	1	0,69	0,31	44	gGDSF(packets)_35	100,00%	1	0,29	0,71
13	LRU-SP_35	100,00%	1	0,29	0,71	45	M-METRIC_3	100,00%	1	0	1
14	LRU-SP-LAT_10	100,00%	1	0,36	0,64	46	M-METRIC_35	100,00%	1	0	1
15	LRU-SP-LAT_20	100,00%	1	0,69	0,31	47	MIX_3	100,00%	1	0,24	0,76
16	LRU-SP-LAT_35	100,00%	1	0,29	0,71	48	MIX_10	100,00%	1	0,36	0,64
17	HYBRID_20	100,00%	1	1	0	49	MIX_20	100,00%	1	1	0
18	HYBRID_35	100,00%	1	0,29	0,71	50	MIX_35	100,00%	1	0,29	0,71
19	GDS(1)_20	100,00%	1	1	0	51	RAND-MIX_35	100,00%	1	0	1
20	GDS(1)_35	100,00%	1	0,29	0,71	52	FIFO_35	100,01%	1	0	1
21	GDS(hops)_20	100,00%	1	1	0	53	EXP1_35	100,01%	1	0	1
22	GDS(hops)_35	100,00%	1	0,29	0,71	54	LFU (In-Cache)_35	100,01%	1	0	1
23	GDS(packets)_35	100,00%	1	0,29	0,71	55	A-Aging (In-Cache)_35	100,01%	1	0	1
24	GDSF(1)_20	100,00%	1	1	0	56	GDSF(latency)_35	100,01%	1	0	1
25	GDSF(1)_35	100,00%	1	0,29	0,71	57	GDF(1)_35	100,01%	1	0	1
26	GDSF(hops)_20	100,00%	1	1	0	58	GDF(hops)_35	100,01%	1	0	1
27	GDSF(hops)_35	100,00%	1	0,29	0,71	59	GD*(latency)_35	100,01%	1	0	1
28	GDSF(packets)_10	100,00%	1	0	1	60	TSP_35	100,01%	1	0	1
29	GDSF(packets)_35	100,00%	1	0,29	0,71	61	RAND_35	100,01%	1	0	1
30	GD*(1)_20	100,00%	1	1	0	62	LRU-S_35	100,01%	1	0	1
31	GD*(1)_35	100,00%	1	0,29	0,71	63	LRU-SP_3	100,02%	1	0,58	0,42
32	GD*(hops)_20	100,00%	1	1	0	64	LRU-C_35	100,02%	1	0	1

65	LRU-CS_35	100,02%	1	0	1	112	M-METRIC_20	100,23%	1	0,55	0,45
66	PSS_10	100,03%	1	0,45	0,55	113	LRU*_20	100,26%	1	0,55	0,45
67	SLRU_10	100,03%	1	0	1	114	GD*(latency)_20	100,26%	1	0,55	0,45
68	GDS(packets)_20	100,03%	1	0,55	0,45	115	RAND_10	100,26%	1	0	1
69	GDSF(1)_3	100,03%	1	1	0	116	SLRU_20	100,27%	1	0,55	0,45
70	GDF(packets)_35	100,03%	1	0	1	117	FIFO_10	100,29%	1	0	1
71	GD*(1)_3	100,03%	1	1	0	118	GDF(1)_20	100,30%	1	0,55	0,45
72	GD*(packets)_20	100,03%	1	0,55	0,45	119	GDF(hops)_20	100,30%	1	0,55	0,45
73	M-METRIC_10	100,03%	1	0	1	120	SIZE_25	100,31%	1	1	0
74	LRU-MIN_10	100,04%	1	0,25	0,75	121	PSS_25	100,31%	1	1	0
75	PSS-LAT_10	100,04%	1	0,45	0,55	122	PSS-LAT_25	100,31%	1	1	0
76	LRU-SP_10	100,04%	1	0,45	0,55	123	LRU-SP_25	100,31%	1	1	0
77	GDSF(1)_10	100,04%	1	0,45	0,55	124	LRU-SP-LAT_25	100,31%	1	1	0
78	GDSF(packets)_3	100,04%	1	0,16	0,84	125	HYBRID_25	100,31%	1	1	0
79	GDF(latency)_35	100,04%	1	0	1	126	GDS(1)_25	100,31%	1	1	0
80	gGDSF(1)_10	100,04%	1	0,45	0,55	127	GDS(hops)_25	100,31%	1	1	0
81	gGDSF(hops)_10	100,04%	1	0,45	0,55	128	GDS(packets)_25	100,31%	1	1	0
82	LRU*_10	100,05%	1	0	1	129	GDSF(1)_25	100,31%	1	1	0
83	GDS(packets)_10	100,05%	1	0	1	130	GDSF(hops)_25	100,31%	1	1	0
84	GDF(1)_10	100,05%	1	0	1	131	GDSF(packets)_25	100,31%	1	1	0
85	RAND-MIX_20	100,05%	1	1	0	132	GD*(packets)_25	100,31%	1	1	0
86	GDS(1)_10	100,06%	1	0,45	0,55	133	gGDSF(1)_25	100,31%	1	1	0
87	GDS(hops)_10	100,07%	1	0,45	0,55	134	gGDSF(hops)_25	100,31%	1	1	0
88	GDSF(hops)_10	100,07%	1	0,45	0,55	135	gGDSF(packets)_25	100,31%	1	1	0
89	LLF_35	100,08%	1	0	1	136	MIX_25	100,31%	1	1	0
90	gGDSF(latency)_20	100,08%	1	1	0	137	LRU-MIN_25	100,32%	1	1	0
91	GDSF(packets)_20	100,09%	1	0,55	0,45	138	GD*(1)_25	100,32%	1	1	0
92	GD*(1)_10	100,09%	1	0,45	0,55	139	GD*(hops)_25	100,32%	1	1	0
93	gGDSF(packets)_20	100,09%	1	0,55	0,45	140	LRU_20	100,33%	1	0,55	0,45
94	RAND-MIX_10	100,09%	1	0,25	0,75	141	GDS(hops)_3	100,33%	1	1	0
95	GDS(latency)_35	100,10%	1	0	1	142	RAND-MIX_25	100,34%	1	1	0
96	GDF(hops)_10	100,10%	1	0	1	143	gGDSF(latency)_10	100,36%	1	0,45	0,55
97	LUV_35	100,10%	1	0	1	144	GD*(packets)_3	100,37%	1	0,17	0,83
98	PSS_3	100,12%	1	1	0	145	gGDSF(latency)_25	100,37%	1	1	0
99	GD*(hops)_10	100,12%	1	0,45	0,55	146	GDS(latency)_20	100,38%	1	0,55	0,45
100	gGDSF(hops)_3	100,12%	1	1	0	147	M-METRIC_25	100,38%	1	1	0
101	LRU_10	100,13%	1	0	1	148	LRU-MIN_3	100,39%	1	1	0
102	SIZE_10	100,13%	1	0,45	0,55	149	PSS-LAT_3	100,39%	1	1	0
103	SLRU_3	100,15%	1	0	1	150	LRU*_25	100,41%	1	1	0
104	GDS(1)_3	100,15%	1	1	0	151	SLRU_25	100,42%	1	1	0
105	GDSF(hops)_3	100,15%	1	1	0	152	TSP_10	100,42%	1	0	1
106	GD*(hops)_3	100,15%	1	1	0	153	GDSF(latency)_10	100,44%	1	0	1
107	TSP_20	100,18%	1	0,55	0,45	154	LRU_25	100,45%	1	1	0
108	GDF(1)_3	100,20%	1	0	1	155	GD*(latency)_10	100,47%	1	0	1
109	LRU-SP-LAT_3	100,21%	1	0,58	0,42	156	TSP_25	100,47%	1	1	0
110	GDSF(latency)_20	100,21%	1	0,55	0,45	157	GDSF(latency)_25	100,49%	1	1	0
111	HYBRID_10	100,23%	1	0,45	0,55	158	RAND-MIX_3	100,49%	1	0,17	0,83

159	LRU*_3	100,51%	1	0	1	206	GDSF(packets)_30	101,38%	1	1	0
160	GD*(latency)_25	100,51%	1	1	0	207	GD*(l)_30	101,38%	1	1	0
161	LRU-S_10	100,52%	1	0	1	208	GD*(hops)_30	101,38%	1	1	0
162	EXP1_20	100,54%	1	0,55	0,45	209	GD*(packets)_30	101,38%	1	1	0
163	LFU (In-Cache)_20	100,54%	1	0,55	0,45	210	gGDSF(l)_30	101,38%	1	1	0
164	GDF(hops)_25	100,55%	1	1	0	211	gGDSF(hops)_30	101,38%	1	1	0
165	LRU-C_10	100,55%	1	0	1	212	gGDSF(packets)_30	101,38%	1	1	0
166	LRU-CS_10	100,55%	1	0	1	213	MIX_30	101,38%	1	1	0
167	FIFO_20	100,57%	1	0,55	0,45	214	SLRU_30	101,40%	1	0,51	0,49
168	LRU-S_20	100,60%	1	0,55	0,45	215	LRU*_30	101,40%	1	0,51	0,49
169	GDS(latency)_25	100,62%	1	1	0	216	gGDSF(latency)_30	101,40%	1	1	0
170	GDF(l)_25	100,62%	1	1	0	217	RAND-MIX_30	101,40%	1	1	0
171	EXP1_10	100,63%	1	0	1	218	LRU_30	101,41%	1	0,51	0,49
172	LFU (In-Cache)_10	100,63%	1	0	1	219	M-METRIC_30	101,41%	1	0,51	0,49
173	FIFO_25	100,67%	1	1	0	220	TSP_30	101,42%	1	0,51	0,49
174	EXP1_25	100,67%	1	1	0	221	FIFO_3	101,44%	1	0	1
175	LFU (In-Cache)_25	100,67%	1	1	0	222	GDSF(latency)_30	101,45%	1	0,51	0,49
176	LRU-S_25	100,68%	1	1	0	223	GD*(latency)_30	101,45%	1	0,51	0,49
177	LUV_20	100,69%	1	0,55	0,45	224	FIFO_30	101,47%	1	0,51	0,49
178	SIZE_3	100,72%	1	1	0	225	GDF(l)_30	101,47%	1	0,51	0,49
179	A-Aging (In-Cache)_10	100,76%	1	0	1	226	GDF(hops)_30	101,47%	1	0,51	0,49
180	GDS(latency)_10	100,76%	1	0	1	227	LRU-S_30	101,47%	1	0,51	0,49
181	A-Aging (In-Cache)_20	100,78%	1	0,55	0,45	228	LFU (In-Cache)_30	101,49%	1	0,51	0,49
182	RAND_20	100,82%	1	0,55	0,45	229	GDF(packets)_10	101,50%	1	0	1
183	LRU-C_20	100,84%	1	0,55	0,45	230	GDS(latency)_30	101,51%	1	0,51	0,49
184	LRU-CS_20	100,84%	1	0,55	0,45	231	EXP1_30	101,52%	1	0,51	0,49
185	A-Aging (In-Cache)_25	100,89%	1	0,53	0,47	232	A-Aging (In-Cache)_30	101,59%	1	0,51	0,49
186	RAND_25	100,90%	1	0,53	0,47	233	RAND_30	101,61%	1	0,51	0,49
187	GDS(packets)_3	100,92%	1	0	1	234	LRU-CS_30	101,61%	1	0,51	0,49
188	LRU-C_25	100,93%	1	0,53	0,47	235	LRU-C_30	101,62%	1	0,51	0,49
189	LRU-CS_25	100,93%	1	0,53	0,47	236	LUV_30	101,66%	1	0,51	0,49
190	LUV_25	100,94%	1	1	0	237	EXP1_3	101,70%	1	0	1
191	LRU_3	101,03%	1	0	1	238	TSP_3	101,70%	1	0	1
192	gGDSF(latency)_3	101,15%	1	1	0	239	LFU (In-Cache)_3	101,81%	1	0	1
193	LUV_10	101,21%	1	0	1	240	RAND_3	101,81%	1	0	1
194	LRU-MIN_30	101,38%	1	1	0	241	GDF(latency)_10	101,85%	1	0	1
195	SIZE_30	101,38%	1	1	0	242	A-Aging (In-Cache)_3	101,92%	1	0	1
196	PSS_30	101,38%	1	1	0	243	GDSF(latency)_3	101,97%	1	0	1
197	PSS-LAT_30	101,38%	1	1	0	244	GDF(hops)_3	102,02%	1	0	1
198	LRU-SP_30	101,38%	1	1	0	245	HYBRID_3	102,04%	1	0,17	0,83
199	LRU-SP-LAT_30	101,38%	1	1	0	246	LRU-S_3	102,07%	1	0	1
200	HYBRID_30	101,38%	1	1	0	247	LRU-C_3	102,13%	1	0	1
201	GDS(l)_30	101,38%	1	1	0	248	LRU-CS_3	102,18%	1	0	1
202	GDS(hops)_30	101,38%	1	1	0	249	LLF_10	102,23%	1	0	1
203	GDS(packets)_30	101,38%	1	1	0	250	GD*(latency)_3	102,23%	1	0	1
204	GDSF(l)_30	101,38%	1	1	0	251	GDF(latency)_30	102,57%	1	0,51	0,49
205	GDSF(hops)_30	101,38%	1	1	0	252	GDF(packets)_30	102,57%	1	0,51	0,49

253	GDF(packets)_25	102,66%	1	0,52	0,48	300	A-Aging (In-Cache)_15	104,07%	1	0,45	0,55
254	LRU-MIN_15	102,68%	1	0,45	0,55	301	LLF_20	104,08%	1	0,54	0,46
255	LRU-SP_15	102,73%	1	0,45	0,55	302	GDF(latency)_3	104,35%	1	0	1
256	LRU-SP-LAT_15	102,73%	1	0,45	0,55	303	GDF(packets)_3	104,51%	1	0	1
257	PSS-LAT_15	102,74%	1	0,45	0,55	304	PART-LRU_25	105,41%	1	1	0
258	MIX_15	102,74%	1	0,45	0,55	305	LUV_3	105,41%	1	0	1
259	RAND-MIX_15	102,74%	1	0,45	0,55	306	MIX_5	105,68%	1	0,62	0,38
260	GDF(latency)_25	102,76%	1	0,52	0,48	307	LRU-SP_5	105,73%	1	0,62	0,38
261	GD*(packets)_15	102,76%	1	0,45	0,55	308	gGDSF(1)_5	105,79%	1	0,62	0,38
262	PSS_15	102,79%	1	0,45	0,55	309	LRU-SP-LAT_5	105,82%	1	0,62	0,38
263	GDS(packets)_15	102,79%	1	0,45	0,55	310	LRU-MIN_5	105,85%	1	0,62	0,38
264	gGDSF(hops)_15	102,79%	1	0,45	0,55	311	gGDSF(hops)_5	105,85%	1	0,62	0,38
265	GDS(hops)_15	102,80%	1	0,45	0,55	312	PSS_5	105,87%	1	0,62	0,38
266	GDSF(packets)_15	102,80%	1	0,45	0,55	313	GD*(1)_5	105,92%	1	0,62	0,38
267	SIZE_15	102,81%	1	0,45	0,55	314	PSS-LAT_5	105,99%	1	0,62	0,38
268	gGDSF(packets)_15	102,82%	1	0,45	0,55	315	GDSF(1)_5	105,99%	1	0,62	0,38
269	HYBRID_15	102,83%	1	0,45	0,55	316	GD*(hops)_5	106,01%	1	0,62	0,38
270	GDS(1)_15	102,83%	1	0,45	0,55	317	GDSF(hops)_5	106,04%	1	0,62	0,38
271	GDSF(1)_15	102,83%	1	0,45	0,55	318	GDS(1)_5	106,13%	1	0,63	0,37
272	GDSF(hops)_15	102,83%	1	0,45	0,55	319	GDS(hops)_5	106,21%	1	0,63	0,37
273	gGDSF(1)_15	102,83%	1	0,45	0,55	320	GD*(packets)_5	106,21%	1	0,53	0,47
274	GD*(1)_15	102,85%	1	0,45	0,55	321	RAND-MIX_5	106,29%	1	0,55	0,45
275	GD*(hops)_15	102,86%	1	0,45	0,55	322	PART-LRU_3	106,31%	1	1	0
276	LLF_30	102,90%	1	0,42	0,58	323	SIZE_5	106,37%	1	0,63	0,37
277	gGDSF(latency)_15	102,97%	1	0,45	0,55	324	LLF_3	106,61%	1	0	1
278	GDSF(latency)_15	103,01%	1	0,45	0,55	325	HYBRID_5	106,71%	1	0,62	0,38
279	GDS(latency)_3	103,04%	1	0	1	326	gGDSF(latency)_5	106,72%	1	0,62	0,38
280	M-METRIC_15	103,04%	1	0,45	0,55	327	gGDSF(packets)_5	106,75%	1	0,53	0,47
281	TSP_15	103,06%	1	0,45	0,55	328	GDSF(packets)_5	106,79%	1	0,53	0,47
282	SLRU_15	103,10%	1	0,45	0,55	329	GDF(packets)_15	107,05%	1	0	1
283	GDF(1)_15	103,10%	1	0,45	0,55	330	GDF(latency)_15	107,29%	1	0	1
284	LRU*_15	103,13%	1	0,45	0,55	331	GDS(packets)_5	107,39%	1	0,53	0,47
285	GD*(latency)_15	103,16%	1	0,45	0,55	332	M-METRIC_5	107,46%	1	0,53	0,47
286	GDF(hops)_15	103,17%	1	0,45	0,55	333	LLF_15	107,52%	1	0	1
287	LLF_25	103,22%	1	0,52	0,48	334	GDF(1)_5	107,71%	1	0,52	0,48
288	GDS(latency)_15	103,28%	1	0,45	0,55	335	LRU*_5	107,77%	1	0,52	0,48
289	LRU_15	103,33%	1	0,45	0,55	336	SLRU_5	107,84%	1	0,52	0,48
290	GDF(latency)_20	103,61%	1	0,54	0,46	337	TSP_5	108,04%	1	0,53	0,47
291	FIFO_15	103,63%	1	0,45	0,55	338	GDSF(latency)_5	108,15%	1	0,53	0,47
292	GDF(packets)_20	103,63%	1	0,54	0,46	339	GD*(latency)_5	108,45%	1	0,53	0,47
293	LFU (In-Cache)_15	103,65%	1	0,45	0,55	340	LRU_5	108,73%	1	0,52	0,48
294	LRU-S_15	103,65%	1	0,45	0,55	341	GDS(latency)_5	109,54%	1	0,53	0,47
295	EXP1_15	103,66%	1	0,45	0,55	342	LRU-S_5	109,71%	1	0,52	0,48
296	LUV_15	103,86%	1	0,45	0,55	343	FIFO_5	109,90%	1	0,52	0,48
297	LRU-CS_15	103,90%	1	0,45	0,55	344	GDF(hops)_5	109,99%	1	0,52	0,48
298	LRU-C_15	103,91%	1	0,45	0,55	345	LRU-CS_5	110,33%	1	0,14	0,86
299	RAND_15	103,94%	1	0,45	0,55	346	EXP1_5	110,35%	1	0,52	0,48

347	LFU (In-Cache)_5	110,38%	1	0,52	0,48	356	GDF(latency)_5	113,94%	1	0	1
348	LRU-C_5	110,38%	1	0,14	0,86	357	PART-LRU_35	114,17%	1	1	0
349	PART-LRU_30	110,62%	1	1	0	358	LLF_5	115,41%	1	0	1
350	A-Aging (In-Cache)_5	110,75%	1	0,52	0,48	359	PART-LRU_15	120,85%	1	0,44	0,56
351	RAND_5	110,97%	1	0,14	0,86	360	PART-LRU_10	124,58%	1	0,59	0,41
352	PART-LRU_5	111,82%	1	1	0						
353	PART-LRU_20	111,88%	1	0,55	0,45						
354	LUV_5	113,02%	1	0,14	0,86						
355	GDF(packets)_5	113,48%	1	0	1						

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ: NY

A/A	ΜΑΑ	Δ.Α.	Σ.Β.ΕΙΣ. (ΜΝΗΜΗ)	Σ.Β.ΕΚ. (HR)	Σ.Β.ΕΚ. (BHR)	A/A	ΜΑΑ	Δ.Α.	Σ.Β.ΕΙΣ. (ΜΝΗΜΗ)	Σ.Β.ΕΚ. (HR)	Σ.Β.ΕΚ. (BHR)
1	SIZE_35	100,00%	1	0,21	0,79	31	MIX_5	100,08%	1	0	1
2	PSS_35	100,00%	1	0,21	0,79	32	LRU_35	100,09%	1	0	1
3	PSS-LAT_35	100,00%	1	0,21	0,79	33	LRU*_35	100,09%	1	0	1
4	LRU-SP_3	100,00%	1	0,48	0,52	34	M-METRIC_35	100,09%	1	0	1
5	LRU-SP_5	100,00%	1	0	1	35	SLRU_35	100,11%	1	0	1
6	LRU-SP_35	100,00%	1	0,21	0,79	36	GDF(hops)_35	100,11%	1	0	1
7	LRU-SP-LAT_35	100,00%	1	0,21	0,79	37	GDF(1)_35	100,13%	1	0	1
8	HYBRID_35	100,00%	1	1	0	38	FIFO_35	100,15%	1	0	1
9	GDS(1)_35	100,00%	1	1	0	39	GDS(1)_5	100,15%	1	1	0
10	GDS(hops)_35	100,00%	1	1	0	40	TSP_35	100,15%	1	0	1
11	GDS(packets)_35	100,00%	1	1	0	41	gGDSF(hops)_3	100,16%	1	0	1
12	GDSF(1)_5	100,00%	1	1	0	42	GDSF(latency)_35	100,17%	1	0	1
13	GDSF(1)_35	100,00%	1	1	0	43	GDSF(hops)_5	100,17%	1	0	1
14	GDSF(hops)_35	100,00%	1	1	0	44	GD*(latency)_35	100,17%	1	0	1
15	GD*(1)_3	100,00%	1	1	0	45	LRU-S_35	100,17%	1	0	1
16	GD*(1)_5	100,00%	1	1	0	46	GDS(latency)_35	100,19%	1	0	1
17	GD*(1)_35	100,00%	1	1	0	47	RAND_35	100,19%	1	0	1
18	GD*(hops)_35	100,00%	1	1	0	48	LRU-C_35	100,19%	1	0	1
19	gGDSF(1)_3	100,00%	1	0	1	49	LRU-CS_35	100,19%	1	0	1
20	gGDSF(1)_5	100,00%	1	0,77	0,23	50	PSS_5	100,20%	1	1	0
21	gGDSF(1)_35	100,00%	1	1	0	51	EXP1_35	100,21%	1	0	1
22	gGDSF(hops)_5	100,00%	1	0	1	52	LFU (In-Cache)_35	100,23%	1	0	1
23	gGDSF(hops)_35	100,00%	1	1	0	53	gGDSF(packets)_35	100,24%	1	1	0
24	MIX_35	100,00%	1	1	0	54	A-Aging (In-Cache)_35	100,28%	1	0	1
25	LRU-MIN_35	100,02%	1	1	0	55	LUV_35	100,28%	1	0	1
26	GDSF(1)_3	100,02%	1	0,62	0,38	56	MIX_3	100,31%	1	0	1
27	GD*(packets)_35	100,02%	1	1	0	57	GD*(hops)_5	100,54%	1	1	0
28	GDSF(packets)_35	100,03%	1	1	0	58	PSS_3	100,55%	1	0,62	0,38
29	RAND-MIX_35	100,03%	1	1	0	59	LRU-MIN_5	100,59%	1	1	0
30	gGDSF(latency)_35	100,05%	1	1	0	60	RAND-MIX_5	100,59%	1	0	1

61	GDSF(hops)_3	100,63%	1	0	1	108	LRU-C_5	101,88%	1	0	1
62	GDS(1)_3	100,67%	1	0,62	0,38	109	LRU-CS_5	101,88%	1	0	1
63	LRU-SP-LAT_5	100,74%	1	1	0	110	LRU-MIN_25	101,92%	1	0	1
64	GDF(latency)_35	100,75%	1	0	1	111	SIZE_25	101,92%	1	0	1
65	GDS(hops)_5	100,76%	1	0	1	112	GDS(hops)_25	101,92%	1	0	1
66	GDF(packets)_35	100,77%	1	0	1	113	GDSF(1)_25	101,92%	1	0	1
67	LRU-SP-LAT_3	100,80%	1	0,62	0,38	114	GDSF(hops)_25	101,92%	1	0	1
68	GD*(packets)_5	100,85%	1	0	1	115	gGDSF(1)_25	101,92%	1	0	1
69	LLF_35	100,86%	1	0	1	116	SIZE_15	101,93%	1	0	1
70	PSS-LAT_5	100,88%	1	1	0	117	GD*(packets)_15	101,93%	1	0	1
71	SIZE_5	100,93%	1	1	0	118	PSS-LAT_25	101,95%	1	0	1
72	M-METRIC_5	100,93%	1	0	1	119	LRU-SP-LAT_25	101,95%	1	0	1
73	GD*(packets)_3	100,95%	1	0	1	120	HYBRID_25	101,95%	1	0	1
74	GDSF(packets)_5	101,02%	1	0	1	121	gGDSF(hops)_25	101,95%	1	0	1
75	gGDSF(latency)_5	101,02%	1	0	1	122	FIFO_5	101,97%	1	0	1
76	GDS(packets)_5	101,10%	1	0	1	123	GD*(hops)_25	101,98%	1	0	1
77	GDF(1)_5	101,10%	1	0	1	124	GD*(1)_25	102,01%	1	0	1
78	GDSF(packets)_3	101,11%	1	0	1	125	HYBRID_15	102,02%	1	0	1
79	M-METRIC_3	101,11%	1	0	1	126	GDSF(packets)_15	102,02%	1	0	1
80	LRU*_5	101,19%	1	0	1	127	gGDSF(latency)_15	102,02%	1	0	1
81	SLRU_5	101,27%	1	0	1	128	PSS_25	102,03%	1	0	1
82	GDF(hops)_5	101,45%	1	0	1	129	LRU-SP_25	102,03%	1	0	1
83	PSS-LAT_3	101,47%	1	1	0	130	GDS(1)_25	102,03%	1	0	1
84	RAND-MIX_3	101,59%	1	0	1	131	GDS(packets)_25	102,03%	1	0	1
85	LRU_5	101,62%	1	0	1	132	MIX_25	102,03%	1	0	1
86	GD*(hops)_3	101,66%	1	0,62	0,38	133	GDSF(latency)_5	102,05%	1	0	1
87	LRU-MIN_15	101,71%	1	0	1	134	GDSF(packets)_25	102,06%	1	0	1
88	TSP_5	101,71%	1	0	1	135	GD*(packets)_25	102,06%	1	0	1
89	SLRU_3	101,75%	1	0	1	136	RAND-MIX_15	102,06%	1	0	1
90	LRU*_3	101,75%	1	0	1	137	GDS(packets)_15	102,11%	1	0	1
91	GDS(packets)_3	101,75%	1	0	1	138	M-METRIC_15	102,11%	1	0	1
92	GDF(1)_3	101,75%	1	0	1	139	gGDSF(packets)_5	102,14%	1	1	0
93	LRU-S_5	101,79%	1	0	1	140	SLRU_15	102,15%	1	0	1
94	PSS_15	101,80%	1	0	1	141	LRU*_15	102,15%	1	0	1
95	LRU-SP_15	101,80%	1	0	1	142	LRU*_25	102,15%	1	0	1
96	LRU-SP-LAT_15	101,80%	1	0	1	143	GDF(hops)_25	102,15%	1	0	1
97	GDS(1)_15	101,80%	1	0	1	144	gGDSF(latency)_25	102,15%	1	0	1
98	GDS(hops)_15	101,80%	1	0	1	145	M-METRIC_25	102,15%	1	0	1
99	GDSF(1)_15	101,80%	1	0	1	146	SLRU_25	102,18%	1	0	1
100	GDSF(hops)_15	101,80%	1	0	1	147	GDF(1)_25	102,18%	1	0	1
101	gGDSF(1)_15	101,80%	1	0	1	148	GDF(1)_15	102,19%	1	0	1
102	gGDSF(hops)_15	101,80%	1	0	1	149	GDF(hops)_15	102,19%	1	0	1
103	PSS-LAT_15	101,84%	1	0	1	150	LRU_25	102,21%	1	0	1
104	GD*(1)_15	101,84%	1	0	1	151	TSP_25	102,21%	1	0	1
105	GD*(hops)_15	101,84%	1	0	1	152	RAND-MIX_25	102,21%	1	0	1
106	MIX_15	101,84%	1	0	1	153	HYBRID_5	102,23%	1	0	1
107	SIZE_3	101,87%	1	1	0	154	LRU-MIN_3	102,24%	1	0	1

155	gGDSF(latency)_3	102,24%	1	0	1	202	PSS-LAT_30	103,69%	1	0	1
156	FIFO_25	102,27%	1	0	1	203	LRU-SP_30	103,69%	1	0	1
157	GDSF(latency)_25	102,27%	1	0	1	204	LRU-SP-LAT_30	103,69%	1	0	1
158	TSP_15	102,28%	1	0	1	205	HYBRID_30	103,69%	1	0	1
159	GD*(latency)_25	102,30%	1	0	1	206	GDS(1)_30	103,69%	1	0	1
160	LRU_15	102,33%	1	0	1	207	GDSF(1)_30	103,69%	1	0	1
161	GDS(latency)_25	102,33%	1	0	1	208	GDSF(hops)_30	103,69%	1	0	1
162	gGDSF(packets)_3	102,33%	1	1	0	209	gGDSF(1)_30	103,69%	1	0	1
163	LRU-S_25	102,33%	1	0	1	210	GDS(packets)_30	103,71%	1	0	1
164	LRU-C_25	102,33%	1	0	1	211	GD*(1)_30	103,71%	1	0	1
165	LRU-CS_25	102,33%	1	0	1	212	GD*(hops)_30	103,71%	1	0	1
166	FIFO_15	102,37%	1	0	1	213	GD*(packets)_30	103,71%	1	0	1
167	LRU-S_15	102,37%	1	0	1	214	RAND_3	103,73%	1	0	1
168	gGDSF(packets)_25	102,39%	1	0	1	215	GDSF(packets)_30	103,74%	1	0	1
169	RAND_25	102,39%	1	0	1	216	gGDSF(latency)_30	103,76%	1	0	1
170	GDS(hops)_3	102,40%	1	0	1	217	MIX_30	103,76%	1	0	1
171	GDSF(latency)_15	102,42%	1	0	1	218	GDS(hops)_30	103,79%	1	0	1
172	LRU-CS_15	102,42%	1	0	1	219	gGDSF(hops)_30	103,79%	1	0	1
173	LRU-C_15	102,46%	1	0	1	220	LRU*_30	103,82%	1	0	1
174	GDS(latency)_5	102,49%	1	0	1	221	GDF(hops)_30	103,82%	1	0	1
175	EXP1_25	102,51%	1	0	1	222	M-METRIC_30	103,82%	1	0	1
176	LFU (In-Cache)_25	102,51%	1	0	1	223	RAND-MIX_30	103,82%	1	0	1
177	GDS(latency)_15	102,55%	1	0	1	224	LRU_30	103,84%	1	0	1
178	GD*(latency)_15	102,55%	1	0	1	225	SLRU_30	103,84%	1	0	1
179	LRU_3	102,57%	1	0	1	226	GDF(1)_30	103,84%	1	0	1
180	A-Aging (In-Cache)_25	102,60%	1	0	1	227	TSP_30	103,90%	1	0	1
181	LUV_25	102,60%	1	0	1	228	LRU-S_3	103,90%	1	0	1
182	GD*(latency)_5	102,76%	1	0	1	229	FIFO_30	103,92%	1	0	1
183	RAND_15	102,77%	1	0	1	230	GDSF(latency)_30	103,92%	1	0	1
184	gGDSF(packets)_15	102,86%	1	0	1	231	GD*(latency)_30	103,95%	1	0	1
185	RAND_5	102,94%	1	0	1	232	GDS(latency)_30	103,97%	1	0	1
186	EXP1_15	103,00%	1	0	1	233	RAND_30	103,97%	1	0	1
187	LFU (In-Cache)_15	103,00%	1	0	1	234	LRU-S_30	103,97%	1	0	1
188	EXP1_5	103,03%	1	0	1	235	LRU-C_30	103,97%	1	0	1
189	LFU (In-Cache)_5	103,03%	1	0	1	236	LRU-CS_30	103,97%	1	0	1
190	A-Aging (In-Cache)_5	103,11%	1	0	1	237	EXP1_30	104,00%	1	0	1
191	A-Aging (In-Cache)_15	103,22%	1	0	1	238	LFU (In-Cache)_30	104,03%	1	0	1
192	FIFO_3	103,23%	1	0	1	239	TSP_3	104,07%	1	0	1
193	GDF(hops)_3	103,23%	1	0	1	240	LRU-CS_3	104,07%	1	0	1
194	GDF(latency)_25	103,41%	1	0	1	241	LUV_30	104,11%	1	0	1
195	GDF(packets)_25	103,44%	1	0	1	242	gGDSF(packets)_30	104,13%	1	0	1
196	LUV_15	103,54%	1	0	1	243	A-Aging (In-Cache)_30	104,19%	1	0	1
197	LRU-C_3	103,57%	1	0	1	244	GDF(latency)_15	104,46%	1	0	1
198	LLF_25	103,59%	1	0	1	245	GDSF(latency)_3	104,58%	1	0	1
199	LRU-MIN_30	103,69%	1	0	1	246	GDF(packets)_15	104,64%	1	0	1
200	SIZE_30	103,69%	1	0	1	247	GDF(latency)_30	104,80%	1	0	1
201	PSS_30	103,69%	1	0	1	248	GDF(packets)_30	104,82%	1	0	1

249	LLF_30	104,90%	1	0	1	296	A-Aging (In-Cache)_20	106,49%	1	0	1
250	GDS(latency)_3	104,93%	1	0	1	297	LUV_20	106,61%	1	0	1
251	LLF_15	105,01%	1	0	1	298	GDF(latency)_5	106,71%	1	0	1
252	GD*(latency)_3	105,45%	1	0	1	299	GDF(packets)_5	106,71%	1	0	1
253	SIZE_20	105,50%	1	0	1	300	EXP1_3	107,21%	1	0	1
254	PSS-LAT_20	105,50%	1	0	1	301	GDF(latency)_20	107,70%	1	0	1
255	LRU-SP-LAT_20	105,50%	1	0	1	302	GDF(packets)_20	107,78%	1	0	1
256	GDS(hops)_20	105,50%	1	0	1	303	LLF_20	108,14%	1	0	1
257	LRU-MIN_20	105,54%	1	0	1	304	LLF_5	108,27%	1	0	1
258	HYBRID_20	105,54%	1	0	1	305	PART-LRU_5	110,58%	1	0	1
259	GD*(1)_20	105,54%	1	0	1	306	GDF(latency)_3	112,30%	1	0	1
260	MIX_20	105,58%	1	0	1	307	GDF(packets)_3	112,70%	1	0	1
261	LRU-SP_20	105,62%	1	0	1	308	LUV_3	112,90%	1	0	1
262	GDS(1)_20	105,62%	1	0	1	309	LRU-SP_10	114,20%	1	0	1
263	GDSF(1)_20	105,62%	1	0	1	310	PSS_10	114,27%	1	0	1
264	GDSF(hops)_20	105,62%	1	0	1	311	LRU-SP-LAT_10	114,27%	1	0	1
265	gGDSF(1)_20	105,62%	1	0	1	312	GDSF(hops)_10	114,27%	1	0	1
266	PSS_20	105,65%	1	0	1	313	gGDSF(hops)_10	114,27%	1	0	1
267	gGDSF(hops)_20	105,65%	1	0	1	314	PSS-LAT_10	114,42%	1	0	1
268	GD*(hops)_20	105,69%	1	0	1	315	GDS(hops)_10	114,42%	1	0	1
269	GD*(packets)_20	105,69%	1	0	1	316	GDSF(1)_10	114,50%	1	0	1
270	gGDSF(latency)_20	105,69%	1	0	1	317	GD*(hops)_10	114,50%	1	0	1
271	GDSF(packets)_20	105,73%	1	0	1	318	gGDSF(1)_10	114,50%	1	0	1
272	RAND-MIX_20	105,73%	1	0	1	319	LRU-MIN_10	114,57%	1	0	1
273	GDS(packets)_20	105,77%	1	0	1	320	MIX_10	114,57%	1	0	1
274	LUV_5	105,77%	1	0	1	321	GDS(1)_10	114,64%	1	0	1
275	LRU*_20	105,84%	1	0	1	322	GD*(packets)_10	114,64%	1	0	1
276	M-METRIC_20	105,84%	1	0	1	323	GDSF(packets)_10	114,72%	1	0	1
277	SLRU_20	105,92%	1	0	1	324	GD*(1)_10	114,72%	1	0	1
278	GDF(hops)_20	105,92%	1	0	1	325	RAND-MIX_10	114,72%	1	0	1
279	LRU_20	105,96%	1	0	1	326	M-METRIC_10	114,79%	1	0	1
280	GDF(1)_20	105,96%	1	0	1	327	SLRU_10	114,94%	1	0	1
281	TSP_20	105,96%	1	0	1	328	LRU*_10	114,94%	1	0	1
282	HYBRID_3	105,97%	1	0	1	329	SIZE_10	115,02%	1	0	1
283	FIFO_20	106,03%	1	0	1	330	GDS(packets)_10	115,02%	1	0	1
284	GDSF(latency)_20	106,03%	1	0	1	331	GDF(1)_10	115,02%	1	0	1
285	LRU-S_20	106,07%	1	0	1	332	gGDSF(latency)_10	115,02%	1	0	1
286	LRU-CS_20	106,07%	1	0	1	333	HYBRID_10	115,09%	1	0	1
287	LRU-C_20	106,11%	1	0	1	334	GDF(hops)_10	115,09%	1	0	1
288	GDS(latency)_20	106,15%	1	0	1	335	LRU_10	115,24%	1	0	1
289	GD*(latency)_20	106,15%	1	0	1	336	TSP_10	115,46%	1	0	1
290	gGDSF(packets)_20	106,19%	1	0	1	337	GDSF(latency)_10	115,54%	1	0	1
291	RAND_20	106,19%	1	0	1	338	LLF_3	115,55%	1	0	1
292	LFU (In-Cache)_3	106,32%	1	0	1	339	FIFO_10	115,69%	1	0	1
293	A-Aging (In-Cache)_3	106,32%	1	0	1	340	LRU-S_10	115,84%	1	0	1
294	EXP1_20	106,49%	1	0	1	341	LRU-CS_10	115,84%	1	0	1
295	LFU (In-Cache)_20	106,49%	1	0	1	342	GD*(latency)_10	115,92%	1	0	1

343	RAND_10	115,92%	1	0	1	355	PART-LRU_15	119,60%	1	0	1
344	LRU-C_10	115,92%	1	0	1	356	GDF(packets)_10	119,91%	1	0	1
345	GDS(latency)_10	116,22%	1	0	1	357	LLF_10	120,80%	1	0	1
346	PART-LRU_20	116,44%	1	0	1	358	PART-LRU_30	123,83%	1	0	1
347	gGDSF(packets)_10	116,52%	1	0	1	359	PART-LRU_10	127,48%	1	0	1
348	EXP1_10	117,14%	1	0	1	360	PART-LRU_35	128,31%	1	0	1
349	LFU (In-Cache)_10	117,14%	1	0	1						
350	A-Aging (In-Cache)_10	117,29%	1	0	1						
351	LUV_10	118,47%	1	0	1						
353	PART-LRU_3	119,22%	1	0	1						
354	GDF(latency)_10	119,58%	1	0	1						

ΑΡΧΕΙΟ ΙΧΝΩΝ: SD

A/A	ΜΑΑ	Δ.Α.	Σ.Β.ΕΙΣ. (ΜΝΗΜΗ)	Σ.Β.ΕΚ. (HR)	Σ.Β.ΕΚ. (BHR)	A/A	ΜΑΑ	Δ.Α.	Σ.Β.ΕΙΣ. (ΜΝΗΜΗ)	Σ.Β.ΕΚ. (HR)	Σ.Β.ΕΚ. (BHR)
1	LRU-MIN_30	100,00%	1	1	0	29	gGDSF(hops)_30	100,00%	1	1	0
2	SIZE_30	100,00%	1	0	1	30	gGDSF(hops)_35	100,00%	1	1	0
3	SIZE_35	100,00%	1	0	1	31	M-METRIC_5	100,00%	1	0	1
4	PSS_30	100,00%	1	1	0	32	MIX_3	100,00%	1	0,13	0,87
5	PSS_35	100,00%	1	1	0	33	MIX_5	100,00%	1	0,15	0,85
6	PSS-LAT_30	100,00%	1	1	0	34	MIX_30	100,00%	1	1	0
7	PSS-LAT_35	100,00%	1	1	0	35	MIX_35	100,00%	1	1	0
8	LRU-SP_3	100,00%	1	0,7	0,3	36	RAND-MIX_5	100,00%	1	0,02	0,98
9	LRU-SP_30	100,00%	1	1	0	37	LRU-MIN_35	100,01%	1	1	0
10	LRU-SP_35	100,00%	1	1	0	38	GDS(1)_35	100,01%	1	1	0
11	LRU-SP-LAT_30	100,00%	1	1	0	39	GDS(hops)_35	100,01%	1	1	0
12	LRU-SP-LAT_35	100,00%	1	1	0	40	GDS(packets)_35	100,01%	1	1	0
13	HYBRID_30	100,00%	1	1	0	41	GD*(1)_35	100,01%	1	1	0
14	HYBRID_35	100,00%	1	1	0	42	GD*(hops)_35	100,01%	1	1	0
15	GDS(1)_30	100,00%	1	1	0	43	LRU-SP_5	100,02%	1	0,81	0,19
16	GDS(hops)_30	100,00%	1	1	0	44	PSS-LAT_5	100,04%	1	1	0
17	GDSF(1)_5	100,00%	1	0,86	0,14	45	LRU-SP-LAT_5	100,04%	1	1	0
18	GDSF(1)_30	100,00%	1	1	0	46	GDS(1)_5	100,04%	1	1	0
19	GDSF(1)_35	100,00%	1	1	0	47	GDSF(1)_3	100,04%	1	1	0
20	GDSF(hops)_30	100,00%	1	1	0	48	GDSF(packets)_5	100,06%	1	0	1
21	GDSF(hops)_35	100,00%	1	1	0	49	GD*(packets)_30	100,06%	1	1	0
22	GDF(1)_5	100,00%	1	0	1	50	RAND-MIX_35	100,06%	1	1	0
23	GD*(1)_5	100,00%	1	0,86	0,14	51	GD*(packets)_35	100,07%	1	1	0
24	GD*(1)_30	100,00%	1	1	0	52	GD*(1)_3	100,08%	1	1	0
25	GD*(hops)_30	100,00%	1	1	0	53	RAND-MIX_3	100,08%	1	0	1
26	gGDSF(1)_3	100,00%	1	1	0	54	GDSF(packets)_35	100,09%	1	1	0
27	gGDSF(1)_30	100,00%	1	1	0	55	gGDSF(packets)_35	100,09%	1	1	0
28	gGDSF(1)_35	100,00%	1	1	0	56	RAND-MIX_30	100,10%	1	1	0

57	gGDSF(latency)_35	100,12%	1	1	0	104	FIFO_30	100,31%	1	0	1
58	SLRU_5	100,13%	1	0	1	105	GD*(latency)_30	100,31%	1	0	1
59	GDS(packets)_30	100,13%	1	0	1	106	LRU-S_30	100,31%	1	0	1
60	GDSF(packets)_30	100,13%	1	1	0	107	LRU_5	100,32%	1	0	1
61	gGDSF(1)_5	100,13%	1	0,81	0,19	108	GDSF(hops)_5	100,33%	1	0,81	0,19
62	gGDSF(packets)_30	100,13%	1	1	0	109	LUV_35	100,33%	1	0	1
63	PSS_5	100,14%	1	1	0	110	LRU*_3	100,34%	1	0	1
64	gGDSF(latency)_30	100,14%	1	1	0	111	GD*(packets)_3	100,34%	1	0	1
65	LRU*_35	100,15%	1	0	1	112	gGDSF(hops)_5	100,35%	1	0,81	0,19
66	M-METRIC_30	100,15%	1	0	1	113	LRU-CS_30	100,35%	1	0	1
67	M-METRIC_35	100,15%	1	0	1	114	SIZE_5	100,36%	1	1	0
68	LRU_35	100,16%	1	0	1	115	LRU-MIN_3	100,37%	1	1	0
69	SLRU_35	100,16%	1	0	1	116	LRU-C_30	100,37%	1	0	1
70	TSP_35	100,16%	1	1	0	117	gGDSF(hops)_3	100,39%	1	0,81	0,19
71	gGDSF(packets)_3	100,17%	1	0	1	118	GD*(hops)_5	100,40%	1	0,81	0,19
72	M-METRIC_3	100,17%	1	0	1	119	GDS(1)_3	100,41%	1	1	0
73	FIFO_35	100,18%	1	0	1	120	GDF(packets)_35	100,41%	1	0	1
74	LRU*_5	100,19%	1	0	1	121	GDSF(packets)_3	100,42%	1	0	1
75	GDS(packets)_5	100,19%	1	0	1	122	EXP1_30	100,43%	1	0	1
76	LRU-SP-LAT_3	100,20%	1	1	0	123	LFU (In-Cache)_30	100,43%	1	0	1
77	GDSF(latency)_35	100,21%	1	0	1	124	GDF(latency)_35	100,44%	1	0	1
78	GD*(latency)_35	100,21%	1	0	1	125	FIFO_5	100,45%	1	0	1
79	LRU-S_35	100,21%	1	0	1	126	PSS-LAT_3	100,45%	1	1	0
80	LRU-C_35	100,21%	1	0	1	127	A-Aging (In-Cache)_30	100,46%	1	0	1
81	LRU-CS_35	100,21%	1	0	1	128	GDSF(hops)_3	100,49%	1	1	0
82	TSP_30	100,22%	1	0	1	129	LUV_30	100,50%	1	0	1
83	LRU-MIN_5	100,25%	1	1	0	130	GDF(packets)_30	100,56%	1	0	1
84	SLRU_3	100,25%	1	0	1	131	PSS-LAT_15	100,58%	1	0	1
85	GDS(latency)_35	100,25%	1	0	1	132	GDS(packets)_3	100,59%	1	0	1
86	GDF(1)_3	100,25%	1	0	1	133	GDF(latency)_30	100,59%	1	0	1
87	GDF(1)_35	100,25%	1	0	1	134	LLF_35	100,61%	1	0	1
88	GDF(hops)_35	100,25%	1	0	1	135	GDS(hops)_5	100,61%	1	1	0
89	LRU_30	100,26%	1	0	1	136	LRU-C_5	100,64%	1	0	1
90	EXP1_35	100,26%	1	0	1	137	LRU_3	100,67%	1	0	1
91	LFU (In-Cache)_35	100,26%	1	0	1	138	GD*(hops)_3	100,70%	1	1	0
92	LRU*_30	100,26%	1	0	1	139	LRU-MIN_15	100,71%	1	0	1
93	GDS(latency)_30	100,26%	1	0	1	140	LRU-SP_15	100,71%	1	0	1
94	GDF(1)_30	100,26%	1	0	1	141	GD*(packets)_15	100,71%	1	0	1
95	GDF(hops)_30	100,26%	1	0	1	142	gGDSF(packets)_15	100,71%	1	0	1
96	GD*(packets)_5	100,26%	1	0	1	143	LRU-S_5	100,71%	1	0	1
97	gGDSF(packets)_5	100,26%	1	0	1	144	LRU-CS_5	100,71%	1	0	1
98	A-Aging (In-Cache)_35	100,28%	1	0	1	145	SLRU_15	100,74%	1	0	1
99	SLRU_30	100,28%	1	0	1	146	LRU-SP-LAT_15	100,74%	1	0	1
100	RAND_30	100,28%	1	0	1	147	GDS(hops)_3	100,74%	1	1	0
101	RAND_35	100,28%	1	0	1	148	GDSF(packets)_15	100,74%	1	0	1
102	PSS_3	100,29%	1	1	0	149	M-METRIC_15	100,74%	1	0	1
103	GDSF(latency)_30	100,30%	1	0	1	150	MIX_15	100,74%	1	0	1

151	PSS_15	100,77%	1	0	1	198	SLRU_10	101,45%	1	0	1
152	LLF_30	100,78%	1	0	1	199	EXP1_5	101,50%	1	0	1
153	LRU*_15	100,80%	1	0	1	200	LFU (In-Cache)_5	101,50%	1	0	1
154	RAND-MIX_15	100,80%	1	0	1	201	A-Aging (In-Cache)_3	101,53%	1	0	1
155	FIFO_3	100,84%	1	0	1	202	A-Aging (In-Cache)_15	101,53%	1	0	1
156	TSP_5	100,84%	1	0	1	203	PSS_10	101,54%	1	0	1
157	GDSF(1)_15	100,87%	1	0	1	204	LRU-SP-LAT_10	101,54%	1	0	1
158	GD*(1)_15	100,87%	1	0	1	205	GDF(1)_10	101,54%	1	0	1
159	GDSF(hops)_15	100,90%	1	0	1	206	EXP1_15	101,56%	1	0	1
160	GD*(latency)_15	100,90%	1	0	1	207	LRU*_10	101,58%	1	0	1
161	GD*(hops)_15	100,90%	1	0	1	208	LRU-SP_10	101,58%	1	0	1
162	TSP_15	100,90%	1	0	1	209	LFU (In-Cache)_15	101,60%	1	0	1
163	TSP_3	100,93%	1	0	1	210	LFU (In-Cache)_3	101,62%	1	0	1
164	LRU_15	100,94%	1	0	1	211	HYBRID_5	101,62%	1	0,81	0,19
165	GDF(1)_15	100,94%	1	0	1	212	GDS(packets)_10	101,63%	1	0	1
166	gGDSF(1)_15	100,94%	1	0	1	213	SIZE_3	101,65%	1	1	0
167	FIFO_15	100,97%	1	0	1	214	LRU_10	101,67%	1	0	1
168	GDS(packets)_15	100,97%	1	0	1	215	LRU-MIN_10	101,72%	1	0	1
169	GDSF(latency)_15	100,97%	1	0	1	216	PSS-LAT_10	101,72%	1	0	1
170	GDF(hops)_5	100,97%	1	0	1	217	gGDSF(1)_10	101,72%	1	0	1
171	GDF(hops)_15	100,97%	1	0	1	218	gGDSF(hops)_10	101,72%	1	0	1
172	gGDSF(hops)_15	100,97%	1	0	1	219	TSP_10	101,72%	1	0	1
173	RAND_5	100,97%	1	0	1	220	RAND-MIX_10	101,72%	1	0	1
174	GDSF(latency)_3	101,10%	1	0	1	221	FIFO_10	101,76%	1	0	1
175	GDSF(latency)_5	101,10%	1	0	1	222	GD*(latency)_3	101,79%	1	0	1
176	GDF(hops)_3	101,10%	1	0	1	223	RAND_3	101,79%	1	0	1
177	LRU-S_15	101,10%	1	0	1	224	GDSF(hops)_10	101,81%	1	0	1
178	LRU-C_15	101,10%	1	0	1	225	GDS(latency)_5	101,83%	1	0	1
179	GDS(latency)_15	101,13%	1	0	1	226	GDF(hops)_10	101,85%	1	0	1
180	HYBRID_15	101,17%	1	0	1	227	GDSF(1)_10	101,89%	1	0	1
181	LRU-CS_15	101,17%	1	0	1	228	RAND_10	101,89%	1	0	1
182	M-METRIC_10	101,19%	1	0	1	229	LRU-C_10	101,89%	1	0	1
183	GD*(latency)_5	101,23%	1	0	1	230	LRU-S_10	101,94%	1	0	1
184	gGDSF(latency)_5	101,23%	1	1	0	231	LRU-CS_10	101,94%	1	0	1
185	RAND_15	101,23%	1	0	1	232	gGDSF(latency)_3	101,95%	1	1	0
186	SIZE_15	101,26%	1	0	1	233	GDSF(latency)_10	101,98%	1	0	1
187	gGDSF(packets)_10	101,28%	1	0	1	234	GD*(1)_10	101,98%	1	0	1
188	MIX_10	101,28%	1	0	1	235	GDF(latency)_15	102,10%	1	0	1
189	GDS(1)_15	101,33%	1	0	1	236	GD*(latency)_10	102,12%	1	0	1
190	LRU-S_3	101,36%	1	0	1	237	HYBRID_10	102,16%	1	0	1
191	LRU-C_3	101,36%	1	0	1	238	GD*(hops)_10	102,21%	1	0	1
192	LRU-CS_3	101,36%	1	0	1	239	EXP1_3	102,23%	1	0	1
193	gGDSF(latency)_15	101,40%	1	0	1	240	GDS(latency)_10	102,25%	1	0	1
194	GDSF(packets)_10	101,41%	1	0	1	241	GDF(packets)_15	102,30%	1	0	1
195	GD*(packets)_10	101,41%	1	0	1	242	LUV_15	102,30%	1	0	1
196	A-Aging (In-Cache)_5	101,43%	1	0	1	243	SIZE_10	102,61%	1	0	1
197	GDS(hops)_15	101,43%	1	0	1	244	EXP1_10	102,61%	1	0	1

245	LFU (In-Cache)_10	102,70%	1	0	1	292	RAND_20	104,45%	1	0	1
246	GDS(hops)_10	102,70%	1	0	1	293	HYBRID_20	104,50%	1	0	1
247	A-Aging (In-Cache)_10	102,75%	1	0	1	294	LRU-S_20	104,53%	1	0	1
248	HYBRID_3	102,94%	1	0,67	0,33	295	LRU-C_20	104,53%	1	0	1
249	GDS(latency)_3	103,02%	1	0	1	296	LRU-CS_20	104,53%	1	0	1
250	GDF(latency)_5	103,04%	1	0	1	297	A-Aging (In-Cache)_20	104,70%	1	0	1
251	GDF(packets)_5	103,10%	1	0	1	298	EXP1_20	104,84%	1	0	1
252	GDS(1)_10	103,25%	1	0	1	299	LFU (In-Cache)_20	104,84%	1	0	1
253	LLF_15	103,28%	1	0	1	300	LUV_20	105,01%	1	0	1
254	GDF(latency)_10	103,34%	1	0	1	301	GDF(packets)_20	105,10%	1	0	1
255	gGDSF(latency)_10	103,43%	1	0	1	302	GDF(latency)_20	105,15%	1	0	1
256	GDF(packets)_10	103,52%	1	0	1	303	LLF_10	105,30%	1	0	1
257	GDF(packets)_3	103,74%	1	0	1	304	LLF_20	105,67%	1	0	1
258	MIX_20	103,94%	1	0	1	305	GDSF(hops)_25	106,37%	1	0	1
259	LRU-SP_20	104,00%	1	0	1	306	gGDSF(1)_25	106,39%	1	0	1
260	LRU-SP-LAT_20	104,00%	1	0	1	307	LUV_5	106,41%	1	0	1
261	GDF(latency)_3	104,01%	1	0	1	308	GD*(hops)_25	106,42%	1	0	1
262	PSS_20	104,05%	1	0	1	309	gGDSF(hops)_25	106,42%	1	0	1
263	GD*(1)_20	104,05%	1	0	1	310	MIX_25	106,42%	1	0	1
264	LRU-MIN_20	104,08%	1	0	1	311	GDSF(1)_25	106,44%	1	0	1
265	PSS-LAT_20	104,08%	1	0	1	312	LRU-MIN_25	106,46%	1	0	1
266	GD*(hops)_20	104,11%	1	0	1	313	LRU-SP_25	106,46%	1	0	1
267	gGDSF(1)_20	104,11%	1	0	1	314	LRU-SP-LAT_25	106,46%	1	0	1
268	GD*(packets)_20	104,14%	1	0	1	315	PSS_25	106,49%	1	0	1
269	M-METRIC_20	104,14%	1	0	1	316	PSS-LAT_25	106,49%	1	0	1
270	SLRU_20	104,17%	1	0	1	317	GD*(1)_25	106,49%	1	0	1
271	GDSF(hops)_20	104,17%	1	0	1	318	GDS(packets)_25	106,51%	1	0	1
272	GDSF(packets)_20	104,17%	1	0	1	319	RAND-MIX_25	106,51%	1	0	1
273	gGDSF(hops)_20	104,17%	1	0	1	320	GDS(1)_25	106,54%	1	0	1
274	gGDSF(packets)_20	104,17%	1	0	1	321	GDS(hops)_25	106,54%	1	0	1
275	GDSF(1)_20	104,19%	1	0	1	322	GDSF(packets)_25	106,54%	1	0	1
276	GDS(packets)_20	104,22%	1	0	1	323	GDF(1)_25	106,54%	1	0	1
277	GDF(hops)_20	104,22%	1	0	1	324	GDF(hops)_25	106,54%	1	0	1
278	RAND-MIX_20	104,22%	1	0	1	325	GD*(packets)_25	106,59%	1	0	1
279	LRU*_20	104,25%	1	0	1	326	gGDSF(latency)_25	106,59%	1	0	1
280	GDF(1)_20	104,25%	1	0	1	327	LRU*_25	106,61%	1	0	1
281	LUV_10	104,26%	1	0	1	328	gGDSF(packets)_25	106,61%	1	0	1
282	GDSF(latency)_20	104,28%	1	0	1	329	TSP_25	106,61%	1	0	1
283	GD*(latency)_20	104,28%	1	0	1	330	SLRU_25	106,63%	1	0	1
284	TSP_20	104,28%	1	0	1	331	M-METRIC_25	106,63%	1	0	1
285	SIZE_20	104,31%	1	0	1	332	LRU_25	106,68%	1	0	1
286	LRU_20	104,33%	1	0	1	333	SIZE_25	106,68%	1	0	1
287	GDS(1)_20	104,36%	1	0	1	334	GDS(latency)_25	106,71%	1	0	1
288	FIFO_20	104,39%	1	0	1	335	GDSF(latency)_25	106,71%	1	0	1
289	GDS(latency)_20	104,39%	1	0	1	336	GD*(latency)_25	106,71%	1	0	1
290	GDS(hops)_20	104,45%	1	0	1	337	FIFO_25	106,73%	1	0	1
291	gGDSF(latency)_20	104,45%	1	0	1	338	RAND_25	106,73%	1	0	1

339	HYBRID_25	106,76%	1	0	1	352	PART-LRU_5	109,04%	1	1	0
340	LRU-S_25	106,78%	1	0	1	353	PART-LRU_10	109,19%	1	0	1
341	LRU-C_25	106,81%	1	0	1	354	PART-LRU_35	112,09%	1	1	0
342	LRU-CS_25	106,81%	1	0	1	355	LLF_3	113,07%	1	0	1
343	A-Aging (In-Cache)_25	107,08%	1	0	1	356	LUV_3	113,28%	1	0	1
344	LUV_25	107,10%	1	0	1	357	PART-LRU_15	115,57%	1	0	1
345	EXP1_25	107,17%	1	0	1	358	PART-LRU_20	118,51%	1	0	1
346	LFU (In-Cache)_25	107,17%	1	0	1	359	PART-LRU_25	125,02%	1	0	1
347	GDF(packets)_25	107,17%	1	0	1	360	PART-LRU_30	127,30%	1	1	0
348	GDF(latency)_25	107,22%	1	0	1						
349	LLF_5	107,66%	1	0	1						
350	LLF_25	107,72%	1	0	1						
351	PART-LRU_3	108,54%	1	0,67	0,33						

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ

Βιβλιογραφία

- [Abd97] Abdulla G., Fox E. A., Abrams M., Williams S., “WWW proxy traffic characterization with applications to caching”, Technical Report, TR-97-03, Computer Science Department, Virginia Polytechnic Institute and State University, March 1997
- [Abra95] Abrams M., Standridge C. R., Abdulla G., Williams S., Fox E. A., “Caching proxies: limitations and potentials”, In Proceedings of the 4th WWW Conference, Boston, MA, December 1995
- [Acha00] Acharya S., Smith B., Parnes P., “Characterizing user access to video on the world wide web”, In Proceedings of the SPIE/ACM SIGMM Multimedia Computing and Networking Conference (MMCN’2000), San Jose, CA, January 2000, 130-141
- [Agg99] Aggarwal C., Wolf J. L., Yu P. S., “Caching on the world wide web”, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 11, No. 1, January/February 1999, 94-107
- [Alm96] Almeida V., Bestavros A., Crovella M., De Oliveira A., “Characterizing reference locality in the WWW”, In Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Parallel and Distributed Information Systems (PDIS’96), Miami Beach, FL, USA, December 1996, 92-103
- [Alm01] Almeida J. M., Krueger J., Eager D. L., Vernon M. K., “Analysis of educational media server workloads”, In Proceedings of the 11th International Workshop on Networks and Operating Systems Support for Digital Audio and Video, Port Jefferson, NY, USA, June 2001, 21-30
- [And93] Andersen P., Petersen N., “A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis”, Management Science, Vol. 39, No. 10, October 1993, 1261-1264
- [Andr04a] Andreolini M., Lancellotti R., Yu P. S., “Analysis of peer-to-peer systems: Workload characterization and effects on traffic cacheability”, In Proceedings of the IEEE Computer Society’s 12th Annual International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunications Systems (MASCOTS’04), Volendam, The Netherlands, October 2004, 95-104
- [Andr04b] Andreolini M., Colajanni M., Lancellotti R., “Peer-to-peer workload characterization: Techniques and open issues”, In Proceedings of the 2004 International Workshop on Hot Topics in Peer-to-Peer Systems (HOT-P2P’04), Volendam, The Netherlands, October 2004, 66-71
- [Andr04c] Androutsellis-Theotokis S., Spinellis D., “A survey of peer-to-peer content distribution technologies”, ACM Computing Surveys, Vol. 36, No.4, December 2004, 335-371

- [Ant04] Antonatos S., Anagnostakis K.G., Markatos E.P., “Generating realistic workloads for network intrusion detection systems”, ACM SIGSOFT Software Engineering Notes, Vol. 29, Issue 1, 2004, 207-215
- [Ant06] Antoniadou D., Polychronakis M., Antonatos S., Markatos E. P., Ubik S., Oslebo A., “Appmon: An application for accurate per application network traffic characterization”, In proceedings of the IST Broadband Europe 2006 Conference, Geneva, Switzerland, December 11-14, 2006
- [Arl96] Arlitt M. F., Williamson C. L., “Web server workload characterization: the search for invariants”, ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, Vol. 24, Issue 1, May 1996, 126-137
- [Arl97] Arlitt M. F., Williamson C. L., “Internet web servers: workload characterization and performance implications”, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 5, No. 5, October 1997, 631-645
- [Arl99a] Arlitt M., Friedrich R., Jin T., “Workload characterization of a web proxy in a cable modem environment”, ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, Vol. 27, Issue 2, September 1999, 25-36
- [Arl99b] Arlitt M., Jin T., “Workload characterization of the 1998 world cup web site”, Technical Report, HPL-1999-35 (R.1), Hewlett Packard Laboratories, Palo Alto, September 1999
- [Arl00a] Arlitt M., Friedrich R., Jin T., “Performance evaluation of web proxy cache replacement policies”, Elsevier, Performance Evaluation, Vol. 39, Issue 1-4, February 2000, 149-164
- [Arl00b] Arlitt M., Cherkasova L., Dille J., Friedrich R., Jin T., “Evaluating content management techniques for web proxy caches”, ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, Vol. 27, Issue 4, March 2000, 3-11
- [Arl00c] Arlitt M., Jin T., “Workload characterization of the 1998 world cup web site”, IEEE Network, Vol. 15, Issue 3, May/June 2000, 30-37
- [Auld07] Auld T., Moore A. W., Gull S. F., “Bayesian neural networks for Internet traffic classification”, IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 18, No. 1, January 2007, 223-239
- [Baez07] Baeza-Yates R., Castillo C., Efthimiadis E. N., “Characterization of national web domains”, ACM Transactions on Internet Technology, Vol. 7, No. 2, May 2007, Article 9
- [Bah05] Bahat O., Makowski A. M., “Measuring consistency in TTL-based caches” Elsevier, Performance Evaluation, Vol. 62, Issues 1-4, October 2005, 439-455
- [Bahn02] Bahn H., Noh S. H., Min S. L., Koh K., “Efficient cache replacement for non-uniform objects in web caches”, IEEE Computer, Vol. 35, Issue 6, June 2002, 65-73

- [Bal04] Balamash A., Krunz ., “An overview of web caching replacement algorithms”, IEEE Communications Surveys, Vol. 2, No. 6, Second Quarter 2004
- [Ban08] Ban Z., Gu Z., Jin Y., “A PPM prediction model based on stochastic gradient descent for web prefetching”, In Proceedings of the 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications, Okinawa, Japan, March 2008, 166-173
- [Bank84] Banker R. D., Charnes A., Cooper W. W., “Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis”, Management Science, Vol. 30, No. 9, September 1984, 1078-1092
- [Barf98] Barford P., Crovella M., “Generating representative web workloads for network and server performance evaluation”, ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, Vol. 26, Issue 1, June 1998, 151-160
- [Barf99] Barford P., Bestavros A., Brandey A., Crovella M., “Changes in web client access patterns: characteristics and caching implications”, Springer, World Wide Web, Vol. 2, No. 1, 1999, 15-28
- [Barn00] Barnes J. F., “DavisSim: another web cache simulator”, Available at: <http://pdclab.cs.ucdavis.edu/qosweb/DavisSim.html>
- [Barr04] Barr R. S., “DEA software and technology – A state-of-the-art survey”, Springer, International Series in Operations Research and Management Science, Vol. 71: Handbook on Data Envelopment Analysis, Chapter 18, 2004, 539-566
- [Bash08] Basher N., Mahanti Aniket, Mahanti Anirban, Williamson C, Arlitt M., “A comparative analysis of Web and peer-to-peer traffic”, In Proceedings of the 17th International Conference on World Wide Web (WWW’08), Beijing, China, April 2008, 287-296
- [Ben09] Benevenuto F., Rodrigues T., Almeida V., Almeida J., Ross K., “Video interactions in online video social networks”, ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications and Applications, Vol. 5, No. 4, October 2009, Article 30
- [Bent06] Bent L., Rabinovich M., Voelker G., M., Xiao Z., “Characterization of a large web site population with implications for content delivery”, World Wide Web, Vol. 9, Issue 4, December 2006, 505-536
- [Bern96] Berners-Lee T., Fielding R., Frystyk H., “Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.0”, Request For Comments (RFC), No. 1945, May 1996. Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1945.txt>
- [Bol96] Bolot J., Hoschka P., “Performance engineering of the World Wide Web: application to dimensioning and cache design”, Computer Networks and ISDN Systems Vol. 28, Issue 7-11, 1996, 1397-1405. In Proceedings of the 5th International World Wide Web conference on Computer networks and ISDN systems, Paris, France, May 6-10, 1996

- [Bosc08] Boschi E., Mark L., Quittek J., Aitken P., “IP flow information export (IPFIX) implementation guidelines”, Request For Comments (RFC), No. 5153, April 2008. Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc5153.txt>
- [Bosc09] Boschi E., Mark L., Claise B., “Reducing redundancy in IP flow information export (IPFIX) and packet sampling (PSAMP) reports”, Request For Comments (RFC), No. 5473, March 2009. Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc5473.txt>
- [Brad99] Bradley A., “BU computer science 1998 proxy trace – release notes”, Technical Report, BU-CS-99-011, Computer Science Department, Boston University, September 1999
- [Brad02] Bradley A. D., Bestavros A., “Basis token consistency: Supporting strong web cache consistency”, In Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'02), Vol. 3, Taipei, Taiwan, November 2002, 2225-2229
- [Bran01] Brandao R. F., de Oliveira Anido R., “A parallel simulator for distributed and cooperative web caches”, In Proceedings of the 5th IEEE International Workshop on Distributed Simulation and Real-Time Applications, Cincinnati, OH, USA, August 2001, 113-120
- [Bres99] Breslau L., Cao P., Fan L., Phillips G., Shenker S., “Web caching and zipf-like distributions: evidence and implications”, In Proceedings of the 18th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM'99), Vol. 1, New York, NY, USA, March 1999, 126-134
- [Brew00] Brewington B. E., Cybenko G., “How dynamic is the Web?”, Elsevier, Computer Networks, Vol. 33, Issue 1-6, June 2000, 257-276
- [Brin98] Brin S., Page L., “The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine”, Elsevier, Computer Networks and ISDN Systems, Vol. 30, Issues 1-7, April 1998, 107-117. In Proceedings of the 7th International World Wide Web Conference, Brisbane, Australia, April 14-18, 1998
- [Bus01] Busari M., Williamson C., “On the sensitivity of web proxy cache performance to workload characteristics”, In Proceedings of the 20th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2001), Anchorage, AK, USA, Vol. 3, April 2001, 1225-1234
- [Bus02] Busari M., Williamson C., “ProWGen: A synthetic workload generation tool for simulation evaluation of web proxy caches”, Elsevier, Computer Networks, Vol. 38, No. 6, June 2002, 779-794
- [Bust03] Bustamante F. E., Qiao Y., “Friendship that last: Peer lifespan and its role in P2P protocols”, Springer, Web Content Caching and Distribution, 233-246. In Proceedings of the 8th International Workshop on Web Content Caching and Distribution, Hawthorne, NY, USA, September, 29 – October, 1, 2003

- [Cac98] Caceres R., Douglis F., Feldmann A., Glass G., Rabinovich M., “Web proxy caching: The devil is in the details”, In Proceedings of the Workshop on Internet Server Performance (WISP’98), Madison, Wisconsin, USA, June 1998
- [Cao97a] Cao P., Web Cache Simulator, Department of Computer Sciences, University of Wisconsin, Available at: <http://pages.cs.wisc.edu/~cao/webcache-simulator.html>.
- [Cao97b] Cao P., Irani S., “Cost-aware WWW proxy caching algorithms”, In Proceedings of USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems (USITS), Monterey, CA, USA, December 1997, 193-206
- [Cam05] Camanho A. S., Dyson R. G., “Cost efficiency measurement with price uncertainty: A DEA application to bank branch assessment”, Elsevier, European Journal of Operational Research, Vol. 161, Issue 2, March 2005, 432-446
- [Camp03] Hernandez-Campos F., Jeffay K., Smith F. D., “Tracking the evolution of Web Traffic: 1995-2003”, In Proceedings of the 11th IEEE/ACM International Symposium of Modeling, Analysis, and Simulation of Computer Telecommunications Systems (MASCOTS’03), Orlando, Florida, USA, October 12-15, 2003, 16-25
- [Card04] Cardenas L. G., Sahuquillo J., Pont A., Gil J. A., “The multikey web cache simulator: a platform for designing proxy cache management techniques”, In Proceeding of the 12th Euromicro Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing (PDP2004), A Coruna, Spain, February 11-13, 2004, 390-397
- [Card05a] Cardenas L. G., Gil J. A., Domenech J., Sahuquillo J., Pont A., “Performance comparison of a web cache simulation framework”, In Proceedings of the 1st IEEE International Workshop on Information Networking and Applications (INA2005), Vol. 2, Taipei, Taiwan, March 2005, 281-284
- [Card05b] Cardenas L. G., Gil J. A., Sahuquillo J., Pont A., “Emulating web cache replacement algorithms versus real system”, In Proceedings of the 10th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC2005), La Manga del Mar Menor, Spain, June 2005, 891-897
- [Cha07] Cha M., Kwak H., Rodriguez P., Ahn Y.-Y., Moon S., “I tube, you tube, everybody tubes: Analyzing the world’s largest user generated content video system In Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM Internet Measurement Conference (IMC 2007), San Diego, CA, USA, October 24-26, 2007, 1-14
- [Cham05] Chambers C., Feng W.-C., Sahu S., Saha D., “Measurement-based characterization of a collection of on-line games”, In Proceedings of the 5th ACM SIGCOMM conference on Internet Measurement, Berkeley, CA, USA, October 19 - 21, 2005
- [Chan99] Chang C., McGregor T., Holmes G., “The LRU* WWW proxy cache document replacement algorithm”, In Proceedings of the Asia-Pacific Web Conference, Hong Kong, China, September 1999

- [Chan00] Chan P. K., “Constructing web user profiles: A non-invasive learning approach”, Springer, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 1836, 2000, 39-55. In Proceedings of the International Workshop on Web Usage Analysis and User Profiling (WEBKDD’99), San Diego, CA, USA, August 15, 1999
- [Char78] Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E., “Measuring the efficiency of decision making units”, Elsevier, European Journal of Operational Research, Vol. 2, Issue 6, November 1978, 429-444
- [Che01] Che H., Wang Z., Tung Y., “Analysis and design of hierarchical web caching systems”, In Proceedings of the 20th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM’01), Vol. 3, Anchorage, AK, USA, April 2001, 1416-1424
- [Chen00] Cheng K., Kambayashi Y., “LRU-SP: Size-adjusted and popularity-aware LRU replacement algorithm for web caching”, In Proceedings of the 24th Annual International Computer Software and Applications Conference (COMPSAC 2000), Taipei, Taiwan, October 2000, 48-53
- [Chen03] Chen X., Zhang X., “A popularity-based prediction model for web prefetching”, IEEE Computer, Vol. 36, Issue 3, March 2003, 63-70
- [Chen05] Chen T., “A new cache document replacement policy considering the contribution to sales”, Elsevier, Electronic Research and Applications, Vol. 4, Issue 3, Autumn 2005, 283-297
- [Chen07] Cheng X., Dale C., Liu J., “Understanding the characteristics of Internet short video sharing: YouTube as a case study”, Technical Report, arXiv:0707.3670v1 [cs.NI], Cornell University, July 25, 2007
- [Cher98] Cherkasova L., “Improving WWW proxies performance with greedy-dual-size-frequency caching policy”, Technical Report HPL-98-69 (R.1), Computer Systems Laboratory, Hewlett Packard, November 1998
- [Cher01] Cherkasova L., Ciardo G., “Role of aging, frequency, and size in web cache replacement policies”, In Proceedings of the 2001 Conference on High-Performance Computing and Networking (HPCN’01), Amsterdam, The Netherlands, June 25-27, 2001. Springer, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2110, 114-123
- [Cher04] Cherkasova L., Gupta M., “Analysis of enterprise media server workloads: Access patterns, locality, content evolution, and rates of change”, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 12, No. 5, October 2004, 781-794
- [Ches01] Chesire M., Wolman A., Voelker G. M., Levy H. M., “Measurement and analysis of a streaming-media workload”, In Proceedings of the 3rd Conference on USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems, Vol. 3, San Francisco, California, March 2001

- [Chu02] Chu J., Labonte K., Levine B. N., “Availability and locality measurements of peer-to-peer file systems”, SPIE, Vol. 4868, 2002, 310-321. In Proceedings of ITCom: Scalability and Traffic Control in IP Networks, Boston, MA, USA, July 31, 2002
- [Clai04] Claise B., “Cisco systems NetFlow services version 9”, Request For Comments (RFC), No. 3954, October 2004, Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3954.txt>
- [Clai08] Claise B., “Specification of the IP flow information export (IPFIX) for the exchange of IP traffic flow information”, Request For Comments (RFC), No. 5101, January 2008, Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc5101.txt>
- [Cobb08] Cobb J., ElAarag H., “Web proxy cache replacement scheme based on back-propagation neural network”, Elsevier, The Journal of Systems and Software, Vol. 81, Issue 9, September 2008, 1539-1558
- [Coh98] Cohen E., Krishnamurthy B., Rexford J., “Evaluating server-assisted cache replacement in the web”, In Proceedings of the European Symposium on Algorithms, Venice, Italy, August 24-26, 1998. Springer, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 1461, 307-319
- [Col010] Colasoft., “Capsa enterprise edition – Maximize network value”, Technical White Paper, 2010. Available at: <http://www.colasoft.com/support/documentation.php>
- [Cook93] Cook W. D., Kress M., Seiford L. M., “On the use of ordinal data in data envelopment analysis”, The Journal of the Operational Research Society (JORS), Vol. 44, No. 2, February 1993, 133-140
- [Cook09] Cook W. D., Seiford L. M., “Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on”, Elsevier, European Journal of Operational Research, Vol. 192, Issue 1, January 1, 2009, 1-17
- [Cord09] Corder G. W., Foreman D. I., “Nonparametric statistics for non-statisticians – A step-by-step approach”, Wiley, June 2009. Available at: http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-047045461X,descCd-google_preview.html
- [Cost04a] Costa C., Cunha I., Borges A., Ramos C., Rocha M., Almeida J., Ribeiro-Neto B., “Analyzing Client interactivity in streaming media”, In Proceedings of the 13th International Conference on World Wide Web (WWW’04), New York, NY, USA, May 17-20, 2004, 534-543
- [Cost04b] Costa C., Ramos C., Cunha I., Almeida J., “GENIUS: A generator of interactive user media sessions”, In Proceedings of the 7th Annual IEEE International Workshop on Workload Generation (WWC-7), Austin, Texas, USA, October 25, 2004, 29-36

- [Cran02] Cranon C., Gao Y., Johnson T., Shkapenyuk V., Spataschek O., “Gigascope: A stream database for network applications”, In Proceedings of the 2002 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data (SIGMOD 2002), Madison, Wisconsin, USA, June 3-6, 2002, 623-623
- [Cran03] Cranon C., Johnson T., Spataschek O., Shkapenyuk V., “Gigascope: A stream database for network applications”, In Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, San Diego, California, June 9-12, 2003, 647-651
- [Crov97] Crovella M., Bestavros A., “Self-similarity in world wide web traffic: Evidence and possible causes”, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 5, No. 6, December 1997, 835-846. In Proceedings of the ACM SIGMETRICS, Philadelphia, PA, May 1996
- [Crov98] Crovella M., Barford P., “The network effects of prefetching”, In Proceedings of the 17th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM'98), Vol. 3, San Francisco, USA, March/April 1998, 1232-1239
- [Cunh95] Cunha C. R., Bestavros A., Crovella M. E., “Characteristics of WWW client-based traces”, Technical Report BU-CS-95-010, Computer Science Department, Boston University, July 1995
- [Cunh97] Cunha C. R., Jaccoud C. F. B., “Determining WWW user’s next access and its application to pre-fetching”, In Proceedings of the 2nd IEEE International Symposium on Computers and Communications (ISCC '97), Alexandria, Egypt, July 1-3, 1997
- [Dav99] Davison B. D., “A survey of proxy cache evaluation techniques”, In Proceedings of the 4th WWW Caching Workshop (WCW99), San Diego, CA, USA, March 1999, 67-77
- [Dav01] Davison B. D., “NCS: Network and cache simulator – An introduction”, Technical Report DCS-TR-444, Department of Computer Science, Rutgers University, August 2001
- [Dav02a] Davison B. D., “Prefetching web actions from HTML content”, In Proceedings of the 13th ACM Conference on Hypertext and Hypermedia (HT'02), College Park, Maryland, USA, June 11-15, 2002
- [Dav02b] Davison B. D., “The design and evaluation of web prefetching and caching techniques”, PHD Thesis, Computer Science, New Brunswick, New Jersey, October 2002
- [Desh04] Deshpande M., Karypis G., “Selective Markov models for predicting web page accesses”, ACM Transactions on Internet Technology, Vol. 4, No 2, May 2004, 163-184
- [Desp02] Despotis D. K., Smirlis Y. G., “Data envelopment analysis with imprecise data”, Elsevier, European Journal of Operational Research, Vol. 140, Issue 1, July 2002, 24-36

- [Dom06a] Domenech J., Gil J. A., Sahuquillo J., Pont A., “Web prefetching performance metrics: A survey”, Elsevier, Performance Evaluation, Vol. 63, Issue 9, October 2006, 988-1004
- [Dom06b] Domenech J., Gil J. A., Sahuquillo J., Pont A., “DDG: An efficient prefetching algorithm for current web generation”, In Proceedings of the 1st IEEE Workshop on Hot Topics in Web Systems and Technologies (HOTWEB’06), Boston, MA, November 2006, 1-12
- [Doul04] Douligeris C., Mitrokotsa A., “DDoS attacks and defense mechanisms: classification and state-of-the-art”, Elsevier, Computer Networks, Vol. 44, Issue 5, April 2004, 643-666
- [Down01] Downey A. B., “Evidence for long-tailed distributions in the Internet”, In Proceedings of the 1st ACM SIGCOMM Workshop on Internet Measurement (IMW’01), San Francisco, CA, USA, November 2001, 229-241
- [Drak94] Drake L., Howcroft B., “Relative efficiency in the branch network of a UK bank: An empirical Study”, Elsevier, Omega – The International Journal of Management Science, Vol. 22, Issue 1, January 1994, 83-90
- [Duar07] Duarte F., Mattos B., Bestavros A., Almeida V., Almeida J., “Traffic characteristics and communication patterns in blogosphere”, In Proceedings of the International Conference on Weblogs and Social Media (ICWSM’07), Boulder, Colorado, USA, March 26-28, 2007
- [Duar08] Duarte F., Mattos B., Almeida J., Almeida V., “Hierarchical characterization and generation of blogosphere workloads”, Submitted to Elsevier, Technical Report BUCS-TR-2008-028, Computer Science Department, Boston University, October 17, 2008
- [Duch99] Duchamp D., “Prefetching hyperlinks”, In Proceedings of the 2nd USENIX Symposium on Internet Technologies & Systems (USITS’99), Boulder, Colorado, USA, October 11-14, 1999, 127-138
- [Dusk97] Duska B. M., Marwood D., Feeley M. J., “The measured access characteristics of world-wide-web client proxy traces”, In Proceedings of the USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems, Monterey, California, December 1997, 23-36
- [Eag01] Eager D., Vernon M., Zahorjan J., “Minimizing bandwidth requirement for on-demand data delivery”, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 13, No. 5, September/October 2001, 742-757
- [ElAa09a] ElAarag H., Romano S., “Improvement of the neural network proxy cache replacement strategy”, In Proceedings of the 2009 Spring Simulation Multiconference, San Diego, California, USA, March 22-27, 2009

- [ElAa09b] ElAarag H., Romano S., “Comparison of function based web proxy cache replacement strategies”, In Proceedings of the International Symposium on Performance of Computer & Telecommunication Systems (SPECTS 2009), Istanbul, Turkey, July 13-16, 2009
- [Erm010] Erman D., Ilie D., Popescu A., “Measuring and modeling the BitTorrent content distribution system”, Article In Press, Elsevier, Computer Communications, 2010
- [Fab06] Faber A. M., Gupta M, Viecco C. H., “Revisiting web server workload invariants in the context of scientific web sites”, In Proceedings of the ACM/IEEE Conference on Supercomputing (SC2006), Tampa, Florida, USA, November 2006
- [Fall010] Fall K., Varadhan K., “The ns manual”, A collaboration between researchers at UC Berkeley, LBL, USC/ISI and XEROX PARC, may 9, 2010, Available at: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>
- [Fan99] Fan L., Cao P., Lin W., Jacobson Q., “Web prefetching between low-bandwidth clients and proxies: Potential and performance”, In Proceedings of the 1999 ACM SIGMETRICS International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems, New York, NY, USA. ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, Vol. 27 Issue 1, June 1999, 178-187
- [Feld99] Feldmann A., Caceres R., Douglis F., Glass G., Rabinovich M., “Performance of web proxy caching in heterogeneous bandwidth environments”, In Proceedings of the 18th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communication Societies (INFOCOM'99), Vol. 1, New York, NY, USA, March 1999, 107-116
- [Fess04] Fessant Le F., Handurukande S., Kermarrec A-M., Massoulié L., “Clustering in peer-to-peer file sharing workloads”, Springer, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 3279, 2005, 217-226. In Proceedings of the 3rd International Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS 2004), La Jolla, CA, USA, February 26-27, 2004
- [Fett03] Fetterly D., Manasse M., Najork M., Wiener J., “A large-scale study of the evolution of web pages”, In Proceedings of the 12th International Conference on World wide Web (WWW'03), Budapest, Hungary, May 20-24, 2003, 669-678
- [Fiel99] Fielding R., Gettys J., Mogul J., Frystyk H., Masinter L., Leach P., Berners-Lee T., “Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1”, Request For Comments (RFC), No. 2616, June 1999. Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2616.txt>
- [Gadd01] Gadde S., Proxycizer, Department of Computer Science, University of Duke, Available at: <http://www.cs.duke.edu/ari/cisi/Proxycizer/>
- [Garc07] Garcia R., Paneda X. G., Garcia V., Melendi D., Vilas M., “”, Elsevier, Simulation Modelling Practices and Theory, Vol. 15, Issue 6, July 2007, 672-689

- [Gard02] Gardner M. K., Feng W-C., Hay J. R., “Monitoring protocol traffic with a MAGNeT”, In Proceedings of the Workshop on Passive and Active Measurements (PAM’02), Fort Collins, Colorado, USA, March 25-27, 2002
- [Gill07] Gill P., Arlitt M., Li Z., Mahanti A., “YouTube traffic characterization: A view from the edge”, In Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM Internet Measurement Conference (IMC 2007), San Diego, CA, USA, October 24-26, 2007, 15-28
- [Gill08] Gill P., Arlitt M., Li Z., Mahanti A., “Characterizing user sessions on Youtube”, In Proceedings of SPIE on Multimedia Computing and Networking 2008, Vol. 6818, San Jose, CA, USA, January 30, 2008
- [Gonz07] Gonzalez-Canete F. J., Casilari E., Trivino-Cabrera A., “Characterizing document types to evaluate web cache replacement policies”, In Proceedings of the 4th European Conference on Universal Multiservice Networks (ECUMN’07), Toulouse, France, February 14-16, 2007, 3-11
- [Grib97] Gribble S. D., “UC Berkeley home IP HTTP traces”, July 1997. Available at: <http://www.acm.org/sigcomm/ITA>, accessed November 2005
- [Guha06] Guha S., Daswani N., Jain R., “An experimental study of the Skype peer-to-peer VoIP system”, In Proceedings of the 5th International Workshop on Peer-to-Peer Systems, Santa Barbara, CA, USA, February 27-28, 2006
- [Gumm03] Gummadi K. P., Dunn R. J., Saroiu S., Gribble S. D., Levy H. M., Zahorjan J., “Measurement, modeling, and analysis of a peer-to-peer file-sharing workload”, ACM SIGOPS Operating Systems Review (SOSP’03), Vol. 37, Issue 5, December 2003, 314-329
- [Guo05a] Guo L., Chen S., Xiao Z., Zhang X., “Analysis of multimedia workloads with implications for Internet streaming”, In Proceedings of the 14th International Conference on World Wide Web, Chiba, Japan, May 10-14, 2005, 519-528
- [Guo05b] Guo L., Chen S., Xiao Z., Tan E., Ding X., Zhang X., “Measurements, analysis, and modeling of BitTorrent-like systems”, In Proceedings of the 5th ACM SIGCOMM conference on Internet Measurement, Berkeley, CA, USA, October 19-21, 2005, 35-48
- [Han02] Han S-H., Kim M-S., Ju H-T., Hong J. W-K., “The architecture of NG-MON: A passive network monitoring system for high-speed IP networks”, Springer, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 2506, January 2002, 16-27. In Proceedings of the of the 13th IFIP/IEEE International Workshop on Distributed Systems: Operations and Management: Management Technologies for E-Commerce and E-Business Applications (DSOM 2002), Montreal, Canada, October 21-23, 2002
- [Hend01] Henderson T., Bhatti S., “Modelling user behavior in networked games”, In Proceedings of the 9th ACM international conference on Multimedia (WW’01), Ottawa, Canada, September 30-October 5, 2001, 212-220

- [Hong99a] Hong F. O. K., Biuk-Aghai R. P., “A web prefetching model based on content analysis”, In Proceedings of Macau IT Congress 1999, Macau, March 17-20, 1999, 61-66
- [Hong99b] Hong J. W.-K., Kwon S.-S., Kim J.-Y., “WebTrafMon: Web-based Internet/intranet network traffic monitoring and analysis system”, Elsevier, Computer Communications, Vol. 22, Issue 14, September 1999, 1333-1342
- [Howe97] Howe A., Dreilinder D., “SavvySearch: A metasearch engine that learns which search engines to query”, AI Magazine, Vol.18, No. 2, Summer 1997, 19-25
- [Hum09] Humar I., Bester J., Tomazic S., “Characterizing graphical desktop sharing system’s workload in collaborative virtual environments”, In Proceedings of the 6th IEEE Conference on Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2009), Las Vegas, NV, USA, January 10-13, 2009, 191-195
- [Iliof07] Iliofotou M., Pappu P., Faloutsos M., “Network monitoring using traffic dispersion graphs (TDGs)”, In Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement (IMC’07), San Diego, California, USA, October 24-26, 2007, 315-320
- [Jeon010] Jeon M., Hwang J., Kim Y., Jang J.-W., Lee J., Seo E., “Measurement, modeling, and analysis of a large-scale blog sever workload”, In Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Social Computing (SocialCom2010), Minneapolis, Minnesota, USA, August 20-22, 2010
- [Jian97] Jiang Z., Kleinrock L., “Prefetching links on the WWW”, In Proceedings of the 1997 IEEE Conference on Communications (ICC 97), Montreal, Canada, June 8-12, 2007, 483-489
- [Jin01a] Jin S., Bestavros A., “GreedyDual* web caching algorithm: Exploiting the two sources of temporal locality in web request streams”, Elsevier, Computer Communications, Vol. 24, Issue 2, February 2001, 174-183
- [Jin01b] Jin S., Bestavros A., “GISMO – A generator of Internet streaming media objects and workloads”, ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, Vol. 29, No. 3, December 2001, 2-10
- [Kang010] Kang X., Zhang H., Jiang G., Chen H., Meng X., Yoshihira K., “Understanding Internet video sharing site workload: A view from data center design”, Elsevier, Journal of Visual Communication and Image Representation, Vol. 21, Issue 2, February 2010, 129-138
- [Kar05] Karagiannis T., Papagiannaki K., Faloutsos M., “BLINC: Multilevel traffic classification in the dark”, ACM SIGCOM Computer Communication Review, Vol. 35, Issue 4, October 2005, 229-240

- [Kast04] Kastaniotis G., Zacharis N., Panayiotopoulos T., Douligeris C., “Intelligent web prefetching based upon user profiles – The WebNaut case”, In Proceedings of the 3rd Hellenic Conference of AI (SETN 2004), Samos, Greece, May 5-8, 2004. Springer, Methods and Applications of Artificial Intelligence, LNAI 3025, 54-62
- [Kast07] Kastaniotis G., Maragos E., Dimitzas V., Douligeris C., Despotis D.K., “Web proxy caching object replacement: Frontier analysis to discover the good-enough algorithms”, In Proceedings of the 15th IEEE International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS’07), Istanbul, Turkey, October 24-26, 2007, 132-137
- [Kast09a] Kastaniotis G., Douligeris C., “SYNTHIA: An object-oriented framework for the synthesis of Internet activity”, In Proceedings of the 5th HSSS Conference, Xanthi, Greece, June 24-27, 2009
- [Kast09b] Kastaniotis G., Douligeris C., “An efficient simulator for reactive web caching”, In Proceedings of the 2nd International Symposium on Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services (KES-IIMSS 2009), Mogliano Veneto, Italy, July 16-17, 2009. Springer, Studies in Computational Intelligence, SCI 226, 65-75
- [Kell99] Kelly T. P., Jamin S., MacKie-Mason J. K., “Variable QoS from shared web caches: User-centered design and value-sensitive replacement”, In Proceedings of the MIT Workshop on Internet Service Quality Economics, Cambridge, Massachusetts, USA, December 2-3, 1999
- [Kell02] Kelly T., Mogul J., “Aliasing on the world wide web: Prevalence and performance implications”, In Proceedings of the 11th International Conference on World Wide Web, Honolulu, Hawaii, USA, May 7-11, 2002, 281-292
- [Keys01] Keys K., Moore D., Koga R., Lagache E., Tesch M., claffy k., “The architecture of CoralReef: An Internet traffic monitoring software suite”, In Proceedings of the Workshop on Passive and Active Measurements (PAM’01), Amsterdam, The Netherlands, April 23-24, 2001
- [Kha05] Khayari R-El-A., Best M., Lehmann A., “Impact of document types on the performance of caching algorithms in WWW proxies: A Trace Driven Simulation Study”, In Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA’05), Vol. 1, Taiwan, March 2005, 737-742
- [Kim08] Kim H., claffy kc., Fomenkov M., Barman D., Faloutsos M., Lee K., “Internet traffic classification demystified: myths, caveats and the best practices”, In Proceedings of the 2008 ACM CoNEXT Conference, Madrid, Spain, December 9-12, 2008
- [Koks07] Koksals C. D., Aksu A. A., “Efficiency evaluation of A-group travel agencies with data envelopment analysis (DEA): A case study in the Antalya region, Turkey”, Elsevier, Tourism Management, Vol. 28, Issue 3, June 2007, 830-834

- [Kosk03] Koskela T., Heikkonen J., Kaski K., “Web cache with nonlinear model using object features”, Elsevier, Computer Networks, Vol. 43, Issue 6, December 2003, 805-817
- [Kro96] Kroeger T. M., Mogul J., Maltzahn C., “Digital's Web Proxy Traces”, Digital Equipment Corporation (DEC), 1996. <ftp://ftp.digital.com/pub/DEC/traces/proxy/webtraces.html>, accessed November 2005
- [Kur00] Kurose J. F., Ross K. W., “Computer Networking – A top-down approach featuring the Internet”, Addison-Wesley, 2000
- [Kwok05] Kwok M., Yeung G., “Characterization of user behavior in a multi-player online game”, In Proceedings of the 2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology, Valencia, Spain, June 15 - 17, 2005, 69-74
- [Lamp010] Lamping U., Sharpe R., Warnicke E., “Wireshark user's guide – 33334 for Wireshark 1.4”, Available at: <http://www.wireshark.org/download/docs/user-guide-a4.pdf>
- [Laur01] Laurie b., Laurie P., “Apache: The definite guide”, 2nd Edition, O'Reilly, 2001
- [Leib02] Leibowitz N., Bergman A., Ben-Shaul R., Shavit A., “Are file swapping networks cacheable? Characterizing P2P traffic”, In Proceedings of the 7th International Workshop on Web Content Caching and Distribution (WCW'02), Boulder, Colorado, August 2002
- [Leib03] Leibowitz N., Ripeanu M., Wierzbicki A., “Deconstructing the Kazaa network”, In Proceedings of the 3rd IEEE Workshop on Internet Applications (WIAPP'03), San Jose, CA, USA, June 23-24, 2003, 112-120
- [Lein04] Leinen S., “Evaluation of candidate protocols for IP flow information export (IPFIX)”, Request For Comments (RFC), No. 3955, October 2004, Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3955.txt>
- [Leon06] Leong H. W., Guan B., “Improving the Performance of proxy cache replacement policies by considering infrequent objects”, In proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing (SAC'06), Dijon, France, April 23-27, 2006, 791-796
- [Li07] Li Z., Yuan R., Guan X., “Traffic classification – Towards accurate real time network applications”, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 4553, 2007, 67-76. In Proceedings of the 12th International Conference on Human-Computer Interaction: Applications and Services, Beijing, China, July 22-27, 2007
- [Lieb95] Lieberman H., “Letizia: An agent that assists web browsing”, In Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 1995), Montreal, Quebec, Canada, August 20-25, 1995, 924-929

- [Lieb97] Lieberman H., “Autonomous interface agents”, In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI'97), Atlanta, GA, USA, March 22-27, 1997, 67-74
- [Lieb99] Lieberman H., Van Dyke N. W., Vivacqua A. S., “Let’s Browse: A collaborative web browsing agent”, In Proceedings of the 4th International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI'99), Redondo Beach, LA, CA, USA, January 05 – 08, 1999, 65-68
- [Liu05] Liu H., Peng Y., Yang M., Dai Y., “Characterization of P2P file-sharing system”, Springer, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 3759, 2005, 27-34. In Proceedings of the ISPA International Workshops on Parallel and Distributed Processing and Applications, Nanjing, China, November 2-5, 2005
- [Lua05] Lua E. K., Crowcroft J., Pias M., Sharma R., Lim S., “A survey and comparison of peer-to-peer overlay network schemes”, IEEE Communications Surveys and Tutorials, Vol. 7, Issue 2, 2nd Quarter 2005, 72-93
- [Luis010] tcpdump/libpcap site. <http://www.tcpdump.org>, Last update by Luis MG, April 6, 2010
- [Mads04] Madsen K., Nielsen H. B., Tingleff O., “Methods for non-linear least squares problems”, 2nd Edition, Lecture Notes, Informatics and Mathematical Modelling, Technical University of Denmark, 2004. Available at: http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/publication_details.php?id=3215
- [Mah00] Mahanti A., Williamson C., Eager D., “Traffic analysis of a web proxy caching hierarchy”, IEEE Network, Vol. 14, No. 3, May/June 2000, 16-23
- [Mah09] Mahanti A., Wu L., Williamson C., “Workload characterization of a large systems conference web server”, In Proceedings of the 2009 7th Annual Communication Networks and Services Research Conference, Moncton, New Brunswick, Canada, May 11-13, 2009, 55-64
- [Mar02] Markatchev N., Williamson C., “WebTraff: A GUI for web proxy cache workload modeling and analysis”, In Proceedings of the 10th IEEE International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS'02), Fort Worth, Texas, October 2002, 356-363
- [Mark98] Markatos E. P., Chronaki C. E., “A top-10 approach to prefetching on the Web”, In Proceedings of the INET'98, Geneva, Switzerland, July 21-24, 1998
- [Mars03] Marsaglia G., Tsang W. W., Wand J., “Evaluating Kolmogorov’s distribution”, JSTOR, Journal of Statistical Software, Vol. 8, Issue 18, November 2003, 1-4
- [Mesh08] Meshkova E., Riihijarvi J., Petrova M., Mahonen P., “A survey on resource discovery mechanisms, peer-to-peer and service discovery frameworks”, Elsevier, Computer Networks, Vol. 52, Issue 11, August 8, 2008, 2097-2128

- [Mitr010] Microsoft Network Monitor, Version 3.4-2350, June 26, 2010. Available at: <http://www.microsoft.com/downloads/details.aspx?displaylang=en&FamilyID=983b941d-06cb-4658-b7f6-3088333d062f>
- [Mikh03] Mikhailov M., Wills C. E., “Evaluating a new approach to strong web cache consistency with snapshots of collected content”, In Proceedings of the 12th International Conference on World Wide Web, Budapest, Hungary, May 2003, 599-608
- [Moor03] Moore A., Hall J., Kreibich C., Harris E., Pratt I., “Architecture of a network monitor”, In Proceedings of the Workshop on Passive and Active Measurements (PAM’03), La Jolla, CA, USA, April 6-8, 2003
- [Moor05a] Moore A. W., Papagiannaki K., “Towards the accurate identification of network applications”, Springer, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 3431, March 2005, 41-54. In Proceedings of the 6th International Workshop on Passive and Active Network Measurement (PAM 2005), Boston, MA, USA, March 31 - April 1, 2005
- [Moor05b] Moore A., Zuev D., Crogan M., “Discriminators for use in flow-based classification”, Technical Report, RR-05-13, Computer Science Department, University of London, Queen Mary University, Updated: August 2005
- [Murt98] Murta C-D., Almeida V. A. F., Meira W. Jr., “Analyzing performance of partitioned caches for the WWW”, In Proceedings of the 3rd International WWW Caching Workshop (IWCW’98), Manchester, England, June 1998
- [Myun03] Myung I. J., “Tutorial on maximum likelihood estimation”, Academic Press, Journal of Mathematical Psychology, Vol. 47, Issue 1, February 2003, 90-100
- [Nan03] Nanopoulos A., Katsaros D., Manolopoulos Y., “A data mining algorithm for generalized web prefetching”, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 15, No. 5, September/October 2003, 1155-1169
- [Nars03] Narsky I., “Goodness of fit: What do we really want to know?”, In Proceedings of the Conference on Statistical Problems in Particle Physics, Astrophysics, and Cosmology (PHYSTA2003), SLAC, Stanford, California, USA, September 8-11, 2003, 70-74
- [Nat07] National Laboratory for Applied Network Research (NLANR), <ftp://ircache.nlanr.net/Traces>
- [Net04] Marques Neto H. T., Rocha L. C. D., Guerra P. H. C., “A characterization of broadband user behavior and their e-business activities”, ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, Vol. 32, Issue 3, December 2004, 3-13
- [Net010] Network Instruments LLC., Observer. URL: <http://www.networkinstruments.com/products/observer/>

- [Nicl98] Niclause N., Liu Z., Nain P., “A new efficient caching policy for the world wide web”, In Proceedings of the Workshop on Internet Server Performance (WISP’98), Madison, Wisconsin, June 1998
- [Nist010] NIST/SEMATECH, “E-handbook of statistical methods”, Last Update: June 23, 2010. Available at URL: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>
- [Oke02] Oke A., Bunt R., “Hierarchical workload characterization for a busy web server”, Springer, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 2324, 2002, 309-328, In Proceedings of the 12th International Conference on Computer Performance Evaluation: Modelling Techniques and Tools (TOOLS 2002), London, UK, April 14–17, 2002
- [Opn010] Opnet Technologies Inc., ACE Analyst – Analytics for Networked Applications, Copyright 2010, Available at URL: http://www.opnet.com/solutions/application_performance/ace.html#
- [Oreb04] Orebaugh A., Morris G., Warnicke E., Ramirez G., “Introducing Ethereal: network protocol analyzer”, 2nd Chapter, In: “Ethereal Packet Sniffing”, Syngress Publishing, February 2004. Available at: <http://www.ethereal.com/publications.html>
- [Oren00] Oren N., “A survey of prefetching techniques”, Technical Report, TR-CS-2000-10, University of Witwatersrand, July 18, 2000
- [Padm96] Padmanabhan V. N., Mogul J. C., “Using predictive prefetching to improve World Wide Web latency”, ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 26, Issue 3, July 1996, 22-36
- [Padm00] Padmanabhan V. N., Qiu Q., “The content and access dynamics of a busy web site: Findings and implications”, In Proceedings of the ACM Annual Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication (SIGCOMM’00), Stockholm, Sweden, August/September 2000
- [Pall03] Pallis G., Vakali A., Angelis L., Hacid M. S., “A study on workload characterization for a web proxy server”, In Proceedings of Applied Informatics (AI2003), Innsbruck, Austria, February 2003, 144-150
- [Palp99] Palpanas T., Mendelzon A., “Web prefetching using partial match prediction”, In Proceedings of the 4th International Web Caching Workshop (WCW’99), San Diego, California, USA, March 31 - April 2, 1999
- [Pan04] Pan J., Hou H-T., Li B., “Retrieval and freshness thresholds in hierarchical caching systems”, Elsevier, Computer Networks, Vol. 44, Issue 2, February 2004, 235-246

- [Pap07] Papadogiannakis A., Antoniadou D., Polychronakis M., Markatos E. P., “Improving the performance of passive network monitoring applications using locality buffering”, In Proceedings of the 15th IEEE International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS’07), Istanbul, Turkey, October 24-26, 2007, 151-157
- [Pat07] Patil J. B., Pawar B. V., “Trace driven simulation of GDSF# and existing caching algorithms for web proxy servers”, In Proceedings of the 9th WSEAS International Conference on Data Networks, Communications, Computers, Trinidad, Tobago, November 5-7, 2007, 378-384
- [Pat08] Patil J. B., Pawar B. V., “GDSF#, a better caching algorithm that optimizes both hit rate and byte hit rate in web proxy servers”, Technomathematics Research Foundation, International Journal of Computer Science and Applications, Vol. 5, No. 4, 2008, 1-10
- [Per06] Perenyi M., Dang T. D., Gefferth A., Molnar S., “Identification and analysis of peer-to-peer traffic”, Journal of Communications, Vol. 1, No. 7, November/December 2006
- [Phaa01] Phaal P., Panchen S., McKee N., “InMon corporation’s sFlow: A method for monitoring traffic in switched and routed networks”, Request For Comments (RFC), No. 3176, September 2001, Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3176.txt>
- [Pitk94] Pitkow J. E., Recker M. M., “A simple yet robust caching algorithm based on dynamic access patterns”, In Proceedings of the 2nd International WWW Conference, Chicago, USA, October, 1994, 1039-1046
- [Pitk98] Pitkow J. E., “Summary of WWW characterizations”, Elsevier, Computer Networks and ISDN Systems, Vol. 30, Issues 1-7, April 1998, 551-558
- [Pitk99] Pitkow J. E., Piroli P., “Mining longest repeating subsequences to predict world wide web surfing”, In Proceedings of the 2nd USENIX Symposium on Internet Technologies & Systems (USITS’99), Boulder, Colorado, USA, October 11-14, 1999, 139-150
- [Plis05] Plissonneau L., Costeux J-L., Brown P., “Analysis of peer-to-peer traffic on ADSL”, Springer, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 3431, 2005, 69-82. In Proceedings of the 6th International Workshop in Passive and Active Measurement (PAM 2005), Boston, MA, USA, March 31-April 1, 2005
- [Plis06] Plissonneau L., Costeux J-L., Brown P., “Detailed analysis of eDonkey transfers on ADSL”, In Proceedings of the 2nd Conference on Next Generation Internet Design and Engineering (NGI’06), Valencia, Spain, April 3-5, 2006, 255-262
- [Pod03] Podlipnig S., Boszormenyi L., “A survey of web cache replacement strategies”, ACM Computing Surveys, Vol. 35, No. 4, December 2003, 374-398

- [Pouw05] Pouwelse J., Garbacki P., Epema D., Sips H., “The BitTorrent P2P file-sharing system: Measurements and analysis”, In Proceedings of the 4th International Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS 2005), Ithaca, NY, USA, February 2005, 206-216
- [Pov97] Povey D., Harrison J., “A distributed internet cache”, In Proceedings of the 20th Australian Computer Science Conference, Sydney, Australia, February 1997
- [Psou01] Psounis K., Prabhakar B., “A randomized web-cache replacement scheme”, In Proceedings of the 20th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2001), Vol. 3, Anchorage, Alaska, USA, April 2001, 1407-1415
- [Psou02] Psounis K., Prabhakar B., “Efficient randomized web-cache replacement schemes using samples from past eviction times”, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 10, No. 4, August 2002, 441-454
- [Quit08] Quittek J., Bryant S., Claise B., Aitken P., Meyer J., “Information model for IP flow information export”, Request For Comments (RFC), No. 5102, January 2008. Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc5102.txt>
- [Ram03] Ramos J., “Using TF-IDF to determine word relevance in document queries”, In Proceedings of the 1st Instructional Conference on Machine Learning (iCML-2003), Piscataway, NJ, USA, December 3-8, 2003
- [Redd98] Reddy M., Fletcher G. P., “Intelligent web caching using document life histories: A comparison with existing cache management techniques”, In Proceedings of the 3rd International Web Caching Workshop, Manchester, England, June 1998
- [Rign00a] Rigney C., Willens S., Rubens A., Simpson W., “Remote authentication dial in user service (RADIUS)”, Request For Comments (RFC), No. 2865, June 2000. Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2865.txt>
- [Rign00b] Rigney C., “Radius accounting”, Request For Comments (RFC), No. 2866, June 2000. Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2866.txt>
- [Riv92] Rivest R., “The MD5 Message-Digest Algorithm”, Request For Comments (RFC), No. 1321, April 1992. Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1321.txt>
- [Rizz00] Rizzo L., Vicisano L., “Replacement policies for a proxy cache”, IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), Vol. 8, Issue 2, April 2000, 158-170
- [Rodr99] Rodriguez P., Spanner C., Biersack E. W., “Web caching architectures: Hierarchical and distributed caching”, In Proceedings of the 4th International Web Caching Workshop (WCW'99), San Diego, California, March/April 1999

- [Roll07] Rolland C., Ridoux J., Baynat B., “LiTGen, a lightweight traffic generator: Application to P2P and mail wireless traffic”, Springer, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4427, 2007, 52-62. In Proceedings of the 8th International Conference on Passive and Active Network Measurement (PAM 2007), Louvain-la-neuve, Belgium, April 5-6, 2007
- [Rom08] Romano S., ElAarag H., “A quantitative study of recency and frequency based web cache replacement strategies”, In Proceedings of the 11th Communication and Networking Symposium, Ottawa, Canada, April 14-17, 2008, 70-78
- [Ross08] Rossi D., Mellia M., Meo M., “A detailed measurement of Skype network traffic”, In Proceedings of the 7th International Workshop on Peer-to-Peer Systems, Tampa Bay, Florida, USA, February 25-26, 2008
- [Sad09] Sadasivan G., Brownlee N., Claise B., Quittek J., “Architecture for IP flow information export”, Request For Comments (RFC), No. 5470, March 2009. Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc5470.txt>
- [Sal06] Saleh O., Hefeeda M., “Modeling and caching of peer-to-peer traffic”, In Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Network Protocols, Santa Barbara, California, USA, November 12-15, 2006, 249-258
- [Sar02] Saroiu S., Krishna Gummadi P., Gribble S. D., “A measurement study of peer-to-peer file sharing systems”, In Proceedings of the SPIE Multimedia Computing and Networking (MMCN’02), San Jose, CA, January 2002, 18-25
- [Sche97] Scheuermann P., Shim J., Vingralek R., “A case for delay-conscious caching of web documents”, In Proceedings of the 6th International WWW Conference, Santa Clara, CA, USA, April 7-11, 1997. Computer Networks and ISDN Systems, Vol. 29, Issues 8-13, 997-1005
- [Schm09] Schmolle C., Aitken P., Claise B., “Guidelines for IP information flow export (IPFIX) testing”, Request For Comments (RFC), No. 5471, March 2009. Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc5471.txt>
- [Scho01] Schollmeier R., “A definition of peer-to-peer networking for the classification of peer-to-peer architectures and applications”, In Proceedings of the First International Conference on Peer-to-Peer Computing (P2P’01), Sweden, August 27-29, 2001, 101-102
- [Selv04] Selvakumar S., Sahoo S-K., Venkatasubramani V., “Delay sensitive least frequently used algorithm for replacement in web caches”, Elsevier, Computer Communications, Vol. 27, Issue 3, February 2004, 322-326
- [Sen04a] Sen S., Wang J., “Analyzing peer-to-peer traffic across large networks”, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 12, No.2, April 2004, 219-232
- [Sen04b] Sen S., Spatscheck O., Wang D., “Accurate, scalable in-network identification of P2P traffic using application signatures”, In Proceedings of the 13th International Conference on World Wide Web, New York, NY, USA, May 17-20, 2004, 512-521

- [Shi02] Shi W., Wright R., Collins E., Karamcheti V., “Workload characterization of a personalized web site – And its implications for dynamic content caching”, In Proceedings of the 7th International Workshop on Web Content Caching and Distribution (WCW’02), Boulder, Colorado, August 2002
- [Shi05] Shi L., Han Y., Ding X., Wei L., Gu Z., “SPN model for web prefetching and caching”, In Proceedings of the 1st International Conference on Semantics, Knowledge, and Grid (SKG 2005), Beijing, China, November 2005, 24-29
- [Sid08] Sidiropoulos A., Pallis G., Katsaros D., Stamos K., Vakali A., Manolopoulos Y., “Prefetching in content distribution networks via web communities identification and outsourcing”, Springer, World Wide Web Journal, Vol. 11, No. 1, 2008, 39-70
- [Sigm99] Sigman K., “Appendix: A primer on heavy-tailed distributions”, Queuing Systems, Vol. 33, No. 1-3, December 1999, 261-275
- [Silv09] Silverston T., Fourmaux O., Botta A., Dainotti A., Pescape A., Ventre G., Salamatian K., “Traffic analysis of peer-to-peer IPTV communities”, Elsevier, Computer Networks, Vol. 53, Issue 4, March 18, 2009, 470-484
- [Sinh05] Sinha A., Mitchell K., Medhi D., “Network game traffic: A broadband access perspective”, Elsevier, Computer Networks, Vol. 49, Issue 1, September 15, 2005, 71-83
- [Sir010] Siriopoulos C., Tziogkidis P., “How do Greek banking institutions react after significant events? A DEA approach”, Elsevier, Omega – The International Journal of Management Science, Vol. 38, Issue 5, October 2010, 294-308
- [Smir06] Smirlis Y. G., Maragos E. K., Despotis D. K., “Data envelopment analysis with missing values: An interval DEA approach”, Elsevier, Applied Mathematics and Computation, Vol. 177, Issue 1, June 2006, 1-10
- [Sos01] Sosa V. J., Navarro L., “A new environment for web caching and replication study”, 2001, Available at: <http://personals.ac.upc.edu/leandro/pubs/jcc2001.pdf>
- [Somm04a] Sommers J., Barford P., “Self-configuring network traffic generation”, In Proceedings of the 4th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement (ICM 2004), Taormina, Sicily, Italy, October 25-27, 2004, 68-81
- [Somm04b] Sommers J., Yegneswaran V., Barford P., “A framework for malicious workload generation”, In Proceedings of the 4th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement (ICM 2004), Taormina, Sicily, Italy, October 25-27, 2004, 82-87
- [Srip04] Sripanidkulchai K., Maggs B., Zhang H., “An analysis of live steaming workloads on the internet”, In Proceedings of the 4th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement (ICM 2004), Taormina, Sicily, Italy, October 25-27, 2004, 41-54
- [Star01] Starobinski D., Tse D., “Probabilistic methods for web caching”, Elsevier, Performance Evaluation, Vol. 46, Issue 2-3, October 2001, 125-137

- [Stein09] Steinmetz P. N., Warnes G., Statistical Distribution Library, Last updated: July 17, 2009. Available at: <http://sourceforge.net/projects/statdistlib/>
- [Step74] Stephen M. A., “EDF statistics for goodness of fit and some comparisons”, *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 69, No. 347, September 1974, 730-737
- [Stut06] Stutzbach D., Rejaie R., “Understanding churn in peer-to-peer networks”, In *Proceedings of the 6th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement (IMC’06)*, Rio de Janeiro, Brazil, October 25-27, 2006, 189-202
- [Stut07] Stutzbach D., Zhao S., Rejaie R., “Characterizing files in the modern Gnutella network”, Springer, *Journal of Multimedia Systems*, Vol. 13, No. 1, September 2007, 35-50
- [Stut010] Stutzbach D., Rejaie R., “Characterization of P2P systems”, Springer, *Handbook of Peer-to-Peer Networking*, March 3, 2010, 1253-1276
- [Sun010] Sun-Oracle, “Snoop – capture and inspect network packets”, *ManPages Section 1M: System Administration Commands*, Beta, Copyright 2010, 2474-2486. Available at: <http://docs.sun.com/app/docs/doc/819-2240/snoop-1m?&a=view&q=snoop>
- [Tang03] Tang W., Fu Y., Cherkasova L., Vahdat A., “MediSyn: A synthetic streaming media service workload generator”, In *Proceedings of the 13th International Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV’03)*, Monterey, CA, USA, June 2003, 12-21
- [Tang07] Tang W., Fu Y., Cherkasova L., Vahdat A., “Modeling and generating realistic streaming media server workloads”, Elsevier, *Computer Networks*, Vol. 51, Issue 1, January 2007, 336-356
- [Tat98] Tatarinov I., “An efficient LFU-like policy for web caches”, Technical Report NDSV-CSORTR-98-1, Computer Science Department, North Dakota State University, 1998
- [Teng05] Teng W-G., Chang C-Y., Chen M-S., “Integrating web caching and web prefetching in client-side proxies”, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol. 16, No. 5, May 2005, 444-455
- [Tew99] Tewari R., Dahlin M., Vin H. M., Kay J. S., “Design considerations for distributed caching on the Internet”, In *Proceedings of the 19th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS 1999)*, Austin, TX, USA, May/June 1999, 273-284
- [Tol010] Toledo J., EtherApe Web Site. Available at: <http://etherape.sourceforge.net/>
- [Tram08] Trammel B., Boschi E., “Bidirectional flow export using IP flow information export (IPFIX)”, Request for Comments (RFC), No. 5103, January 2008. Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc5103.txt>

- [Tuts04] Tutschku K., “A measurement-based traffic profile of the eDonkey filesharing service”, Springer, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3015, 2004, 12-21. In Proceedings of the 5th International Workshop on Passive and Active Measurement (PAM 2004), Antibes, Juan-les-Pins, France, April 19-20, 2004
- [Tuts08] Tutsch D., Babin G., Kropf P., “Application-layer traffic analysis of a peer-to-peer system”, IEEE Internet Computing, Vol. 12, No. 5, September 2008, 70-77
- [Urba09] Urbaneta G., Pierre G., van Steen M., “Wikipedia workload analysis for decentralized hosting”, Elsevier, Computer Networks, Vol. 53, Issue 11, July 28, 2009, 1830-1845
- [Vak00] Vakali A.I., “LRU-based algorithms for web cache replacement”, In Proceedings of the 1st International Conference on Electronic Commerce and Web Technologies, Greenwich, London, September 4-8, 2000. Springer, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Vol. 1875, 409-418
- [Vel02] Veloso E., Almeida V., Meira W., Jr., Bestavros A., Jin S., “A hierarchical characterization of live streaming media workload”, In Proceedings of the 2nd ACM SIGCOMM Workshop on Internet Measurement (IMW’02), Marseille, France, November 2002, 117-130
- [Vel06] Veloso E., Almeida V., Meira W., Jr., Bestavros A., Jin S., “A hierarchical characterization of live streaming media workload”, IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 14, No. 1, February 2006, 133-146
- [Vish06] Vishwanath K. V., Vahdat A., “Realistic and responsive network traffic generation”, In Proceedings of the 2006 conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications (SIGCOMM’06), Pisa, Italy, September 11 - 15, 2006, 111-122
- [Vix00] Vixie P., Wessels D., “Hyper Text Caching Protocol (HTCP/0.0)”, Request For Comments (RFC), No. 2756, January 2000. Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2756.txt>
- [VMer02] Van der Merwe J., Sen S., Kalmanek C., “Streaming video traffic: Characterization and network impact”, In Proceedings of the 7th International Workshop on Web Content Caching and Distribution (WCW’02), Boulder, Colorado, August 2002
- [Voss05] Voss J., “Measuring Wikipedia”, In Proceedings of the 10th International Conference of the International Society for Scientometrics and Informetrics (ISSI 2005), Stockholm, Sweden, July 24-28, 2005
- [Vu07] Vu L., Gupta I., Liang J., Nahrstedt K., “Measurement and modeling of a large-scale overlay for multimedia streaming”, In Proceedings of the 4th International Conference on Heterogeneous Networking for Quality, Reliability, Security and Robustness & Workshops, Vancouver, Canada, August 14 - 17, 2007

- [Wang99] Wang J., “A survey of web caching schemes for the internet”, ACM Computer Communications Review (CCR), Vol. 29, No. 5, October 1999, 36-46
- [Wang03] Wang Q., Makaroff D., Edwards H. K., Thompson R., “Workload characterization for an e-commerce web site”, In Proceedings of the 2003 Conference of the Centre for Advanced Studies on Collaborative Research (CASCON’03), Toronto, Ontario, Canada, October 2003, 313-327
- [Wess95] Wessels D., “Intelligent caching for world-wide web objects”, M.Sc. Thesis, University of Colorado at Boulder, Boulder, CO, 1995
- [Wess97] Wessels D., Claffy K., “Internet Cache Protocol (ICP), version 2”, Request For Comments (RFC), No. 2186, September 1997. Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2186.txt>
- [Wess01] Wessels D., “Web caching: Reducing network traffic”, O’Reilly, 2001
- [Wess04] Wessels D., “Squid: The definite guide”, O’Reilly, 2004
- [Wier04] Wierzbicki A., Leibowitz N., Ripeanu M., Wozniak R., “Cache replacement policies revisited: The case of P2P traffic”, In Proceedings of the 4th IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGRID 2004), Chicago, Illinois, USA, April 19-22, 2004, 182-189
- [Wild09] WildPackets., “OmniEngine – Getting Started Guide”, Copyright 2009. URL: http://www.wildpackets.com/products/network_analysis_and_monitoring/omniengine_software_probe
- [Will96] Williams S., Abrams M., Standridge C. R., Abdulla G., Fox E. A., “Removal policies in network caches for world-wide web documents”, In Proceedings of the ACM Conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications (SIGCOMM’96), Palo Alto, California, USA, August 1996, 293-305
- [Will99a] Williamson C., “Advanced Networking Applications (ANA) – Final report”, Available at: <http://www.cs.usask.ca/faculty/carey/projects/finalreport.html>
- [Will99b] Wills C. E., Mikhailov M., “Examining the cacheability of user-requested web resources”, In Proceedings of the 4th International Web Caching Workshop, San Diego, California, USA, March 31 – April 2, 1999
- [Will05] Williams A., Arlitt M., Williamson C., Barker K., “Web workload characterization: Ten years later”, 1st Chapter, In: Springer, “Web content delivery”, 2005.
- [Wong06] Wong K-Y., “Web cache replacement policies: A pragmatic approach”, IEEE Network Magazine, Vol. 20, No. 1, January/February 2006
- [Woos97] Wooster R. P., Abrams M., “Proxy caching that estimates page load delays”, Elsevier, Computer Networks and ISDN Systems, Vol. 29, Issue 8-13, September 1997, 977-986

- [Xie07] Xie H., Yang Y. R., “A measurement-based study of the Skype peer-to-peer VoIP performance”, In Proceedings of the 6th International Workshop on Peer-to-Peer Systems (IPTPS’07), Bellevur, WA, USA, February 26-27, 2007
- [Yang01] Yang Q., Zhang H. H., Zhang H., “Taylor series prediction: A cache replacement policy based on second-order trend analysis”, In Proceedings of the 34th Hawaii International Conference on System Sciences, 2001
- [Youn94] Young N., “The k-server dual and loose competitiveness for paging”, Springer, *Algorithmica*, Vol. 11, Issue 6, 1994, 525-541
- [Yu99] Yu H., Breslau L., Shenker S., “A scalable web cache consistency architecture”, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 29, Issue 4, October 1999, 163-174
- [Yu06] Yu H., Zheng D., Zhao B. Y., Zheng W., “Understanding user behavior in large-scale video-on-demand systems”, *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, Vol. 40, Issue 4, October 2006, 333-344
- [Zach01] Zacharis N. Z., Panayiotopoulos T., “Web search using a genetic algorithm”, *IEEE Internet Computing*, Vol. 5, No. 2, March/April 2001, 18-26
- [Zach02] Zacharis N. Z., Panayiotopoulos T., “SpiderServer: The metasearch engine of WebNaut”, In Proceedings of the 2nd Hellenic Conference on Artificial Intelligence (Setn’02), Thessaloniki, Greece, April 11-12, 2002, 475-486
- [Zha99a] Zhang J., Izmailov R., Reininger D., Ott M., “WebCASE: A simulation environment for web caching study”, In Proceedings of the 4th International Web Caching Workshop, San Diego, CA, March/April 1999
- [Zha99b] Zhang J., Izmailov R., Reininger D., Ott M., “Web caching framework: Analytical models and beyond”, In Proceedings of the IEEE Workshop on Internet Applications (WIAPP’99), San Jose, CA, July 26-27, 1999, 132-141
- [Zha05] Zhang X., Liu J., Li B., “On large scale peer-to-peer live video distribution: CoolStreaming and its preliminary experimental results”, In Proceedings of the IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSp05), Shanghai, China, October 2005
- [Zhou010] Zhou C. V., Leckie C., Karunasekera S., “A survey of coordinated attacks and collaborative intrusion detection”, Elsevier, *Computer & Security*, Vol. 29, Issue 1, February 2010, 124-140
- [Zhu03] Zhu Z., Mao Y., Shi W., “Workload characterization of uncacheable HTTP content”, Springer, *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, Vol. 3140, 391-395. In Proceedings of the International Conference on Web Engineering (ICWE 2004), Munich, Germany, July 28-30, 2004

[Zhu07] Zhuang X., Bharambe A., Pang J., Seshan S., “Player dynamics in massively multiplayer online games”, Technical Report, CMU-CS-07-158, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, October 2007

[Zink08] Zink M., Suh K., Gu Y., Kurose J., “Watch global, cache local: YouTube traffic at a campus network – Measurements and implications”, In Proceedings of the SPIE/ACM Conference on Multimedia Computing and Networking (MMCN), Santa Clara, USA, January 28, 2008

[Zink09] Zink M., Suh K., Gu Y., Kurose J., “Characteristics of YouTube network traffic at a campus network – Measurements, models, and implications”, Elsevier, Computer Networks, Vol. 53, Issue 4, March 18, 2009, 501-514

[Zseb09] Zseby T., Boschi E., Brownlee N., Claise B., “IP information flow export (IPFIX) Applicability”, Request For Comments (RFC), No. 5472, March 2009. Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc5472.txt>

[Αθαν89] Αθανασόπουλος Δ. Α., “Περιγραφική Στατιστική – Μέρος II: Διμεταβλητοί και πολυμεταβλητοί στατιστικοί πληθυσμοί”, Εκδόσεις Σταμούλης, 1989