

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

**Τμήμα Διδακτική της Τεχνολογίας και Ψηφιακών
Συστημάτων**



Δυναμική Σχεδίαση Cognitive Δικτύων Υψηλών Ταχυτήτων Σταθερής, Ασύρματης Πρόσβασης

Ασβεστά Αργυρώ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Νοέμβριος 2008

ΓΑΛΕΤΣΙΟ ΠΕΡΑΛΑ

Στους γονείς μου

Ευχαριστίες

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης (ΜΔΕ) του τμήματος Διδακτικής της Τεχνολογίας και Ψηφιακών Συστημάτων. Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον αναπληρωτή καθηγητή Π. Δεμέστιχα για την καθοδήγησή του στην επιλογή του θέματος μελέτης και στην πορεία της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η συμβολή του στην αναζήτηση ανεξερεύνητων επιστημονικών πεδίων στο χώρο της παρούσας έρευνας, υπήρξε πολύτιμη.

Ακόμα θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον Άγγελο Σατσάκη που καλλιέργησε μέσα μου χρήσιμες ερευνητικές ανησυχίες, διεύρυνε το επιστημονικό μου πεδίο και με καθοδήγησε, με εύστοχες παρατηρήσεις, καθ' όλη τη διάρκεια πραγμάτωσης αυτής της εργασίας. Χωρίς την υπομονή, την επιμονή, την ενθάρρυνση και την επιστημονική του πείρα δε θα ήταν δυνατή η περάτωση αυτού του έργου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για την ηθική και συναισθηματική συμπαράσταση που μου παρέχουν γενναιόδωρα όλα αυτά τα χρόνια. Χωρίς τη δική τους αγάπη και υποστήριξη τίποτα δεν θα ήταν εφικτό.

Περιεχόμενα

Ευρετήριο Εικόνων	7
Ευρετήριο Πινάκων	9
Ακρωνύμια	10
Πρόλογος	12
1. Εισαγωγή	13
2. Προσαρμοστικά Δίκτυα	15
2.1 Προσαρμοστικά – Αναδιάρθρωσιμα Δίκτυα	15
2.1.1 Χαρακτηριστικά Αναδιάρθρωσιμων Δικτύων	17
2.1.1.1 Συμφωνία Επιπέδου Υπηρεσιών	18
2.1.1.2 Αναδιάρθρωση Εξοπλισμού	18
2.1.1.3 Ασφάλεια	18
2.1.1.4 No Radio Interference	19
2.1.1.5 Download	19
2.1.1.6 Διαχείριση Αναδιάρθρωσης	19
2.1.1.7 Προσαρμογή Υπηρεσιών	19
2.1.1.8 Κάθετη Μεταπομπή	19
2.1.1.9 Παροχή Υπηρεσιών	20
2.1.1.10 Παρακολούθηση Συστήματος	20
2.1.1.11 Δυναμική Διαχείριση Πόρων	20
2.1.1.12 Μετατόπιση Φάσματος	20
2.2 Αλγόριθμοι Διαχείρισης	20
2.2.1 Επιλογή Αναδιάρθρωσιμων Ενεργειών	22
2.2.1.1 Περιγραφή RDQ – A Προβλήματος	23
2.2.1.1.1 Μέθοδος Επίλυσης RDQ – A	24
2.2.1.2 Δυναμική Κατανομή Φάσματος	25
2.2.1.2.1 Τεχνική Προσέγγιση	26
2.2.1.3 Demand Allocation into Multiple Carries - DAMC	27
3. Γνωστικά Δίκτυα - CNs	29
3.1 Ιστορική Αναδρομή	29
3.2 Ανάγκη για CNs	29
3.2.1 Πολυπλοκότητα	29
3.2.2 Ασύρματα Δίκτυα	31
3.2.3 Ποιότητα Υπηρεσίας	33
3.3 Καθορισμός Γνωστικών Δικτύων	34

3.3.1	Παράδειγμα Απλής Αναμετάδοσης Δικτύου	34
3.3.2	Αρχιτεκτονική Συστήματος.....	35
3.3.2.1	Application User Resource Layer.....	37
3.3.2.2	Γνωστική Διαδικασία	39
3.3.2.3	Προσαρμοστικό Λογισμικό Δικτύου	40
3.4	Σχετικές Έννοιες.....	41
3.4.1	Cognitive Radio.....	41
3.4.1.1	Διαφορές CRs - CNs.....	45
3.4.2	Cross – Layer Σχεδιασμός.....	46
3.4.2.1	Διαφορές Cross layer σχεδιασμού - CNs	46
3.4.3	Απαιτήσεις CNs	48
3.4.3.1	Κατάσταση Δικτύου	49
3.5	Σχέση Adaptive – CNs.....	50
3.5.1.1	Reconfigurable platforms.....	53
3.5.1.2	Δυναμική Σχεδίαση & Διαχείριση Δικτύων για CNs.....	54
3.5.2	Επιλογή RAT.....	55
3.5.2.1	Περιγραφή προβλήματος.....	56
3.5.2.2	Μέθοδος Επίλυσης.....	56
3.5.3	Spectrum and Radio Resource Management (S&RRM).....	57
4.	Εκμάθηση Μηχανής	59
4.1	Μέθοδοι Εκμάθησης μέσω Μηχανής.....	60
4.1.1	Εκμάθηση Ταξινόμησης και Παλινδρόμησης.....	60
4.1.2	Εκμάθηση για Δράση και Σχεδιασμό.....	63
4.1.3	Εκμάθηση για ερμηνεία και κατανόηση	65
4.1.3.1	Σχηματισμοί Εκμάθησης	66
4.2	Θέματα που αναπτύσσονται στα CNs.....	67
4.2.1	Ανίχνευση Ανωμαλιών και Διάγνωση Σφαλαμάτων	67
4.2.2	Απόκριση στις εισβολές.....	69
4.2.3	Διαμόρφωση Δικτύου και Βελτιστοποίηση	71
5.	Αλγόριθμος Ομοιότητας Περιεχομένου - CMA	74
5.1	Αλγόριθμος ομοιότητας περιεχομένου	74
5.1.1	Λειτουργία CMA	76
5.1.1.1	Βήματα CMA	78
5.1.1.1.1	Διάγραμμα ροής.....	79
5.2	Σχεδιασμός και Υλοποίησης της Βάσης Δεδομένων	82
5.2.1	Εννοιολογικός σχεδιασμός.....	82
5.2.2	Μοντέλο Οντοτήτων Συσχετίσεων.....	86

6.	<i>Context Matching Tool</i>	88
7.	<i>Ενδεικτικά Αποτελέσματα</i>	97
7.1	Παρουσίαση Σεναρίων	97
7.1.1	Σενάριο #1	97
7.1.2	Σενάριο #2	104
7.1.3	Σενάριο #3	111
7.1.4	Σενάριο #4	118
8.	<i>Συμπεράσματα</i>	128
9.	<i>Παράρτημα</i>	130
9.1	Κώδικας CMA	130
10.	<i>Βιβλιογραφία</i>	143

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Beyond Third Generation (B3G) Υποδομή.....	15
Εικόνα 2: Αναδιάρθρωσιμη Υποδομή.....	21
Εικόνα 3: Διαδικασία Αναδιάρθρωσης.....	22
Εικόνα 4: RDQ – A.....	23
Εικόνα 5: Βήματα Μεθόδου Επίλυσης RDQ-A.....	25
Εικόνα 6: Χωρικό DSA.....	27
Εικόνα 7: Χρονικό DSA.....	27
Εικόνα 8: Απλή αναμετάδοση δικτύου.....	35
Εικόνα 9: Cognitive Αρχιτεκτονική τριών Στρωμάτων.....	37
Εικόνα 10: Ο OODA Βρόχος.....	43
Εικόνα 11: Cognitive cycle.....	44
Εικόνα 12: Προσαρμογή του CN στις συνθήκες του περιβάλλοντος.....	51
Εικόνα 13: Network Operator Coexistence.....	52
Εικόνα 14: Cognitive Network Operation - The feedback loop.....	53
Εικόνα 15: Reconfigurable network segment.....	54
Εικόνα 16: DNPM Functionality Overview.....	55
Εικόνα 17: DMAC.....	58
Εικόνα 18: Σχέση μεταξύ μάθησης, απόδοσης, γνώσης και περιβάλλοντος.....	60
Εικόνα 19: Time axis model of incident prevention, detection, and response tasks.....	69
Εικόνα 20 : Υποδομή Διαχείρισης.....	75
Εικόνα 21: Δεδομένα Εισόδου Αλγορίθμου.....	77
Εικόνα 22: Advanced context acquisition mechanism.....	78
Εικόνα 23: Διαγραμματική Απεικόνιση Αλγορίθμου.....	81
Εικόνα 24: Πίνακας CC "Current Context".....	82
Εικόνα 25: Πίνακας Radio Access Technology (RAT).....	83
Εικόνα 26: Πίνακας Service.....	83
Εικόνα 27: Πίνακας profile.....	84
Εικόνα 28: Πίνακας Reference Context Users "rcusers".....	85
Εικόνα 29: Πίνακας Reference Context (rc).....	85
Εικόνα 30: Πίνακας "properties".....	86
Εικόνα 31: Μοντέλο Οντοτήτων – Συσχετίσεων.....	87
Εικόνα 32: Καθορισμός Παραμέτρων.....	88
Εικόνα 33: Αποθήκευση Νέων Παραμέτρων.....	89
Εικόνα 34: Current Context Δεδομένα.....	90
Εικόνα 35: Reference Context Δεδομένα.....	91
Εικόνα 36: Αποτελέσματα Αλγορίθμου.....	93
Εικόνα 37: Κλείσιμο Εφαρμογής.....	96
Εικόνα 38: Παρουσίαση Περιεχομένου CC.....	98
Εικόνα 39: Εισαγωγή Κατώτατων Ορίων.....	99
Εικόνα 40: Βέλτιστη Λύση CC #1.....	102
Εικόνα 41: Διάρκεια Αλγορίθμων CC #1.....	103
Εικόνα 42: Κατανομή χρηστών RC1.....	103
Εικόνα 43: Κατανομή χρηστών RC2.....	104
Εικόνα 44: Εισαγωγή Κατώτατων Ορίων.....	105
Εικόνα 45: Βέλτιστη Λύση CC #2.....	106
Εικόνα 46: Κατανομή χρηστών.....	106

Εικόνα 47: Εισαγωγή νέων κατώτατων ορίων	108
Εικόνα 48: Βέλτιστη λύση CC' #2.....	109
Εικόνα 49: Σύγκριση Συνολικών Αποστάσεων	109
Εικόνα 50: Κατανομή χρηστών cc - RC2.....	110
Εικόνα 51: Κατανομή Χρηστών cc - RC1.....	110
Εικόνα 52: Χρόνοι Απόκρισης Αλγορίθμων	111
Εικόνα 53: Κατώτατα Όρια CC #3	112
Εικόνα 54: Βέλτιστη Λύση #4	116
Εικόνα 55: Εισαγωγή Νέων Κατώτατων Ορίων	117
Εικόνα 56: Βέλτιστη λύση CC #3'	117
Εικόνα 57: Χρόνος Απόκρισης Αλγορίθμων	118
Εικόνα 58: Εισαγωγή ορίων cc #4	119
Εικόνα 59: Βέλτιστη Λύση cc #4	121
Εικόνα 60: Κατανομή Προφίλ Χρηστών	121
Εικόνα 61: Κατανομή Χρηστών ανά Υψηροσία	122
Εικόνα 62: Κατανομή Χρηστών CC - RC4.....	122
Εικόνα 64: Κατανομή Χρηστών CC - RC3.....	123
Εικόνα 64: Νέα Κατανομή Χρηστών ανά Υψηροσία.....	123
Εικόνα 65: Βέλτιστη Λύση CC	124
Εικόνα 66: Νέα Κατανομή Προφίλ Χρηστών.....	124
Εικόνα 67: Βέλτιστη Λύση	125
Εικόνα 68: Χρόνοι Απόκρισης Αλγορίθμων.....	126
Εικόνα 69: Διάρκεια Αλγορίθμου ανά Αριθμό Χρηστών.....	127

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Σχηματισμοί & Στόχοι Απόδοσης	66
Πίνακας 2: Κατανομή Χρηστών ανά υπηρεσίες.....	97
Πίνακας 3: Κατανομή Χρηστών ανά Υπηρεσίες.....	104
Πίνακας 4: Νέα Κατανομή Χρηστών ανά Υπηρεσία.....	106
Πίνακας 5: Κατανομή Χρηστών ανά Υπηρεσίες.....	111
Πίνακας 6: Κατανομή Χρηστών ανά Υπηρεσία	118

Ακρωνύμια

API	Application Programming Interface
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BS	Base Station
B3G	Beyond Third Generation
BIST	Biological - Information - Social & Technical
CE	Cognitive Element
CN	Cognitive Networks
CP	Cognitive Process
CR	Cognitive Radio
CSL	Cognitive Specification Language
CMA	Context Matching Algorithm
CMT	Context Matching Tool
CC	Current Context
DAMC	Demand Allocation into Multiple Carriers
DSA	Demand Spectrum Allocation
DAB	Digital Audio Broadcasting
DVB	Digital Video Broadcasting
DNPM	Dynamic Network Planning and Management
E2E	End - to - End
XML	eXtensible Markup Language
IP	Internet Protocol
ISP	Internet Service Provider
KQML	Knowledge Query Markup Language
LLC	Logical Link Control
MAC	Medium Access Control
MT	Mobile terminal
MOO	Multiple Objective Optimizations
NE	Network Element
NKRL	Network Knowledge Representation Language
NO	Network Operator
NS	Network Segment
OODA	Observe - Orient - Decide - ACT
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
PHY	Physical
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RKRL	Radio Knowledge Representation Language
RDQA	RAT Demand QoS Allocation
RC	Reference Context
SLA	Service Level Agreement
SON	Service Overlay Network
SOO	Single Objective Optimizations

SAN	Software Adaptable Network
SDR	Software Defined Network
S&RRM	Spectrum & Radio Resource Management
SGML	Standard Generalized Markup Language
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Networks

Πρόλογος

Τα τελευταία χρόνια έχει συντελεστεί ραγδαία ανάπτυξη στην περιοχή των ασύρματων τεχνολογιών πρόσβασης, η οποία απεικονίζεται στις τεράστιες επενδύσεις στην έρευνα και στις προσφερόμενες υπηρεσίες. Αυτή η ανάπτυξη, αναδεικνύεται στις μέρες μας με την εισαγωγή των συστημάτων, πέραν της τρίτης γενιάς (Beyond Third Generation - B3G) που χαρακτηρίζονται από τη συνύπαρξη και τη συνεργασία πολυάριθμων και ευπροσάρμοστων τεχνολογιών ράδιο πρόσβασης, σε μια ενιαία υποδομή. Αυτή η σύγκλιση τεχνολογιών ενδυναμώνεται με την εμφάνιση των γνωστικών δικτύων (Cognitive Networks - CNs), που αντιδρούν στα εξωτερικά ερεθίσματα και προσαρμόζονται στις νέες συνθήκες, με βάση τη γνώση που έχει προκύψει από προηγούμενες εμπειρίες.

Το παρόν έγγραφο καταπιάνεται με τα παραπάνω ζητήματα, δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στα CNs και στη βελτιστοποίηση της κατάστασης του δικτύου μέσα από την εμπειρία. Σκοπός της εργασίας, είναι η μελέτη της λειτουργίας των CNs και η δημιουργία ενός αλγορίθμου για την άμεση εύρεση λύσης, μέσα από τη σύγκριση της κατάστασης του δικτύου με παλαιότερες καταγεγραμμένες. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα προσαρμοστικά (adaptive) και αναδιαρθρωμένα (reconfigurable) δίκτυα και περιγράφονται οι αλγόριθμοι διαχείρισης που εφαρμόζονται, ώστε τα τμήματα δικτύου να αναδιαρθρώνονται δυναμικά στις νέες απαιτήσεις του περιβάλλοντος. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα CNs, πώς προέκυψαν και ποιες αδυναμίες των τωρινών τεχνολογιών καλούνται να καλύψουν. Παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική τους, και η σχέση τους με παρεμφερείς τεχνολογίες, όπως είναι τα Cognitive Radio (CR) και ο cross – layer σχεδιασμός. Τέλος, γίνεται αναφορά στη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στα CNs και στα προσαρμοστικά δίκτυα. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια αναδρομή στις μεθόδους εκμάθησης μέσω μηχανής. Αναφέρεται η σπουδαιότητα και η ανάγκη εκμάθησης μέσω μηχανών, καθώς και τα είδη τα οποία προκύπτουν ανάλογα με τη μελέτη περίπτωσης. Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται ο αλγόριθμος ομοιότητας περιεχομένου (Context Matching Algorithm - CMA), η λειτουργία του και τα αναλυτικά βήματα που οδηγούν στην εύρεση μίας αξιόπιστης λύσης για τη βελτιστοποίηση του δικτύου. Παρουσιάζονται τα δεδομένα εισόδου του αλγορίθμου και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του. Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται το εργαλείο ομοιότητας περιεχομένου (Context Matching - CMT) που εφαρμόζει τον CMA μαζί με τα συστατικά που το απαρτίζουν. Τέλος, παρουσιάζονται ενδεικτικά αποτελέσματα που προκύπτουν από τον αλγόριθμο ομοιότητας περιεχομένου σε συνδυασμό με το CMT. Στο τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του εργαλείου αλλά και οι νέες κατευθύνσεις που δημιουργούνται για μελλοντική εργασία.

Λέξεις Κλειδιά: Cognitive Networks, Adaptive Networks, Reconfigurability, Machine Learning, Network Operators, RATs, Context Matching Algorithm, Context Matching Tool.

1. Εισαγωγή

Η απρόσμενη εξέλιξη των ασύρματων επικοινωνιών, απεικονίζεται στις ερευνητικές προσπάθειες που αποσκοπούν στο σχεδιασμό καινοτόμων συστημάτων και μηχανισμών στις ασύρματες επικοινωνίες. Το τοπίο των τηλεπικοινωνιών αποτελείται από συστήματα δεύτερης και τρίτης γενιάς (2G/2.5G/3G/3.5G), ασύρματα τοπικά και μητροπολιτικά δίκτυα (Wireless Local Area Networks – WLANs / Wireless Metropolitan Area Networks - WMANs), ασύρματα προσωπικά δίκτυα (Wireless Personal Area Networks - WPANs) και κοντινού εύρους επικοινωνίες, όπως συστήματα ψηφιακής μετάδοσης ήχου και εικόνας (Digital Video Broadcasting - DVB/ Digital Audio Broadcasting - DAB). Οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών για καινοτόμες υπηρεσίες και εφαρμογές, οδηγούν στη συνεργασία και συνύπαρξη των παραδοσιακών τεχνολογιών radio πρόσβασης (Radio Access Technologies - GSM, UMTS, HSDPA...) με τις νέες τεχνολογίες όπως το WiMAX. Τα προσδοκώμενα πλεονεκτήματα βασίζονται στα ερευνητικά αποτελέσματα που προτείνουν ότι μια τέτοια ένωση δυνάμεων θα προωθήσει τη γενική απόδοση συστημάτων, την αποδοτικότητα και τις ικανότητες παροχής υπηρεσιών. Η συντονισμένη προσπάθεια λειτουργίας αυτών των τεχνολογιών κάτω από μια ομπρέλα αποκαλείται B3G όραμα.

Στην προσπάθεια συντονισμού των τεχνολογιών για τη βελτίωση των προσφερόμενων υπηρεσιών, τροχοπέδη αποτελεί το ευμετάβλητο περιβάλλον και οι ποικίλες απαιτήσεις χρηστών που προϋποθέτουν την υιοθέτηση τεχνολογιών, ώστε να ανταποκριθούν στα εξωτερικά ερεθίσματα μέσω της αναδιάρθρωσης της υποδομής τους ή των παραμέτρων λειτουργίας τους. Η διαχείριση της αυξανόμενης πολυπλοκότητας που εμφανίζεται σε αυτά τα περιβάλλοντα, πραγματοποιείται με το σχεδιασμό ασύρματων υποδομών με δυνατότητες εκμάθησης. Μια τέτοια υποδομή αποτελούν τα γνωστικά δίκτυα (Cognitive Networks - CNs), που έχουν την ικανότητα να παρατηρούν την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου, να αιτιολογούν το περιβάλλον και να προσαρμόζονται στις οποιοσδήποτε μεταβολές, χρησιμοποιώντας τους διαθέσιμους πόρους τους με τον πιο αποδοτικό τρόπο.

Τα CNs εισάγουν ένα νέο τρόπο λειτουργίας που αντίκειται στο μέχρι τώρα τρόπο ανταλλαγής πληροφορίας της κατάστασης του δικτύου από την αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου. Τα CNs εκτελούν αλλαγές στις λειτουργικές παραμέτρους τους και είναι σε θέση να προσαρμόζονται στις περιβαλλοντικές απαιτήσεις μέσω της ικανότητας για αυτό – διάρθρωση (self configuration). Η ικανότητα αυτή επιτυγχάνεται με την ανάκτηση της γνώσης από προηγούμενες αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον.

Τα CNs προϋποθέτουν προηγμένες ικανότητες γνωστικής, ασύρματης πρόσβασης, που λειτουργούν σύμφωνα με το B3G παράδειγμα. Αυτές οι ικανότητες προκύπτουν από την ανάγκη να καλυφθούν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα αναδιάρθρωσης από τις ικανότητες γνώσης (cognition). Οι αναδιρθρώσεις πρέπει να εκτελούνται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο και να βασίζονται σε εφαρμόσιμες πολιτικές (σχετικές με την κατάσταση που επικρατεί σε ένα δίκτυο, τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος κ.α.) και στην επιλογή της κατάλληλης

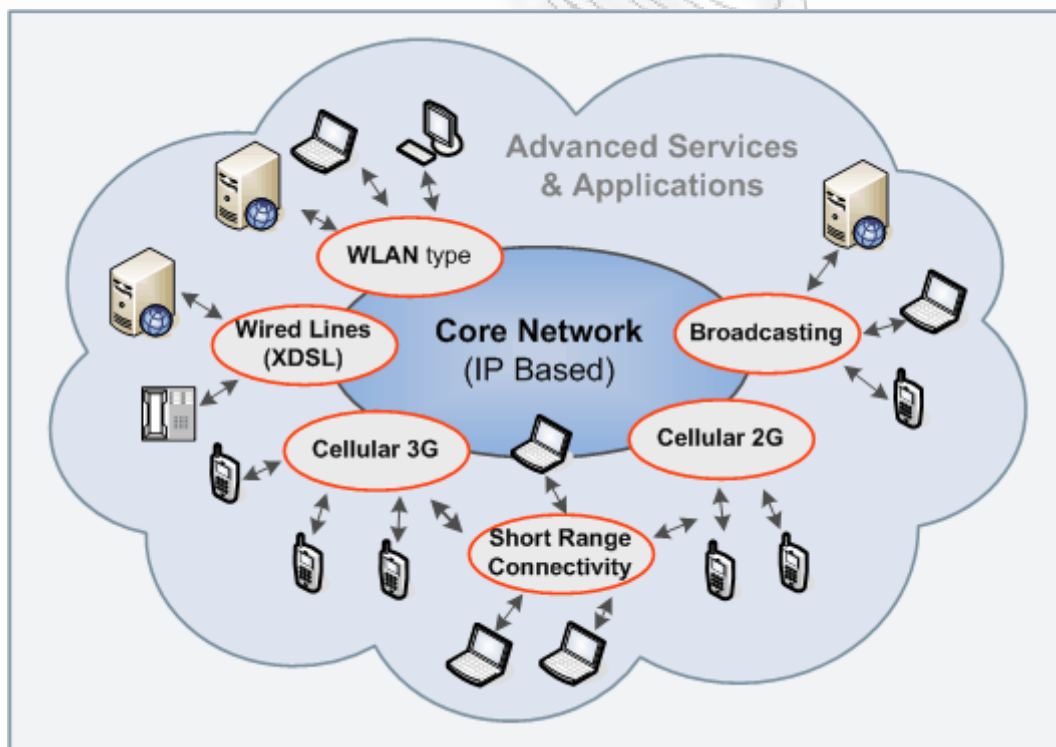
διαδικασίας αναδιάρθρωσης (reconfiguration pattern). Όταν η διαδικασία αναδιάρθρωσης πραγματοποιείται σε συστήματα που αποθηκεύουν τις αντιδράσεις του στις διαφορετικές συνθήκες, αποκτάται γνώση, η οποία αποσκοπεί στη βελτιστοποίηση των μελλοντικών αποφάσεων.

Αναγκαία προϋπόθεση για τη λειτουργία των CNs, είναι η ανάπτυξη ενός μηχανισμού που θα παρέχει στα CNs τη γνώση που έχει προκύψει από προηγούμενες εμπειρίες. Το ρόλο του μηχανισμού αυτού εκπληρώνει ο αλγόριθμος ομοιότητας περιεχομένου (Context Matching Algorithm - CMA) ο οποίος χρησιμοποιεί τη γνώση που προκύπτει από παλαιότερα καταγεγραμμένες καταστάσεις και υποδεικνύει τη λύση σε μια τρέχουσα κατάσταση δικτύου.

2. Προσαρμοστικά Δίκτυα

2.1 Προσαρμοστικά – Αναδιαρθρώσιμα Δίκτυα

Η βαθμιαία μετακίνηση των σημερινών ασύρματων επικοινωνιών (2G/2.5G/3G) προς τα συστήματα πέραν της τρίτης γενιάς (Beyond Third Generation B3G), απεικονίζει τις εξελίξεις και τις ανάγκες στον τομέα των επικοινωνιών. Τα B3G ασύρματα συστήματα μπορούν να επιτύχουν υψηλό ποσοστό μετάδοσης δεδομένων, να παρέχουν επαρκή χωρητικότητα, να είναι οικονομικώς αποδοτικά και να προσφέρουν ιδιαίτερα υψηλές / περίπλοκες υπηρεσίες σε σχέση με αυτές που μέχρι τώρα παρέχουν τα ενσύρματα δίκτυα. Μια τέτοια ποικιλία υψηλών εφαρμογών αποτελούν τα διαδραστικά πολυμέσα, οι υπηρεσίες VoIP, τα δικτυακά παιχνίδια ή οι υπηρεσίες τηλεδιάσκεψης [24]. Επειδή οι υπάρχουσες τεχνολογίες ράδιο – πρόσβασης (RATs – Radio Access Technologies) δεν είναι αρκετές ώστε να ικανοποιήσουν με μοναδικό τρόπο τις παραπάνω απαιτήσεις [3], η ιδέα του συνδυασμού διαφορετικών RATs υπό τον συντονισμό μιας γενικής υποδομής που αποκαλείται «B3G Wireless Access Infrastructure», αποτελεί ένα βασικό παράγοντα για τη σταθεροποίηση των B3G συστημάτων. Ο συνδυασμός των διαφορετικών τεχνολογιών πρόσβασης (RATs) κάτω από μια κοινή υποδομή απεικονίζεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Beyond Third Generation (B3G) Υποδομή

Η ιδέα της συνεργασίας των δικτύων, υποθέτει ότι διαφορετικές τεχνολογίες όπως τα κυψελωτά 2/2.5G/3G κινητά δίκτυα και οι εξελίξεις τους (GSM/GPRS/UMTS/HSDPA), τα τοπικά ασύρματα, τα μητροπολιτικά (Wireless Local Area Networks – WLANs / Wireless Metropolitan Area Networks - WMANs), τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (Wireless Personal Area Networks - WPANs) καθώς και η μετάδοση βίντεο και ήχου (Digital Video Broadcasting -

DVB/ Digital Audio Broadcasting - DAB) μπορούν να είναι συστατικά μιας ασύρματης - πρόσβασης ετερογενούς υποδομής και να συνεργαστούν με ένα βέλτιστο τρόπο, προκειμένου να παρέχουν υψηλή ταχύτητα και / ή αξιόπιστη συνδεσιμότητα οποιαδήποτε στιγμή [4]. Η συνεργασία επιτυγχάνεται μέσω συμφωνίας για ανταλλαγή κίνησης ή κατανομής του φάσματος μεταξύ συνεταιριστικών (γειτονικών) διαχειριστών δικτύου (Network Operators - NOs) ή / και της κοινής διαμόρφωσης των τμημάτων δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο, πραγματοποιείται καλύτερος χειρισμός των συνθηκών κίνησης ή των αιτημάτων διαχείρισης των υπηρεσιών και έτσι μεγιστοποιούνται τα επίπεδα ποιότητας υπηρεσιών (Quality of Service - QoS) [24].

Ωστόσο, η πραγματοποίηση της B3G έννοιας, που βασίζεται στη συνεργασία δικτύων, μπορεί να μην είναι βιώσιμη ή αποδοτική. Σε ένα πρώτο στάδιο, μπορεί να ανακύψουν πολλά προβλήματα ανάμεσα στους NOs που αφορούν την εφαρμογή κάποιου επιχειρησιακού προτύπου. Επιπλέον, η έννοια της συνεργασίας των δικτύων υπονοεί ότι ολόκληρο το σύνολο των εναλλασσόμενων RATs θα πρέπει να αναπτυχθεί (εγκατασταθεί και διαμορφωθεί) εκ των προτέρων και στα τμήματα του δικτύου και στα τερματικά, τα οποία απαιτούν συνεχόμενες επενδύσεις σε λογισμικό και υλικό.

Η ικανότητα αυτή των δικτύων, να μπορούν να προσαρμόζονται στις συνθήκες που επικρατούν και να διαμορφώνονται ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται, αποκαλείται *προσαρμοστικότητα* (adaption) και αντίστοιχα τα δίκτυα αυτά αποκαλούνται *προσαρμοστικά* (adaptive networks) [5].

Τα *προσαρμοστικά δίκτυα* έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζουν δυναμικά τη συμπεριφορά τους (διαμόρφωση) σε διάφορες συνθήκες (π.χ. hot - spot καταστάσεις, απαίτησης αλλαγής κυκλοφορίας, κ.λπ.) σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και χωρικές περιοχές. Αυτή η διαδικασία, σε γενικές γραμμές, επιβάλλει ενέργειες διαμόρφωσης λογισμικού, οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν όλα τα στρώματα της στοίβας πρωτοκόλλων. Τέτοιες ενέργειες περιλαμβάνουν επιλογή του RAT που θα ενεργοποιηθεί, κατανομή φάσματος, επιλογή αλγορίθμων και διαμόρφωση καθορισμένων παραμέτρων λογισμικού (στο φυσικό PHY και MAC στρώμα), TCP προσαρμογή, ή προσαρμογή στα κατάλληλα επίπεδα ποιότητας υπηρεσιών [5]. Τα δίκτυα που δύναται να πραγματοποιήσουν τις παραπάνω ενέργειες και παρέχουν μηχανισμούς για δυναμικό καθορισμό ή/και τροποποίηση ενός RAT, δυναμική κατανομή πόρων ανάμεσα στα RATs και διανομή των RATs στα στοιχεία του δικτύου (Network Elements - NE) καλούνται αναδιαρθρώσιμα δίκτυα (Reconfigurable Networks).

Τα *αναδιαρθρώσιμα* δίκτυα μετασχηματίζονται συνεχώς, ανάλογα με τις χρονικές και χωρικές απαιτήσεις. Οι πληροφορίες που σχετίζονται με τους χρήστες (προφίλ χρηστών) αλλά και οι διαθέσιμοι τύποι τερματικών διαφέρουν από αυτούς των συμβατικών δικτύων. Αυτό σημαίνει, ότι οι μηχανισμοί αναδιάρθρωσης των σταθμών βάσης (Base Station - BS) μιας τεχνολογίας πρόσβασης (RAT), είναι σε θέση να ελέγξουν τις μεταβλητές παραμέτρους και τους τρόπους λειτουργίας τους, με σκοπό τη βέλτιστη διαμόρφωση του δικτύου. Επιπλέον, το απαιτούμενο λογισμικό για την υποστήριξη, πρέπει ενσωματώνεται στην υποδομή των δικτύων. Η εύκαμπτη διαχείριση (των μεταβλητών παραμέτρων) καλύπτει θέματα όπως την κλίση της γωνίας των ηλεκτρικών κεραιών, τις ρυθμίσεις συχνότητας, το μέγιστο μέγεθος της

υποψήφιας κυψέλης για τα κινητά τερματικά (Mobile Terminal - MT), την κατανομή ισχύος για υπηρεσίες δεδομένων υψηλής ταχύτητας κ.α. Σύμφωνα με τη χρονική - χωρική μεταβαλλόμενη κυκλοφορία, μερικές από τις αναφερθείσες παραμέτρους υπάγονται σε αλλαγή.

Σε μια αρχιτεκτονική αναδιάρθρωσης, οι χρήστες εννοιολογικά θεωρούνται να είναι στο κέντρο του μελλοντικού περιβάλλοντος τηλεπικοινωνιών, χρησιμοποιώντας ετερογενείς συσκευές, (κινητά τελικών χρηστών, εξοπλισμοί προσωπικών δικτύων κ.α), σε ετερογενή περιβάλλοντα και πλαίσια (σπίτι, γραφείο, σε εξωτερικούς χώρους) μέσω ετερογενών συστημάτων (σταθερών υποδομών, WLAN, κυψελοειδείς και τεχνολογίες radio μετάδοσης).

Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, η αναδιάρθρωσιμη τεχνολογία επιτρέπει στους κατασκευαστές τη δυναμική αναβάθμιση του λογισμικού, που αποτελεί ανταγωνιστικό πλεονέκτημα όσον αφορά τους αντιπάλους τους, και συνεπάγεται με προσφορά ποικίλων λειτουργικών επιλογών στους NOs. Επιπλέον, η δυνατότητα δυναμικής αναβάθμισης του εξοπλισμού, επιταχύνει τη χρονική τοποθέτηση προϊόντων στην αγορά, και επιτρέπει την απλουστευμένη εξέλιξη τους, με μειωμένο κόστος ανάπτυξης, και αυξανόμενη αξιοπιστία. Από την άλλη πλευρά, με τον αναδιάρθρωσιμο εξοπλισμό, οι κατασκευαστές είναι σε θέση να εισαγάγουν μια περιοχή αγοράς που προηγουμένως ήταν αδύνατη για αυτούς.

Όσον αφορά τους NOs, αυτοί έχουν περισσότερες επιλογές για να παρέχουν τα απαραίτητα επίπεδα χωρητικότητας και QoS μέσω της αναδιάρθρωσης της υποδομής τους. Επιπλέον, οι NOs μπορούν να εισαγάγουν υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας ευκολότερα, και να διαφοροποιήσουν τη σειρά των υπηρεσιών τους από αυτή των ανταγωνιστών. Επιπρόσθετα, με τη βοήθεια αποδοτικών μεθόδων σχεδιασμού δικτύων, η αναδιάρθρωση των στοιχείων δικτύου (π.χ. 2G/3G BS) θα μειώσει τις κύριες δαπάνες. Οι μηχανισμοί σχεδιασμού δικτύων μπορούν να ελέγξουν τις λειτουργικές δαπάνες, ενώ διαχειρίζονται τις διαδικασίες αναδιάρθρωσης, δεδομένου ότι ο εξοπλισμός δύναται να λειτουργεί σε πολλαπλές διεπαφές, μειώνοντας την ανάγκη ανάπτυξης παράλληλων συστημάτων.

Όσον αφορά τους παρόχους υπηρεσιών, η αναδιάρθρωσιμη τεχνολογία μπορεί να αξιοποιηθεί και στο επίπεδο εφαρμογής. Επεκτείνει την υπάρχουσα ικανότητα εγκατάστασης εφαρμογών στα τερματικά των χρηστών και έτσι οι πάροχοι θα μπορούν να εισάγουν και να αναπτύξουν νέες υπηρεσίες, χωρίς να χρειάζεται να παρέχουν ξεχωριστή εφαρμογή υπηρεσιών στη φάση του σχεδιασμού.

Τέλος, στους χρήστες παρέχεται ομοιόμορφη και συνεχής συνδεσιμότητα μέσω παροχής υπηρεσιών και προσαρμογής. Οι ικανότητες περιαγωγής (roaming) θα επεκταθούν μέσω της δυναμικής προσαρμογής σε περιφερειακά περιβάλλοντα (regional contexts). Παρόμοια, η δυνατότητα εγκατάστασης λογισμικού θα οδηγήσει σε εμπλουτισμένα προσωποποιημένα χαρακτηριστικά και σε πιο αναπτυγμένες υπηρεσίες. Στους χρήστες θα παρέχεται η καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών (QoS) με το καλύτερο δυνατό κόστος [23].

2.1.1 Χαρακτηριστικά Αναδιάρθρωσιμων Δικτύων

Τα συστήματα που χαρακτηρίζονται ως αναδιαρθρώσιμα πρέπει να διαθέτουν τα επόμενα χαρακτηριστικά [5]:

- Συμφωνία επιπέδου υπηρεσιών (Service Level Agreement)
- Αναδιάρθρωση εξοπλισμού (Equipment Reconfiguration)
- Ασφάλεια (Security)
- Απουσία ραδιοπαρεμβολής (No Radio Interference)
- Download
- Διαχείριση αναδιάρθρωσης (Reconfiguration Management)
- Προσαρμογή Υπηρεσιών (Service Adaptation)
- Κάθετη Μεταπομπή (Vertical Handover)
- Παροχή υπηρεσιών (Service Provision)
- Παρακολούθηση συστήματος (System Monitoring)
- Δυναμική διαχείριση πόρων (Dynamic Resource Management)
- Μετατόπιση Φάσματος (Spectrum Transfer)

2.1.1.1 Συμφωνία Επιπέδου Υπηρεσιών

Μια συμφωνία επιπέδου υπηρεσιών (Service Level Agreement - SLA), αποτελεί το συμβόλαιο μεταξύ ενός παροχέα μιας δικτυακής συνήθως υπηρεσίας και του πελάτη, και καθορίζει, συνήθως σε μετρήσιμους όρους, τι είδους και τι ποιότητας υπηρεσίες θα πρέπει να προσφέρει ο παροχέας. Οι συμφωνίες SLA διασφαλίζουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών και διευκρινίζουν τα ελάχιστα κριτήρια απόδοσης που πρέπει να εγγυηθούν για την παροχή τους. Όταν καθιερώνεται μια συμφωνία επιπέδου υπηρεσιών, το καθήκον του NO αφορά τη διατήρηση των ελάχιστων επιπέδων απόδοσης, ακόμη και στις μισθωμένες ζώνες συχρότητας.

2.1.1.2 Αναδιάρθρωση Εξοπλισμού

Αυτή η ικανότητα εξετάζει τη διαδικασία αναδιάρθρωσης του εξοπλισμού. Επιτρέπει την ανάπτυξη λογισμικού διάρθρωσης, παρέχοντας ανοιχτές διεπαφές μέσα στον εξοπλισμό. Μια διαδικασία επιτυχημένης αναδιάρθρωσης προϋποθέτει τη λήψη των παρακάτω ελέγχων:

- Επαλήθευση της διαθεσιμότητας των διαφορετικών ενοτήτων λογισμικού (modules) που πρέπει να γίνουν downloaded.
- Επαλήθευση ότι η διαμόρφωση εξοπλισμού είναι συμβατή με τη στοχοθετημένη αναδιάρθρωση.
- Επαλήθευση ότι η εγκατάσταση έχει εγκριθεί από τον πελάτη και τον παροχέα υπηρεσιών του συστήματος.

2.1.1.3 Ασφάλεια

Οι διαφορετικοί ρόλοι (πελάτης / παροχέας υπηρεσιών) που μετέχουν στη διαδικασία αναδιάρθρωσης, πρέπει να καθορίσουν σχέσεις εμπιστοσύνης που επιτρέπουν το κατέβασμα «download» αναδιαρθρώσιμου λογισμικού με ασφαλή τρόπο. Για να γίνει αυτό, πρέπει και οι δύο πλευρές να αναγνωρίσουν ο ένας τον άλλον. Πιο συγκεκριμένα, ο εγγεγραμμένος

χρήστης/πελάτης πρέπει να είναι αυθεντικοποιημένος, ο φορέας παροχής υπηρεσιών υποστήριξης αναδιάρθρωσης πρέπει να επικυρωθεί από τον εξοπλισμό και ο ίδιος ο εξοπλισμός πρέπει να αυθεντικοποιηθεί από την οντότητα που είναι υπεύθυνη για την αναβάθμιση.

2.1.1.4 No Radio Interference

Αυτή η ικανότητα, περιλαμβάνει ζητήματα που αφορούν προβλήματα παρεμβολής λόγω κακού εξοπλισμού αναδιάρθρωσης. Η παρακολούθηση του προβληματικού εξοπλισμού, περιλαμβάνει την επεξεργασία ποικίλων παραμέτρων σχετικών με την παρέμβαση. Η λήψη αποφάσεων σε μια πιθανή αποσύνδεση λόγω παρέμβασης στον εξοπλισμό, είναι ένα καθήκον του δικτύου.

Ένα διαφορετικό σενάριο σχετικό με την παρεμβολή, σχετίζεται με την κατάσταση του δικτύου, όπου η μετάδοση παρεμποδίζεται μέχρι να καθορίσει ο εξοπλισμός ποια συχνότητα μπορεί να χρησιμοποιήσει έως ότου επικυρωθεί το φέρον. Το ζήτημα αυτό προκύπτει, όταν η τρέχουσα διαμόρφωση του εξοπλισμού δεν υποστηρίζεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

2.1.1.5 Download

Αυτή η ικανότητα διευθετεί ζητήματα που αφορούν το «κατέβασμα» (download) οντότητας λογισμικού (software module) όταν είναι αναγκαία η αναδιάρθρωση ενός νέου ασύρματου δικτύου πρόσβασης.

2.1.1.6 Διαχείριση Αναδιάρθρωσης

Αυτή η ικανότητα περιγράφει ορισμένα χαρακτηριστικά της διαδικασίας αναδιάρθρωσης. Καθιερώνει ένα είδος απογραφής των προς διαχείριση πόρων και των υπηρεσιών. Συγκεντρώνει στοιχεία από το δίκτυο και παρέχει στοιχεία σε αυτό για προετοιμασία, αρχικοποίηση, έναρξη, λειτουργία και τερματισμό των υπηρεσιών. Ένα βασικό χαρακτηριστικό, είναι πώς η διαδικασία πρέπει να εφαρμόζεται δυναμικά, χωρίς να τερματίζει τη λειτουργία του συστήματος.

2.1.1.7 Προσαρμογή Υπηρεσιών

Η προσαρμογή της λειτουργίας της υπηρεσίας είναι μια μορφή αναδιάρθρωσης που μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ένα δίκτυο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περίπτωση όπου το πρωτόκολλο μεταφοράς αλλάζει από TCP σε UDP ή αλλάζει το παράθυρο του TCP κλπ. Η διαδικασία αυτή λέγεται και protocol reconfiguration (Δυνατότητα δυναμικής αναδιάρθρωσης με την εισαγωγή αναδιαρθρώσιμων πρωτοκόλλων). Το σύνολο των δυνατών αναδιαρθρώσεων που μπορούν να πραγματοποιηθούν για να επιτευχθεί προσαρμογή υπηρεσιών αφορά αλλαγές στον τύπο σύνδεσης, στους εξυπηρετητές κλπ.

2.1.1.8 Κάθετη Μεταπομπή

Η κάθετη μεταπομπή (handover) αναφέρεται στην αυτόματη εναλλαγή της σύνδεσης ενός χρήστη από συχνότητες οι οποίες χρησιμοποιούνται σε μια κυψέλη ενός δικτύου, είτε σε άλλες συχνότητες στην ίδια κυψέλη, είτε σε συχνότητες σε παρακείμενη κυψέλη.

Για παράδειγμα ένα laptop μπορεί να είναι κατάλληλα εξοπλισμένο ώστε να συνδέεται στο διαδίκτυο είτε μέσω Wireless LAN είτε μέσω UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). Η κάθετη μεταπομπή αναφέρεται στην αυτόματη μετάπτωση από τη μία τεχνολογία στην άλλη όταν παρατηρηθεί πρόβλημα στη σύνδεση ώστε να διατηρηθεί η επικοινωνία.

2.1.1.9 Παροχή Υπηρεσιών

Για να καταστεί η παροχή υπηρεσιών ευκολότερη, ο αρχικός εξοπλισμός πρέπει να διαθέτει "ανοικτές" διεπαφές στο τερματικό του χρήστη και στον εξοπλισμό του δικτύου. Η παροχή υπηρεσιών στο χρήστη πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις προτιμήσεις του χρήστη και τις ικανότητες των τελικών χρηστών (παράμετροι τερματικού), όπως για παράδειγμα την ευκρίνεια της οθόνης. Από την άλλη πλευρά, πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι ικανότητες του δικτύου π.χ. εύρος ζώνης, καθυστέρηση κ.α.. Για να πραγματοποιηθούν τα ανωτέρω, οι πληροφορίες πρέπει να είναι διαθέσιμες στις οντότητες που είναι αρμόδιες για την παροχή υπηρεσιών.

2.1.1.10 Παρακολούθηση Συστήματος

Είναι η διαδικασία μέσω της οποίας παρακολουθείται η κατάσταση του δικτύου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα παραμέτρων που παρακολουθούνται από τη διαδικασία αυτή είναι το ποσοστό χρήσης από το συνολικό διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων και το φορτίο κάθε ασύρματου δικτύου (π.χ. αριθμός χρηστών).

2.1.1.11 Δυναμική Διαχείριση Πόρων

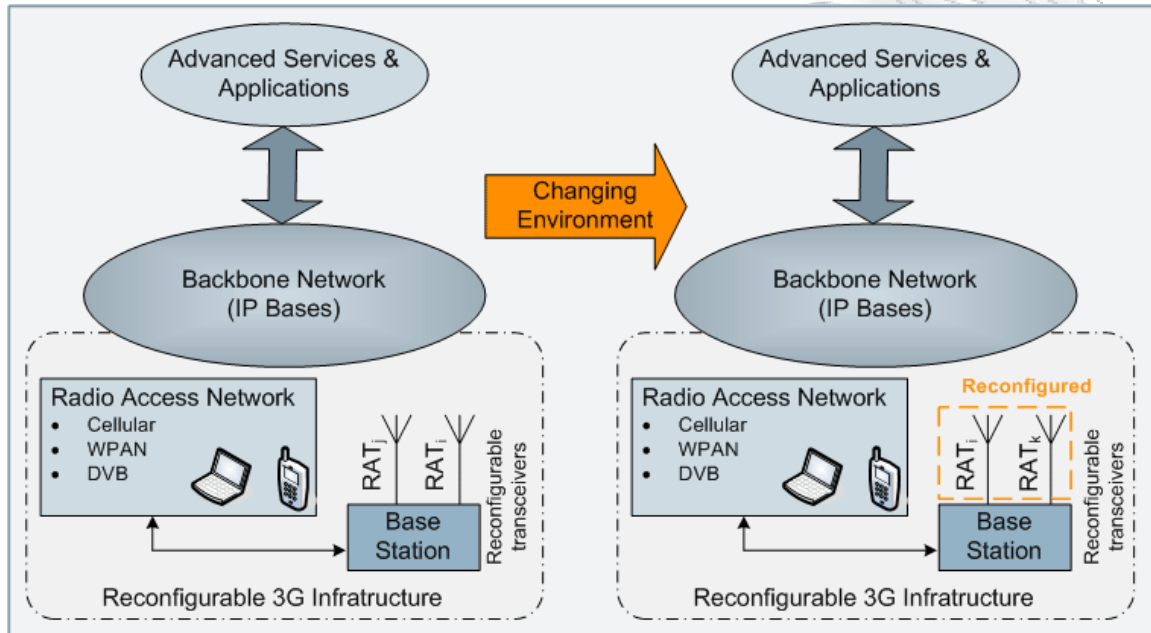
Η δυναμική διαχείριση πόρων στοχεύει στη βελτιστοποίηση των ανεπτυγμένων πόρων, με τη δυναμική διάθεση και διανομή τους. Οι χρονικές / χωρικές παραλλαγές της κυκλοφορίας στα ετερογενή δίκτυα ράδιο πρόσβασης, παρακινούν τη δυναμική και ενδεχομένως την κοινή κατανομή του φάσματος και των ράδιο πόρων, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς του συστήματος και τις εκτιμήσεις δαπάνης.

2.1.1.12 Μετατόπιση Φάσματος

Αυτή η ικανότητα εξετάζει τη μεταφορά των δικαιωμάτων χρήσης φάσματος από ένα διαχειριστή φάσματος του συστήματος σε έναν άλλο. Η διαχείριση της μεταφοράς φάσματος περιλαμβάνει στόχους ελέγχου εγκυρότητας και τεχνικής πραγματοποίησης της μεταφοράς σύμφωνα με τους ρυθμιστικούς κανόνες.

2.2 Αλγόριθμοι Διαχείρισης

Τα τμήματα του δικτύου πρέπει να επιλέξουν δυναμικά και να διαμορφώσουν το σύνολο με τα πιο κατάλληλα RATs, προκειμένου να χειριστούν καλύτερα τις επιδιωκόμενες απαιτήσεις στο χώρο και χρόνο. Η διαδικασία αυτή, γίνεται κατανοητή μέσα από την εικόνα που ακολουθεί, όπου οι σταθμοί βάσης ενός σύνθετου δικτύου ράδιο - πρόσβασης (Radio Access Network – RAN) προσαρμόζονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις, αλλάζοντας τη λειτουργία των πομποδεκτών τους και χρησιμοποιώντας, μια καινούργια τεχνολογία πρόσβασης (RAT) (Εικόνα 2) [24].



Εικόνα 2: Αναδιαρθρώσιμη Υποδομή

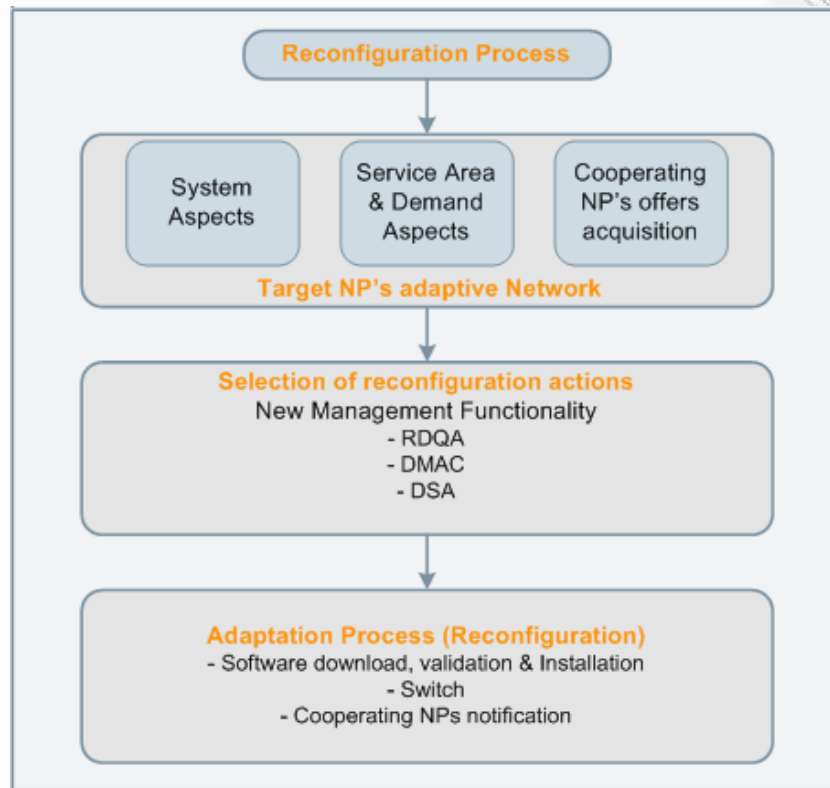
Τα προσαρμοστικά δίκτυα επομένως, έχουν την ικανότητα να αναδιαρθρώνονται. Η ικανότητα αναδιάρθρωσης παρέχει μηχανισμούς ώστε το δίκτυο να [6]:

- i. Επιλέγει και αλλάζει δυναμικά τις τιμές των παραμέτρων μιας τεχνολογίας ράδιο πρόσβασης (RAT).
- ii. Καταχωρεί δυναμικά τους πόρους ανάμεσα στα RAT.
- iii. Κατανέμει τα RAT στα στοιχεία δικτύου.

Η ικανότητα αναδιάρθρωσης αλλάζει τον τρόπο που σχεδιάζονται τα ασύρματα δίκτυα.

Η διαδικασία αναδιάρθρωσης εξελίσσεται σε τρεις κύριες φάσεις. Κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης, ο NO αναγνωρίζει την ανάγκη για προσαρμογή σε μια νέα κατάσταση, σύμφωνα με τις ανάγκες του συστήματος και τις ζητούμενες υπηρεσίες. Συγχρόνως, ελέγχονται δίκαια οι απαιτήσεις των υπόλοιπων NOs, ανάλογα με τις ανάγκες που έχουν προτεραιότητα. Για παράδειγμα, υπάρχει επικοινωνία για το αν όλοι οι NOs μπορούν να συμμετέχουν στο χειρισμό ενός γεγονότος [7]. Η δεύτερη φάση συσχετίζεται με την αναδιάρθρωση της διαδικασίας απόφασης, σύμφωνα με την εφαρμογή της νέας διαχειριστικής λειτουργίας. Αξιολογούνται δηλαδή, ποιες είναι οι αλλαγές στη διαμόρφωση που πρέπει να λάβουν χώρα π.χ. αλλαγή στην τεχνολογία μετάδοσης, εξυπηρέτηση ενός αριθμού χρηστών από άλλη κεραία, αλλαγή στην

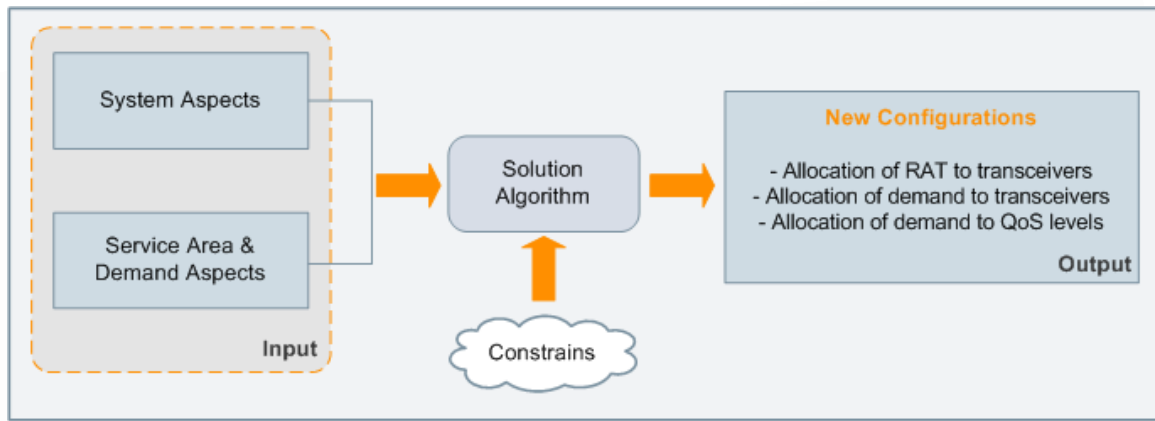
κατανομή φάσματος κ.α. Τέλος, στην τρίτη φάση, εφαρμόζεται η διαδικασία αναδιάρθρωσης. Η τελευταία φάση περιλαμβάνει download (κατέβασμα), εγκατάσταση και επικύρωση των τμημάτων λογισμικού καθώς και ανακοίνωση της συνεργασίας των NOs για τους πόρους και τις υπηρεσίες που θα απορροφήσουν (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Διαδικασία Αναδιάρθρωσης

2.2.1 Επιλογή Αναδιαρθρώσιμων Ενεργειών

Σκοπός είναι οι ενέργειες αναδιάρθρωσης να μπορούν να υποστηριχτούν από την προσαρμοστικότητα του δικτύου. Συγκεκριμένα, εξετάζεται το πρόβλημα της κατανομής τεχνολογίας και ποιότητας υπηρεσιών (RAT Demand, QoS - Allocation), που χρησιμοποιεί ως δεδομένα εισόδου μερικές πτυχές του συστήματος, καθώς και πτυχές της περιοχής υπηρεσιών και απαιτήσεων. Σκοπός είναι η βέλτιστη ανάθεση των διαθέσιμων RATs στους πομποδέκτες, η ανάθεση της απαίτησης (χρηστών) στους πομποδέκτες και η ανάθεση της απαίτησης (χρηστών / φάσματος) στα επίπεδα QoS. Όλες οι παραπάνω ενέργειες, πραγματοποιούνται πάντα κάτω από την αιγίδα των περιορισμών του συστήματος. Αναλυτικά, το πρόβλημα της κατανομής RDQ - A παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 4) [24].



Εικόνα 4: RDQ – A

2.2.1.1 Περιγραφή RDQ – A Προβλήματος

Το RDQ - A πρόβλημα μπορεί να περιγραφεί, όπως φαίνεται και στην εικόνα, από τα δεδομένα εισόδου (input) και από ένα αντικειμενικό αποτέλεσμα (output). Πιο αναλυτικά τα δεδομένα εισόδου περιλαμβάνουν:

Service Area and Demand Aspects (Περιοχή Υπηρεσιών & Πτυχές Συστήματος)

- Η *περιοχή υπηρεσιών (Service Area)* απαρτίζεται από τα επιμέρους σύνολα των χρηστών ανά υπηρεσία. Τα επιμέρους σύνολα των χρηστών ανά υπηρεσία χαρακτηρίζονται από τον αριθμό χρηστών, την υπηρεσία κάθε χρήστη, τη θέση του στην περιοχή κ.α. Το σύνολο των users που ανήκει σε κάθε υπηρεσία είναι μια μοναδική περιοχή φορτίου ξεχωριστή από όλες τις άλλες. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι εφαρμογές που προσφέρονται στην περιοχή υπηρεσιών, τα επίπεδα ποιότητας (QoS) και τα RATs μέσω των οποίων μπορεί να προσφερθεί κάθε υπηρεσία. Επιπρόσθετες απαιτήσεις είναι ο βαθμός ικανοποίησης του χρήστη (utility volume) και η κατανάλωση πόρων, όταν μια υπηρεσία προσφέρεται σε ένα συγκεκριμένο QoS, μέσω ενός συγκεκριμένου RAT.
- *System Aspects (Πτυχές Συστήματος)*: Τα στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι: (α) το σύνολο και η θέση των pixels που καλύπτουν την περιοχή υπηρεσιών που αντιμετωπίζει την ανάγκη αναδιάρθρωσης (β) το σύνολο πομποδέκτων ανά περιοχή (γ) το σύνολο των RATs που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανά πομποδέκτη και (δ) η κάλυψη και η προσδοκώμενη χωρητικότητα, όταν ένα συγκεκριμένο RAT χρησιμοποιείται από έναν πομποδέκτη.

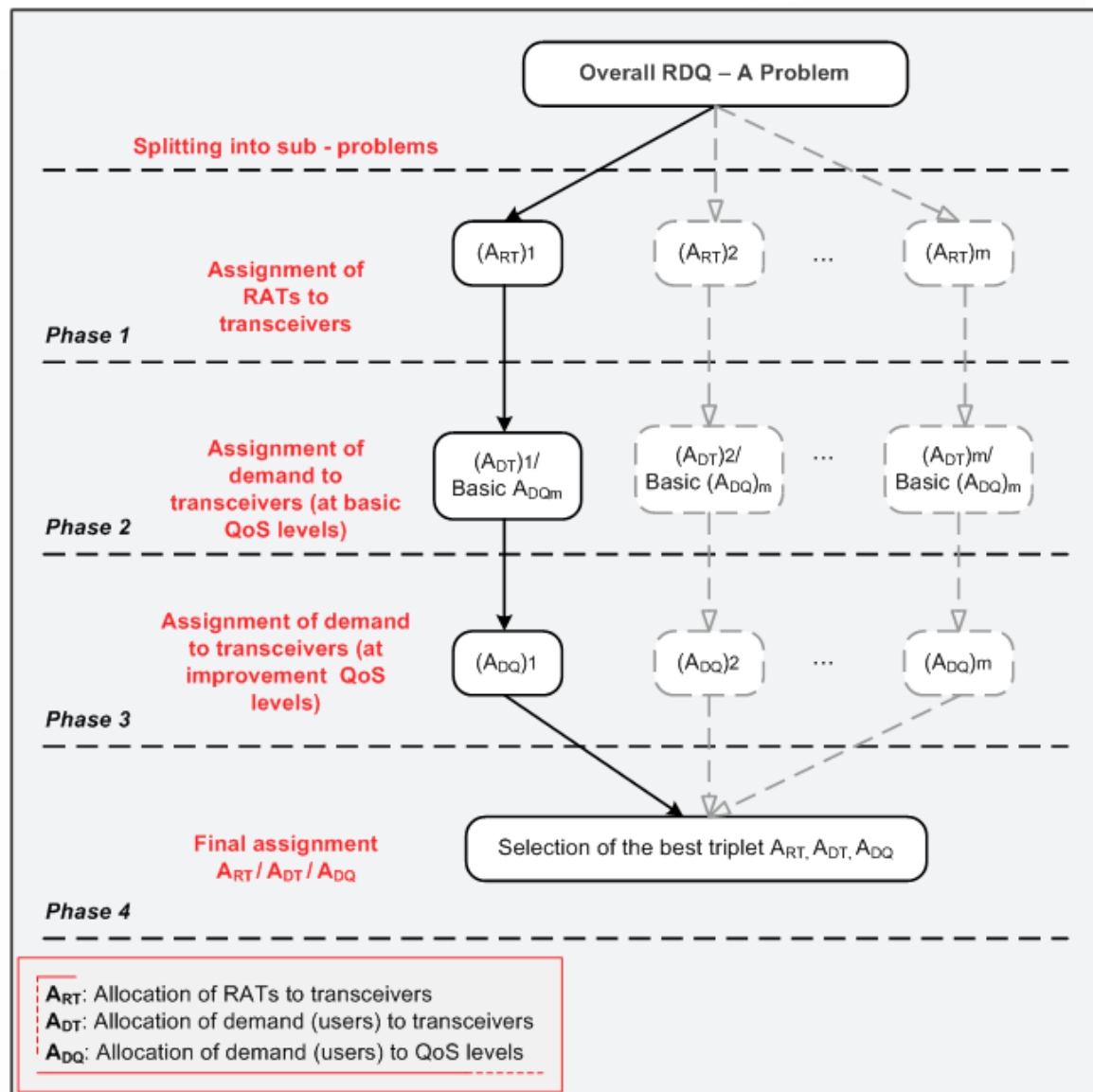
Το αντικειμενικό αποτέλεσμα του RDQ-A προβλήματος, είναι να καθοριστούν οι νέες διαμορφώσεις, δηλ. νέες RATs κατανομές στους πομποδέκτες, απαιτήσεις ανά πομποδέκτη / RATs και εφαρμογές στα επίπεδα QoS. Οι τρεις κατανομές πρέπει να βελτιστοποιήσουν στην αντικειμενική λειτουργία που συνδέεται με τα προκύπτοντα επίπεδα QoS. Επιπλέον θα πρέπει να ισχύουν τα παρακάτω:

- Οι κατανομές πρέπει να είναι σύμφωνες με τους περιορισμούς που ισχύουν.
- Η απαίτηση στην περιοχή υπηρεσιών πρέπει να ικανοποιηθεί.

- ο Οι εφαρμογές πρέπει να ανατεθούν στα αποδεκτά επίπεδα QoS.
- ο Τα RATs πρέπει να οριστούν στους πομποδέκτες.
- ο Οι κατανομές RATs στους πομποδέκτες πρέπει να παρέχουν επαρκή επίπεδα ικανότητας και κάλυψης.

2.2.1.1.1 Μέθοδος Επίλυσης RDQ – A

Αρχικά, το γενικό RDQ-A πρόβλημα χωρίζεται σε διάφορα υπο-προβλήματα που πρέπει να λυθούν παράλληλα, ανάλογα με τον αντίστοιχο αριθμό διαθέσιμων πομποδεκτών και RATs. Σε κάθε ένα από τα ακόλουθα υπο-προβλήματα, οι πομποδέκτες ανατίθενται σε ένα συγκεκριμένο RAT. Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει την παράλληλη λύση των υπο-προβλημάτων. Κάθε υπο-πρόβλημα στοχεύει στη κατανομή της απαίτησης στους διαθέσιμους πομποδέκτες. Για αυτήν την διαδικασία, υποτίθεται ότι τα χαμηλότερα επίπεδα QoS ανατίθενται στις προφερόμενες υπηρεσίες. Στην τρίτη φάση, η οποία αποκαλείται φάση βελτίωσης, τα επίπεδα QoS που ανατίθενται αυξάνονται βαθμιαία με επιταχυνόμενο τρόπο. Τέλος, η τέταρτη φάση συνοψίζει τις τρεις προηγούμενες φάσεις και επιλέγει τον καλύτερο συνδυασμό κατανομών που μεγιστοποιεί μια αντικειμενική λειτουργία που συνδέεται με τη χρησιμότητα, όσον αφορά τα επίπεδα ποιότητας υπηρεσιών (QoS) που προκύπτουν. Οι φάσεις αυτές παρουσιάζονται συνοπτικά στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 5) [24].



Εικόνα 5: Βήματα Μεθόδου Επίλυσης RDQ-A

2.2.1.2 Δυναμική Κατανομή Φάσματος

Οι ανάγκες για φάσμα ποικίλλουν μέσα στο χρόνο και στο χώρο ακολουθώντας την εξέλιξη της κυκλοφορίας των δεδομένων δικτύου. Τα δίκτυα εμφανίζουν διαφορετικές ανάγκες για φάσμα μέσα στο ίδιο δίκτυο, για παράδειγμα, οι BSs έχουν διαφορετικά φορτία και απαιτούν ανομοιόμορφη κατανομή φάσματος. Εάν ένα ποσοστό του φάσματος μείνει αχρησιμοποίητο για ένα διάστημα, ένα RAT μπορεί να το αποδεσμεύσει, ώστε έπειτα να χρησιμοποιηθεί από ένα άλλο.

Ως εκ τούτου, η δυναμική κατανομή φάσματος (Dynamic Spectrum Allocation - DSA) [8] είναι ένα κύριο χαρακτηριστικό για την ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ των ετερογενών δικτύων προς μια αποδοτική χρήση των πόρων του φάσματος. Επιπλέον, η δυναμική κατανομή προσφέρει νέες οικονομικές ευκαιρίες εκμετάλλευσης του φάσματος μεταξύ των NOs, σύμφωνα βέβαια με τις απαιτούμενες ρυθμιστικές ενέργειες.

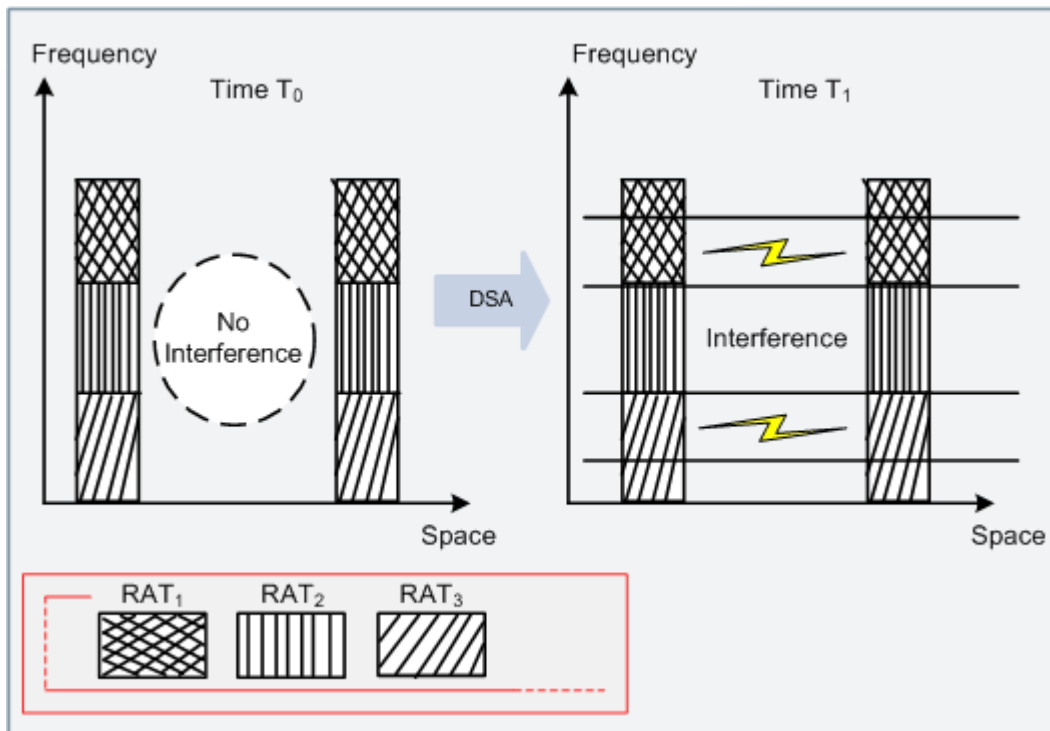
2.2.1.2.1 Τεχνική Προσέγγιση

Σε ένα αναδιαρθρώσιμο πλαίσιο, το ποσό φάσματος που απαιτείται από ένα RAT μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την τρέχουσα ανάγκη σε μια δεδομένη θέση. Αυτό σημαίνει, ότι εάν η ανάγκη του RAT μειωθεί, μπορεί να απελευθερωθεί κάποιο αχρησιμοποίητο φάσμα, και έτσι να δημιουργηθεί μια προσφορά φάσματος. Το απελευθερωμένο φάσμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλο RAT που ανήκει στον ίδιο ή σε άλλο NO. Αντίθετα, ένα RAT με αυξανόμενες ανάγκες, θα αυξήσει την απαίτηση φάσματος.

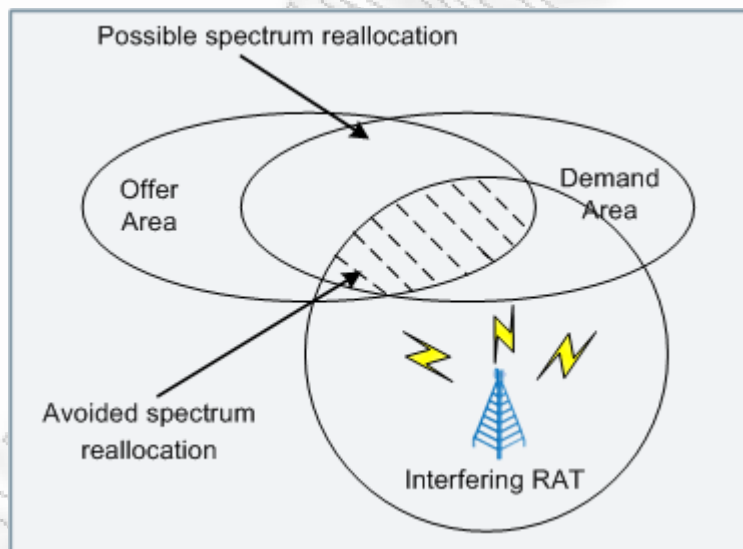
Η δυναμική κατανομή φάσματος θίγει το πρόβλημα της συμβατότητας μεταξύ των υποψήφιων RATs. Η επιβλαβής παρέμβαση πρέπει να αποφευχθεί κατά το δυναμικό διαμοιρασμό φάσματος. Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι που αποφεύγουν την παρέμβαση μεταξύ δύο RATs:

- Διαχωρισμός ζωνών συχνοτήτων: «Ζώνη Επιφύλαξης» μεταξύ των ζωνών λειτουργίας (Δf).
- Απόσταση διαχωρισμού μεταξύ των χρησιμοποιούμενων ζωνών για να αποφευχθεί η παρέμβαση μεταξύ καναλιών (Δd).
- Συνδυασμός των δύο παραπάνω.

Επιπλέον, η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί κάποιο ελεύθερο φάσμα εξαρτάται όχι μόνο από την προσφορά και τη ζήτηση, αλλά και από τα γειτονικά RATs που μπορεί να βρίσκονται έξω από την διαδικασία κατανομής. Στο παράδειγμα που παρουσιάζεται Εικόνα 6 και Εικόνα 7, υπάρχει μια περιοχή όπου ένα RAT προσφέρει κάποιο φάσμα, που ονομάζεται περιοχή προσφοράς (Offer area), και μια άλλη περιοχή όπου ένα άλλο RAT απαιτεί περισσότερο φάσμα και ονομάζεται περιοχή ζήτησης (Demand area). Σε αυτό το απλό παράδειγμα, η DSA λειτουργία περιορίζεται από την παρέμβαση ενός τρίτου RAT. Σε ένα πραγματικό ετερογενές σύστημα με διάφορα RATs, τα προβλήματα παρέμβασης είναι πιο περίπλοκα καθώς πρέπει να εξεταστούν διάφορα δίκτυα όπου οι ανάγκες τους για φάσμα ποικίλλουν [10].



Εικόνα 6: Χωρικό DSA



Εικόνα 7: Χρονικό DSA

2.2.1.3 Demand Allocation into Multiple Carriers - DAMC

Ένα μέρος της προσαρμογής πραγματοποιείται στους αναδιαρθρώσιμους πομποδέκτες των BSs και περιλαμβάνει τη δυναμική αλλαγή παραμέτρων. Η αλλαγή αυτή αφορά το καθορισμό RAT, συχνότητα φέροντος και κατανομή απαίτησης στους πομποδέκτες. Το DAMC (Demand Allocation Multiple Carrier) πρόβλημα σχετίζεται με την τελευταία αλλαγή και αφορά τη βέλτιστη κατανομή απαίτησης στις 3G συχνότητες φέροντος.

Είναι βέβαιο, πώς υπάρχει ένα σύνολο από δυνατές αναδιαρθρώσιμες ενέργειες που μπορούν να λάβουν χώρα σε ένα προσαρμοστικό δίκτυο. Συνεπώς, θεωρείται επιτακτική η ανάγκη καθιέρωσης καινοτόμων μηχανισμών διαχείρισης για τις διάφορες αποφάσεις αναδιάρθρωσης που διατίθενται ανά πομποδέκτη. Τέτοιοι μηχανισμοί πρέπει να αξιολογήσουν την απόδοση κάθε πιθανής αναδιάρθρωσης (νέα σύνολα RAT Frequency Demand - RFD ανά πομποδέκτη) επακριβώς και αποτελεσματικά, ώστε να μπορέσει το δίκτυο να αποφασίσει για την ποιότητα της διαμόρφωσης [11].

Ως αποτέλεσμα προκύπτει το πρόβλημα που αποκαλείται Demand Allocation σε Multiple Carrier - DAMC και ορίζεται ως βέλτιστη κατανομή του φορτίου (ισοκατανομή) στους διαθέσιμους πόρους (transceivers). Η εύρεση της βέλτιστης κατανομής προϋποθέτει ότι είναι γνωστά τα παρακάτω:

- i. Ο αριθμός πομποδεκτών των BS που έχουν ρυθμιστεί να λειτουργούν σε RAT 3G.
- ii. Οι διαθέσιμες συχνότητες φέροντος που λειτουργούν σε 3G.
- iii. Η απαίτηση για εξυπηρέτηση (Ζήτηση).

3. Γνωστικά Δίκτυα - CNs

3.1 Ιστορική Αναδρομή

Τα τελευταία χρόνια, οι λέξεις "γνωστικά" και "έξυπνα" είναι ευρέως χρησιμοποιούμενοι τεχνολογικοί όροι, που εφαρμόζονται σε πολλά και διαφορετικά συστήματα δικτύωσης και επικοινωνιών. Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, γίνεται αναφορά στους όρους γνωστικά radio (cognitive radio) [16], έξυπνα radio (smart radios) [13], έξυπνες κεραιές (smart antennas) [12], γνωστικά πακέτα (cognitive packets), έξυπνα πακέτα (smart packets) και γνωστικά δίκτυα χωρίς όμως να υπάρχει ένας κοινός αποδεκτός ορισμός αυτών των όρων όταν εφαρμόζονται αποκλειστικά στις τεχνολογίες δικτύωσης. Το κοινό τους σημείο, είναι ο υπαινιγμός ότι η τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να αυτό – τροποποιείται (self modifying) [21].

Η αναφορά στα CNs έχει γίνει και σε προηγούμενες μελέτες. Ο Mitola στην έρευνα του αναφέρει συνοπτικά, πως το Cognitive Radio (CR) θα μπορούσε να αλληλεπιδράσει στο σύστημα ενός CN [1]. Ο Saracco αναφέρεται στα CNs, στην έρευνά του σχετικά με το μέλλον της τεχνολογίας πληροφοριών [17]. Υποστηρίζει πως τα δίκτυα πρέπει να εμβαθύνουν στις ανάγκες του χρήστη και όχι στους πόρους που καταναλώνουν. Ο Mähönen αναφέρεται στα CNs από τη σκοπιά των μελλοντικών κινητών IP δικτύων, και υποστηρίζει ότι το περιβάλλον ευαισθησίας αυτών των δικτύων θα μπορούσε να βρει ενδιαφέρουσα εφαρμογή στον τομέα των CRs [1]. Κανένα από αυτά τα έγγραφα, εντούτοις, δεν εκφράζει ακριβώς τι είναι ένα CN και πώς πρέπει να λειτουργεί.

3.2 Ανάγκη για CNs

Τα CNs αποτελούν ένα πρόσφορο πεδίο έρευνας. Είναι μια ανερχόμενη έννοια στο χώρο των δικτύων που αποσκοπεί στη δημιουργία αυτόνομων αναδιαρθρώσιμων ασύρματων συστημάτων. Η επιτακτική ανάγκη για τη χρήση αυτών των δικτύων γίνεται κατανοητή με τη μελέτη της τρέχουσας τεχνολογίας.

Η αναγκαιότητα των CNs αναδεικνύεται μέσα από τρία σημαντικά προβλήματα [1]:

- Την πολυπλοκότητα.
- Την ασύρματη δικτύωση.
- Την ποιότητα υπηρεσιών (Quality Of Service - QoS).

3.2.1 Πολυπλοκότητα

Ένα από τα βασικά προβλήματα που προσπαθούν να επιλύσουν τα CNs, είναι το θέμα της πολυπλοκότητας που συναντάται στα μέχρι τώρα συστήματα δικτύων. Η πολυπλοκότητα αποτελεί ένα δύσκολο τομέα της διεπιστημονικής έρευνας, και εκτείνεται σε διαφορετικούς και

ανόμοιους τομείς. Ειδικότερα για τα δίκτυα, αναφέρουμε ως πολυπλοκότητα τον αριθμό των κόμβων και των εναλλακτικών μονοπατιών που υπάρχουν σε ένα δίκτυο υπολογιστών, καθώς και την ποικιλία των μέσων επικοινωνίας, των εργαλείων επικοινωνίας, των πρωτοκόλλων, του υλικού και του λογισμικού που βρίσκονται σε ένα δίκτυο.

Η έρευνα, όσον αφορά την πολυπλοκότητα, οφείλεται στην αποτυχία των παραδοσιακών προσεγγίσεων της επιστήμης να εξηγήσει τις συμπεριφορές των μεγάλων, διαφορετικών διασυνδεδεμένων συστημάτων [1]. Η πολυπλοκότητα εμφανίζεται κυρίως σε συστήματα που αποτελούνται από μικρότερα αλληλεπιδρώντα στοιχεία, όπου κάθε ένα, ξεχωριστά, εμφανίζει απλούστερη συμπεριφορά σε σχέση με αυτήν του συστήματος στο σύνολο του. Παραδείγματα συστημάτων με μεγάλο βαθμό πολυπλοκότητας, αποτελούν οι οικονομικές αγορές, οι βιολογικοί πληθυσμοί, και τα κοινωνικά δίκτυα. Τα συστήματα αυτά περιγράφονται ως βιολογικά, πληροφοριακά, κοινωνικά, και τεχνικά συστήματα (Biological, Information, Social & Technical - BIST) [2].

Μια πλήρης περιγραφή της πολυπλοκότητας, ανακύπτει από τα χαρακτηριστικά των σύνθετων συστημάτων. Το μέγεθος του συστήματος παρατίθεται ως το πιο διακεκριμένο χαρακτηριστικό γνώρισμα [1]. Τα συστήματα που βασίζονται στις αλληλεπιδράσεις, (σε αντίθεση με τα αυτά που βασίζονται στους αλγόριθμους) αποτελούν ένα επιπρόσθετο χαρακτηριστικό πολυπλοκότητας. Ο παραπάνω ισχυρισμός αιτιολογείται από το γεγονός ότι τα συστήματα που βασίζονται στους αλγόριθμους δεν λαμβάνουν υπόψη τους το χρόνο ή τα συμβάντα αλληλεπίδρασης που προκύπτουν κατά την διάρκεια ενός υπολογισμού [1]. Αναμφίβολα λοιπόν, η ιδέα της αλληλεπίδρασης είναι μια κρίσιμη πτυχή για τη διάκριση ενός σύνθετου συστήματος.

Πέρα από τη χρήση του όρου σύνθετα, η πολυπλοκότητα ενός συστήματος διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: disorganized και organized. Η disorganized πολυπλοκότητα εμφανίζεται στα συστήματα που αποτελούνται από πολλά μέρη, ενώ η organized εντοπίζεται σε συστήματα που απαρτίζονται από λιγότερα. Παραδείγματα συστημάτων με disorganized πολυπλοκότητα αποτελούν οι ανθρώπινες οικονομίες, το κλίμα, οι τηλεπικοινωνιακές υποδομές κ.α., ενώ στην organized πολυπλοκότητα συγκαταλέγεται η μοντελοποίηση και η προσομοίωση ενός συστήματος υπολογιστών.

Δυστυχώς, η πολυπλοκότητα δεν είναι σωστά καθορισμένη όσον αφορά τους ποσοτικούς όρους. Έχουν υπάρξει ποικίλες προσπάθειες για τον υπολογισμό της πολυπλοκότητας σε συγκεκριμένα προβλήματα όπως: η υπολογιστική, η αλγοριθμική και η θερμοδυναμική πολυπλοκότητα (εντροπία). Μερικές γενικευμένες ποσοτικές πτυχές της πολυπλοκότητας έχουν ερευνηθεί, οι περισσότερες όμως μελέτες επικεντρώνονται γύρω από τις ποιοτικές πτυχές της.

Ενώ η πολυπλοκότητα παρατηρείται σε πολλά διαφορετικά συστήματα, αποτελεί αναμφισβήτητο ζήτημα της τεχνολογίας δικτύωσης. Η πραγματική συμπεριφορά ενός δικτύου είναι αρκετά πολύπλοκη, που σημαίνει ότι απαιτείται προσομοίωση και άμεση παρατήρηση για

να καθοριστεί η συμπεριφορά του συστήματος. Για παράδειγμα, αλληλεπιδράσεις μεταξύ του πρωτοκόλλου δρομολόγησης στο στρώμα δικτύου και στο στρώμα ελέγχου πρόσβασης (Medium Access Control MAC) απαιτούν στατιστική ανάλυση σε βάθος και έναν αριθμό απλουστευμένων υποθέσεων [1].

Τα είδη των αλληλεπιδράσεων που συναντώνται στα σύνθετα συστήματα, είναι οι self-organization και emergent συμπεριφορές. Self-organization συμπεριφορά προκύπτει όταν τα στοιχεία είναι σε θέση να δημιουργήσουν μια συγκεκριμένη δομή και λειτουργία [1]. Η emergent συμπεριφορά, απ' την άλλη πλευρά, είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την πιο σύνθετη κατάσταση που προκύπτει μέσα στο σύστημα (σε σχέση με τη συμπεριφορά των επιμέρους συστατικών που το απαρτίζουν). Έρευνες έχουν καταλήξει στο ότι οι δύο αυτές συμπεριφορές δεν είναι ίδιες [1]. Η βασική διαφορά είναι η κλίμακα στην οποία εμφανίζονται.

Σε γενικές γραμμές, τα δίκτυα παρουσιάζουν πολλά χαρακτηριστικά πολυπλοκότητας – μεγάλος αριθμός διασυνδεδεμένων, αλληλεπιδρώντων στοιχείων Emergent και self-organization συμπεριφορών. Εντούτοις, πολλοί στόχοι όταν βρίσκονται αντιμέτωποι με την πολυπλοκότητα διευθετούνται μέσω της χρήσης της ανθρώπινης νοημοσύνης, παρά άμεσα μέσω του ίδιου του δικτύου. Η κατανόηση της κατάστασης ενός συστήματος απαιτεί παραδοσιακά την ανθρώπινη ανάλυση. Ιδιαίτερα για τις ασύρματες συσκευές, η αλληλεπίδραση του χρήστη απαιτείται συχνά για να καθορίσει τις βέλτιστες λειτουργικές παραμέτρους. Λόγω της κατανομημένης φύσης τους, τα δίκτυα ασύρματων συσκευών πρέπει να προσαρμόζονται στα σύνθετα περιβάλλοντα με την ελάχιστη αλληλεπίδραση χρηστών. Τα CNs μέσω της εμπειρίας, προσφέρουν αυτήν την ικανότητα για αυτόνομη προσαρμογή και βελτιστοποίηση.

3.2.2 Ασύρματα Δίκτυα

Σε αντίθεση με τα ενσύρματα δίκτυα, στα οποία τα δεδομένα μεταβιβάζονται μεταξύ των κόμβων με ξεχωριστά καλώδια (απομονωμένα από τις αλληλεπιδράσεις), όλα τα ασύρματα συστήματα μοιράζονται ένα κοινό μέσο (π.χ. ηλεκτρομαγνητικά κύματα της ατμόσφαιρας) για να μεταδώσουν το σήμα τους. Τα σήματα που στέλνει κάθε συσκευή μπορεί να συγκρουστούν με οποιοδήποτε άλλο κατά τη σειρά μετάδοσής τους. Συμπερασματικά, υπάρχει ένα μοναδικό φυσικό μέσο, αντίθετα με τα πολλά που μπορούν να υπάρξουν σε ένα ενσύρματο δίκτυο, που αυξάνει τον αριθμό των πιθανών σφαλμάτων μετάδοσης.

Η τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης έχει αποτελέσει ένα σπουδαίο κίνητρο ερευνητικής δραστηριότητας και ανάπτυξης την τελευταία δεκαετία. Με την εμφάνιση προτύπων της οικογένειας IEEE 802.1.x, και το σύστημα κινητών επικοινωνιών - Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), τα ασύρματα δίκτυα υψηλών ταχυτήτων αποτελούν συστήματα πραγματικού κόσμου. Παρόλα αυτά, η επόμενη γενιά ασύρματων τεχνολογιών υπόσχεται επίπεδα πολυπλοκότητας μεγαλύτερα από αυτά της τρέχουσας [18].

Τα ασύρματα ad hoc δίκτυα (με άμεση επικοινωνία των κόμβων χωρίς παρεμβολή ενδιάμεσων π.χ. router ή hub), αποτελούν ένα τομέα μεγάλου ενδιαφέροντος για τις μελλοντικές στρατιωτικές και εμπορικές εφαρμογές. Η γενική ιδέα των ad hoc δικτύων είναι ότι χρησιμοποιούν τους κόμβους (δηλ. τα στοιχεία δικτύου που έχουν την ικανότητα να μεταδίδουν και να λαμβάνουν ραδιοσυχνότητα (RF)) ως πηγές, προορισμούς και δρομολογητές πληροφοριών. Επιπλέον, τα ad hoc δίκτυα είναι ιδιαίτερα δυναμικά, επιτρέποντας στους κόμβους να εισέρχονται και να εγκαταλείπουν το δίκτυο οποιαδήποτε στιγμή. Αυτό προϋποθέτει ότι είναι ικανά να οργανωθούν από μόνα τους (self-organization) για να χειριστούν τον τεράστιο αριθμό πιθανών αλληλεπιδράσεων.

Οι περισσότερες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν την μέθοδο της προσομοίωσης, ως την πιο κατάλληλη για τη μελέτη της απόδοσης του δικτύου. Αναμφισβήτητα ωστόσο, είναι δύσκολο να προβλεφθεί αν υποθέσεις που χρησιμοποιούνται σε μια προσομοίωση θα επηρεάσουν τις αλληλεπιδράσεις των στοιχείων δικτύου. Ακόμη και αποδεκτές υποθέσεις όπως το πώς κινούνται οι κόμβοι ή τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας πακέτων, μπορεί να περιέχουν απρομελέτητες συνέπειες [1]. Επιπρόσθετα, η προσομοίωση αποτελεί ένα φτωχό μέσο για τον έλεγχο του πρωτοκόλλου, καθώς οι προσομοιώσεις, τείνουν να μην καταπιάνονται με θέματα λειτουργίας των συστημάτων. Αυτοί οι περιορισμοί τονίζουν τις αδυναμίες προσομοίωσης στη χρησιμοποίηση της ως εργαλείο σχεδιασμού. Τα στοιχεία του δικτύου πρέπει να προσαρμόζονται στο περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν πραγματικά, παρά μέσα σε ένα αναμενόμενο περιβάλλον.

Το μειωμένο κόστος και η αυξανόμενη ισχύς μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, επιτρέπει ένα νέο είδος ραδιοεπικοινωνίας που πραγματοποιεί ψηφιακή παρά αναλογική επεξεργασία σήματος. Αυτή η ραδιοεπικοινωνία, είναι γνωστή ως Software Defined Radio (SDR). Ένα SDR είναι μια τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης που ρυθμίζεται μέσω λογισμικού (software) και διευκολύνει την εφαρμογή μερικών λειτουργικών ενοτήτων όπως είναι η διαμόρφωση / αποδιαμόρφωση, η παραγωγή σήματος, η κωδικοποίηση κ.α. Η τεχνολογία αυτή βοηθά στη δημιουργία αναδιαρθρώσιμων συστημάτων λογισμικού, που μπορούν να επιλέγουν δυναμικά τις παραμέτρους για κάθε μια από τις προαναφερθείσες λειτουργικές ενότητες. Ένα ασύρματο σύστημα που βασίζεται στην τεχνολογία SDR επεκτείνει τη χρησιμότητα του συστήματος για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που χρησιμοποιούν διαφορετικά πρωτόκολλα σύνδεση - στρώματος και τεχνικές διαμόρφωσης / αποδιαμόρφωσης [22]. Οι αρχικές εφαρμογές για το SDR ήταν εξ ολοκλήρου στρατιωτικής φύσεως αλλά ακόμα και σήμερα η έρευνα στο πεδίο αυτό καθοδηγείται από τις στρατιωτικές ανάγκες διαλειτουργικότητας. Ωστόσο, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρησιμοποίηση της τεχνολογίας SDR και στις εμπορικές εφαρμογές.

Η SDR ευελιξία συνδυάζει μεγάλο κόστος. Ενώ τεχνολογίες ασύρματων επικοινωνιών που καθορίζονται από το υλικό (hardware) έχουν ένα συγκεκριμένο αριθμό καταστάσεων στον οποίο μπορούν να λειτουργούν, οι τεχνολογίες που καθορίζονται από το λογισμικό (software) έχουν έναν απεριόριστο αριθμό καταστάσεων. Αυτός ο απεριόριστος αριθμός επιτρέπει τη βελτιστοποίηση ασύρματων συνδέσεων για πολλούς διαφορετικούς στόχους. Ενώ παλιότερα

υπήρχε ένας δυνατός τρόπος λειτουργίας, τώρα υπάρχει ταυτόχρονη δυνατότητα για περισσότερους, με τα δυνατά και αδύναμα σημεία που καθένας παρουσιάζει. Για το λόγο αυτό, αναπτύχθηκε η ιδέα του Cognitive Radio (CR) για να διευθετήσει τον καθορισμό και την επίτευξη του καλύτερου τρόπου λειτουργίας σε ένα SDR δίκτυο [21]. Το CR ουσιαστικά, τοποθετείται επάνω από το SDR και είναι η «νοημοσύνη» που επιτρέπει σε ένα SDR να καθορίσει τους τρόπους λειτουργίας και τις παραμέτρους που πρέπει να χρησιμοποιήσει. Η γνώση χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την τεχνολογία που εφαρμόζεται σε ένα σύνθετο περιβάλλον, η οποία παρατηρεί, επιλέγει συμπεριφορές και λαμβάνει ανατροφοδοτήσεις μέσα από αυτό. Η γνώση βοηθά στο να καθοριστούν μελλοντικές συμπεριφορές σύμφωνα με δεδομένα από προηγούμενες και τρέχουσες ανατροφοδοτήσεις.

3.2.3 Ποιότητα Υπηρεσίας

Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές έρευνες για να καθοριστεί η ποιότητα υπηρεσίας (QoS) για μια αρχιτεκτονική για το Διαδίκτυο, κάτω από την απαίτηση να παρασχεθεί κάποιο είδος E2E (End - to - End) εγγυήσεων από το φορέα παροχής υπηρεσιών στους χρήστες. Το QoS εγγυάται ποιότητα στις προσφερόμενες υπηρεσίες του δικτύου και αφορά το εύρος ζώνης (Bandwidth) για να μεταδοθούν τα δεδομένα σε κάποια ζεύξη, την καθυστέρηση (ο χρόνος που χρειάζεται το πακέτο για να φθάσει από τον αποστολέα στο παραλήπτη), την απώλεια πακέτων (loss) που σημειώνεται είτε εξαιτίας της υπερχείλισης των θέσεων μνήμης στις ουρές αναμονής μετάδοσης των δρομολογητών, είτε λόγω αλλοίωσης από θόρυβο των φυσικών μέσων μετάδοσης κ.λπ. Η ποιότητα είναι ένας δύσκολος τομέας έρευνας επειδή οι περισσότερες αρχιτεκτονικές δικτύου δεν λειτουργούν με ένα E2E τρόπο που ελέγχει τις απαιτήσεις κάθε επίπεδο του. Ακόμη και αυτοί που σχεδιάστηκαν με μια E2E έννοια (όπως ο τρόπος ασύγχρονης μεταφοράς (ATM), ο οποίος χρησιμοποιεί ένα εικονικό - κύκλωμα) δεν παρουσιάζουν κανέναν E2E έλεγχο στα δύο κατώτερα επίπεδα της στοίβας δικτύου. Τα Service Layer Agreements (SLAs) [1], Service Overlay Networks (SONs), και resource reservations (επιφυλάξεις πόρων) [1] εμφανίζουν πρόοδο στην επίλυση αυτών των προβλημάτων για τα ενσύρματα δίκτυα. Επιπλέον, γλώσσες QoS έχουν αναπτυχθεί για να μεταφράσουν τις απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσιών (QoS) σε ενέργειες για το επικείμενο υλικό και το λογισμικό [19].

Στα ασύρματα δίκτυα, εντούτοις, τα πράγματα είναι πιο δύσκολα. Ειδικότερα, η ποιότητα υπηρεσιών (QoS) σε ένα ασύρματο δίκτυο είναι ένα δύσκολο πρόβλημα λόγω της δυναμικής και απρόβλεπτης φύσης του. Το μέγεθος του δικτύου αποτελεί ένα περιοριστικό παράγοντα αφού τα μεγάλα ασύρματα δίκτυα απαιτούν μεγάλα υπολογιστικά και επικοινωνιακά ποσά για να διαδώσουν τις αναβαθμίσεις του δικτύου. Λόγω των προβλημάτων αυτών, συνηθίζεται ο όρος soft QoS για να εκφράσει την ιδέα της ποιότητας υπηρεσιών σε ένα δίκτυο QoS. Η έννοια soft QoS υποδεικνύει τη δυσκολία που έχουν οι ερευνητές στην επίλυση E2E προβλημάτων σε δυναμικά και σύνθετα περιβάλλοντα.

Τα ζητήματα που ανωτέρω, παρακινούν την ανάπτυξη των CNs. Η πολυπλοκότητα που αποτελεί το χαρακτηριστικό πολλών μεγάλων, αλληλεπιδρώντων συστημάτων και η ασύρματη

δικτύωση, που εμφανίζει πολλά από τα χαρακτηριστικά της πολυπλοκότητας, ενισχύουν την ιδέα δημιουργίας ενός CN για να διευθετήσει τις E2E απαιτήσεις των χρηστών. Η ιδέα της E2E απόδοσης βρίσκει τις ρίζες της στη μελέτη της ποιότητας υπηρεσιών (QoS), ωστόσο οι E2E στόχοι των CNs ξεπερνούν κατά πολύ αυτούς που συνδέονται με την ποιότητα υπηρεσίας.

3.3 Καθορισμός Γνωστικών Δικτύων

Το CN είναι ένα δίκτυο που αποτελείται από μια γνωστική διαδικασία (Cognitive Process - CP) που μπορεί να αντιληφθεί τις τρέχουσες συνθήκες του δικτύου, και έπειτα να σχεδιάσει, να αποφασίσει, και να ενεργήσει σύμφωνα με αυτές. Το δίκτυο μπορεί να μάθει από τις προσαρμογές στις συνθήκες του περιβάλλοντος και να τις χρησιμοποιήσει για να πάρει μελλοντικές αποφάσεις, λαμβάνοντας υπόψη τους E2E στόχους.

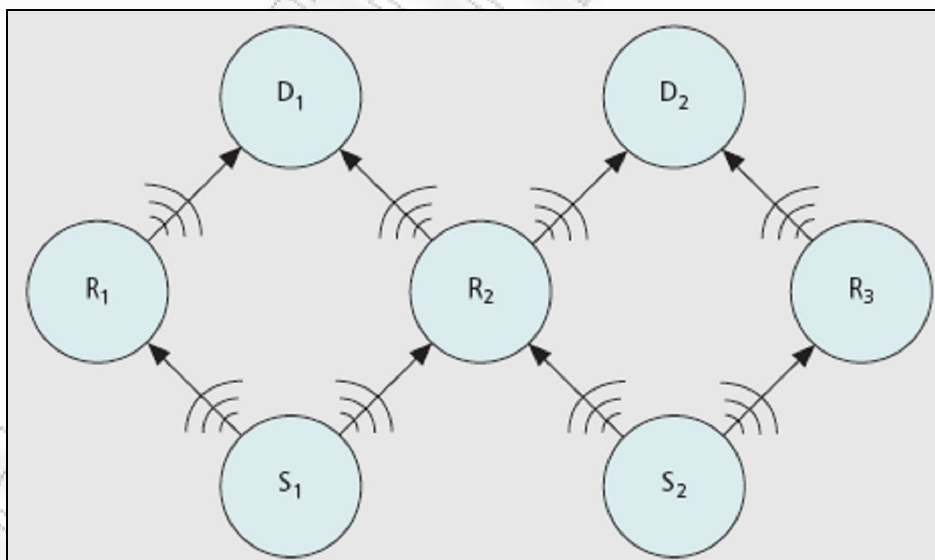
Ο ορισμός αυτός, περικλείει κοινά σημεία, με αυτόν που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το CR, και σε γενικές γραμμές παρουσιάζει ομοιότητες με τα μοντέλα γνώσης και εκμάθησης. Το δίκτυο και οι E2E πτυχές που καθορίζουν τα CNs, αποτελούν σημεία που τα διαφοροποιούν από τις άλλες γνωστικές τεχνολογίες επικοινωνιών [21]. Χωρίς αυτά τα στοιχεία, το σύστημα πιθανόν να χαρακτηριζόταν ως ένα CR και όχι ως ένα CN. Στα CNs, οι E2E πτυχές δηλώνουν όλα τα στοιχεία του δικτύου που περιλαμβάνονται στη μετάδοση μιας ροής δεδομένων (data flow). Για παράδειγμα, σε μια unicast (μονοεκπομπή) μετάδοση, μπορεί να αναφέρονται υποδίκτυα, δρομολογητές, διακόπτες, εικονικές συνδέσεις, σχήματα κρυπτογράφησης, μέσα ή διεπαφές, κ.α.. Οι E2E στόχοι προσδίδουν στο CN τον αντικειμενικό σκοπό, που το διαχωρίζει από τις άλλες τεχνολογίες. [21].

3.3.1 Παράδειγμα Απλής Αναμετάδοσης Δικτύου

Για να γίνει κατανοητή η λειτουργία των CNs αλλά και η ανάγκη για E2E στόχους αναφέρεται το ακόλουθο παράδειγμα. Ας θεωρήσουμε μια ad hoc σύνοδο δεδομένων μεταξύ ενός κόμβου πηγής, s_1 , και ενός κόμβου προορισμού D_1 όπως φαίνεται στην Εικόνα 8. Ο κόμβος πηγής πρέπει να δρομολογήσει την κυκλοφορία (πακέτα δεδομένων) μέσω των ενδιάμεσων κόμβων R_1 και R_2 που λειτουργούν ως σταθμοί αναμετάδοσης. Ο κόμβος s_1 εκτελεί μια προσαρμογή συνδέσεων, επιλέγοντας τον κόμβο αναμετάδοσης βασιζόμενος στο σύνολο ελάχιστων διαδρομών κόμβων προς το D_1 και την πιθανότητα διακοπής της λειτουργίας συνδέσεων. Με βάση το απλό δίκτυο που παρουσιάζεται στην εικόνα, οι κόμβοι R_1 και R_2 βρίσκονται και οι δύο στο σύνολο με τις ελάχιστες διαδρομές προς το D_1 . Επομένως, ο κόμβος s_1 επιλέγει τη σύνδεση μετάδοσης, παρατηρώντας την πιθανότητα διακοπής της λειτουργίας στις συνδέσεις R_1 και R_2 και επιλέγει αυτή με την μικρότερη πιθανότητα. Από τη σκοπιά του στρώματος συνδέσεων στον κόμβο s_1 , η επιλογή αυτή σημαίνει ότι τα μεταδιδόμενα πακέτα έχουν υψηλότερη πιθανότητα να φθάσουν σωστά στον κόμβο αναμετάδοσης. Παρόλα αυτά, δεν εγγυάται τίποτα για την E2E απόδοση, δηλαδή τη συνολική πιθανότητα διακοπής λειτουργίας από τον s_1 στον D_1 [22].

Σε αντίθεση με την προσαρμογή συνδέσεων, το CN χρησιμοποιεί παρατηρήσεις από όλους τους κόμβους για να υπολογίσει την πιθανότητα από τον S1 στον D1 μέσω των R1 και R2. Αυτό δείχνει το όφελος από μια πιο σφαιρική άποψη, και αναδεικνύει το βασικό πλεονέκτημα των CNs, που είναι η ικανότητα εκμάθησης. Ας θεωρηθεί, ότι ο μηχανισμός εκμάθησης μετρά το throughput (το μέσο ρυθμό επιτυχούς μετάδοσης των πακέτων δεδομένων μέσα στο κανάλι επικοινωνίας) από την πηγή στον προορισμό προκειμένου να κριθεί η αποτελεσματικότητα από προηγούμενες αποφάσεις και ότι κόμβοι S1 και S2 δρομολογούν την κυκλοφορία τους μέσω του R2 επειδή αυτό ικανοποιεί την ελάχιστη πιθανότητα διακοπής της λειτουργίας.

Ας θεωρηθεί ότι ο R2 εμφανίζει συμφόρηση λόγω μεγάλου όγκου κίνησης από τον S2. Αυτό γίνεται γνωστό στην γνωστική διαδικασία (Cognitive Process – CP) από την απόδοση (throughput – επιτυχή παράδοση δεδομένων σε ένα κανάλι επικοινωνίας) που αναφέρεται από τα S1 και S2. Ο μηχανισμός εκμάθησης αναγνωρίζει ότι η προηγούμενη λύση δεν είναι πλέον βέλτιστη και καθοδηγεί τη CP προς μια άλλη λύση. Το CN δεν γνωρίζει με ακρίβεια ότι έχει εμφανιστεί πρόβλημα συμφόρησης στον κόμβο R2 επειδή δεν έχει συμπεριληφθεί στις παρατηρήσεις. Παρόλα αυτά, είναι δυνατό λόγω της μειωμένης απόδοσης να καταλήξει στο ότι κάποιο πρόβλημα έχει προκύψει. Μετά από αυτή τη διαπίστωση είναι δυνατή η απόκριση στη συμφόρηση με πιθανή δρομολόγηση της κίνησης μέσω του R1 ή / και του R3. Το παράδειγμα αυτό παρουσιάζει τη δυνατότητα του CN να βελτιώσει την E2E απόδοση, και να αντιδράσει σε απροσδόκητες καταστάσεις. Τα CNs είναι επομένως κάτι περισσότερο από μια καθαρά αλγοριθμική προσέγγιση του επικείμενου πρωτοκόλλου δρομολόγησης και βρίσκει αποδοτικούς τρόπους λειτουργίας ακόμα και όταν αναπάντεχα γεγονότα προκύπτουν.



Εικόνα 8: Απλή αναμετάδοση δικτύου

3.3.2 Αρχιτεκτονική Συστήματος

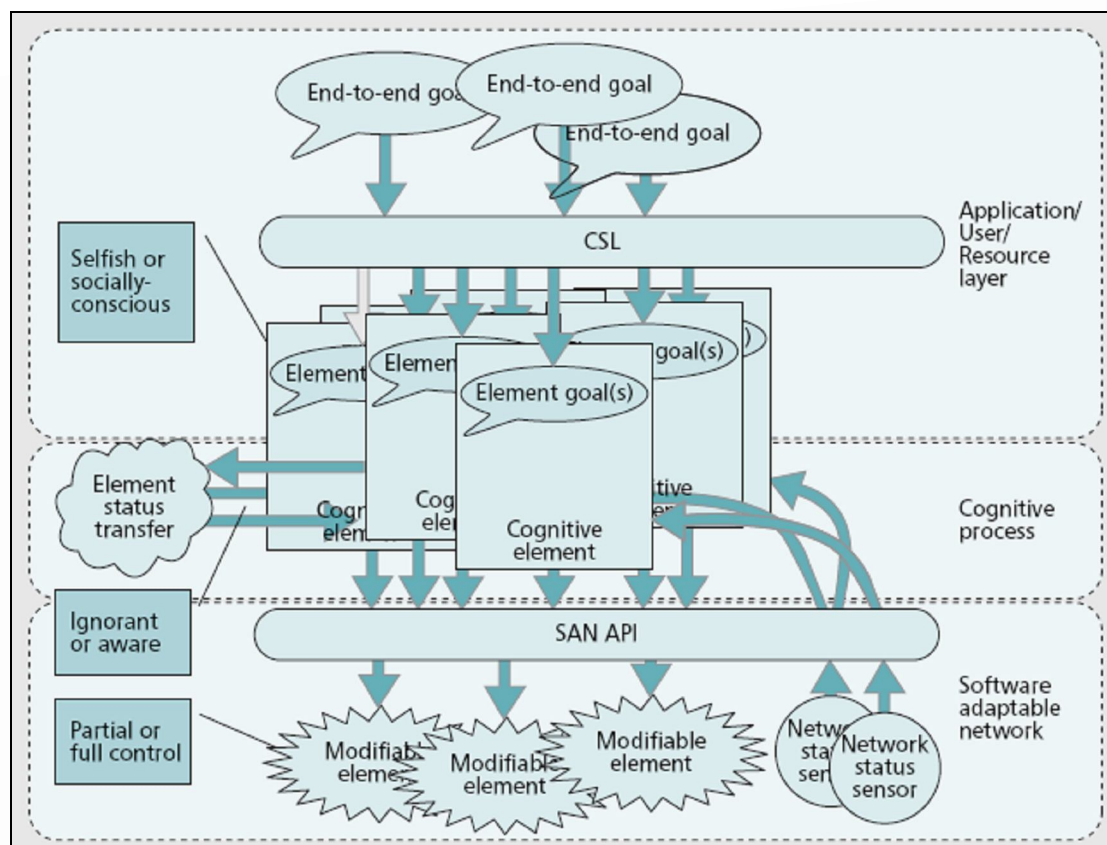
Αυτή η ενότητα, παρουσιάζει την αρχιτεκτονική ενός CN. Η δημιουργία ενός πλαισίου καθορισμένου γύρω από ένα πρόβλημα ενέχει πολλούς περιορισμούς τόσο για τις εφαρμογές

όσο για την υλοποίηση του [1]. Επιτυχή πλαίσια επικοινωνιών, όπως το Open Systems Interconnection (OSI), έχουν επωφεληθεί από τη γενικότητα επιτρέποντας μια σειρά εφαρμογών (π.χ. φωνή, κείμενο, δεδομένα, βίντεο) και υλοποιήσεων (π.χ. TCP ή UDP, ή ασύρματο ή ενσύρματο, ή IP ή ATM). Κατά το σχεδιασμό του πλαισίου του CN, εφαρμόζονται οι ίδιες αρχές για να επιτρέψουν το σχεδιασμό μιας λύσης που επιλύει ένα συγκεκριμένο πρόβλημα ενώ παράλληλα μένει στα όρια του πλαισίου [1].

Ο σχεδιασμός βασίζεται στο τριών επιπέδων (3-tier) cognition πρότυπο. Αυτό το πρότυπο αρχικά προτάθηκε από τον David Marr [22] στην εργασία του computer vision και έπειτα υιοθετήθηκε από την επιστημονική κοινότητα. Περιγράφει τη γενική λειτουργία που απαιτείται από μια γνωστική οντότητα. Μέχρι τώρα δεν υπάρχει κανένας σαφής αποδεκτός ορισμός για τη σημασία του όρου cognition όταν εφαρμόζεται στην τεχνολογία επικοινωνιών. Προηγούμενοι ορισμοί ενσωματώνουν ένα φάσμα από γνωστικές συμπεριφορές και αποφάσεις βασισμένες σε στόχους και δυναμικές προσαρμογές. Ο ορισμός του cognition είναι ευρύτερος από αυτόν που χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα από την επιστημονική κοινότητα [1].

Στη συγκεκριμένη μελέτη, η έννοια του cognition συσχετίζεται με την εκμάθηση μέσω μηχανής, η οποία καθορίζεται με μεγάλη επιτυχία από τον Thathachar ως «ένας οποιοσδήποτε αλγόριθμος που βελτιώνει την απόδοσή του μέσω της εμπειρίας που αποκτάται πάνω από ένα χρονικό διάστημα χωρίς πλήρης πληροφορίες για το περιβάλλον στο οποίο λειτουργεί» [1]. Το cognition πρότυπο αποτελείται από το συμπεριφοριστικό στρώμα (behavioral layer) που καθορίζει τις ενέργειες παρακολούθησης του συστήματος, το στρώμα γνώσης (layer of cognition) που υπαγορεύει τις αποφάσεις των στοιχείων, το λειτουργικό στρώμα (Functional Layer) που καθορίζει πώς το σύστημα επεξεργάζεται την πληροφορία και το neuro-physical στρώμα, το οποίο μεταβιβάζει αυτές τις αποφάσεις στο περιβάλλον.

Στο CN πλαίσιο στο υψηλότερο στρώμα (Application user resource layer) βρίσκονται οι στόχοι των στοιχείων του δικτύου που καθορίζουν τη συμπεριφορά του συστήματος. Αυτοί οι στόχοι τροφοδοτούν τη CP, η οποία υπολογίζει τις ενέργειες που λαμβάνει το σύστημα. Το προσαρμοστικό δίκτυο λογισμικού (Software Adaptable Network - SAN) είναι ο φυσικός έλεγχος του συστήματος, και παρέχει το διάστημα στο οποίο η CP θα εκτελέσει τις απαραίτητες ενέργειες. Το πλαίσιο απεικονίζεται στην ακόλουθη Εικόνα 9.



Εικόνα 9: Cognitive Αρχιτεκτονική τριών Στρωμάτων

Στο συγκεκριμένο πλαίσιο, το CN εξετάζεται ως ένα σύνολο από κομμάτια, γνωστικά στοιχεία, που λειτουργούν είτε αυτόνομα είτε σε πλήρη συνεργασία. Ένα μοναδικό γνωστικό στοιχείο, μπορεί να κατανεμηθεί σε έναν ή περισσότερους κόμβους στο δίκτυο. Πολλαπλά στοιχεία μπορούν να κατανεμηθούν σε ένα υποσύνολο κόμβων στο δίκτυο, σε κάθε κόμβο του δικτύου ή διάφορα γνωστικά στοιχεία μπορούν να διανεμηθούν σε ένα μοναδικό κόμβο. Αυτή η ευελιξία στην αρχιτεκτονική της γνωστικής διαδικασίας προορίζεται να δώσει στο σχεδιαστή την ελευθερία να δημιουργηθεί η καλύτερη γνωστική διαδικασία και τα γνωστικά στοιχεία να λειτουργούν παρόμοια με ένα πράκτορα λογισμικού¹.

3.3.2.1 Application User Resource Layer

Το ανώτερο στρώμα του CN πλαισίου περιλαμβάνει τους E2E στόχους, τη γλώσσα γνωστικών προδιαγραφών (Cognitive Specification Language - CSL) και τους γνωστικούς στόχους των στοιχείων. Οι E2E στόχοι καθοδηγούν τη συμπεριφορά ολόκληρου του συστήματος και τίθενται σε πρώτο πλάνο από τους χρήστες δικτύου, τις εφαρμογές ή τους πόρους [1].

¹ Οι πράκτορες λογισμικού είναι έξυπνα προγράμματα τα οποία αναγνωρίζουν τις ανάγκες και τις προτιμήσεις των χρηστών τους με αποτέλεσμα να τους υποστηρίζουν στις καθημερινές τους εργασίες ή ακόμη και να δρουν εκ μέρους των χρηστών ως προσωπικοί εκπρόσωποι αυτών.

Οι E2E στόχοι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην έννοια του CN επειδή παρέχουν το πεδίο που ορίζει την συμπεριφορά του. Αυτό το πεδίο περιγράφει σαφώς, και αποτελεί την ειδοποιό διαφορά των CNs από τα CRs και τον cross layer σχεδιασμό. Οι στόχοι σε ένα CN βασίζονται στη E2E απόδοση του δικτύου, ενώ οι CR στόχοι βασίζονται στην τοπική απόδοση. Επιπλέον, οι CN στόχοι εξάγονται από τους χρήστες, τις εφαρμογές, και τους πόρους του δικτύου, ενώ οι CR από τους χρήστες, τις εφαρμογές και τους πόρους του radio. Αυτή η διαφορά στους στόχους από τοπικούς σε E2E, απαιτεί το CN να λειτουργεί σε όλα τα στρώματα της στοίβας πρωτοκόλλου [1].

Για να συνδεθούν οι στόχοι των χρηστών υψηλού επιπέδου του δικτύου με τη γνωστική διαδικασία πρέπει να αναπτυχθεί μια διεπαφή στρώματος. Σε ένα CN, το ρόλο αυτό κατέχει η γλώσσα γνωστικών προδιαγραφών (Cognitive Specification Language – CSL), που καθοδηγεί τη συμπεριφορά των CNs με το να μεταφράζει τους E2E στόχους σε τοπικούς στόχους στοιχείων. Αυτή η διαδικασία είναι παρόμοια με την Radio Knowledge Representation Language - RKRL (επιτρέπει στα radios να διαμοιράζονται πληροφορίες) που προτείνεται από τον Mitola για το CR ή και με άλλες γλώσσες προδιαγραφής ποιότητας υπηρεσιών [11].

Αντίθετα από την RKRL ή μια γλώσσα προδιαγραφών QoS, η CSL πρέπει να μπορεί να προσαρμόζεται στα στοιχεία δικτύου, στις εφαρμογές και στους στόχους δικτύου. Για αυτόν τον λόγο, ένα επεκτάσιμο σχήμα όπως η extensible γλώσσα σήμανσης (XML) μπορεί να είναι κατάλληλη. Άλλες απαιτήσεις μπορεί να περιλαμβάνουν υποστήριξη για κατανεμημένη ή κεντροποιημένη λειτουργία, συμπεριλαμβανομένου του διαμοιρασμού δεδομένων μεταξύ πολλαπλών στρωμάτων γνώσης. Η CSL μεταφράζει τις απαιτήσεις που παράγονται από τους χρήστες στα ανώτερα επίπεδα. Η αποτελεσματικότητα της κρίνεται από την ικανοποίηση των παρακάτω κριτηρίων [19].

- Εκφραστικότητα: Μια CSL πρέπει να είναι σε θέση να καθορίσει ένα εύρος E2E στόχων. Πρέπει να εκφράσει τους περιορισμούς, τους στόχους, τις προτεραιότητες και τις συμπεριφορές στα γνωστικά στοιχεία που αποτελούν τη διαδικασία. Επιπλέον πρέπει να είναι ικανή να εκφράσει τους νέους στόχους χωρίς να απαιτεί βελτιωμένες εκδόσεις στη γλώσσα.
- Ανεξαρτησία γνωστικής διαδικασίας: Η αρχιτεκτονική και η λειτουργία της γνωστικής διαδικασίας δεν πρέπει να υπαγορεύει την CSL. Η CSL πρέπει να υπεξαιρέσει ένα μεγάλο μέρος της γνωστικής διαδικασίας στην εφαρμογή, στο χρήστη ή στον πόρο. Αυτό επιτρέπει την χρησιμοποίηση ενός ελάχιστα τροποποιημένου στόχου σε διαφορετικές γνωστικές διαδικασίες με σκοπό την ενίσχυση της επαναχρησιμοποίησης.
- Ανεξαρτησία διεπαφών: Άσχετα με το αν η γνωστική διαδικασία είναι κατανεμημένη ή κεντροποιημένη ως προς τη λειτουργία, ο χρήστης πρέπει να παρουσιάζεται όσο το δυνατόν περισσότερο ως μια αφηρημένη διεπαφή. Όπως και στα προηγούμενα κριτήρια, αυτή η αφαιρετικότητα (abstraction) προάγει την ικανότητα επαναχρησιμοποίησης, επιτρέποντας τη χρησιμοποίηση των στόχων σε πολλές διαφορετικές γνωστικές διαδικασίες.

- ο Επεκτασιμότητα (Extensibility): Η CSL πρέπει να είναι επεκτάσιμη για να προσαρμόζεται στα νέα στοιχεία του δικτύου, στις εφαρμογές και στους στόχους, πολλοί από τους οποίους δεν είναι ευδιάκριτοι από την αρχή.

3.3.2.2 Γνωστική Διαδικασία

Ο κεντρικός μηχανισμός του CN είναι η γνωστική διαδικασία (Cognitive Process - CP). Είναι η διαδικασία που πραγματοποιεί την εκμάθηση και αποφασίζει για το ποια θα είναι η κατάλληλη απόκριση στη συμπεριφορά του δικτύου. Η λειτουργία της CP εξαρτάται από το αν εφαρμόζεται με κεντρικοποιημένο ή αποκεντρωμένο τρόπο και από το αν η είναι ενήμερη για την κατάσταση του δικτύου [21].

Ένα ξεχωριστό σημείο μιας CP είναι η δυνατότητα εκμάθησης και αιτιολόγησης. Η αιτιολόγηση θεωρείται η άμεση διαδικασία απόφασης, βάση της προηγούμενης και της τρέχουσας γνώσης από όπου επιλέγονται οι ενέργειες για το δίκτυο. Η εκμάθηση, από την άλλη πλευρά, είναι η μακροπρόθεσμη διαδικασία για τη συγκέντρωση της γνώσης από τα αποτελέσματα των προηγούμενων ενεργειών, ώστε να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα της μελλοντικής αιτιολόγησης [1].

Η διαδικασία αιτιολόγησης μπορεί να λάβει πολλές διαφορετικές μορφές, όπως καθαρές ή υβριδικές εκδόσεις των μοντέλων επίλυσης προβλημάτων. Ανεξάρτητα από το ποια μέθοδος αιτιολόγησης επιλέγεται, η διαδικασία πρέπει να είναι σε θέση να συγκλίνει σε μια λύση πιο γρήγορα από την αλλαγή κατάστασης του δικτύου. Πρέπει επίσης, να συγκλίνει σε νέες λύσεις όταν υπάρξει νέα μεταβολή στην κατάσταση του δικτύου. Το ζήτημα της σύγκλισης σε νέες λύσεις είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα περιβάλλοντα που αλλάζουν συχνά, όπως είναι τα κινητά ασύρματα δίκτυα. Η διαρκής ενημέρωση ενός δυναμικού περιβάλλοντος, είναι ένα δύσκολο πρόβλημα για να επιλυθεί από τις τεχνικές επίλυσης προβλήματος. Επιπλέον, μόλις η CP συγκλίνει σε μια λύση, οι τεχνικές επίλυσης προβλήματος πρέπει να ενημερωθούν για την αλλαγή του συστήματος, προκειμένου να καταλήξουν σε νέες λύσεις, σε πιθανή ανάκυψη νέου προβλήματος.

Η δυσκολία για προσαρμογή στην δυναμική συμπεριφορά του δικτύου, κάνει τις αρχιτεκτονικές που χρησιμοποιούν αυτόνομα στοιχεία να λειτουργούν ως λογικοί αυτόνομοι πράκτορες². Ένα κλασικό παράδειγμα ενός συστήματος που αποτελείται από αυτόνομους λογικούς πράκτορες με κοινωνικούς στόχους, είναι μια καπιταλιστική οικονομία δυτικού ύφους. Μια καπιταλιστική οικονομία αποτελείται από πολλούς μεγάλους αριθμούς από αυτόνομες οντότητες, που λειτουργούν με απώτερο σκοπό το συμφέρον τους. Με ένα μικρό (σε σχέση με το μέγεθος της οικονομίας) ποσό ελέγχου (υπό μορφή νομοθεσίας, πολιτικής

² Οι αυτόνομοι πράκτορες διατηρούν ένα επίπεδο ελέγχου στις πράξεις τους, ενώ είναι ικανοί να λαμβάνουν αποφάσεις εκ μέρους του χρήστη. Αυτή η κατηγορία πρακτόρων λογισμικού δείχνει ότι οι αυτόνομοι πράκτορες έχουν τη δυνατότητα μέσω των αποφάσεων που λαμβάνουν να πράττουν αναλόγως, ώστε να επιτευχθεί κάποιος εσωτερικός στόχος σύμφωνα με το αντιλαμβανόμενο περιβάλλον του πράκτορα.

χρημάτων, και κινήτρων), αυτές οι ανεξάρτητες ενέργειες μπορούν να αυξήσουν την οικονομία προς όφελος όλων των μελών της οικονομίας. Αντίθετα, σε χώρες όπως η βόρεια Κορέα, οι οποίες προσπαθούν να ελέγξουν άμεσα κάθε πτυχή της οικονομίας, έχουν συχνά να ανταγωνιστούν οικονομίες. Η προσπάθεια να ρυθμιστεί άμεσα μια ολόκληρη οικονομία είναι ένας δύσκολος στόχος.

Ακόμη και οι λογικοί πράκτορες με απλές συμπεριφορές χρειάζονται τη δυνατότητα να μάθουν από προγενέστερες ενέργειες προκειμένου να λάβουν καλύτερες μελλοντικές αποφάσεις. Η εκμάθηση χρησιμεύει στη συμπλήρωση του στόχου βελτιστοποίησης της CP με τη διατήρηση της αποτελεσματικότητας προηγούμενων αποφάσεων κάτω από ένα δοσμένο σύνολο συνθηκών. Ο καθορισμός της αποτελεσματικότητας προηγούμενων αποφάσεων, απαιτεί ένα βρόχο ανατροφοδότησης για να αξιολογήσει την επιτυχία της επιλεγμένης λύσης. Η λύση αυτή, διατηρείται στη μνήμη έτσι ώστε όταν παρόμοιες συνθήκες αντιμετωπισθούν στο μέλλον, η CP να γνωρίζει ποια μπορεί να χρησιμοποιήσει ή να αποφύγει για να αντιμετωπίσει την επικείμενη κατάσταση.

Οι αποφάσεις των cognitive στοιχείων, μπορούν να πραγματοποιηθούν είτε σύγχρονα είτε ασύγχρονα. Η πραγματοποίηση σύγχρονων αποφάσεων, για ένα μεγάλο αριθμό καταναμημένων στοιχείων με υψηλή αξιοπιστία, είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη. Οι συνέπειες της αλλαγής διαμόρφωσης των κόμβων, σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα, είναι χειρότερες από την απουσία προσαρμογών. Επίσης, η ποικιλία στην τοπολογία του δικτύου σημαίνει ότι δεν θα λάβουν όλοι οι κόμβοι (ή τουλάχιστον ταυτόχρονα) ειδοποίηση για την αλλαγή της διαμόρφωσης του δικτύου. Μια πιθανή προσέγγιση, για την επίλυση της άμεσης ενημέρωσης είναι ο συγχρονισμός των στοιχείων σε μια κοινή χρονική ένδειξη (συνεπάγεται ότι το SAN έχει έναν ελεύθερο μηχανισμό ελέγχου για να επικοινωνεί με μηνύματα συγχρονισμού). Μια άλλη προσέγγιση είναι η πραγματοποίηση γρήγορων προσαρμογών από τα στοιχεία δικτύου σε σχέση με το χρονικό διάστημα ανάμεσα στις προσαρμογές, ώστε να μειώσουν την πιθανότητα για ασύγχρονες λειτουργίες. Δυστυχώς, η τελευταία προσέγγιση μπορεί να καθυστερήσει τις ενέργειες δικτύου και να οδηγήσει σε καθυστέρηση προσαρμογών.

3.3.2.3 Προσαρμοστικό Λογισμικό Δικτύου

Το Προσαρμοστικό Λογισμικό Δικτύου (Software Adaptable Network - SAN) αποτελεί ένα ξεχωριστό ερευνητικό τομέα και είναι τα δίκτυα τα οποία έχουν ικανότητα αναδιάρθρωσης μέσω λογισμικού (software). Το SAN αποτελείται από το API – Application Programming Interface, τα τροποποιήσιμα στοιχεία δικτύου και τους αισθητήρες κατάστασης του δικτύου (Network Status Sensor). Η CP πρέπει να γνωρίζει τη διεπαφή API και τα στοιχεία δικτύου που ελέγχει.

API Δικτύου: Μια ευθύνη του API (και του SAN) είναι να ειδοποιεί τη CP για την κατάσταση του δικτύου. Η κατάσταση του δικτύου είναι η πηγή ανατροφοδότησης που χρησιμοποιείται από τη CP και αποτελείται από τις παρατηρήσεις και την επικοινωνία των αισθητήρων κατάστασης του δικτύου με τα άλλα γνωστικά στοιχεία. Οι παρατηρήσεις μπορούν να είναι

τοπικές (όπως bit error, η διάρκεια ζωής μπαταρίας ή ο ρυθμός δεδομένων) ή μη τοπικές (όπως E2E καθυστέρηση).

Πολλές τροποποιήσεις στη στοίβα δικτύου απαιτούν και τα δύο άκρα της σύνδεσης να είναι συγχρονισμένα και να λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο. Η επικοινωνία που απαιτείται για να συγχρονιστούν αυτές οι καταστάσεις είναι ευθύνη του SAN και μπορεί να επιτευχθεί είτε μέσα είτε έξω από το κανάλι. Και οι δύο μέθοδοι επικοινωνίας, αποτελούν ένα δύσκολο εμπόδιο που πρέπει να υπερνικηθεί. Εάν, για παράδειγμα, δύο γνωστικές διαδικασίες δικτύου αλλάξουν συχνότητες μετάδοσης ή σειρές byte στις επικεφαλίδες των πακέτων, η επικοινωνία ανάμεσα σε δύο κόμβους πιθανότητα να σταματήσει.

Τροποποιήσιμα στοιχεία δικτύου: Τα πραγματικά συστατικά του SAN είναι τα τροποποιήσιμα στοιχεία δικτύου. Αυτά περιλαμβάνουν οποιοδήποτε αντικείμενο ή στοιχείο που χρησιμοποιείται σε ένα δίκτυο. Τα τροποποιήσιμα στοιχεία δικτύου θεωρείται ότι περιέχουν ένα σύνολο από δυνατές καταστάσεις, μέσα στις οποίες μπορεί να λειτουργήσουν. Η λύση που παρέχει η CP στην λειτουργία του CN, αποτελείται από ένα σύνολο αυτών των καταστάσεων, που όταν πραγματοποιηθούν μαζί ικανοποιούν τις E2E απαιτήσεις του συστήματος.

Αισθητήρες κατάστασης δικτύου: Ενώ η CSL παρέχει E2E στόχους ως εισαγωγή στο στρώμα γνώσης, οι αισθητήρες κατάστασης δικτύου παρέχουν ανατροφοδότηση από το δίκτυο στο στρώμα γνώσης. Οι αισθητήρες κατάστασης δικτύου μπορούν μόνο να αναφέρουν τα δεδομένα σύνδεσης που το γνωστικό δίκτυο διαχειρίζεται ή μπορεί να διανέμουν αυτήν την πληροφορία σε ολόκληρο δίκτυο. Η κατάσταση που αυτοί οι αισθητήρες συλλέγουν, κοινοποιείται είτε σε κατανεμημένη είτε σε κεντρικοποιημένη μορφή [21].

3.4 Σχετικές Έννοιες

Η μελέτη των CN πολλές φορές περιλαμβάνει την αναφορά όρων που σχετίζονται ή συγκρίνονται με αυτά. Πιο συγκεκριμένα οι ερευνητικές περιοχές που εμφανίζουν ενδιαφέρον είναι τα Cognitive Radio (CR) και ο Cross Layer σχεδιασμός [1]. Τα CR υιοθετούν radio λειτουργίες (ικανότητα να αποκτούν, ταξινομούν, οργανώνουν και να διατηρούν πληροφορία) ενώ ο Cross Layer σχεδιασμός προσαρμόζεται στη στοίβα πρωτοκόλλου, ώστε να υπάρξει προσαρμοστικότητα και αποδοτική ποιότητα υπηρεσιών μέσω του διαμοιρασμού της πληροφορίας ανάμεσα στα στρώματα OSI. Και τα δύο χρησιμοποιούν επιπρόσθετη πληροφορία και έλεγχο, για να αποφασίσουν και να υιοθετήσουν καλύτερες συμπεριφορές απόδοσης από ό,τι προσπαθεί μέχρι τώρα η επικείμενη τεχνολογία.

3.4.1 Cognitive Radio

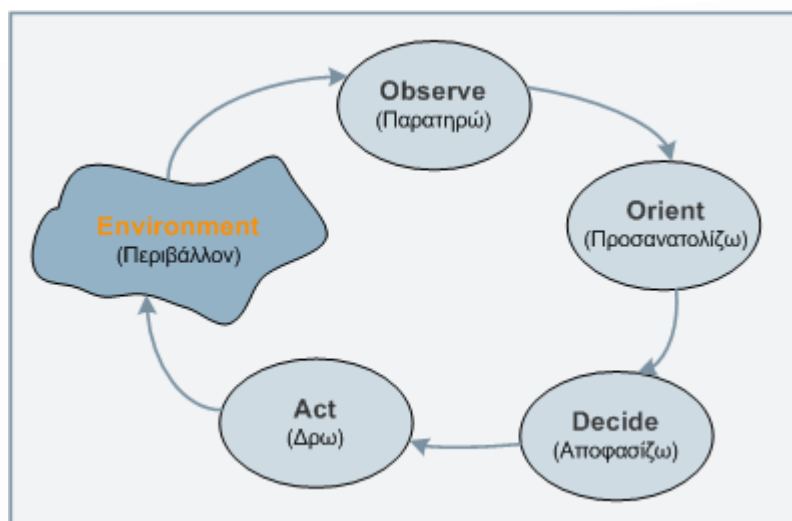
Τα CNs έχουν περιγραφεί από μερικούς ως δίκτυα των CRs [20]. Η περιγραφή αυτή είναι εύλογη καθώς ο συσχετισμός που χαρακτηρίζει την ονοματολογία υπονοεί από μόνος του

κάποιο βαθμό κοινοτυπίας. Η παρατήρηση αυτή, προέρχεται από το ρόλο που το CR είχε διαδραματίσει στην έμπνευση της διατύπωσης της έννοιας των CNs.

Τα CRs περιγράφηκαν αρχικά από το Mitola [20], η άποψη του οποίου βασίζεται πάνω στα θεμέλια του SDR και τα καθορίζει ως: "το σημείο στο οποίο τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN) και αλλά παρεμφερή δίκτυα είναι υπολογιστικά ευφυή στις radio πηγές ώστε να ανιχνεύουν τις επικοινωνιακές ανάγκες του χρήστη και να παρέχουν κατάλληλες ασύρματες υπηρεσίες και radio πηγές ώστε να ικανοποιήσουν τις ανάγκες αυτές." [42]. Ο Haykin [13] τα καθορίζει ως: "Ένα ευφυές ασύρματο σύστημα επικοινωνιών που είναι ενήμερο για το περιβάλλον (δηλ. τον εξωτερικό κόσμο) και χρησιμοποιεί τη μεθοδολογία κατανόησης για να μάθει από το περιβάλλον και να προσαρμόσει τις εσωτερικές καταστάσεις στις εξωτερικές αντιδράσεις πραγματοποιώντας αλλαγές σε συγκεκριμένες λειτουργικές παραμέτρους (π.χ., δύναμη μετάδοσης, συχνότητα φέροντος) στον πραγματικό χρόνο, έχοντας υπόψη δύο πρωταρχικούς στόχους: Υψηλή αξιοπιστία επικοινωνίας (οπουδήποτε και οποιαδήποτε χρειάζεται) και αποδοτική χρησιμοποίηση radio φάσματος.

Ένας πιο αποδοτικός ορισμός για την κατανόηση των CR είναι ο ακόλουθος. Το CR αποτελεί ένα παράδειγμα ασύρματης επικοινωνίας, κατά την οποία είτε το δίκτυο είτε ο ασύρματος κόμβος αλλάζει τις παραμέτρους λήψης – μετάδοσης για να επικοινωνεί αποδοτικά αποφεύγοντας την παρεμβολή με εξουσιοδοτημένους ή μη χρήστες. Αυτή η αλλαγή στις παραμέτρους βασίζεται στην παρακολούθηση των συνθηκών (φάσμα ραδιοσυχνότητας, συμπεριφορά χρηστών, κατάσταση δικτύου) του εξωτερικού και εσωτερικού radio περιβάλλοντος [43].

Η έννοια του cognition (ικανότητα για απόκτηση, αιτιολόγηση και διατήρηση πληροφορίας) όπως καθορίζεται από τον Mitola και όπως γίνεται αντιληπτή από την επιστημονική κοινότητα, δεν είναι ταυτόσημη με την έννοια της προσαρμογής (adaptive). Ένα κοινό νήμα μεταξύ αυτών των ορισμών, είναι ιδέα του βρόχου ανατροφοδότησης (Feedback Loop). Σκοπός της δημιουργίας του βρόχου ανατροφοδότησης, είναι το γεγονός ότι οι προηγούμενες αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον καθοδηγούν τις τρέχουσες και μελλοντικές αλληλεπιδράσεις [21]. Η Εικόνα 10, επεξηγεί ένα απλό παράδειγμα βρόχου ανατροφοδότησης που παρουσιάστηκε πρώτα από το συνταγματάρχη John Boyd. Ο βρόχος ανατροφοδότησης αποκαλείται OODA, από τα αρχικά των γραμμάτων που αντιπροσωπεύει, Observe (παρατηρώ), Orient (προσανατολίζω), Decide (αποφασίζω) και Act (ενεργώ). Το πρότυπο αυτό, αρχικά χρησιμοποιήθηκε για να βοηθήσει τους στρατιωτικούς ανώτερους υπαλλήλους να καταλάβουν τις επικείμενες ενέργειες των αντιπάλων τους. Ωστόσο, αυτός ο βρόχος έχει υιοθετηθεί από διάφορες εφαρμογές που δεν σχετίζονται με τα στρατιωτικά δρώμενα. Οι εφαρμογές αυτές ποικίλουν από διοίκηση και διαχείριση επιχειρήσεων, σε εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης. Ο βρόχος ανατροφοδότησης αποτελείται από τέσσερα συστατικά, τα οποία καθοδηγούν το χρήστη να λάβει την κατάλληλη απόφαση σύμφωνα με τα δεδομένα που εισήχθησαν από το περιβάλλον.



Εικόνα 10: Ο OODA Βρόχος

Παρόλα αυτά, υπάρχουν κάποια συστατικά που απουσιάζουν από τη δομή του βρόχου ανατροφοδότησης. Ένα από αυτά είναι το πρότυπο εκμάθησης, το οποίο θα αποτρέψει την επανάληψη λαθών στις μελλοντικές αποφάσεις [21]. Οι βρόχοι ανατροφοδότησης, όπως ο OODA, λειτουργούν επειδή αν και το περιβάλλον στο οποίο λαμβάνονται οι αποφάσεις είναι ιδιαίτερα σύνθετο, δεν είναι συνολικά τυχαίο. Μια δομή στο σύνθετο σύστημα μπορεί να μην είναι προφανής από την εξωτερική ανάλυση αλλά μπορεί να γίνει κατανοητή μέσα από μια προσπάθεια προσέγγισης που μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω των επαναληπτικών κύκλων ενός βρόχου ανατροφοδότησης [21].

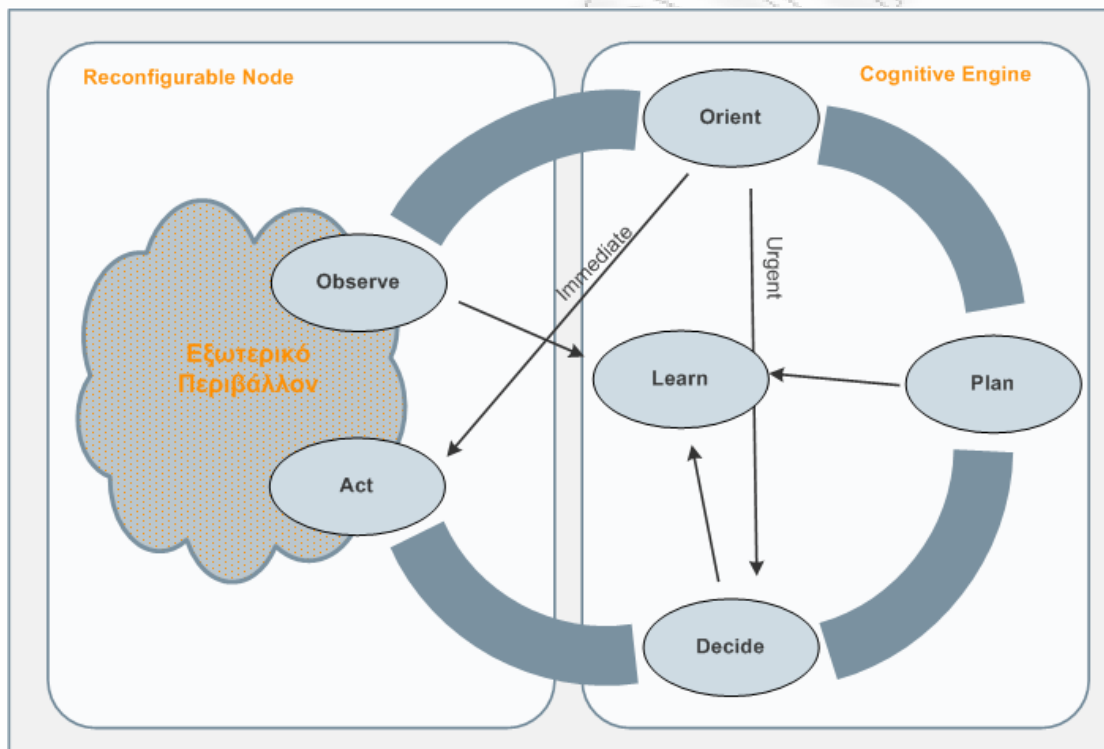
Τα σημερινά δίκτυα αποτελούνται από κόμβους μέσα στους οποίους η δυνατότητα για παρατήρηση, αιτιολογία και προσαρμοστικότητα είναι περιορισμένη στα ανεξάρτητα στοιχεία που αποτελούν τη δομή τους. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται ιδιαίτερα στα δίκτυα κόμβων, τα οποία υιοθετούν μια αρχιτεκτονική βασισμένη στα πρωτόκολλα. Αν και η χρήση ανεξάρτητων στρωμάτων πρωτοκόλλου διευκολύνει τη διαδικασία αφαίρεσης και απλοποιεί το σχεδιασμό των ιδιαίτερα σύνθετων συστημάτων, αποκλείει ταυτόχρονα, τη δυνατότητα του κόμβου να αιτιολογήσει τις παρατηρήσεις που πραγματοποιούνται σε διάφορα στρώματα και να προσαρμοστεί με ολιστικό τρόπο σε αυτές.

Ο Mitola περιγράφει τη λειτουργία ενός CR ως βρόχο ανατροφοδότησης (feedback loop), χρησιμοποιώντας τον όρο cognitive cycle (γνωστικός κύκλος) [20]. Ο cognitive κύκλος προσπαθεί να διαμορφώσει τον τρόπο με τον οποίο ένα cognitive σύστημα αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του και αφομοιώνει τη γνώση, την οποία και χρησιμοποιεί για να καθορίσει τις αποφάσεις που έχουν επιπτώσεις στην απόδοσή του. Ο cognitive κύκλος, σύμφωνα με τον Mitola, αναγνωρίζει έξι διαδικασίες οι οποίες επιτρέπουν σε ένα γνωστικό σύστημα να υιοθετήσει τη δυνατότητα της αιτιολόγησης ώστε να επιτύχει ένα συγκεκριμένο επίπεδο ικανότητας στις radio related (ραδιο - σχετικές) περιοχές» [27]. Αυτές οι διαδικασίες είναι:

- Παρατήρηση του πραγματικού κόσμου.
- Προσανατολισμός του συστήματος.
- Σχεδιασμός ενός ή περισσότερων σχεδίων δράσης.

- Απόφαση για ένα συγκεκριμένο σχέδιο δράσης.
- Δράση για να επηρεαστεί η λειτουργία του συστήματος.
- Εκμάθηση από την εμπειρία.

Η διαδικασία της παρατήρησης (observing) των συνθηκών που κυριαρχούν στον εξωτερικό κόσμο περιλαμβάνει την απόκτηση γνώσης από ένα CR για το περιβάλλον μέσω της ανάλυσης των ρευμάτων πληροφορίας εισόδου. Η διαδικασία του προσανατολισμού (orientation) του κύκλου, αφορά την εφαρμογή των παρατηρήσεων που πραγματοποιήθηκαν. Ορισμένες παρατηρήσεις απαιτούν άμεσο δράση, ενώ άλλες εμπίπτουν σε άλλα σημεία του κύκλου ζωής, όπως στη διαδικασία του σχεδιασμού (planning process). Η τελευταία, είναι αρμόδια για την παραγωγή και ανάλυση των σχεδίων δράσης που πρέπει να ληφθούν. Στο στάδιο απόφασης (decision) του κύκλου, ένα από τα σχέδια δράσης του προηγούμενου σταδίου επιλέγεται και τίθεται σε δράση επηρεάζοντας τη λειτουργία του CN. Η διαδικασία μάθησης, (κομμάτι που απουσιάζει από τον βρόχο ανατροφοδότησης) επιτρέπει στο σύστημα να «μάθει» μέσω εμπειριών.



Εικόνα 11: Cognitive cycle

Μια απλουστευμένη αναπαραγωγή του cognitive κύκλου ζωής παρουσιάζεται στην Εικόνα 11. Κατά μια άποψη, ο κύκλος ζωής μπορεί να διαιρεθεί σε δύο οντότητες. Η πρώτη οντότητα, αποκαλείται «*Cognitive Engine*», γνωστική μηχανή και περιλαμβάνει διαδικασίες που αφορούν την αιτιολόγηση (reasoning), την επίγνωση (cognition) και την αφαίρεση (detection). Η δεύτερη οντότητα, η οποία και αποκαλείται «*Reconfigurable Node*», αναδιαρθρώσιμος κόμβος εστιάζει αποκλειστικά στις διαδικασίες της παρατήρησης και δράσης. Η οντότητα «*Reconfigurable Node*» διαμορφώνει μια πλατφόρμα για CNs με την παροχή μιας αρχιτεκτονικής που σχεδιάζεται συγκεκριμένα για αναδιάρθρωση και παρατήρηση.

3.4.1.1 Διαφορές CRs - CNs

Συνοψίζοντας, το CN και το CR ουσιαστικά διαμοιράζονται τη CP που αποτελεί την καρδιά για τη βελτίωση της απόδοσης. Το βασικό μέρος της CP είναι η ικανότητα να μαθαίνει από προηγούμενες αποφάσεις και να χρησιμοποιεί την εκμάθηση αυτή για να επηρεάσει μελλοντικές συμπεριφορές. Τόσο τα CR όσο τα CNs, στηρίζονται στις παρατηρήσεις που συνδυάζονται με τη γνώση των ικανοτήτων των κόμβων για τη λήψη αποφάσεων. Η γνώση στο CR περιλαμβάνεται μέσα σε μια γλώσσα διαμόρφωσης, όπως η radio knowledge representation language – RKRL (Γλώσσα αντιπροσώπευσης ράδιο γνώσεις) ενώ στο CN μέσω της CSL. Το CR απαιτεί προσαρμόσιμους παραμέτρους, οι οποίοι καθορίζουν το διάστημα βελτιστοποίησης της γνωστικής διαδικασίας. Αυτοί οι προσαρμόσιμοι παράμετροι παρέχονται από το SDR. Στα CNs η αντίστοιχη διαδικασία του SDR πραγματοποιείται από το SAN. Επομένως, και οι δύο τεχνολογίες χρησιμοποιούν μια προσαρμόσιμη πλατφόρμα λογισμικού, που ελέγχεται από τη CP.

Παρά τις ομοιότητες που παρουσιάζονται, υπάρχουν στοιχεία που διαχωρίζουν τους δύο αυτούς όρους. Τα CNs απεικονίζονται σαφώς από το CR από την έννοια των στόχων ελέγχου. Οι στόχοι σε ένα CN βασίζονται στην E2E απόδοση δικτύου, ενώ οι CR στόχοι εντοπίζονται μόνο στο radio του χρήστη. Αυτοί οι E2E στόχοι παράγονται μέσω του δικτύου από τους χειριστές, τους χρήστες, τις εφαρμογές, και τις απαιτήσεις πόρων. Αυτή η διαφορά στη σκοπιά των στόχων από τοπικούς σε E2E, επιτρέπει στο CN να λειτουργεί πιο εύκολα ανάμεσα σε όλα τα στρώματα της στοίβας του πρωτοκόλλου. Τρέχουσες έρευνες στο CR, δίνουν ιδιαίτερη έμφαση στις αλληλεπιδράσεις με το PHY στρώμα, το οποίο περιορίζει τον αντίκτυπο από τις αλλαγές που πραγματοποιούνται από τη CP στο ίδιο το radio, αλλά και σε άλλα με τα οποία συνδέεται άμεσα. Συμφωνία με άλλα radio για να τεθούν ισοδύναμοι παράμετροι για εφικτή επικοινωνία σύνδεσης, επιτυγχάνεται μέσω της διαδικασίας της διαπραγμάτευσης (Negotiation). Από τη στιγμή που αλλαγές στα στρώματα πρωτοκόλλου πάνω από φυσικό στρώμα τείνουν να επιδρούν σε περισσότερους κόμβους στο δίκτυο, η διαδικασία διαπραγμάτευσης του CR θα πρέπει να επεκταθεί για να συμπεριλάβει όλους τους κόμβους που επηρεάζονται από την αλλαγή. Παρόλα αυτά, επειδή η διαδικασία διαπραγμάτευσης δεν είναι ικανή να αναθέσει προτεραιότητα στις επιθυμίες των radios' χωρίς τους στόχους ενός ευρύτερου πεδίου, η επίτευξη συμφωνίας μεταξύ πολλαπλών κόμβων μπορεί να είναι μια χρονοβόρα διαδικασία. Για τον ίδιο λόγο, αυτός ο συμβιβασμός αναμένεται να μην οδηγήσει στη βέλτιστη απόδοση των δικτύων. Αντίθετα, τα CNs εμφανίζονται περισσότερο συνεργάσιμα από τη φύση τους, δεδομένου ότι η απόδοσή τους είναι συνυφασμένη με τους E2E στόχους και τους κόμβους μέσα σε ένα γνωστικό στοιχείο, που πρέπει να συνεργαστούν για να λάβουν αποφάσεις [22].

Μια άλλη σημαντική διαφορά μεταξύ των CR και των CNs είναι ο βαθμός ετερογένειας που υποστηρίζεται. Τα CNs απευθύνονται τόσο στα ασύρματα όσο στα ενσύρματα δίκτυα, ενώ τα CR απευθύνονται μόνο στα ασύρματα. Από τη στιγμή που το CN μπορεί να εκτείνεται στα ενσύρματα και στα ασύρματα μέσα, είναι χρήσιμο για βελτιστοποίηση της απόδοσης αυτών

των ετερογενών τύπων δικτύων, τα οποία είναι γενικά αποδεκτό ότι είναι πολύ δύσκολο να ενσωματωθούν.

Το γεγονός ότι ένα CN αποτελείται από πολλαπλούς κόμβους προσθέτει έναν βαθμό ελευθερίας στο πώς εφαρμόζεται η γνωστική επεξεργασία σε σύγκριση με το CR. Ένα CN έχει την επιλογή να εφαρμόσει συγκεντρωτική, πλήρως κατανεμημένη ή μερικώς κατανεμημένη γνωστική διαδικασία [22].

3.4.2 Cross – Layer Σχεδιασμός

Ο σχεδιασμός που παραβιάζει την παραδοσιακή προσέγγιση διαστρωμάτωσης με την άμεση επικοινωνία μη γειτονικών στρωμάτων ή με το διαμοιρασμό εσωτερικών πληροφοριών μεταξύ των στρωμάτων, καλείται cross layer σχεδιασμός [30]. Ιδιαίτερα στα ασύρματα δίκτυα, όπου οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κόμβων και των στρωμάτων είναι πιο έντονες από ό,τι στα ενσύρματα, ο cross layer σχεδιασμός προσφέρει ένα δελεαστικό τρόπο να βελτιώσει την απόδοση. Αποτελεί ωστόσο μια αμφιλεγόμενη προσέγγιση, επειδή παραβιάζει τις ορθές αρχές σχεδιασμού, οδηγώντας σε μακροπρόθεσμα ζητήματα εξελξιμότητας (scalability) και επαναχρησιμοποίησης. Τα CNs μοιράζονται έμμεσα τις πληροφορίες που δεν είναι διαθέσιμες εξωτερικά στην αρχιτεκτονική διαστρωμάτωσης. Επομένως, τα CNs εφαρμόζουν cross layer σχεδιασμό. Τα κοινά σημεία είναι ότι οι παρατηρήσεις είναι διαθέσιμες από το εξωτερικό περιβάλλον και ότι μερικές προσαρμογές πραγματοποιούνται σε διαφορετικά στρώματα από αυτά που παρείχαν τις παρατηρήσεις. Σε ένα CN, τα στρώματα πρωτοκόλλου παρέχουν παρατηρήσεις της τρέχουσας κατάστασης στη γνωστική διαδικασία. Η γνωστική διαδικασία καθορίζει έπειτα, αυτό που είναι βέλτιστο για το δίκτυο και αλλάζει την διαμόρφωση των στοιχείων δικτύου της στοίβας πρωτοκόλλου [22].

3.4.2.1 Διαφορές Cross layer σχεδιασμού - CNs

Παρά τις ομοιότητες, τα CNs εκτείνονται αρκετά πέρα από το πεδίο του cross layer σχεδιασμού. Υπάρχουν ποικίλες διαφορές μεταξύ των αρχιτεκτονικών των προτεινόμενων cross layer σχεδιασμών. Αρχικά, πολλοί σχεδιασμοί συγχώνευαν δύο συνδεδεμένα στρώματα για να επιτύχουν έναν στόχο (π.χ. MAC & PHY). Ένα παράδειγμα τέτοιου είδους συγχώνευσης εμφανίζεται όταν πραγματοποιείται προσπάθεια συνδυασμού προγραμματισμού για αύξηση της απόδοσης (throughput) μέσω της μείωσης του μέσου σύνδεσης. Το πλεονέκτημα σε αυτού του είδους τον cross layer σχεδιασμό, είναι ότι για όλα τα στρώματα που τοποθετούνται επάνω από και κάτω από τα συγχωνευμένα, οι διεπαφές και η λειτουργία αυτών των συγχωνευμένων στρωμάτων εμφανίζεται η ίδια. Το μειονέκτημα σε αυτού του είδους την αρχιτεκτονική, είναι ότι βελτιστοποιεί έναν ενιαίο στόχο, εις βάρος άλλων. Στο ανωτέρω παράδειγμα, ο σχεδιασμός μειώνει τον ανταγωνισμό (σημείο διαφοράς - contention), αλλά δεν βελτιστοποιεί ρητά οποιαδήποτε άλλη περιοχή, όπως διάρκεια ζωής των κόμβων ή κατανομή του εύρους ζώνης.

Το CN πρέπει να υποστηρίξει ανταλλαγές μεταξύ ποικίλων στόχων και προκειμένου να τους πραγματοποιήσει, εκτελεί πολλαπλές αντικειμενικές βελτιώσεις (multi - objective optimizations - MOO), ενώ στο cross layer σχεδιασμό εκτελούνται μοναδικές αντικειμενικές βελτιστοποιήσεις (single objective optimizations - SOO). Στο cross layer σχεδιασμό εκτελούνται ανεξάρτητες βελτιστοποιήσεις, που δεν λαμβάνουν υπόψη τους ευρείς στόχους του δικτύου για βελτιστοποίηση απόδοσης. Η προσπάθεια να επιτευχθεί κάθε στόχος ανεξάρτητα, οδηγεί πιθανότατα σε μειωμένη απόδοση και καθώς ο αριθμός των cross layer σχεδιασμών μέσα σε έναν κόμβο αυξάνεται, οι συγκρούσεις μεταξύ των ανεξάρτητων προσαρμογών μπορεί να οδηγήσει σε βρόχους προσαρμογής [22]. Αυτή η παγίδα αποφεύγεται στο CN με την κοινή εξέταση όλων των στόχων της διαδικασίας βελτιστοποίησης.

Η δυνατότητα εκμάθησης είναι μία άλλη σημαντική διαφορά. Το CN μαθαίνει από προγενέστερες αποφάσεις και εφαρμόζει την εκμάθηση αυτή στις μελλοντικές. Ο cross layer σχεδιασμός είναι memoryless προσαρμογές που θα ανταποκριθούν με τον ίδιο τρόπο όταν παρουσιάζεται με το ίδιο σύνολο δεδομένων εισαγωγής, ανεξάρτητα από το βαθμό αποτυχίας της προσαρμογής στο παρελθόν. Η δυνατότητα εκμάθησης από προηγούμενες συμπεριφορές είναι ιδιαίτερα σημαντική, αν λάβουμε υπόψη το γεγονός ότι η κατανόηση των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στα στρώματα είναι περιορισμένη. Όπως έχει ήδη αναφέρει, το πεδίο των στόχων και των παρατηρήσεων διαφοροποιεί τα CN από τον cross layer σχεδιασμό. Οι παρατηρήσεις που χρησιμοποιούνται από τη γνωστική διαδικασία εκτείνονται σε πολλαπλούς κόμβους και η βελτιστοποίηση εκτελείται έχοντας υπόψη τους στόχους όλων των κόμβων σε αντίθεση με τον cross layer σχεδιασμό που είναι προσανατολισμένος σε έναν κόμβο (node - centric). Η δυνατότητα για σφαιρική πληροφόρηση της κατάστασης των κόμβων επιτρέπει στη γνωστική διαδικασία να προσαρμοστεί σε τρόπους που δεν είναι απλά δυνατοί όταν οι κόμβοι έχουν περιορισμένη ορατότητα, όσον αφορά την κατάσταση των άλλων κόμβων στο δίκτυο, όπως συμβαίνει στον cross layer σχεδιασμό.

Στον cross layer σχεδιασμό, τα πρωτόκολλα διαχωρίζονται σε δύο σημαντικές κατηγορίες: joint - layer σχεδιασμένη βελτιστοποίηση και cross layer προσαρμοστική σχεδίαση. Οι Joint - layer βελτιστοποιήσεις (forge) ενώνουν μαζί δύο στρώματα και απαιτούν έπειτα κάποιο είδος συγχρονισμού των πληροφοριών του δικτύου, για να είναι σε θέση να εκτελέσουν σφαιρικούς αλγόριθμους βελτιστοποίησης. Πρωτόκολλα στη cross layer προσαρμοστική ταξινόμηση, μεταβιβάζουν πληροφορίες μεταξύ δύο ευδιάκριτων στρωμάτων δικτύου, τα οποία έπειτα προσαρμόζουν τις παραμέτρους σε μια προσπάθεια να βελτιστοποιηθεί τοπικά η απόδοση τους. Ανεξάρτητα από το ποια κατηγορία cross layer πρωτοκόλλου δικτύωσης εφαρμόζεται, αυτές οι λύσεις εστιάζουν στη βελτιστοποίηση μίας μόνο παραμέτρου. Επιπλέον, πολλοί cross layer σχεδιασμοί, εστιάζουν στη βελτιστοποίηση στα επιλεγμένα στρώματα τα οποία μπορούν να καταλήξουν στη γενική απόδοση ολόκληρου του συστήματος ή της απόδοσης της σύνδεσης [22]. Με αυτό τον τρόπο, ο cross layer σχεδιασμός είναι πιο κατάλληλα συσχετισμένος με μια "Cognitive layer" τεχνολογία, παρά μια cognitive τεχνολογία δικτύωσης, δεδομένου ότι ο cross layer σχεδιασμός δεν εκθέτει το εύρος των επιλογών που πρέπει να είναι διαθέσιμο σε ένα ευφυή δίκτυο.

3.4.3 Απαιτήσεις CNs

Ένα CN πρέπει να παρέχει, για μια εκτεταμένη χρονική περίοδο, καλύτερη E2E απόδοση σε σχέση με τα άλλα δίκτυα [21]. Η γνώση θα να χρησιμοποιηθεί για να βελτιώσει τη διαχείριση πόρων, την ποιότητα υπηρεσίας (QoS), την ασφάλεια, τον έλεγχο πρόσβασης και πολλούς άλλους στόχους των δικτύων. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα CNs δεν περιορίζονται μόνο σε ασύρματα δίκτυα. Τα ad hoc (ασύρματα δίκτυα με άμεση επικοινωνία των κόμβων χωρίς παρεμβολή ενδιάμεσων π.χ. router ή hub), τα infrastructure (ασύρματα δίκτυα στα οποία οι κόμβοι συνδέονται με ένα ενσύρματο Ethernet δίκτυο μέσω Access Points - AP), τα ενσύρματα και τα ετερογενή δίκτυα αποτελούν ιδανικούς υποψήφιους για σχεδιασμό CN.

Τα CNs πρέπει να χρησιμοποιήσουν μετρήσεις (όπως ο αριθμός των κόμβων, το εύρος ζώνης κ.α.) και πρότυπα (patterns) ως δεδομένα εισαγωγής στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και έπειτα να παρέχουν έξοδο, ένα σύνολο ενεργειών που να μπορούν να εφαρμοστούν από τα τροποποιησιμα στοιχεία δικτύου. Τα CNs, ιδανικά θα πρέπει να μην αντιδρούν σε μια κατάσταση, π.χ. συμφόρηση δικτύου, αλλά να την προβλέπουν και να προσαρμόζονται στα προβλήματα πριν αυτά προκύψουν. Τέλος, η αρχιτεκτονική ενός CN πρέπει να είναι εύκαμπτη και επεκτάσιμη, για να υποστηρίζει μελλοντικές βελτιώσεις.

Η εφαρμογή ενός CN, απαιτεί ένα σύστημα που είναι πιο σύνθετο από άποψη overhead, αρχιτεκτονικής και λειτουργίας [21]. Η βελτίωση απόδοσης των CNs πρέπει να ξεπεράσει αυτές τις πρόσθετες περιπλοκές. Ωστόσο, είναι γεγονός πως σε ορισμένα περιβάλλοντα, όπως στα στατικά ενσύρματα δίκτυα (όπου κάθε υπολογιστής μεταδίδει βάση κυκλικού αλγορίθμου όταν φθάσει η δική του χρονοσχιμή), τα οποία χαρακτηρίζονται από προβλέψιμη συμπεριφορά, η ενσωμάτωση γνωστικής συμπεριφοράς δεν είναι αποτελεσματική. Από την άλλη πλευρά άλλα περιβάλλοντα, όπως τα ετερογενή ασύρματα δίκτυα, που έχουν τη δυνατότητα χρήσης πολλών διαφορετικών δικτύων ασύρματης πρόσβασης π.χ. GSM, UMTS, WLAN κ.α. αποτελούν ιδανικούς υποψήφιους εφαρμογής της γνωστικής συμπεριφοράς.

Όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, ένα CN λειτουργεί λαμβάνοντας υπόψη τους E2E στόχους. Αυτό σημαίνει ότι η εμβέλεια του CN λειτουργεί πέρα από τους στόχους των ανεξάρτητων / μεμονωμένων στοιχείων δικτύου. Λειτουργεί μέσα στην εμβέλεια μιας ροής δεδομένων, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει πολλά στοιχεία δικτύου. Επιπλέον πολλές ροές δεδομένων μπορούν να διασχίσουν ένα ανεξάρτητο / μεμονωμένο στοιχείο δικτύου, που σημαίνει ότι το CN πρέπει να είναι σε θέση να δώσει προτεραιότητα σε αυτές τις ροές. Με την αλληλεπίδραση με το SAN, το CN προσπαθεί να διατηρήσει ένα σύνολο από E2E στόχους (όπως βελτιστοποιήσεις δρομολόγησης, συνδεσιμότητα, διαχείριση εμπιστευτικότητας, κ.λπ.) τροποποιώντας τα στοιχεία του SAN. Τα γνωστικά στοιχεία που συνδέονται με κάθε ροή δεδομένων, μπορούν να ενεργούν ιδιοτελώς και ανεξάρτητα (στα πλαίσια ολόκληρου του δικτύου) για να επιτευχθούν οι τοπικοί στόχοι.

Για μερικές εφαρμογές δικτύων εντούτοις, τα ανεξάρτητα / μεμονωμένα στοιχεία δικτύου μπορεί να μη φέρονται ανεξάρτητα ή με ιδιοτέλεια. Για παράδειγμα, στα ομοιογενή

περιβάλλοντα χρηστών όπως τα στρατιωτικά, νομικά ή εταιρικά δίκτυα, οι στόχοι των κόμβων συμβαδίζουν με τους γενικούς στόχους του δικτύου. Αυτό αυξάνει την εμπέλεια μιας ροής πέρα από της δικές της απαιτήσεις και είναι αντίθετη με εγωιστικές συμπεριφορές, όπου οι κόμβοι συμπεριφέρονται ιδιοτελώς, με σκοπό την τοπική βελτιστοποίηση. Παρόλα αυτά, η προσπάθεια των κόμβων να προσαρμοστούν στους γενικούς στόχους του δικτύου, οδηγεί στη μετάδοση περισσότερης πληροφορίας που συνεπάγεται με υψηλότερο overhead και πολυπλοκότητα.

Ένα ενδιαφέρον ζήτημα, είναι η διαφορά απόδοσης που εντοπίζεται όταν ο τρόπος λειτουργίας αφορά την ικανοποίηση των γενικών ή τοπικών στόχων αντίστοιχα. Η διαφορά στην απόδοση ανάλογα με το αν ικανοποιούνται γενικοί ή τοπικοί στόχοι και η συμπεριφορά ενός δικτύου με ποικίλους τρόπους λειτουργίας, αποκαλείται the price of anarchy (η τιμή της αναρχίας) [1]. Αυτός ο όρος ορίζεται ως η διαφορά απόδοσης ανάμεσα σε ένα δίκτυο που οργανώνεται από έναν γενναϊόδωρο «δικτάτορα», ο οποίος μπορεί να προσδιορίσει τη "σωστή λύση", ώστε οι συνδέσεις να είναι βέλτιστές οποιαδήποτε στιγμή, σε σχέση με έναν που κυβερνά με πλήρη αναρχία. Η απάντηση για το ποιος είναι πιο ικανός στο παραπάνω παράδειγμα, θα οδηγήσει στην ανάπτυξη CN που θα υποδεικνύει την απαιτούμενη πολυπλοκότητα και το μέγεθος της πληροφορίας για την κατάσταση του. Εάν αποδειχτεί ότι η απόδοση είναι σημαντικά μικρότερη όταν εκπληρώνονται οι τοπικοί παρά οι γενικοί στόχοι, το CN μπορεί να χρειάζεται να παράσχει κεντροποιημένη καθοδήγηση ή μια κατάλληλη δομή στα στοιχεία δικτύου παρά στους E2E στόχους. Είναι πιθανό ότι οι ενέργειες σε αυτή την περίπτωση θα εξαρτηθούν από τα είδη βελτιστοποιήσεων που το CN προσπαθεί να δημιουργήσει.

3.4.3.1 Κατάσταση Δικτύου

Οι επιπτώσεις των αποφάσεων ενός CN στην απόδοση του δικτύου, εξαρτώνται από το ποσό πληροφορίας που είναι διαθέσιμο για την κατάσταση του δικτύου. Για να μπορεί το CN να λαμβάνει αποφάσεις βάση των E2E στόχων, το σύστημα πρέπει να γνωρίζει την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου. Εάν ένα CN έχει γνώση ολόκληρης της κατάστασης, οι γνωστικές αποφάσεις είναι πιο "σωστές" και "έγκυρες" από εκείνες που λαμβάνονται υπό άγνοια. Για τα μεγάλα και σύνθετα συστήματα υπολογιστών, το CN δεν μπορεί να είναι πλήρως ενήμερο για την συνολική κατάσταση του συστήματος. Η μεταβίβαση της πληροφορίας στα στοιχεία που την απαιτούν, είναι μια δαπανηρή διαδικασία, και έχει ως συνέπεια το CN να «εργάζεται» χωρίς να γνωρίζει την πλήρη εικόνα της κατάστασης του δικτύου.

Υπάρχουν δύο πιθανοί τρόποι λειτουργίας του CN για τη διανομή πληροφοριών της κατάστασης του δικτύου. Ο πρώτος είναι ο κεντροποιημένος (centralized) τρόπος λειτουργίας, στον οποίο ένας κεντρικός εξυπηρετητής (server) ή μια οντότητα εντοπίζει όλους τους E2E στόχους και τα δεδομένα για την κατάσταση του δικτύου. Ο δεύτερος είναι ο καταναμημένος τρόπος, στον οποίο οι κόμβοι του δικτύου μοιράζονται τις πληροφορίες αυτές και δεν υπάρχει καμία κεντρική αρχή για να διαχειριστεί και να διαδώσει τα δεδομένα αυτά. Το γεγονός ότι μπορεί να προκύψει μια single - point αποτυχία (πιθανότητα αποτυχίας, ενός εκ

των δύο μέρων που εδραιώνουν μια επικοινωνία) στον κεντρικοποιημένο τρόπο και πρόβλημα overhead στο καταναμημένο, είναι θέματα τα οποία οι σχεδιαστές των συστημάτων θα πρέπει σκεφτούν ώστε να καθορίσουν ποιος είναι ο πιο κατάλληλος τρόπος για το σχεδιασμό του CN. Πέρα από τους κεντρικοποιημένους ή καταναμημένους μηχανισμούς, μια επιπλέον επιλογή είναι οι υβριδικοί. Ένα παράδειγμα για τον παραπάνω ισχυρισμό θα μπορούσε να είναι ένα δίκτυο που διαβιβάζει E2E στόχους με ένα καταναμημένο τρόπο αλλά χρησιμοποιεί μια κεντρική αποθήκη για να αποθηκεύσει τις αναβαθμίσεις της κατάστασης του δικτύου.

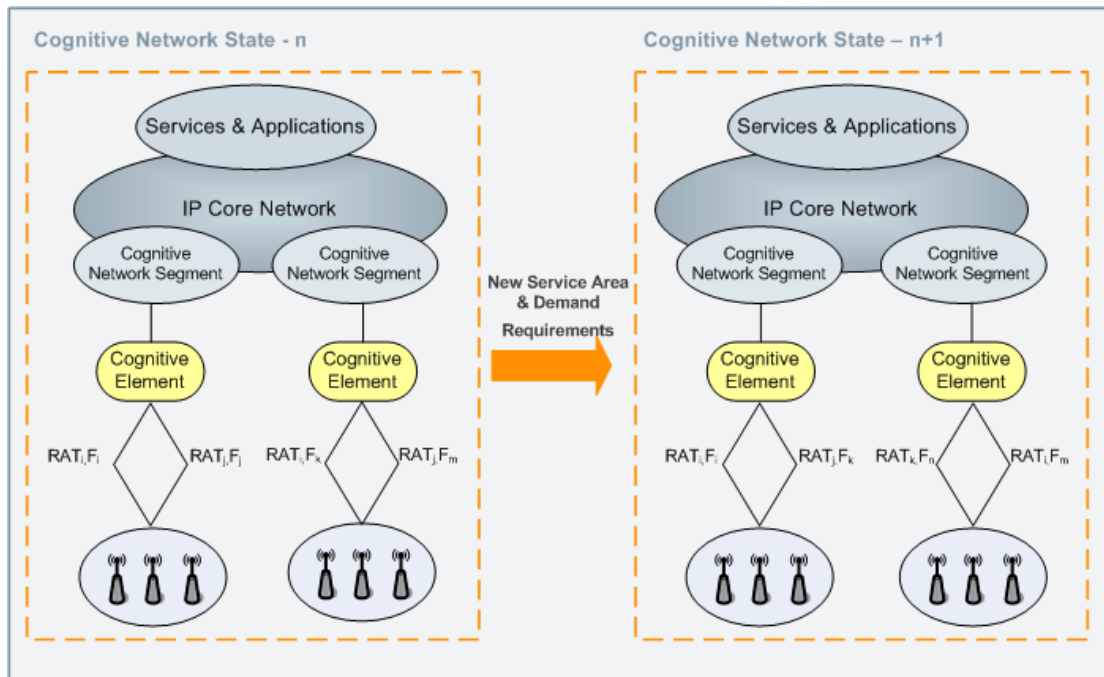
3.5 Σχέση Adaptive – CNs

Το αποκαλούμενο B3G όραμα, καλύπτει τις διαφορετικές τεχνολογίες μετά από συνεργασία σε μια κοινή υποδομή πρόσβασης. Σημαντικός βοηθός αυτής της συνεργασίας είναι η έννοια της γνωστικής δικτύωσης. Τα CNs έρχονται σε αντίθεση με τα συμβατικά δίκτυα, δεδομένου ότι είναι σε θέση να προσαρμόσουν τη λειτουργία τους ανταπαντώντας στα εξωτερικά ερεθίσματα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διάθεση μηχανισμών, που παρατηρούν τις εξωτερικές συνθήκες, διατηρούν πολύτιμη γνώση από τις αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον και προγραμματίζουν τις μελλοντικές τους ενέργειες αναλόγως.

Τα CNs είναι ικανά να προσαρμόζονται συνεχώς στις μεταβαλλόμενες συνθήκες του περιβάλλοντος και στις ανάγκες των χρηστών. Η προσαρμογή των συστημάτων δεν επηρεάζει μόνο το στρώμα δικτύου της στοίβας πρωτοκόλλου, όπως συμβαίνει στα παραδοσιακά συστήματα, αλλά επηρεάζει το middleware, το στρώμα εφαρμογής και το στρώμα παρουσίασης. Αλλαγές εμφανίζονται επίσης στο φυσικό, στο στρώμα ζεύξης δεδομένων (MAC – Medium Access Control & LLC – Logical Link Control) και στο στρώμα μεταφοράς. Για παράδειγμα, οι προσαρμογές στο PHY / MAC περιλαμβάνουν την επιλογή του πιο κατάλληλου RAT(s) και του φάσματος λειτουργίας, ενώ η προσαρμογή στο middleware και στο στρώμα εφαρμογής περιλαμβάνει την επιλογή των πιο κατάλληλων πολιτικών για να ελέγξουν τα στοιχεία δικτύου και την αναδιάρθρωση της τεχνολογίας. Στη συγκεκριμένη μελέτη ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα δείξουμε για τις προσαρμογές που πραγματοποιούνται στο PHY και στο MAC στρώμα [23].

Η ιδέα όπως έχει ήδη αναφερθεί, πίσω από τα CNs, είναι η ύπαρξη δικτύων που συνεργάζονται ενώ λειτουργούν σε διαφορετικά RAT(s). Με τον τρόπο αυτό ο NO θα μπορεί να επιλέξει το καλύτερο ανάμεσα σε ένα σύνολο συνεταιριστικών δικτύων, προκειμένου να προσφερθούν οι καλύτερες δυνατές υπηρεσίες στους χρήστες.

Τα CNs δεν υιοθετούν τη σταθερή ανάπτυξη τεχνολογιών στα τερματικά και στα στοιχεία δικτύου τους, αντίθετα έχουν την ικανότητα να «μαθαίνουν» από προηγούμενες αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον, και σύμφωνα με αυτές, να προσαρμόζουν την λειτουργία τους στα διάφορα εξωτερικά ερεθίσματα. Η προσαρμογή στις συνθήκες του περιβάλλοντος απεικονίζεται στην Εικόνα 12.

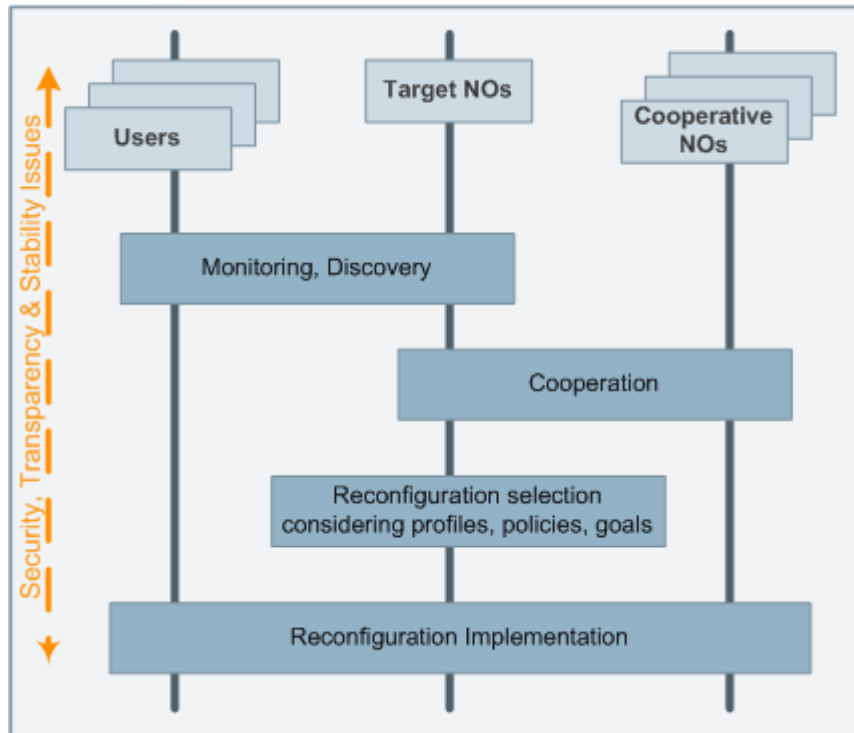


Εικόνα 12: Προσαρμογή του CN στις συνθήκες του περιβάλλοντος

Κάθε κομμάτι του δικτύου αποτελείται από γνωστικά στοιχεία. Κάθε στοιχείο και τερματικό είναι αναδιαρθρώσιμο (μπορεί να λειτουργήσει με εναλλασσόμενες διαμορφώσεις) και έχει την νοημοσύνη να επιλέξει την καλύτερη διαμόρφωση, προκειμένου να προσαρμοστεί στις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Σε αυτό το πλαίσιο η αναδιάρθρωση στα PHY / MAC στρώματα, παρέχει την ικανότητα για δυναμική επιλογή των πιο κατάλληλων RAT(s) και φάσματος, με σκοπό να χειριστεί τις απαιτήσεις για υπηρεσίες και πόρους. Οι εναλλακτικές διαμορφώσεις που πρέπει να χρησιμοποιηθούν είναι γνωστές από τα γνωστικά στοιχεία, τα οποία και πραγματοποιούν την επιλογή διαμόρφωσης. Οι αναδιαρθρώσεις καθορίζονται από το λογισμικό (software defined), επομένως οι προσαρμογές γίνονται με την ενεργοποίηση του κατάλληλου λογισμικού, το οποίο εφαρμόζει το επιλεγμένο RAT.

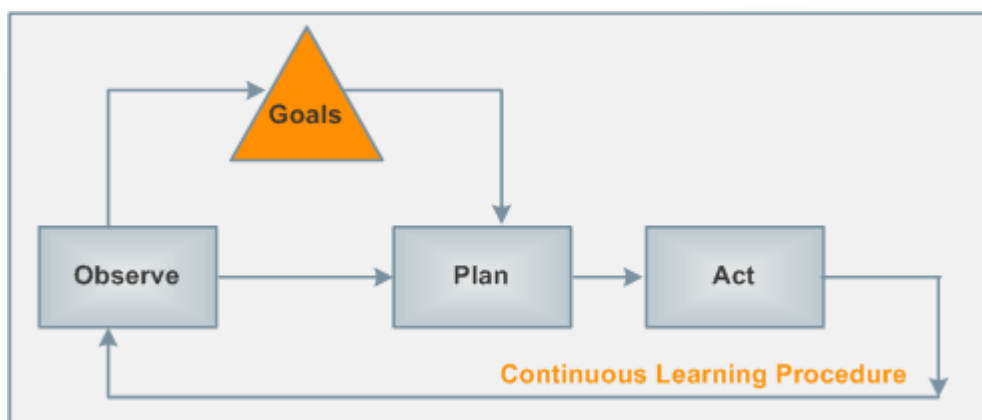
Αν υποθέσουμε ότι κάποιος NO δεν διαθέτει άδεια για ένα RAT που λειτουργεί τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή σε ένα τμήμα του CN. Αυτό το τμήμα δικτύου αποτελείται από γνωστικά στοιχεία (π.χ. στοιχεία που έχουν reconfigurable πομποδέκτες και εξυπηρετούν πολλά αναδιαρθρώσιμα τερματικά). Παράλληλα, αυτή η κατάσταση δεν αποκλείει την συνύπαρξη άλλων NOs στην ίδια περιοχή για την ανάπτυξη του ίδιου ή διαφορετικών RATs (Εικόνα 13). Ο συγκεκριμένος NO παρακολουθεί συνεχώς το περιβάλλον με σκοπό να αναγνωρίσει πιθανές αλλαγές που θα επηρεάσουν την ομαλή λειτουργία του τμήματος δικτύου. Η ανακάλυψη (Discovery) στοχεύει στην αναγνώριση των διαφορετικών δυνατοτήτων διάρθρωσης. Ο NO αναγνωρίζει ένα reconfiguration trigger (η διαδικασία που εκκινεί τις ενέργειες αναδιάρθρωσης), το οποίο μπορεί να προκαλείται από διάφορες αιτίες (π.χ. αναγνώριση της πιθανότητας να παρασχεθούν πιο αποτελεσματικά επίπεδα QoS ή χωρητικότητας, εισαγωγή νέων υπηρεσιών κ.λπ.)[23].



Εικόνα 13: Network Operator Coexistence

Ο χειρισμός του trigger μπορεί να περιλαμβάνει την εκτίμηση προσφορών από άλλους συνεργαζόμενους NOs. Ταυτόχρονα το προφίλ των χρηστών, της εφαρμογής και του εξοπλισμού, καθώς και οι πολιτικές και οι στόχοι που τίθενται από το NO λαμβάνονται υπόψη. Όλα αυτά οδηγούν στην επιλογή μιας νέας πιο κατάλληλης διαμόρφωσης. Τέλος εφαρμόζεται η αναδιάρθρωση τόσο στο τμήμα του δικτύου όσο στο τερματικό, ενδεχομένως μετά από την εγκατάσταση σχετικού λογισμικού αλλά και την καθιέρωση συμφωνίας ανάμεσα στους συνεργαζόμενους NOs.

Με σκοπό την επιλογή της βέλτιστης διαμόρφωσης, το δίκτυο παρατηρεί συνεχώς το περιβάλλον, κοιτάζοντας για αλλαγές που μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία του. Οι παρατηρήσεις αυτές, αποτελούν τη βάση για την ύπαρξη αιτιολόγησης μέσω της μηχανής εκμάθησης ώστε να αποφασιστεί εάν η διαδικασία αναδιάρθρωσης πρέπει να επικαλεσθεί. Μόλις παρθεί η απόφαση, και σύμφωνα με το σύνολο στόχων και πολιτικών που ισχύουν, το δίκτυο ενεργεί αντίστοιχα. Η διαδικασία αυτή, μπορεί να αναπαρασταθεί ως ένας βρόχος ανατροφοδότησης, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 14 ενισχυμένος με την ικανότητα εκμάθησης [25].



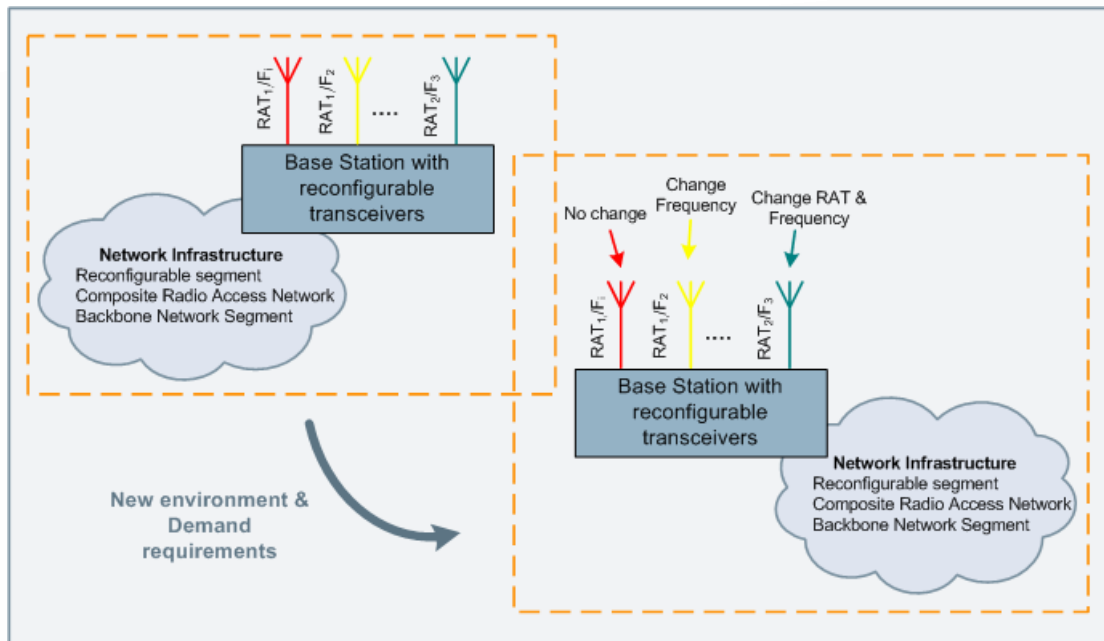
Εικόνα 14: Cognitive Network Operation - The feedback loop

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ένα γνωστικό στοιχείο δικτύου πρέπει να αποτελείται από δύο μέρη [25]:

- Την αναδιαρθρώσιμη πλατφόρμα, που μπορεί να φιλοξενήσει πολλαπλές τεχνολογίες και με διαφάνεια και ασφάλεια να επιλέξει την πιο κατάλληλη, προκειμένου να προσαρμοστεί στις ποικίλες περιβαλλοντικές συνθήκες και απαιτήσεις.
- Την προηγμένη υποδομή διαχείρισης, που θα ελέγχει και θα κατευθύνει τις αποφάσεις αναδιάρθρωσης, με έναν τρόπο που θα υποστηρίζει τον προαναφερθέντα βρόχο γνώσης.

3.5.1.1 Reconfigurable platforms

Η Εικόνα 15 παρουσιάζει ένα παράδειγμα στο ρόλο των αναδιαρθρώσιμων πλατφορμών στα CNs. Εξετάζει ένα τμήμα δικτύου που είναι συμπληρωματικό της B3G υποδομής. Οι παραδοσιακές προσεγγίσεις είτε φορτώνουν ένα σύνολο προκαθορισμένων διαμορφώσεων, είτε χρησιμοποιούν έναν policy κεντρικό υπολογιστή για να καταναίμουν τις πολιτικές ανάλογα με την περίπτωση. Πέρα από αυτές τις προσεγγίσεις, κάθε στοιχείο και τερματικό είναι αναδιαρθρώσιμο (μπορεί να λειτουργήσει με εναλλακτικές διαμορφώσεις) και έχει την ικανότητα να επιλέξει την καλύτερη διαμόρφωση, προκειμένου να προσαρμοστεί στις περιβαλλοντικές συνθήκες.



Εικόνα 15: Reconfigurable network segment

Σε αυτό το πλαίσιο, η αναδιάρθρωση στο φυσικό (PHY) και MAC στρώμα παρέχει τη δυνατότητα της δυναμικής επιλογής του συνόλου των πιο κατάλληλων RATs και φάσματος, προκειμένου να αντιμετωπιστεί καλύτερα, η υπηρεσία, οι πόροι, η θέση, ή / και οι ποικίλες χρονικές απαιτήσεις. Οι εναλλακτικές διαμορφώσεις που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν είναι γνωστές από τα γνωστικά στοιχεία, επιτρέποντας την ενήμερη βασισμένη στο περιβάλλον επιλογή [25].

Στην εικόνα, παρατηρούμε ότι οι αναδιρθρώσεις αφορούν:

- Αλλαγή του RAT ενώ η φέρουσα συχνότητα (φάσμα) διατηρείται.
- Διατήρηση του RAT ενώ το φάσμα αλλάζει.
- Αλλαγή και του RAT και του φάσματος.

Συνοψίζοντας, ενώ το στοιχείο μπορεί να υιοθετήσει πολλαπλές τεχνολογίες, δεν χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα όλες. Μόνο οι κατάλληλες τεχνολογίες επιλέγονται, ενεργοποιούνται και χρησιμοποιούνται, βασισμένες στο περιβάλλον. Επιπρόσθετα, η εικόνα παρουσιάζει ότι η αναδιάρθρωση των πομποδεκτών μπορεί να αλλάξει στο χρόνο και στο χώρο. Αυτό αποτελεί μια σημαντική παρατήρηση, δεδομένου ότι επιτρέπει στο σύστημα να ακολουθήσει και να ανταποκριθεί κατάλληλα στις αλλαγές και στις ανάγκες του περιβάλλοντος και των χρηστών. Συγκεκριμένα, κάθε στοιχείο ελέγχεται από μια υποδομή διαχείρισης που ανιχνεύει, τις αλλαγές στις ανάγκες του περιβάλλοντος και των χρηστών, και αναδιαμορφώνει το στοιχείο για να διατηρήσει τους επιχειρησιακούς στόχους της.

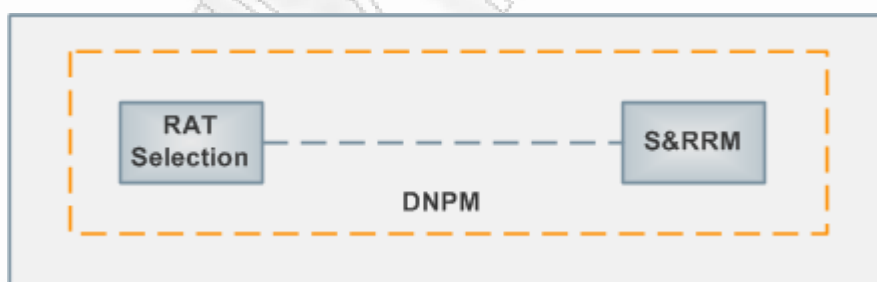
3.5.1.2 Δυναμική Σχεδίαση & Διαχείριση Δικτύων για CNs

Τα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης έχουν σχεδιαστεί και αναπτυχθεί για να καλύψουν τις απαιτήσεις κυκλοφορίας των προγραμματισμένων υπηρεσιών, λαμβάνοντας υπόψη, την ώρα υψηλής κυκλοφορίας σε κάθε γεωγραφική ζώνη.

Η συνεχώς αυξανόμενη απαίτηση, μεγαλώνει την ανάγκη για ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και δικτύων, τα οποία πρέπει να σχεδιαστούν και να διαχειριστούν με βέλτιστο τρόπο. Υποστηρίζεται ότι οποιαδήποτε από τις κλασσικές λύσεις είναι ανεπαρκής, εάν όχι απραγματοποίητη, σε ένα περιβάλλον πολλαπλών RAT που χρησιμοποιεί ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων που υπόκεινται βελτίωσης. Ιδιαίτερης μνείας χρήζει το γεγονός, ότι ο σχεδιασμός και η διαχείριση είναι δυσδιάκριτοι σε ένα τέτοιο δυναμικό, αναδιαρθρώσιμο περιβάλλον. Ειδικά στην περίπτωση των CNs, η υποδομή διαχείρισης πρέπει να προγραμματίσει και να διαχειριστεί αποτελεσματικά ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο δίκτυο, αφού πρέπει να προσαρμοστεί στις εξωτερικές απαιτήσεις που αλλάζουν κατά τη διάρκεια του χώρου και του χρόνου. Επομένως σε ένα τέτοιο εύκαμπτο περιβάλλον, (που επιλέγει την κατάλληλη τεχνολογία ράδιο πρόσβασης μέσα από ένα διαθέσιμο σύνολο), η απόφαση και η τελική επιλογή των βέλτιστων ανασχηματισμών ανά στοιχείο δικτύου έχει σημαντικά υψηλή σημασία [25].

Η δυναμική σχεδίαση και διαχείριση δικτύων (Dynamic Network Planning & Management - DNPM) είναι ένα πλαίσιο που μπορεί να υποστηρίξει τη γνωστική δικτύωση. Η Εικόνα 16 παρουσιάζει τα κύρια σημεία της λειτουργίας DNPM. Σύμφωνα με αυτή, το DNPM περιλαμβάνει δύο κύριες οντότητες:

- Η επιλογή του κατάλληλου RAT για λειτουργία.
- Φάσμα και η διαχείριση radio πόρων (Spectrum & Radio Resource Management – S&RRM).



Εικόνα 16: DNPM Functionality Overview

3.5.2 Επιλογή RAT

Αυτό το κομμάτι παρουσιάζει το βασικό πρότυπο για την εύρεση στοιχείων (ή τμήματος δικτύων) για αναδιαμόρφωση. Ο τρόπος, με τον οποίο πραγματοποιείται αυτή η διαδικασία για το γνωστικό περιβάλλον επεξηγείται παρακάτω.

3.5.2.1 Περιγραφή προβλήματος

Τα δεδομένα του προβλήματος κατηγοριοποιούνται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Παρακολούθηση και ανακάλυψη (Monitoring & Discovery).
- Προφίλ, Πολιτικές και Στόχοι (Profiles, Policies & Goals).
- Προσφορές Συνεργαζόμενων Δικτύων (offers of cooperating networks).

Οι πληροφορίες παρακολούθησης (monitoring) καθορίζουν την απαίτηση ανά κατηγορία και υπηρεσία χρήστη. Η ανακάλυψη (discovery) καθορίζει τις ικανότητες εναλλασσόμενων διαμορφώσεων, που την τρέχουσα περίοδο δεν χρησιμοποιούνται από το στοιχείο. Τα προφίλ παρέχουν πληροφορίες για τις κατηγορίες, τα τερματικά και τις εφαρμογές χρηστών. Τα προφίλ κατηγορίας χρηστών περιγράφουν τα επιτρεπόμενα επίπεδα ποιότητας υπηρεσιών (QoS) ανά εφαρμογή, τη σημασία ή "χρησιμότητα" κάθε επιπέδου ποιότητας υπηρεσιών (QoS) για την κατηγορία χρηστών, και το μέγιστο ανεκτό κόστος. Τα προφίλ τερματικών και στοιχείων παρέχουν τις δυνατότητες, από άποψη επιτρεπόμενων διαμορφώσεων. Τέλος τα προφίλ εφαρμογών παρέχουν τα επιτρεπόμενα επίπεδα ποιότητας υπηρεσιών (QoS). Οι στόχοι και οι πολιτικές συσχετίζονται με τους στόχους και τις στρατηγικές του NO. Οι προσφορές των συνεργαζόμενων δικτύων μπορούν να παρέχουν κόστος ανά επίπεδο ποιότητας υπηρεσιών (QoS), και όγκο κίνησης, που συσχετίζεται με συνδεδεμένους NOs.

Το αποτέλεσμα του προβλήματος ταξινομούνται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- i. κατανομή των RATs και του φάσματος στους πομποδέκτες του στοιχείου ή του τμήματος δικτύου.
- ii. κατανομή των επιπέδων QoS στους χρήστες.
- iii. κατανομή των απαιτήσεων σε RATs.

Οι κατανομές πρέπει να βελτιστοποιήσουν μια αντικειμενική λειτουργία που σχετίζεται με τα εξής:

- i. οι κατηγορίες χρηστών πρέπει να προσδιορίζονται στα επιθυμητά επίπεδα QoS των χρηστών, δηλ., στα επίπεδα εκείνα που μεγιστοποιούν το συνολικό όγκο χρησιμότητας.
- ii. το κόστος αναδιαμόρφωσης του δικτύου πρέπει να ελαχιστοποιείται.

Ο τελευταίος παράγοντας μπορεί να συνδεθεί με τον αριθμό των πομποδεκτών που αλλάζουν RATs ή φάσμα. Εάν διάφορες λύσεις οδηγούν στον ίδιο συνολικό όγκο χρησιμότητας, θα πρέπει να διατηρηθεί αυτή που απαιτεί τον ελάχιστο αριθμό αλλαγών. Οι κατανομές πρέπει να ακολουθούν τους περιορισμούς που προέρχονται από τα προφίλ, τις πολιτικές και τις προσφορές [25].

3.5.2.2 Μέθοδος Επίλυσης

Η διαδικασία επίλυσης χωρίζεται σε τέσσερις φάσεις, έτσι ώστε να μειωθεί η πολυπλοκότητα της λύσης.

Κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης, προωθούνται τα υπο - προβλήματα, που μπορούν να λυθούν παράλληλα. Σε κάθε υπο - πρόβλημα, υπάρχει μια διαμόρφωση πομποδεκτών, δηλ., μια κατανομή RATs και φάσματος στους πομποδέκτες.

Στη δεύτερη φάση, σε κάθε υπο - πρόβλημα (δηλ., για κάθε διαμόρφωση πομποδέκτη που βρίσκεται στην πρώτη φάση), υπάρχει μια κατανομή απαίτησης για τους πομποδέκτες, στο βασικό επίπεδο QoS. Η διαμόρφωση που διερευνάται στα υπο - προβλήματα έχει ορισμένες ικανότητες από την άποψη χωρητικότητας (capacity) και κάλυψης. Επομένως, κάθε χρήστης (μερίδα απαίτησης) μπορεί να εξυπηρετηθεί από ένα σύνολο πομποδεκτών. Ο χρήστης διατίθεται στον καλύτερο πομποδέκτη σύμφωνα με την πολιτική (π.χ., επιλογή αυτού με τη μεγαλύτερη διαθέσιμη χωρητικότητα). Η φάση σταματά όταν όλοι οι χρήστες διατίθενται σε πομποδέκτες ή όταν η απαίτηση που δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί από τη διαμόρφωση, υπερβαίνει ένα ορισμένο κατώτατο όριο.

Στην τρίτη φάση, υπάρχουν προσπάθειες για να βελτιωθεί η ποιότητα υπηρεσιών (QoS). Τα επίπεδα QoS αυξάνονται βαθμιαία, ξεκινώντας από εκείνα που οδηγούν σε μια μεγαλύτερη αύξηση του βαθμού ικανοποίησης των χρηστών. Ο αλγόριθμος σταματά όταν δεν είναι δυνατή άλλη αύξηση QoS, λόγω είτε των παραμέτρων χρήστη, είτε της διαθέσιμης χωρητικότητας.

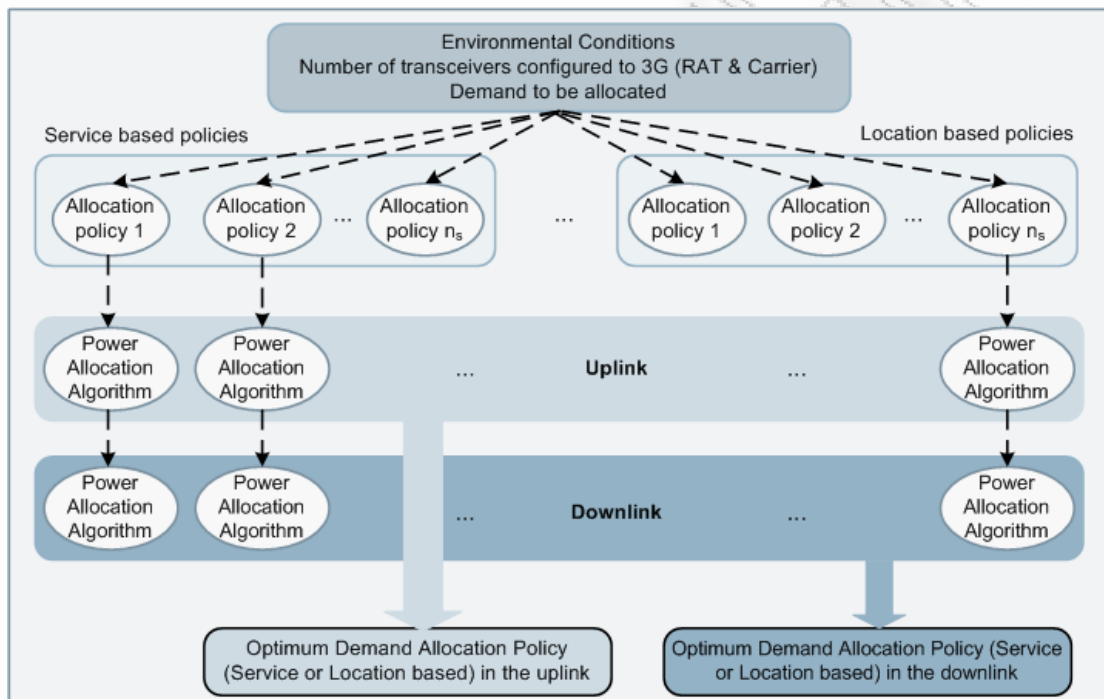
Τέλος, η τέταρτη φάση περιλαμβάνει την επιλογή της καλύτερης διαμόρφωσης. Οι διαμορφώσεις έχουν σημειώσει μια ορισμένη απόδοση στις προηγούμενες δύο φάσεις. Αυτή η απόδοση προέρχεται από την παροχή επιθυμητών επιπέδων QoS που απεικονίζεται στο βαθμό ικανοποίησης του χρήστη. Μια προσέγγιση μπορεί να είναι η επιλογή της διαμόρφωσης που απαιτεί λιγότερες αλλαγές στην ήδη καθιερωμένη διαμόρφωση [25], [23].

3.5.3 Spectrum and Radio Resource Management (S&RRM)

Το DNPM στοχεύει στη διαχείριση των συμβατικών και των επικείμενων RATs (Wideband Code Division Multiple Access - WCDMA / Orthogonal Frequency-Division Multiple Access - OFDMA) στο επίπεδο τμήματος δικτύων, θεωρώντας ότι οι RATs κατανομές είναι γνωστές στους πομποδέκτες του τμήματος μέσω της λύσης RDQ. Κατ' αυτό τον τρόπο, το S&RRM στοχεύει στην αξιολόγηση και περαιτέρω βελτίωση των επιλεγμένων αναδιαρθρώσεων.

Ειδικότερα, θεωρείται ότι ένα σύνολο αναδιαρθρώσιμων πομποδεκτών έχει διαμορφωθεί για 3G λειτουργία. Επιπλέον κατά τη διάρκεια της δεύτερης φάσης του RDQ, θα υπάρξει απαίτηση (φορτίο) χρηστών όπου πρέπει να προσαρμοστεί σε εκείνους τους πομποδέκτες (που λειτουργούν σε 3G). Επομένως, ένα σημαντικό πρόβλημα που προκύπτει, είναι να βρεθεί μια βέλτιστη κατανομή της απαίτησης χρηστών στους πομποδέκτες που λειτουργούν επάνω σε πολλαπλές 3G φέρουσες που ανήκουν στο NO.

Για να γίνει αυτό, θα πρέπει να βρεθεί μια μέθοδος για να αξιολογεί τις πολλαπλές πολιτικές κατανομής, που είναι υποψήφιες για αναδιάρθρωση. Η πολιτική του όρου μεταφράζεται σε συγκεκριμένα ποσοστά απαίτησης, που διατίθενται στις διαθέσιμες 3G φέρουσες. Η λύση του προβλήματος της κατανομής απαίτησης σε πολλαπλές φέρουσες (DMAC), συνίσταται στην επιλογή της αποτελεσματικότερης πολιτικής για την κατανομή της απαίτησης σε πολλαπλές 3G φέρουσες, που προσφέρονται από τους πομποδέκτες που διαμορφώνονται σε 3G (RAT και συχνότητα). Η βέλτιστη πολιτική κατανομής διερευνάται μέσα στο διάστημα διαφορετικών πολιτικών και επιλέγεται ώστε να ελαχιστοποιηθεί μια αντικειμενική λειτουργία, που συνδέεται με το σύνολο μεταδιδόμενης / λαμβανόμενης δύναμης και στις αντίστροφες και προωθούμενες 3G συνδέσεις. Αυτό είναι προφανώς ισοδύναμο με την απόφαση για αναδιάρθρωση με ελάχιστο αντίκτυπο στην παρέμβαση δικτύων (Εικόνα 17) [25].



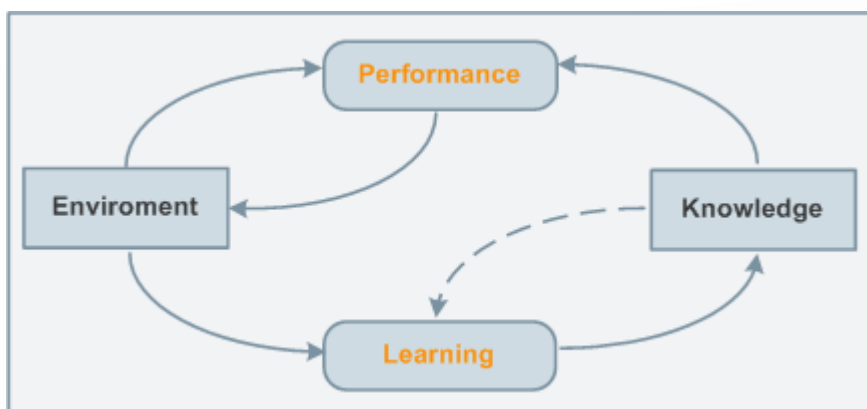
Εικόνα 17: DMAC

4. Εκμάθηση Μηχανής

Η εκμάθηση μέσω μηχανής, στοχεύει στην κατανόηση των υπολογιστικών μηχανών, μέσα από τους οποίους η εμπειρία μπορεί να καταλήξει σε βελτίωση της απόδοσης. Στην καθημερινή γλώσσα, εννοούμε ότι ένα πρόσωπο μαθαίνει κάτι από εμπειρία όταν μπορεί να κάνει κάτι που προηγουμένως δεν μπορούσε, ή που δεν μπορούσε να κάνει καλά προτού αποκτήσει αυτή την εμπειρία. Ο τομέας της εκμάθησης μηχανής προσπαθεί να χαρακτηρίσει πώς τέτοιες αλλαγές μπορούν να προκύψουν με τον σχεδιασμό, την εφαρμογή, την εκτέλεση και την ανάλυση αλγορίθμων που μπορούν να εκτελεστούν στους υπολογιστές. Η θεωρία αυτή περιλαμβάνει ιδέες από πολλούς άλλους τομείς της επιστήμης, όπως της στατιστικής, της γνωστικής ψυχολογίας, της θεωρίας πληροφοριών, της θεωρίας της πολυπλοκότητας και της λογικής, με απώτερο πάντα σκοπό την κατανόηση του υπολογιστικού χαρακτήρα της εκμάθησης.

Είναι γενικά αποδεκτό, ότι τα εκφραστικά ζητήματα αποτελούν βασικά θέματα στην εκμάθηση. Στην πραγματικότητα, τα ζητήματα αυτά διαιρούνται συχνά σε παραδείγματα που οργανώνονται γύρω από εκφραστικούς φορμαλισμούς, όπως τα δέντρα απόφασης, τους λογικούς κανόνες, τα νευρωνικά δίκτυα, και τις πιθανολογικές σημειώσεις. Παρά το γεγονός ότι από τα πρώτα χρόνια μελέτης υπήρξε έντονη συζήτηση για το ποιος φορμαλισμός παρείχε την καλύτερη υποστήριξη για την εκμάθηση μέσω μηχανών, τα αποτελέσματα των πειραματικών συγκρίσεων περίπου το 1990 απέδειξαν ότι κανένας φορμαλισμός δεν οδηγεί σε ορθότερη εκμάθηση από κάποιον άλλον. Παρόλα αυτά, οι συγκρίσεις αποκάλυψαν ότι συγκεκριμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα από εκφραστικές κωδικοποιήσεις είχαν ιδιαίτερη σημασία και πως η εφαρμοσμένη μηχανική χαρακτηριστικών γνωρισμάτων παραμένει μια σφραγίδα επιτυχημένων εφαρμογών της τεχνολογίας εκμάθησης μέσω μηχανών [32].

Μια άλλη κοινή άποψη είναι ότι η εκμάθηση εμφανίζεται πάντα στα πλαίσια κάποιου στόχου *απόδοσης* (*performance task*), και ότι μια μέθοδος εκμάθησης πρέπει πάντα να συνδυάζεται με ένα στοιχείο απόδοσης που χρησιμοποιεί τη γνώση που αποκτήθηκε ή που αναθεωρήθηκε κατά τη διάρκεια της εκμάθησης. Η Εικόνα 18 απεικονίζει ένα σύστημα, το οποίο λαμβάνει πληροφορίες για τις συνθήκες του περιβάλλοντος και χρησιμοποιεί την εκμάθηση για να μετασχηματίσει αυτή την εμπειρία σε γνώση. Την γνώση αυτή, καθιστά μετέπειτα διαθέσιμη σε ένα module (πρότυπο) απόδοσης που λειτουργεί στο περιβάλλον. Η απόδοση αναφέρεται στη συμπεριφορά του συστήματος όταν η εκμάθηση τίθεται εκτός λειτουργίας. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει μια απλή δραστηριότητα, όπως είναι η ανάθεση μιας ετικέτας ή η επιλογή μιας δράσης, ή μια σύνθετη δραστηριότητα όπως είναι ο προγραμματισμός ή η ερμηνεία δεδομένων. Ο γενικός στόχος της εκμάθησης είναι να βελτιωθεί η απόδοση του συστήματος ανεξάρτητα από το στόχο που αυτό έχει αναλάβει να διεκπεραιώσει.



Εικόνα 18: Σχέση μεταξύ μάθησης, απόδοσης, γνώσης και περιβάλλοντος

Σύμφωνα με την ανωτέρω εικόνα, το σύστημα λειτουργεί σε ένα συνεχόμενο βρόχο, όπου δέχεται πληροφορίες για τις συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον, τις μετασχηματίζει σε γνώση και τελικά τις εφαρμόζει, για να βελτιώσει την απόδοση του. Συνεπώς η απόδοση του συστήματος παράγει εμπειρία που έχει ως αποτέλεσμα την εκμάθηση, η οποία στη συνέχεια οδηγεί σε αλλαγές στην απόδοση, και ούτω καθεξής. Αυτό το παράδειγμα είναι γνωστό ως *on-line* μάθηση, και χαρακτηρίζει μερικές από τις ερευνητικές περιοχές. Μια περισσότερο κοινή προσέγγιση, είναι γνωστή ως *off-line* μάθηση, και υποστηρίζει ότι οι εμπειρίες εκπαίδευσης προσδίδονται από την αρχή, και ότι η μάθηση τις μετασχηματίζεται κατευθείαν σε γνώση. Χρήζει ιδιαίτερης μνείας, να σημειωθεί η προαιρετική σύνδεση που εμφανίζεται στην εικόνα, ανάμεσα στην τρέχουσα γνώση του δικτύου και στη διαδικασία εκμάθησης. Η σύνδεση αυτή, αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα και μπορεί να βοηθήσει στη μάθηση όταν η σχετική γνώση είναι διαθέσιμη [31].

Ακολούθως εξετάζονται μερικές πτυχές της εκμάθησης μηχανής που έχουν σχέση με προσεγγίσεις της γνωστικής δικτύωσης. Ένα μέρος της έρευνας αφορά την ανασκόπηση σημαντικών προβλημάτων των φορμαλισμών/σχηματισμών που μελετά η εκμάθηση μηχανών.

4.1 Μέθοδοι Εκμάθησης μέσω Μηχανής

Η συμπεριφορά της εκμάθησης μέσω μηχανής είναι ανάλογη του τρόπου κωδικοποίησης της εκμάθησης π.χ. με την χρήση δέντρων απόφασης, νευρωνικών δικτύων, βιβλιοθήκες περίπτωσης (Case libraries), πιθανολογικές περιλήψεις κ.α. [31]. Παρόλα αυτά, ένα σημαντικό ζήτημα, αφορά το πώς χρησιμοποιούνται τα δεδομένα εισαγωγής που οδηγούν στην εκμάθηση (στόχος εκμάθησης) και τον τρόπο που χρησιμοποιείται η αποκτηθείσα γνώση. Ακολουθούν τρεις ευρείς σχηματισμοί της μηχανής εκμάθησης.

4.1.1 Εκμάθηση Ταξινόμησης και Παλινδρόμησης

Ο πιο κοινός σχηματισμός εστιάζει στην εκμάθηση της γνώσης, για το στόχο απόδοσης της ταξινόμησης ή της παλινδρόμησης. Η ταξινόμηση περιλαμβάνει την ανάθεση μιας περίπτωσης

χρήσης σε ένα πεπερασμένο σύνολο από κλάσεις (κατηγορίες), ενώ η παλινδρόμηση προβλέπει την ανάθεση της αξίας / τιμής μιας περίπτωσης χρήσης σε μια συνεχόμενη μεταβλητή ή χαρακτηριστικό.

Ένα πρόβλημα ταξινόμησης, αφορά για παράδειγμα, αν μια αποτυχία σύνδεσης οφείλεται είτε στο ότι ένα site έχει τεθεί επί τούτου εκτός λειτουργίας, είτε διότι εμφανίζεται πρόβλημα υπερφόρτωσης, είτε γιατί υπάρχει πρόβλημα στην ISP υπηρεσία. Το αντίστοιχο παράδειγμα για την παλινδρόμηση, αφορά την χρονική πρόβλεψη για την αποκατάσταση της σύνδεσης. Οι περιπτώσεις χρήσης περιγράφονται ως ένα σύνολο τιμών για διακριτά ή συνεχόμενα χαρακτηριστικά ή μεταβλητές. Για παράδειγμα, η περιγραφή της κατάστασης δικτύου μπορεί να περιλαμβάνει χαρακτηριστικά για απώλεια πακέτων, χρόνο μεταφοράς και συνδεσιμότητα. Αντίθετα, ορισμένα θέματα για την ταξινόμηση και την παλινδρόμηση, αφορούν σχεσιακούς περιγραφείς (descriptors). Κατά συνέπεια, κάποιος μπορεί να περιγράψει μια συγκεκριμένη κατάσταση από άποψη συνδέσεων κόμβου, και από το αν οι αριθμητικές ιδιότητες σε έναν κόμβο (π.χ. buffer χρησιμοποίηση) είναι υψηλότερες από αυτές που εντοπίζονται σε ένα γειτονικό.

Σε μερικές περιπτώσεις, δεν υπάρχει κάποιο χαρακτηριστικό που να είναι γνωστό από την αρχή ή να μπορεί να προβλεφθεί από τα άλλα. Αντ' αυτού, μπορεί να χρειάζεται να προβλεφθεί η τιμή οποιουδήποτε χαρακτηριστικού σε σχέση με όλα τα άλλα που έχουν παρατηρηθεί. Αυτός ο στόχος απόδοσης, συχνά καλείται ολοκλήρωση προτύπων (pattern completion) ή εύκαμπτη πρόβλεψη (flexible prediction). Για παράδειγμα, μερικές πληροφορίες που αφορούν τις μεταβλητές δικτύων αποκτούνται εύκολα και ανέξοδα, ωστόσο πολλές φορές προκύπτει η ανάγκη αλλά και η επιθυμία να προβλεφτούν τιμές άλλων μεταβλητών που ο τρόπος μέτρησης τους είναι μη οικονομικός. Ένα σχετικό παράδειγμα περιλαμβάνει την πρόβλεψη υποθετικών πιθανοτήτων, ότι διαφορετικές τιμές θα εμφανιστούν για άγνωστες μεταβλητές σε σχέση με αυτές που δόθηκαν για άλλες. Εναλλακτικά, κάποιος μπορεί να θελήσει να προβλέψει την κοινή κατανομή πιθανότητας σε ολόκληρο το σύνολο των δυνατών αντικειμένων (instances).

Ένας αριθμός από διακριτούς στόχους εκμάθησης μπορεί να σχηματιστεί για να παραχθεί γνώση που θα χρησιμοποιηθεί στην ταξινόμηση ή στην παλινδρόμηση. Ο πιο γνωστός σχηματισμός αποκαλείται εποπτευόμενη εκμάθηση (supervised learning) και υποθέτει ότι δίνονται σε έναν μαθητευόμενο περιπτώσεις εκπαίδευσης με σχετικές κατηγορίες ή τιμές για να προβλεφθούν χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, σε μια εποπτευόμενη μέθοδο εκμάθησης μπορεί να παρέχονται διακόσιες περιπτώσεις τεσσάρων διαφορετικών τύπων για τους λόγους αποτυχίας μιας σύνδεσης, και πενήντα περίπου περιπτώσεις για κάθε κατηγορία, με κάθε περίπτωση να περιγράφεται υπό όρους χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται αργότερα κατά την διάρκεια της ταξινόμησης. Στην περίπτωση της παλινδρόμησης υπολογίζεται ο χρόνος που χρειάζεται για την αποκατάσταση της σύνδεσης σε κάθε περίπτωση εκπαίδευσης.

Υπάρχουν ποικίλα καθιερωμένα παραδείγματα για την εποπτευόμενη εκμάθηση. Μέσα σε αυτά συμπεριλαμβάνονται τα δέντρα απόφασης και οι κανόνες επαγωγής, [31], οι μέθοδοι

νευρωνικών δικτύων [33], η υποστήριξη διανυσματικών μηχανών, οι προσεγγίσεις κοντινότερων γειτόνων [34], και οι πιθανολογικές μέθοδοι [35]. Αυτά τα πλαίσια διαφέρουν στους σχηματισμούς που υιοθετούν για την αντιπροσώπευση εκμάθησης της γνώσης, καθώς επίσης και στους αλγορίθμους που χρησιμοποιούν για την απόκτηση της γνώσης αυτής. Το κοινό σημείο των μεθόδων αυτών είναι η εμπιστοσύνη τους στην μεταβλητή απόκρισης για να κατευθύνουν την αναζήτησή τους μέσα από τα προβλέψιμα μοντέλα. Επιπλέον, μοιράζονται μια κοινή προσέγγιση όσον αφορά την αξιολόγηση, δεδομένου ότι ο στόχος τους είναι να επηρεάσουν τα προβλέψιμα μοντέλα από τις περιπτώσεις εκπαίδευσης που εμφανίζουν χαμηλό ποσοστό λάθους στις νέες περιπτώσεις ελέγχου.

Μια δεύτερη ευρεία κατηγορία στόχων, η εκμάθηση χωρίς επίβλεψη εκμάθηση (unsupervised learning), υποθέτει ότι στον μαθητευόμενο δίνονται περιπτώσεις εκπαίδευσης χωρίς οποιοσδήποτε σχετικές πληροφορίες για την κατηγορία ή οποιοδήποτε συγκεκριμένο χαρακτηριστικό για πρόβλεψη. Παράδειγμα της μεθόδου εκμάθησης χωρίς επίβλεψη, αποτελούν οι διακόσιες περιπτώσεις αποτυχίας σύνδεσης, χωρίς να αναφέρεται όμως, καμία πληροφορία για τον τύπο αποτυχίας της σύνδεσης ή το χρόνο αποκατάστασης της.

Όπως και στην εποπτευόμενη εκμάθηση, υπάρχουν αρκετές τεχνικές για εκμάθηση μέσα από τα δεδομένα της χωρίς επίβλεψης εκμάθησης, τα οποία χωρίζονται σε δύο ευρείες κατηγορίες. Η πρώτη, είναι γνωστή ως clustering (ταξινόμηση) και υποθέτει ότι ο στόχος της εκμάθησης είναι η ανάθεση των εκπαιδευτικών περιπτώσεων σε διακριτές κατηγορίες, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ταξινομήσουν τις νέες περιπτώσεις και να εξάγουν συμπεράσματα για αυτές μέσω της ολοκλήρωσης προτύπων (pattern completion) [31]. Για παράδειγμα, ένας αλγόριθμος ταξινόμησης μπορεί να ομαδοποιήσει τις διακόσιες περιπτώσεις εκπαίδευσης σε διάφορες κατηγορίες που θεωρεί ότι αντιπροσωπεύουν διαφορετικούς τύπους διακοπής υπηρεσιών (service interruption). Η δεύτερη κατηγορία, είναι γνωστή ως εκτίμηση πυκνότητας (density estimation) και στοχεύει στην δημιουργία ενός μοντέλου που προβλέπει την πιθανότητα εμφάνισης (πραγματοποίησης) συγκεκριμένου περιστατικού [31]. Για παράδειγμα, αν εμφανίζονταν τα ίδια δεδομένα με προηγουμένως, για την διακοπή υπηρεσιών, μια τέτοια μέθοδος θα παρήγαγε μια λειτουργία πυκνότητας πιθανότητας που καλύπτει ταυτόχρονα όλες τις περιπτώσεις εκπαίδευσης μαζί με αυτές που εμφανίζονται για πρώτη φορά.

Ένας τρίτος σχηματισμός, γνωστός ως ημι-εποπτευόμενη (semi-supervised) εκμάθηση, βρίσκεται μεταξύ των δύο προσεγγίσεων που αναφέρθηκαν προηγουμένως [36]. Σε αυτό το πλαίσιο, μερικές από τις περιπτώσεις εκπαίδευσης «συνοδεύονται» από σχετικές κατηγορίες ή τιμές για προβλεπόμενα χαρακτηριστικά και άλλες (η πλειοψηφία) χωρίς. Αυτή η προσέγγιση είναι κοινή στις περιοχές όπως η ταξινόμηση κειμένου, όπου οι περιπτώσεις εκπαίδευσης είναι άφθονες αλλά οι ετικέτες κατηγορίας δαπανηρές. Ο στόχος είναι παρόμοιος με αυτόν της εποπτευόμενης εκμάθησης, δηλαδή να επηρεαστεί ένας classifier (ταξινομητής) ή ένας regressor (παλινδρομητής) που πραγματοποιεί ακριβείς προβλέψεις και ταυτόχρονα να χρησιμοποιηθούν οι περιπτώσεις, που διατίθενται χωρίς να ανήκουν σε κάποια κατηγορία με ετικέτα, ώστε να βελτιωθεί η συμπεριφορά. Για παράδειγμα, ακόμα κι αν μόνο είκοσι από τις

διακόσιες περιπτώσεις εκπαίδευσης διακοπής υπηρεσιών περιλαμβάνουν πληροφορίες κατηγορίας, κάποια μπορεί να χρησιμοποιήσει τις πιο τακτικές πληροφορίες στις υπόλοιπες περιπτώσεις για να επιφέρει τους πιο ακριβείς classifiers [31].

Η ταξινόμηση ή η παλινδρόμηση είναι οι πιο βασικές ικανότητες από τις οποίες μπορεί να πραγματοποιηθεί εκμάθηση. Μέθοδοι για την εκμάθηση μέσω της ταξινόμησης και της παλινδρόμησης μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο σε πιο σύνθετους στόχους. Τέτοιοι στόχοι όμως, εισάγουν και άλλους παράγοντες που απαιτούν πρόσθετους μηχανισμούς, όπως θα αναλύσουμε στην συνέχεια.

4.1.2 Εκμάθηση για Δράση και Σχεδιασμό

Ένας δεύτερος σχηματισμός διευθετεί την εκμάθηση γνώσης για την επιλογή ενεργειών ή σχεδίων που θα εκτελεστούν από έναν «πράκτορα» στον πραγματικό κόσμο (εξωτερικό περιβάλλον). Με πιο απλά λόγια, η επιλογή ενεργειών μπορεί να πραγματοποιηθεί με έναν καθαρά αντιδραστικό τρόπο, που αγνοεί οποιοσδήποτε πληροφορίες από προηγούμενες ενέργειες / δράσεις. Αυτή η εκδοχή έχει μια άμεση απεικόνιση στην ταξινόμηση, με τις εναλλακτικές ενέργειες να αντιστοιχούν στις διακριτές κατηγορίες, τις οποίες ο «πράκτορας» επιλέγει, σύμφωνα με τις περιγραφές για την κατάσταση που επικρατεί στο εξωτερικό περιβάλλον. Η επιλογή ενεργειών έχει απεικόνιση και πάνω στην παλινδρόμηση, όπου ο «πράκτορας» προβλέπει τη συνολική αξία ή χρησιμότητα κάθε ενέργειας για μια δεδομένη κατάσταση στον πραγματικό κόσμο.

Όπως στην ταξινόμηση και στην παλινδρόμηση, ένας αριθμός από στόχους εκμάθησης που παράγει γνώση για δράση, επιλογή και αναζήτηση μπορεί να διαμορφωθεί. Η πιο απλή προσέγγιση είναι γνωστή ως learning apprentice (εκμάθηση μαθητευόμενου) ή προσαρμοστική διεπαφή (adaptive interface), όπου ενσωματώνει τον μαθητευόμενο μέσα σε ένα μεγαλύτερο σύστημα που αλληλεπιδρά με έναν ανθρώπινο χρήστη [37].

Αυτό το σύστημα είτε πραγματοποιεί τις εντολές του χρήστη, είτε του υποδεικνύει τις κατευθύνσεις που μπορεί να ακολουθήσει. Στην δεύτερη περίπτωση, ο χρήστης είτε δέχεται και πραγματοποιεί κάποιες από τις υποδείξεις του συστήματος, είτε εφαρμόζει διαφορετικές. Κατά συνέπεια, δίνεται άμεση ανατροφοδότηση στο σύστημα για κάθε επιλογή, μετασχηματίζοντας αποτελεσματικά το πρόβλημα εκμάθησης επιλογής ενεργειών, σε έναν εποπτευόμενο στόχο, ο οποίος μπορεί να διεκπεραιωθεί μετέπειτα, σύμφωνα με τις προηγούμενες μεθόδους. Ένα σχετικό παράδειγμα, γνωστό ως «προγραμματίζοντας με επίδειξη (programming by demonstration)», εστιάζει στην εκμάθηση (μακροτελεστών) macro - operator, που θα μπορούσαν αργότερα να κληθούν από το χρήστη, ώστε να ολοκληρώνει τις ενέργειες του σε λιγότερα βήματα [31]. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να δημιουργηθεί ένα αλληλεπιδραστικό εργαλείο για διαμόρφωση δικτύου, που προτείνει κάθε φορά την ενσωμάτωση αλληλεπιδρώντων εναλλακτικών συστατικών ή συνδέσεων μεταξύ των συστατικών αυτών. Ο χρήστης κάθε φορά μπορεί να επιλέγει ή να απορρίπτει αυτές τις συστάσεις ή να επιλέγει μια διαφορετική κατεύθυνση. Κάθε τέτοια αλληλεπίδραση παράγει μια

εκπαιδευτική περίπτωση, η οποία θα χρησιμοποιηθεί για να γίνει κατανοητή η διαμόρφωση του δικτύου και μετέπειτα να χρησιμοποιηθεί στις μελλοντικές αλληλεπιδράσεις.

Ένας σχηματισμός σχετικός με την εκμάθηση ενεργειών γνωστός και ως συμπεριφοριστική κλωνοποίηση (behavioral cloning) αποτυπώνει τις ανθρώπινες ενέργειες σε κάποια περιοχή αλλά δεν προσφέρει συμβουλές και δεν αλληλεπιδρά άμεσα [31]. Και σε αυτήν την περίπτωση, κάθε ανθρώπινη επιλογή μετασχηματίζεται σε εκπαιδευτική περίπτωση και χρησιμοποιείται στην εποπτευόμενη εκμάθηση. Η κύρια διαφορά είναι ότι η behavioral cloning στοχεύει στη δημιουργία αυτόνομων πρακτόρων³ για να επιτελούν τους στόχους διαδοχικής λήψης αποφάσεων, ενώ η learning apprentices / adaptive interface στοχεύει να παράγει ευφυείς βοηθούς. Για παράδειγμα, ένα σύστημα θα μπορούσε να παρακολουθεί ένα διαχειριστή να εκτελεί διαδοχικές εντολές για τη διαμόρφωση ενός δικτύου υπολογιστών, και να μετασχηματίζει τις εντολές αυτές σε εποπτευμένες περιπτώσεις εκπαίδευσης ώστε να γνωρίζει ποιες μπορεί να χρησιμοποιήσει μελλοντικά αλλά και για να εκτιμά την αξία των διαθέσιμων επιλογών.

Ένας διαφορετικός σχηματισμός περιλαμβάνει την έννοια της εκμάθησης από την καθυστερημένη ανταμοιβή (delayed reward), και συνήθως αναφέρεται ως εκμάθηση μέσω ενίσχυσης (Reinforcement Learning). Σε αυτήν την περίπτωση, ο πράκτορας εκτελεί ενέργειες στο περιβάλλον και λαμβάνει κάποια ένδειξη ανταμοιβής που υποδεικνύει το επιθυμητό αποτέλεσμα της κατάστασης. Παρόλα αυτά, η ανταμοιβή μπορεί να καθυστερήσει επειδή ο πράκτορας πραγματοποιεί πολλά βήματα μέχρι να φθάσει στην επιθυμητή κατάσταση (π.χ., επαναφορά υπηρεσίας σύνδεσης).

Ένας άλλος σχηματισμός, σχετίζεται με την reinforcement learning, αλλά περιλαμβάνει εκμάθηση μέσω της επίλυσης προβλημάτων (problem solving) και όχι μέσα από ενέργειες από το περιβάλλον [31]. Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα, αποτελεί μια εφαρμογή δρομολόγησης ή διαμόρφωσης δικτύου. Η εφαρμογή αυτή χρειάζεται ένα πρότυπο που να περιέχει τις επιπτώσεις που προήλθαν από τις ενέργειες που εφάρμοσε κάποιος διαχειριστής. Μέσα από το πρότυπο αυτό, ο πράκτορας θα γνωρίζει τα αποτελέσματα και θα μπορεί να αποφασίσει για το ποιες ενέργειες θα πραγματοποιήσει στο εξωτερικό περιβάλλον. Με τον τρόπο αυτό, μετά από επαναλαμβανόμενες προσπάθειες για δρομολόγηση και διαμόρφωση, οι μελλοντικές λύσεις θα είναι πιο αποδοτικές και ποιοτικές σύμφωνα με τις ενέργειες που λαμβάνονται βάσει της αποκτηθείσας εμπειρίας.

Συνοψίζοντας λοιπόν, αξίζει να αναφερθούν δύο θέματα για την εκμάθηση μέσω της επιλογής ενεργειών και σχεδιασμού. Κατ' αρχάς, σε πολλές περιοχές η ανίχνευση της κατάστασης μπορεί να θεωρηθεί ως ένα είδος ενέργειας / δράσης. Κατά συνέπεια, ένας πράκτορας μπορεί να μάθει πολιτικές για την ανίχνευση ώστε να υποστηρίξει αποδοτικά τη διάγνωση της κατάστασης του δικτύου. Δεύτερον, μερικές μέθοδοι που αφορούν τη σχεδιασμένη εκμάθηση,

³ Οι αυτόνομοι πράκτορες διατηρούν ένα επίπεδο ελέγχου στις πράξεις τους ενώ είναι ικανοί να λαμβάνουν αποφάσεις εκ μέρους του χρήστη. Έχουν την δυνατότητα να πράττουν αναλόγως ώστε να επιτευχθεί κάποιος εσωτερικός στόχος σύμφωνα με το αντιλαμβανόμενο περιβάλλον του πράκτορα.

υποθέτουν τη διαθεσιμότητα μοντέλων δράσης που περιγράφουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα όταν επικαλούνται ενέργειες, οι οποίες στην συνέχεια οδηγούν σε πρότυπα δράσης μέσω των παρατηρήσεων. Τα παραπάνω έχουν πολλές ομοιότητες με το πρόβλημα εκμάθησης μέσω της ταξινόμησης και της παλινδρόμησης, στοχεύουν ωστόσο στο να υποστηρίξουν υψηλότερου επιπέδου εκμάθηση για πολιτικές που αφορούν τις ενέργειες και τον σχεδιασμό.

4.1.3 Εκμάθηση για ερμηνεία και κατανόηση

Ένας τρίτος σχηματισμός, εστιάζει στην εκμάθηση της γνώσης που επιτρέπει την ερμηνεία και κατανόηση γεγονότων. Η ταξινόμηση αποτελεί ένα απλό παράδειγμα αυτής της ιδέας, δεδομένου ότι μία περίπτωση μπορεί να θεωρηθεί ως ένα παράδειγμα κάποιας κατηγορίας. Ωστόσο, κάποιες πιο εξεζητημένες προσεγγίσεις προσπαθούν να ερμηνεύσουν τις παρατηρήσεις με έναν πιο εποικοδομητικό τρόπο, συνδυάζοντας έναν αριθμό ξεχωριστών στοιχείων γνώσης για να τις εξηγήσουν. Η βασική διαφορά είναι ότι η ταξινόμηση και η παλινδρόμηση επιτυγχάνονται με πρότυπα / μοντέλα που πραγματοποιούν ακριβείς προβλέψεις ενώ οι ερμηνευτικές προσεγγίσεις απαιτούν πρότυπα που επεξηγούν τα δεδομένα μέσω βαθύτερων δομών. Αυτή η διαδικασία επεξήγησης αναφέρεται συχνά ως απαγωγή (abduction).

Η επεξηγηματική ή abductive προσέγγιση ίσως εκφράζεται καλύτερα στην επεξεργασία φυσικής γλώσσας, όπου ένας κοινός στόχος απόδοσης περιλαμβάνει τη συντακτική ανάλυση προτάσεων χρησιμοποιώντας μια context free γραμματική. Μια τέτοια γραμματική περιέχει αναθεωρημένους κανόνες που αναφέρονται σε μη τερματικά σύμβολα για τύπους φράσεων και μέρη του λόγου, όπου ένα parse tree καθορίζει πώς μπορεί μια πρόταση να αναλυθεί σύμφωνα με αυτούς τους κανόνες. Παρόμοιες ιδέες μπορεί να εφαρμοστούν και σε άλλες περιοχές, συμπεριλαμβανομένης της ερμηνείας και της διάγνωσης της συμπεριφοράς του δικτύου. Για παράδειγμα, μη κατανοητοί ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων μεταξύ διάφορων κόμβων σε ένα δίκτυο, μπορεί να επεξηγηθούν με χρήση κοινών διαδικασιών.

Μπορεί να καταγραφούν πολλοί διαφορετικοί στόχοι εκμάθησης μέσα στο επεξηγηματικό πλαίσιο. Η πιο απλή μορφή προβλήματος υποθέτει ότι κάθε περίπτωση εκπαίδευσης περιέχει μια σχετική εξήγηση. Ο στόχος εκμάθησης περιλαμβάνει γενίκευση πάνω στις περιπτώσεις εκπαίδευσης για να παράγει ένα πρότυπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να ερμηνεύσει ή να επεξηγήσει τις μελλοντικές περιπτώσεις ελέγχου. Φυσικά, αυτή η προσέγγιση προσθέτει μια επιβάρυνση στον προγραμματιστή από την στιγμή που απαιτεί την κατασκευή επεξηγήσεων για την κάθε περίπτωση εκπαίδευσης, αλλά περιορίζει πολύ τη διαδικασία εκμάθησης δεδομένου ότι διαχωρίζει αποτελεσματικά το στόχο σε ένα σύνολο χωριστών στόχων ταξινόμησης ή παλινδρόμησης.

Μια δεύτερη κατηγορία στόχου εκμάθησης υποθέτει ότι οι περιπτώσεις εκπαίδευσης δεν έχουν συνοδευτικές επεξηγήσεις, αλλά παρέχουν υπόβαθρο γνώσης από όπου ο μαθητευόμενος μπορεί να τις δημιουργήσει. Αυτό το πρόβλημα παρέχει λιγότερη εποπτεία από το πρώτο,

αφού ο μαθητευόμενος πρέπει να εξετάσει τις εναλλακτικές εξηγήσεις για κάθε περίπτωση εκπαίδευσης και να αποφασίσει ποιες είναι κατάλληλες. Παρόλα αυτά, το αποτέλεσμα είναι πάλι κάποιο πρότυπο που μπορεί να εφαρμοστεί για να ερμηνεύσει ή να εξηγήσει τις μελλοντικές περιπτώσεις. Αυτός ο σχηματισμός είναι λιγότερο επιβαρυντικός για τον προγραμματιστή, δεδομένου ότι δεν χρειάζεται να παρέχει επεξηγήσεις για κάθε περίπτωση εκπαίδευσης, αλλά μόνο μια κύρια θεωρία από την οποία ο μαθητευόμενος μπορεί να κατασκευάσει τις επεξηγήσεις ο ίδιος.

Μια διαφορετική εκδοχή για την κατανόηση της εκμάθησης, παρέχει περιπτώσεις εκπαίδευσης που δεν παρέχουν ούτε επεξηγήσεις αλλά ούτε και υπόβαθρο γνώσης από όπου θα μπορούσαν να δημιουργηθούν. Στην περίπτωση αυτή ο μαθητευόμενος πρέπει να επιδείξει τις δικές του επεξηγηματικές δομές από τα στοιχεία τα οποία μπορεί έπειτα να χρησιμοποιήσει για να ερμηνεύσει και να κατανοήσει τις νέες περιπτώσεις ελέγχου. Ένα παράδειγμα από τη φυσική γλώσσα περιλαμβάνει την εισαγωγή context-free γραμματικής, συμπεριλαμβανομένων μη τερματικών συμβόλων και αναθεωρημένων κανόνων από τους οποίους εμφανίζονται οι ορθές προτάσεις εκπαίδευσης [31]. Αυτός ο στόχος, σαφώς απαιτεί ακόμα λιγότερη προσπάθεια από την πλευρά του προγραμματιστή, αλλά προσδίδει μια μεγαλύτερη πρόκληση στο σύστημα εκμάθησης. Επειδή οι στόχοι εκμάθησης, που παράγουν επεξηγηματικά πρότυπα είναι γενικά πιο δύσκολοι από αυτούς της ταξινόμησης και της παλινδρόμησης, μερικοί ερευνητές έχουν διατυπώσει πιο ομαλές εκδόσεις τους.

4.1.3.1 Σχηματισμοί Εκμάθησης

Συνοψίζοντας, πολλοί σχηματισμοί εκμάθησης μηχανής μπορούν να διατυπωθούν με ποικίλους τρόπους. Διαφέρουν ως προς τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται η γνώση και στη φύση των δεδομένων εκπαίδευσης που οδηγεί στη διαδικασία εκμάθησης.

Ένα άλλο σημαντικό σημείο, είναι ότι ένα πραγματικό πρόβλημα μπορεί να σχηματιστεί από πολλούς διαφορετικούς στόχους εκμάθησης. Για παράδειγμα, τα ελαττώματα ενός δικτύου μπορεί να θεωρηθούν ως πρόβλημα ταξινόμησης που περιλαμβάνει την ανάθεση της επικρατούσας κατάστασης του δικτύου, είτε σε κανονικές είτε σε μερικές προκαθορισμένες ελαττωματικές συνθήκες. Από την άλλη πλευρά, θα μπορούσε να διατυπωθεί ως ένα πρόβλημα κατανόησης ανώμαλης συμπεριφοράς του δικτύου. Μια άλλη επιλογή, θα ήταν να θεωρηθεί η διάγνωση ως πρόβλημα συλλογής ενεργών αισθητήρων που περιορίζει τις εναλλακτικές λύσεις. Κάθε σχηματισμός προτείνει διαφορετικές προσεγγίσεις (

Πίνακας 1) ως προς την εκμάθηση της γνώσης και στα κριτήρια αξιολόγησης της επιτυχίας του συστατικού εκμάθησης [31].

Πίνακας 1: Σχηματισμοί & Στόχοι Απόδοσης

Σχηματισμός	Στόχος Απόδοσης (Performance Task)
Classification & Regression	Υπολογίζει το y δοσμένου του x

Ταξινόμηση Παλινδρόμηση	&	Υπολογίζει το υπόλοιπο του x δοσμένου ένα μέρος από το x Υπολογίζει το $P(x)$ δοσμένου του x
Acting & Planning (Ενέργειες & Σχεδιασμός)		Επαναληπτικά επιλέγει μια ενέργεια a σε μια κατάσταση s Επιλέγει ενέργειες $\langle a_1, \dots, a_n \rangle$ για να επιτύχει ένα στόχο g Βρίσκει τις ρυθμίσεις s για να βελτιστοποιήσει το $J(s)$
Interpretation Understanding (Ερμηνεία & Κατανόηση)	&	Αναλύει συντακτικά μια ροή δεδομένων σε μία δενδρική δομή αντικειμένων και γεγονότων

4.2 Θέματα που αναπτύσσονται στα CNs

Το παρακάτω κομμάτι, μελετά θέματα που αφορούν τις γνωστικές λειτουργίες. Αυτές περιλαμβάνουν την ανίχνευση ανωμαλιών και διάγνωση ελαττωμάτων, την απόκριση σε εισβολείς και σε ιούς καθώς και στην γρήγορη διαμόρφωση δικτύων.

4.2.1 Ανίχνευση Ανωμαλιών και Διάγνωση Σφαλμάτων

Τα τρέχοντα δίκτυα υπολογιστών απαιτούν ανθρώπινη διαχείριση για να εποπτεύσουν την συμπεριφορά τους και για να εξασφαλίσουν ότι παραδίδουν τις επιθυμητές υπηρεσίες. Για αυτόν το σκοπό, οι διαχειριστές δικτύων (NOs) πρέπει να ανιχνεύσουν ασυνήθιστες ή ανεπιθύμητες συμπεριφορές, να απομονώσουν τις πηγές τους, να διαγνώσουν το ελάττωμα και να επιλύσουν το πρόβλημα. Αυτοί οι στόχοι γίνονται πιο προκλητικοί επειδή τα μεγάλης κλίμακας (large scale) δίκτυα ρυθμίζονται με έναν κατανεμημένο τρόπο, από άτομα που έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες και έλεγχο σε ορισμένες μερίδες του συστήματος. Παρόλα αυτά, κρίνεται αναγκαίο να εξεταστούν οι δραστηριότητες στις οποίες ένας μοναδικός διαχειριστής δικτύων συμμετέχει [31].

Η πρώτη δραστηριότητα, η ανίχνευση ανωμαλιών, περιλαμβάνει την παραδοχή ότι κάτι ασυνήθιστο ή ανεπιθύμητο διαδραματίζεται μέσα στο δίκτυο. Μια πιθανή προσέγγιση σε αυτό το πρόβλημα που βρίσκει εφαρμογή στα Bayesian δίκτυα, διατυπώνεται ως πρόβλημα εκτίμησης πυκνότητας [31]. Τα ανεξάρτητα συστατικά, οι μεγαλύτερες περιοχές του δικτύου, ή, σε κάποιο επίπεδο, ολόκληρο το Διαδίκτυο θα μπορούσαν να διαμορφωθούν ως μια κοινή κατανομή πιθανότητας διαφόρων ποσοτήτων (μέγεθος σειράς (queue lengths) αναμονής, τύπου κίνησης, κ.α.). Μια ανωμαλία καθορίζεται ως μια χαμηλή πιθανότητα κατάσταση του δικτύου.

Υπάρχουν διάφορα ζητήματα που προκύπτουν κατά την ανίχνευση ανωμαλιών. Κατ' αρχάς, πρέπει να επιλεχθεί το επίπεδο ανάλυσης και οι μεταβλητές που θα παρακολουθήσουν τις ανωμαλίες. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει εφαρμοσμένες μεθόδους για την επεξήγηση και συγκέντρωση δεδομένων αισθητήρων. Στο σχέδιο γνώσης υπάρχουν ολόκληρες ιεραρχίες ανιχνευτών ανωμαλίας που ψάχνουν για αλλαγές στον τύπο κίνησης του δικτύου (π.χ., τύπος

πρωτοκόλλου), στη δρομολόγηση, στις καθυστερήσεις κίνησης, στις απώλειες πακέτων, στα λάθη μετάδοσης και τα λοιπά. Οι ανωμαλίες μπορεί να είναι μη ανιχνεύσιμες σε ένα επίπεδο αφαίρεσης αλλά μπορεί ακόμα και να ανιχνευθούν σε ένα διαφορετικό επίπεδο. Για παράδειγμα, ένας ιός μπορεί να μην ανιχνευτεί στο επίπεδο ενός μοναδικού host (εξυπηρετητή / οικοδεσπότης), αλλά να είναι ανιχνεύσιμος όταν συνδυάζονται παρατηρήσεις από διάφορους hosts.

Το δεύτερο ζήτημα είναι το πρόβλημα των ψεύτικων και επαναλαμβανόμενων συναγερμών. Ορισμένα είδη ανωμαλιών μπορεί να είναι ασήμαντα κι έτσι οι διαχειριστές δικτύων χρειάζονται τρόπους ώστε να «εκπαιδεύσουν» το σύστημα να τους απομονώνει. Οι εποπτευμένες μέθοδοι εκμάθησης θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε αυτό το πρόβλημα.

Η δεύτερη δραστηριότητα, απομόνωση ελαττωμάτων (*Fault Isolation*), απαιτεί από το διαχειριστή να προσδιορίσει το ακριβές σημείο μιας ανωμαλίας ή ενός ελαττώματος μέσα στο δίκτυο (π.χ., τοπική εμφάνιση ανωμαλίας σε κάποιο δρομολογητή).

Η δραστηριότητα της διάγνωσης περιλαμβάνει την εξαγωγή μερικών συμπερασμάτων για τα αίτια της ανώμαλης συμπεριφοράς. Το στάδιο αυτό, έπεται της απομόνωσης ελαττωμάτων, αν και σε γενικές γραμμές η παρουσία ενός συγκεκριμένου προβλήματος μπορεί να εξαχθεί χωρίς τη γνώση της ακριβούς θέσης του προβλήματος. Η διάγνωση μπορεί να περιλαμβάνει την αναγνώριση μερικών γνωστών προβλημάτων ή την εμφάνιση νέων.

Η εφαρμογή της εποπτευόμενης μεθόδου εκμάθησης, επιτρέπει σε ένα NO να διδάξει στο σύστημα πώς να αναγνωρίζει τα γνωστά προβλήματα. Αυτό θα μπορούσε να είναι ένα προοίμιο για την αυτόματη λύση των προβλημάτων.

Και η απομόνωση και η διάγνωση ελαττωμάτων, μπορεί να απαιτήσουν ενεργές μετρήσεις για να συγκεντρώσουν πληροφορίες. Για παράδειγμα, μια ανωμαλία που βρίσκεται σε υψηλό επίπεδο συνάθροισης απαιτεί πιο λεπτομερείς παρατηρήσεις στα υψηλότερα επίπεδα για να γίνει κατανοητή η αιτία. Η διάγνωση συνήθως πρέπει να ισορροπήσει το κόστος συγκέντρωσης πληροφοριών ενάντια στην πιθανή έλλειψη πληροφοριών για τη δράση.

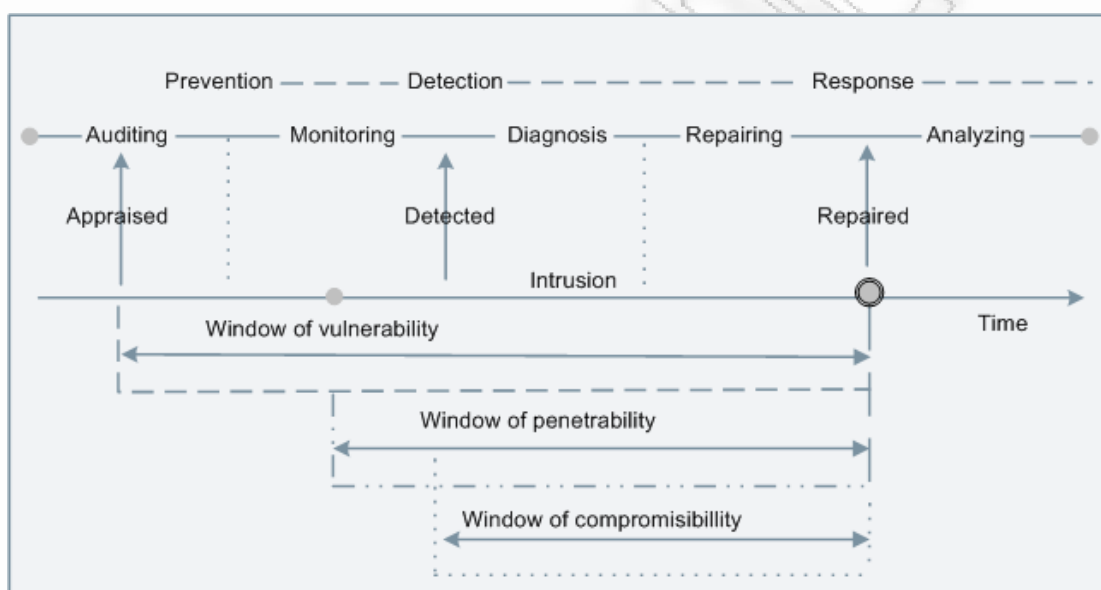
Η εκμάθηση μηχανής για εξαγωγή συμπερασμάτων θα μπορούσε να εφαρμοστεί για να βοηθήσει και να αυτοματοποιήσει αυτήν την διαδικασία. Μόλις ο NO εντοπίσει ένα πρόβλημα είναι σε θέση να το επισκευάσει. Παρόλα αυτά, δύναται να υπάρξουν διαφορετικά σχέδια δράσης που θα μπορούσαν να περιορίσουν το πρόβλημα, τα οποία όμως έχουν ποικίλες δαπάνες αλλά και αρκετά προτερήματα. Όταν πολλοί διαχειριστές δικτύου συμμετέχουν σε μια απόφαση, διαφορετικά κριτήρια μπορούν να διαδραματίσουν ρόλο και να καταλήξουν στη διαπραγμάτευση (*negotiation*). Η επιλογή μιας στρατηγικής δράσης, απαιτεί τη γνώση των διαθέσιμων ενεργειών, την επίδραση τους στην συμπεριφορά του δικτύου, αλλά και τις ανταλλαγές που περιλαμβάνουν.

Οι εποπτευόμενες μέθοδοι εκμάθησης μπορούν να εφαρμοστούν για την εκμάθηση των

αποτελεσμάτων διάφορων ενεργειών δράσης. Οι μέθοδοι για εκμάθηση στο σχεδιασμό θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για να μάθουν στρατηγικές δράσης (ή ίσως μόνο για να αξιολογήσουν τις στρατηγικές δράσης που προτείνονται από ένα διαχειριστή). Μια επιπρόσθετη μέθοδος η «collaborative filtering», παρέχει έναν εύκολο τρόπο ώστε οι διαχειριστές να μπορούν να διαμοιράζονται τις στρατηγικές δράσης.

4.2.2 Απόκριση στις εισβολές

Η απόκριση στις εισβολές (ανθρώπινες, τεχνικές ή συνδυασμός και των δύο) και η διατήρηση των δικτύων και των εφαρμογών σε ασφαλή λειτουργία, περιλαμβάνει μια συλλογή από στόχους που επεξηγούνται καλύτερα ανάλογα με το χρόνο στον οποίο ο NO τους εκτελεί. Οι στόχοι αυτοί, μπορεί να ομαδοποιηθούν σε αυτούς που εμφανίζονται πριν, κατά τη διάρκεια, ή μετά από την πραγματοποίηση μιας εισβολής (Εικόνα 19) [31].



Εικόνα 19: Time axis model of incident prevention, detection, and response tasks

Στόχοι πρόληψης / Παρεμπόδισης (Prevention): Οι NOs προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν την πιθανότητα μελλοντικών εισβολών με συνεχόμενο έλεγχο του συστήματος και περιορισμό των απειλών εκ των προτέρων. Ένας NO εκτελεί ασφαλείς ελέγχους για να εξετάσει τα υπολογιστικά συστήματα από αδυναμίες ή εκθέσεις. Παρόλα αυτά, τα εργαλεία ανίχνευσης (π.χ., Nessus, Satan, και oval) που χρησιμοποιούνται για ελέγχους ευπάθειας αναγνωρίζουν μόνο ένα περιορισμένο αριθμό από πρόσφατες ανιχνεύσιμες πιθανότητες που διακόπτουν την λειτουργία ενός υπολογιστή ή διαταράσσουν την κανονική λειτουργία του. Κατά συνέπεια, οι NOs ενημερώνουν συνεχώς τα εργαλεία ανίχνευσης με νέα plug-ins που επιτρέπουν να μετρούν τις νέες ευπάθειες. Μόλις γίνει αντιληπτή η ύπαρξη μιας ευπάθειας, οι NOs αξιολογούν τη δυνατότητα να διακόψουν την υπηρεσία ή την επηρεαζόμενη εφαρμογή, μέχρις ότου η αντίστοιχη υπογραφή ανίχνευσης εισβολής να είναι διαθέσιμη. Σε κάθε αξιολόγηση πραγματοποιείται μια ανταλλαγή μεταξύ του επιπέδου κινδύνου και του επιπέδου υπηρεσιών.

Οι NOs στοχεύουν στην μείωση (συρρίκνωση) του παραθύρου ευπάθειας (*window of vulnerability*), δηλαδή, το χρονικό διάστημα ανάμεσα στο οποίο μια νέα αδυναμία ανακαλύπτεται και μια προληπτική λύση (π.χ. νέα διαμόρφωση) για την αδυναμία αυτή παρέχεται. Η βασική στρατηγική για την επίτευξη του σκοπού αυτού βασίζεται σε δύο συντηρητικούς στόχους: πρώτα, στην ελαχιστοποίηση του αριθμού έκθεσης (απενεργοποίηση περιττών ή προαιρετικών υπηρεσιών με τη διαμόρφωση φίλτρων προστασίας που επιτρέπουν τη χρήση θυρών (*ports*) που είναι χρήσιμες για την λειτουργία του δικτύου και δεύτερον, στην αυξανόμενη ενημερότητα για τις νέες αδυναμίες που εμφανίζονται. Τέλος, οι NOs ελέγχουν συνεχώς το σύστημα έτσι ώστε τα συμπεριφοριστικά πρότυπα εισβολής (*pre-intrusion behavioral patterns*), να μπορούν να γίνουν κατανοητά και να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω αναφορά όταν εμφανίζεται μια εισβολή. Ο έλεγχος παρακολούθησης (*Monitoring*) είναι ένας τρέχων, προληπτικός στόχος.

Στόχοι ανίχνευσης (Detection): Όσο πιο σύντομα ανιχνεύεται μια εισβολή, τόσο περισσότερες είναι οι πιθανότητες για την παρεμπόδιση μιας μη εξουσιοδοτημένης χρήσης ή μιας κακής χρήσης του υπολογιστικού συστήματος. Οι NOs ελέγχουν τις δραστηριότητες των υπολογιστών σε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας: ίχνη κλήσης του συστήματος (*system call traces*), *operating system logs*, αρχεία ελέγχου διαδρομών (*audit trail records*), χρησιμοποίηση πόρων, συνδέσεις δικτύου, κ.λπ.. Προσπαθούν συνεχώς να συσχετίσουν τις εκθέσεις πραγματικού χρόνου και τις προειδοποιήσεις που προέρχονται από διαφορετικές συσκευές ασφάλειας (π.χ., φίλτρα προστασίας και συστήματα ανίχνευσης εισβολών) για να σταματήσουν την ύποπτη δραστηριότητα προτού αρχίσει να επιδρά αρνητικά (δηλ., υποβιβάζοντας ή διακόπτοντας διαδικασίες).

Ο χρόνος μέσα στον οποίο ανιχνεύεται μια εισβολή έχει άμεσες επιπτώσεις στο επίπεδο ζημίας που προκαλεί. Ένας από τους στόχους των NOs, είναι η μείωση του παραθύρου διαπερατότητας (*window of penetrability*), δηλαδή το χρονικό διάστημα που ξεκινά από την παραβίαση ενός υπολογιστή και επεκτείνεται μέχρι την πλήρη αποκατάσταση της ζημίας. Η σωστή διάγνωση μιας εισβολής επιτρέπει σε έναν NO να ορίσει την πιο κατάλληλη απόκριση. Παρόλα αυτά, μια ανταλλαγή μεταξύ ποιότητας και ταχύτητας πραγματοποιείται σε κάθε διάγνωση.

Στόχοι απόκρισης και αποκατάστασης (Response & Recovery): Μόλις πραγματοποιηθεί μια διάγνωση για μια εισβολή, οι διαχειριστές δικτύων αρχίζουν μια σκεπτόμενη απόκριση. Αυτή η απόκριση προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει τον αντίκτυπο στις διαδικασίες (π.χ., να παραμείνουν ανοιχτές οι θύρες (*ports*) από ένα φίλτρο προστασίας και απλά να αποκλειστεί μια IP διεύθυνση). Οι NOs προσπαθούν να περιορίσουν το παράθυρο συμβιβασμού (*window of compromise*) κάθε εισβολής. Το παράθυρο του συμβιβασμού είναι το χρονικό εκείνο διάστημα, το οποίο ξεκινά με την ανίχνευση μιας εισβολής και τελειώνει όταν η κατάλληλη απόκριση έχει επιδράσει στην ανάπτυξη συστημάτων απόκρισης σε εισβολές. Ωστόσο, τα συστήματα αυτά, βρίσκονται σε ένα αρχικό στάδιο και αποτυγχάνουν ακόμα και να παράσχουν βοήθεια μέσα από τα εγχειρίδια παροχής λύσεων. Επομένως, οι NOs υιοθετούν μια συλλογή από *ad hoc* λειτουργικές διαδικασίες που προσδιορίζουν την απόκριση και ανάκτηση

για τύπους εισβολείς. Οι αποκρίσεις σε μια επίθεση κυμαίνονται από τον τερματισμό της εργασίας ενός χρήστη, από την αναστολή μιας συνόδου για την φραγή μιας IP διεύθυνσης ή από την αποσύνδεση από το δίκτυο. Η αποκατάσταση ή η επισκευή μιας βλάβης απαιτεί συχνά την διατήρηση του επιπέδου υπηρεσίας ενώ το σύστημα επισκευάζεται, γεγονός που καθιστά δύσκολη την αυτοματοποίηση της διαδικασίας [31].

Μόλις το σύστημα ανακτηθεί πλήρως από μια εισβολή, οι NOs συλλέγουν όλα τα πιθανά δεδομένα για να αναλύσουν λεπτομερώς την εισβολή, να εντοπίσουν τι συνέβη και να εκτιμήσουν την βλάβη.

Ιδανικά, ο τελικός στόχος ενός NO είναι να μπορέσει να συγκλίνει τα τρία παράθυρα (ευπάθειας, διαπερατότητας και συμβιβασμού) κάθε πιθανής εισβολής σε ένα ενιαίο σημείο την ίδια χρονική στιγμή.

4.2.3 Διαμόρφωση Δικτύου και Βελτιστοποίηση

Η διαμόρφωση και η βελτιστοποίηση δικτύου μπορεί να θεωρηθεί ως μια περίπτωση του γενικού προβλήματος του σχεδιασμού και της διαμόρφωσης ενός συστήματος. Σε αυτό το σημείο, αναθεωρούνται τα θέματα διαμόρφωσης και περιγράφονται με συντομία οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί στην εκμάθηση μηχανής για την επίλυση των προβλημάτων αυτών [31].

Φάσμα στόχων διαμόρφωσης (Spectrum of Configuration Task): Το πρόβλημα του σχεδιασμού και της διαμόρφωσης μηχανικών συστημάτων αποτελεί ένα θέμα που απασχολεί την τεχνητή νοημοσύνη από τα πρώτα ερευνητικά χρόνια. Η διαμόρφωση ορίζεται ως ένας καθιερωμένος σχεδιασμός από ένα δοσμένο σύνολο συστατικών ή τύπων συστατικών, σε αντιδιαστολή δηλ., με το σχεδιασμό των ίδιων των συστατικών.

Ο απλούστερος στόχος είναι η επιλογή παραμέτρου (parameter selection), όπου επιλέγονται τιμές για ένα σύνολο γενικών παραμέτρων προκειμένου να βελτιστοποιηθεί κάποια γενική αντικειμενική λειτουργία/συνάρτηση. Πολλοί αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί στην έρευνα διαδικασιών, την αριθμητική ανάλυση, και την πληροφορική για την επίλυση τέτοιων προβλημάτων.

Ο δεύτερος στόχος είναι επιλογή συμβατής παραμέτρου (*compatible parameter selection*). Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα αποτελείται από ένα σύνολο συστατικών που αλληλεπιδρούν το ένα με το άλλο για να επιτύχουν γενική λειτουργία του συστήματος σύμφωνα με μια σταθερή τοπολογία συνδέσεων. Η αποτελεσματικότητα των αλληλεπιδράσεων επηρεάζεται από τις ρυθμίσεις παραμέτρων που πρέπει να είναι συμβατές, ώστε τα σύνολα των συστατικών να αλληλεπιδρούν. Για παράδειγμα, ένα σύνολο από host σε ένα υποδίκτυο πρέπει να είναι σύμφωνο σχετικά με τις διευθύνσεις δικτύου και τη μάσκα υποδικτύου (subnet mask) προκειμένου να επιτευχθεί επικοινωνία με τη χρησιμοποίηση των διευθύνσεων (IP). Η συνολική απόδοση του δικτύου μπορεί να εξαρτάται με σύνθετους

τρόπους από τις παραμέτρους τοπικής διαμόρφωσης. Είναι εύλογο, ότι μπορούν επίσης να επιλεγθούν σφαιρικές παράμετροι, όπως η οικογένεια πρωτοκόλλων.

Ο τρίτος στόχος είναι η *τοπολογική διαμόρφωση* (Topological Configuration). Το σύστημα, στο στόχο αυτό, αποτελείται από ένα σύνολο συστατικών, αλλά εκκρεμεί ο καθορισμός της τοπολογίας. Για παράδειγμα, πώς πρέπει να διαμορφωθεί ένα δίκτυο για να βελτιώσει τη γενική του απόδοση για ένα δοσμένο σύνολο από host, πύλες (gateways), εξυπηρετητές αρχείων (file servers), εκτυπωτές, και εφεδρικές συσκευές; Είναι ευνόητο, πως κάθε προτεινόμενη τοπολογία πρέπει να βελτιστοποιηθεί μέσα από την επιλογή συμβατών παραμέτρων.

Τέλος, ο πιο γενικός στόχος είναι η *επιλογή συστατικών και η διαμόρφωση* (Component Selection and Configuration): Αρχικά, στη μηχανή διαμόρφωσης δίνεται ένας κατάλογος με τους διαθέσιμους τύπους συστατικών, από όπου και πρέπει να επιλέξει τους τύπους και τις ποσότητες συστατικών για να δημιουργήσει το δίκτυο (και στην συνέχεια, να λύσει το τοπολογικό πρόβλημα διαμόρφωσης και να διευθετήσει αυτά τα συστατικά).

Διαδικασία επαναδιαμόρφωσης (Reconfiguration Process): Μέχρι τώρα έχει γίνει αναφορά για την επίλυση του προβλήματος επιλογής διαμόρφωσης. Εντούτοις, μια δεύτερη πτυχή της διαμόρφωσης καθορίζει πώς να εφαρμοστεί η διαμόρφωση αυτή αποδοτικά. Όταν ένα νέο δίκτυο υπολογιστών εγκαθίσταται, η συνηθισμένη προσέγγιση είναι να εγκατασταθούν οι πύλες (gateways) και οι δρομολογητές, κατόπιν οι εξυπηρετητές (servers) αρχείων και εκτυπωτών και τέλος οι ανεξάρτητοι host και τα σημεία πρόσβασης δικτύου. Ο λόγος για τα παραπάνω είναι ότι αυτή η σειρά διευκολύνει τον έλεγχο και τη διαμόρφωση κάθε συστατικού και ελαχιστοποιεί την επανάληψη εργασίας. Εργαλεία αυτόματης διαμόρφωσης (π.χ., DHCP) μπορούν να διαμορφώσουν ανεξάρτητους host εάν οι εξυπηρετητές έχουν τοποθετηθεί πρώτα.

Μια διαφορετική πρόκληση προκύπτει κατά την προσπάθεια αλλαγής της διαμόρφωσης ενός υπάρχοντος δικτύου, ειδικά εάν ο στόχος είναι η δημιουργία μιας νέας διαμόρφωσης χωρίς σημαντικές διακοπές υπηρεσιών. Τα περισσότερα βήματα διαμόρφωσης απαιτούν πρώτα τον καθορισμό της τρέχουσας διαμόρφωσης του δικτύου, και έπειτα τον προγραμματισμό μιας ακολουθίας ενεργειών επαναδιαμόρφωσης και δοκιμών για να φέρουν το σύστημα προς τη νέα διαμόρφωσή του. Μερικά βήματα μπορεί να προκαλέσουν διαμερισμό και να εμποδίσουν περαιτέρω την (απομακρυσμένη) διαμόρφωση. Από την άλλη πλευρά μερικά άλλα βήματα πρέπει να εκτελεστούν χωρίς να είναι γνωστή η τρέχουσα διαμόρφωση (π.χ., επειδή υπάρχει διαμερισμός δικτύου, πρόβλημα συμφόρησης, ή επίθεση).

Η βέλτιστη διαμόρφωση ενός δικτύου είναι δύσκολο ζήτημα αφού πρέπει να ληφθεί υπόψη ένας μεγάλος όγκος πληροφορίας π.χ. αλλαγές στην κίνηση (traffic) και στο σύνολο των συστατικών του δικτύου. Ένα σημαντικό θέμα που ανακύπτει είναι η συλλογή, ταξινόμηση και ανάλυση των δεδομένων ενός δικτύου για την εξαγωγή λύσης που θα βελτιώσει την απόδοση του κάτω από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Την απάντηση στα θέματα αυτά δίνει η

εκμάθηση μέσω μηχανής που αντιστοιχεί τις καταστάσεις σε ξεχωριστές κάθε φορά μελέτες περίπτωσης και υποδεικνύει τον κατάλληλο σχηματισμό που θα επιλύσει το πρόβλημα και θα χρησιμοποιήσει την περίπτωση για εξυπηρέτηση παρόμοιων σκοπών.

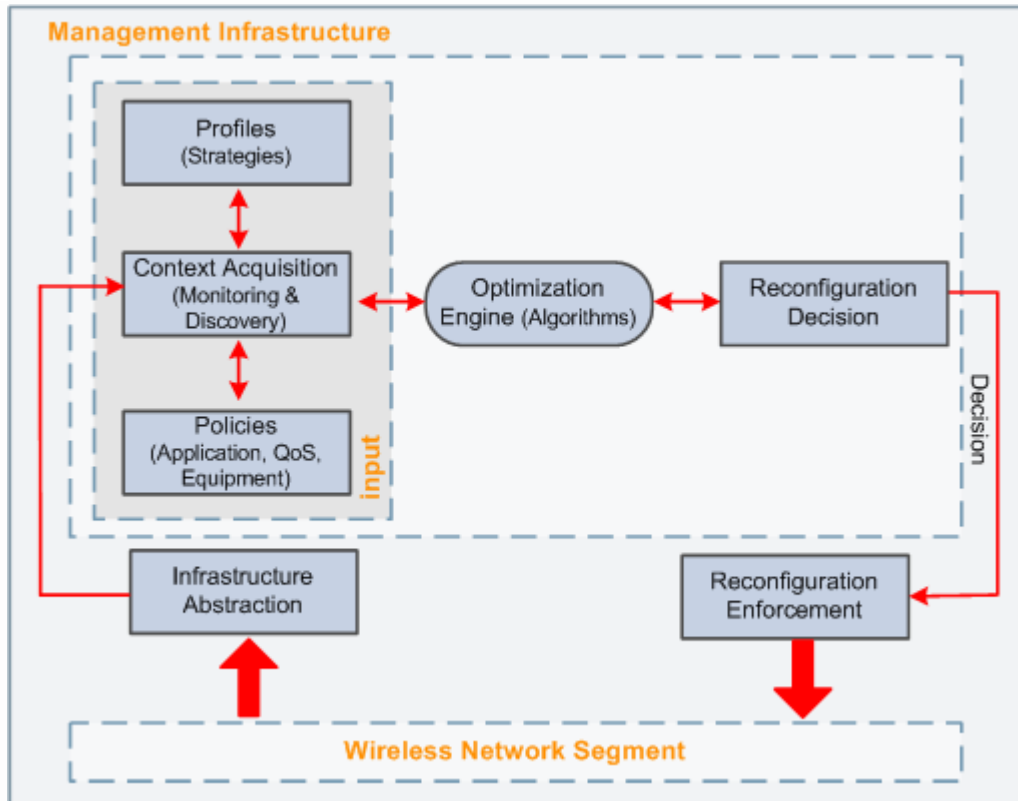
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑΣ

5. Αλγόριθμος Ομοιότητας Περιεχομένου - CMA

Η B3G εποχή χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο σύνθετων προβλημάτων, λόγω της ύπαρξης ποικίλων και ευμετάβλητων επιλογών κάτω από δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η εισαγωγή των CNs στο B3G κόσμο αποτελεί μια διέξοδο για τη διευθέτηση της πολυπλοκότητας καθώς, δίνει τη δυνατότητα για εύρεση ταχύτερων και αξιόπιστων λύσεων, λαμβάνοντας υπόψη τη γνώση από την εμπειρία. Οι λύσεις θα υποδεικνύονται μέσω ενός αλγορίθμου ομοιότητας περιεχομένου (Context Matching Algorithm - CMA) που θα παρέχει στα CNs τη γνώση που απορρέει από προηγούμενα προβλήματα συμφοράς του δικτύου. Η εξυπηρέτηση πολλών χρηστών από ένα πομποδέκτη, ή η χρήση της ίδιας υπηρεσίας από πολλούς χρήστες μπορεί αναμφισβήτητα να προκαλέσει προβλήματα συμφοράς. Ο αλγόριθμος εκμεταλλεύεται τις λύσεις, που είχαν δοθεί σε αυτά τα προβλήματα ύστερα από την εφαρμογή κάποιου αλγορίθμου βελτιστοποίησης. Πιο συγκεκριμένα συγκρίνει στοιχεία που χαρακτηρίζουν την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου με παλαιότερα καταγεγραμμένες καταστάσεις και η ταύτιση ή η ομοιότητα ανάμεσα τους υποδεικνύει τη λύση που χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν. Έτσι, επιτυγχάνεται άμεση βελτιστοποίηση του δικτύου χωρίς δαπάνη πόρων και χρόνου για την επίλυση του προβλήματος. Ο CMA παρουσιάζει την ομοιότητα ανάμεσα στις καταστάσεις δικτύων με τη βοήθεια του εργαλείου ομοιότητας περιεχομένου (Context Matching Tool - CMT)

5.1 Αλγόριθμος ομοιότητας περιεχομένου

Τα CNs έχουν την ικανότητα να επιλέγουν δυναμικά τη διαμόρφωση του δικτύου μέσα από μία υποδομή διαχείρισης (self – management λειτουργικότητα), που λαμβάνει υπόψη το πλαίσιο λειτουργίας (περιβαλλοντικές συνθήκες), τους στόχους και τις πολιτικές (Policies), το προφίλ (profile) και την εκμάθηση μέσω μηχανής για τη διαχείριση της γνώσης που προκύπτει από την εμπειρία. Τα δεδομένα εισαγωγής στην υποδομή, είναι το πλαίσιο εφαρμογής, οι πολιτικές και το προφίλ ενώ τα δεδομένα εξόδου παράγονται ύστερα από εφαρμογή αλγορίθμου βελτιστοποίησης όπως φαίνεται και την παρακάτω Εικόνα 20.



Εικόνα 20 : Υποδομή Διαχείρισης

Καθένα από τα δεδομένα εισαγωγής είναι υπεύθυνο για τα παρακάτω [44]:

Context (Περιεχόμενο): Απεικονίζει την κατάσταση των συστατικών ενός τμήματος του δικτύου και την κατάσταση που επικρατεί στο περιβάλλον. Ουσιαστικά, κάθε στοιχείο δικτύου (Network Element - NE) διαθέτει μηχανισμούς παρακολούθησης και αντίληψης (ανακάλυψης). Η παρακολούθηση προσφέρει σε κάθε στοιχείο του τμήματος δικτύου, για μία συγκεκριμένη περίοδο, τις απαιτήσεις κίνησης, τις συνθήκες κινητικότητας, την διαμόρφωση που χρησιμοποιείται και τα προσφερόμενα επίπεδα ποιότητας υπηρεσιών. Η διαδικασία της ανακάλυψης παρέχει πληροφορίες για τα επίπεδα ποιότητας υπηρεσιών που μπορούν να επιτευχθούν με εναλλακτικές διαμορφώσεις.

Profile (Προφίλ): Παρέχει πληροφορίες για τις ικανότητες των στοιχείων και των τερματικών του τμήματος δικτύου, καθώς και για τις συμπεριφορές, προτιμήσεις, απαιτήσεις και περιορισμούς των τελικών χρηστών και των εφαρμογών. Σε αυτό το μέρος καθορίζονται οι διαμορφώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα στοιχεία δικτύου και τα τερματικά. Όσον αφορά τους χρήστες, σε αυτό το μέρος καθορίζονται οι εφαρμογές που απαιτούνται, τα επιθυμητά επίπεδα ποιότητας υπηρεσιών και οι περιορισμοί όσον αφορά το κόστος.

Policies (Πολιτικές): Υποδεικνύουν τους κανόνες, και τη λειτουργικότητα (αλγόριθμοι βελτιστοποίησης και διαπραγμάτευσης), που πρέπει να ακολουθηθούν κατά την επεξεργασία των contexts. Οι κανόνες και οι πολιτικές καθορίζουν τα επιτρεπτά (ή προτεινόμενα) επίπεδα

QoS ανά εφαρμογή, την κατανομή RATs ανά εφαρμογή και την ανάθεση διαμορφώσεων στις κεραιές.

Output (Δεδομένα Εξόδου): Σε αυτό το σημείο παράγονται οι προτεινόμενες κατανομές, οι οποίες αφορούν:

- i. Κατανομή εφαρμογών στα επίπεδα QoS,
- ii. κατανομή RATs στις κεραιές και
- iii. κατανομή της κίνησης στις κεραιές

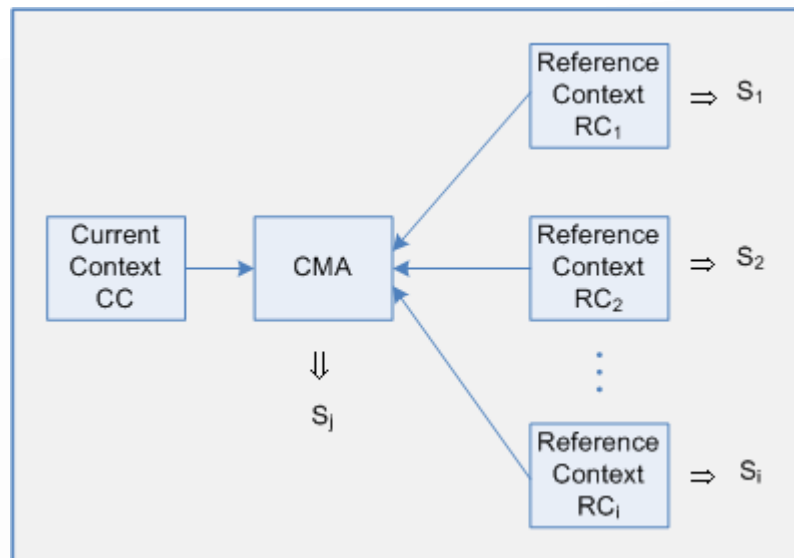
Optimization (Βελτιστοποίηση): Αφορά τη βελτιστοποίηση του δικτύου και μπορεί να εφαρμοστεί με διάφορους τρόπους (αλγόριθμους) και σύμφωνα με τις τεχνικές εκμάθησης μέσω μηχανής που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Σε γενικές γραμμές, η βελτιστοποίηση αφορά την εύρεση της καλύτερης διαμόρφωσης, που μεγιστοποιεί τη συνάρτηση λειτουργικότητας λαμβάνοντας υπόψη την ικανοποίηση των χρηστών. Η ικανοποίηση των χρηστών απορρέει από την κατανομή εφαρμογών στα QoS επίπεδα, το κόστος που προκύπτει από τα προσφερόμενα επίπεδα QoS και από το κόστος των διαμορφώσεων. Τα τελευταία προκύπτουν από τα δεδομένα εισαγωγής (context, policies & profiles).

Η υποδομή διαχείρισης διαθέτει δύο διεπαφές με το τμήμα δικτύου, που καλούνται "Infrastructure abstraction" και "reconfiguration enforcement". Η πρώτη παρέχει πληροφορίες που χρησιμοποιούνται για τη λήψη του context από το τμήμα δικτύου, ενώ η δεύτερη προχωρεί στην εφαρμογή ενεργειών που πάρθηκαν από την υποδομή διαχείρισης.

5.1.1 Λειτουργία CMA

Τα δεδομένα μεταφέρονται με τη βοήθεια του συστατικού «Infrastructure abstraction» στην υποδομή διαχείρισης. Από το σημείο αυτό και μετά λειτουργεί ο *αλγόριθμος ομοιότητας περιεχομένου*, που λαμβάνει τα δεδομένα εισαγωγής, τα επεξεργάζεται και τα συγκρίνει με τα context που είναι αποθηκευμένα σε μία βάση δεδομένων (reference context repository). Στη βάση αυτή βρίσκεται ο πίνακας «rc» που αντιστοιχεί σε ένα υπάρχον context τη λύση που του είχε ανατεθεί ύστερα από την εφαρμογή του αλγόριθμου βελτιστοποίησης.

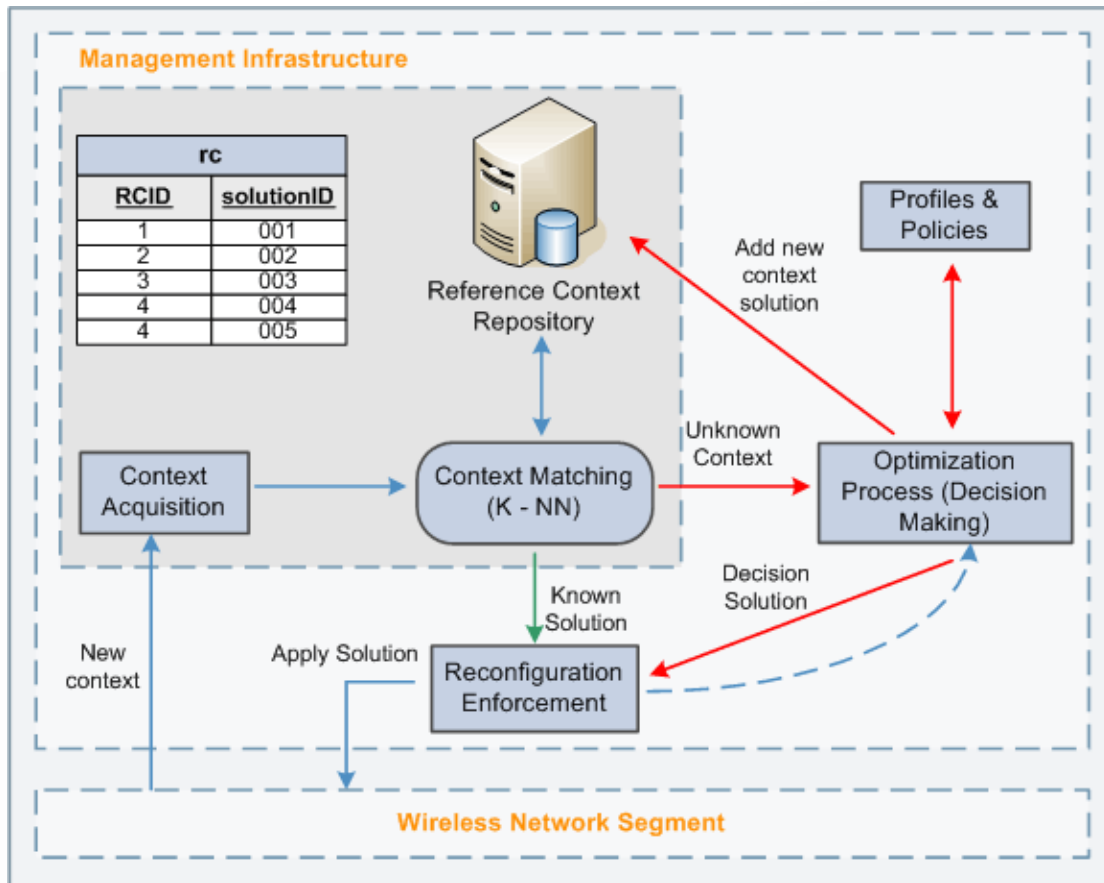
Κάθε νέο context που περιγράφει τις συνθήκες που επικρατούν σε ένα δίκτυο θα αποκαλείται Current Context (CC) και τα παλαιότερα καταγεγραμμένα θα αποκαλούνται Reference Context (RC), Εικόνα 21.



Εικόνα 21: Δεδομένα Εισόδου Αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί μια βάση δεδομένων για να βρει το πιο κοντινό πρότυπο (pattern) στο οποίο να αντιστοιχίσει το νέο context με τη βοήθεια του k - Nearest Neighbor(s) αλγορίθμου (K-NN) [46]. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει ομοιότητα ανάμεσα στα context η διαδικασία βελτιστοποίησης (optimization Process) αντιμετωπίζει το CC ως μια νέα κατάσταση στην οποία πρέπει να εφαρμοστεί αλγόριθμος βελτιστοποίησης. Επομένως, ο αλγόριθμος θα "περάσει" τον έλεγχο στη reconfiguration enforcement ή σε κάποιο συστατικό βελτιστοποίησης. Το πρώτο επιλέγεται αν βρεθεί ομοιότητα ανάμεσα στα context, ενώ το δεύτερο στην περίπτωση που το τρέχον context δεν ταιριάζει με ένα από τα reference. Η reconfiguration enforcement μπορεί να μεταδώσει τον έλεγχο πίσω στο συστατικό της βελτιστοποίησης, στην περίπτωση όπου η λύση που προτείνεται από τον αλγόριθμό δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Τέλος το συστατικό βελτιστοποίησης θα ζητήσει από το reconfiguration enforcement συστατικό να εφαρμόσει την προκύπτουσα διαμόρφωση στο τμήμα δικτύου. Ταυτόχρονα, το context και η δοθείσα λύση αποστέλλονται και αποθηκεύονται στην αποθήκη δεδομένων στον πίνακα «rc», ώστε σε περίπτωση που προκύψει κάποιο νέο context με παρόμοιο περιεχόμενο να ανακτηθεί άμεσα η λύση. Μέσα από αυτόν τον τρόπο η υποδομή διαχείρισης έχει την ικανότητα να "μάθει" και να εφαρμόσει τις "γνωστές" πλέον λύσεις, ώστε να μειώσει τον απαιτούμενο χρόνο για την διαχείριση των δεδομένων της εκάστοτε κατάστασης του δικτύου. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτό πραγματοποιείται όταν οι υπολογισμοί που χρειάζονται για τον αλγόριθμο ομοιότητας είναι μικρότεροι από τους υπολογισμούς που χρειάζονται για την εφαρμογή του αλγορίθμου βελτιστοποίησης.

Η παραπάνω διαδικασία απεικονίζεται στην Εικόνα 22



Εικόνα 22: Advanced context acquisition mechanism

5.1.1.1 Βήματα CMA

Ο αλγόριθμος ομοιότητας περιεχομένου βασίζεται στον k- NN αλγόριθμο, για να υπολογίσει την απόσταση ανάμεσα στα αποθηκευμένα contexts και στο context που προκύπτει από την B3G δομή. Σκοπός του αλγορίθμου είναι να βρει την ελάχιστη απόσταση ανάμεσα σε κάθε χρήστη του CC με του RC για να αντιστοιχίσει τη σωστή λύση. Ο αλγόριθμος ελέγχει όλα τα καταγεγραμμένα context από την αποθήκη δεδομένων σε σχέση με το CC. Τα κριτήρια ομοιότητας μεταξύ των RC και του CC είναι τα εξής:

1. Συνολικός αριθμός χρηστών ίδιας υπηρεσίας ανάμεσα στα contexts RC και CC
2. Θέση των χρηστών στο χώρο κάλυψης του δικτύου σύμφωνα με την υπηρεσία που χρησιμοποιούν ανάμεσα στα contexts RC και CC
3. Profile, ποιότητα υπηρεσιών κάθε χρήστη ανάλογα με την υπηρεσία που χρησιμοποιούν ανάμεσα στα contexts RC και CC

Πιο αναλυτικά, τα ακριβή βήματα του αλγορίθμου είναι τα ακόλουθα:

- i. Ελέγχει αν η διαφορά του συνολικού αριθμού των χρηστών ανάμεσα στα RC και CC είναι κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο. (Το όριο αυτό ορίζεται κάθε φορά από τον πάροχο του δικτύου μέσα από το CMT). Αν η διαφορά είναι μεγαλύτερη από το όριο αυτό ο αλγόριθμος απορρίπτει το συγκεκριμένο RC, διαφορετικά συνεχίζει στο επόμενο βήμα

- ii. Ελέγχει αν η διαφορά του συνολικού αριθμού χρηστών ανά υπηρεσία είναι πάνω από ένα συγκεκριμένο όριο. (Το όριο αυτό ορίζεται κάθε φορά από τον πάροχο του δικτύου μέσα από το CMT). Αν η διαφορά είναι μεγαλύτερη από το όριο αυτό ο αλγόριθμος απορρίπτει το συγκεκριμένο RC, διαφορετικά συνεχίζει στο επόμενο βήμα
- iii. Βρίσκει τον πιο κοντινό γειτονικό χρήστη από τα αποθηκευμένα context στη βάση δεδομένων για κάθε χρήστη στο CC. Ο αλγόριθμος k – NN εφαρμόζεται σε αυτό το βήμα ώστε να βρεθεί η απόσταση ανάμεσα σε κάθε χρήστη από το CC και τον κοντινό γειτονικό του στο RC.
- iv. Ελέγχει την διαφορά στο profile (επίπεδα ποιότητας υπηρεσιών) ανάμεσα σε κάθε χρήστη στο CC και στο πιο κοντινό του χρήστη στο RC. Αν η διαφορά είναι μεγαλύτερη από ένα συγκεκριμένο όριο (που ορίζεται κάθε φορά από τον πάροχο του δικτύου μέσα από το CMT), ο αλγόριθμος απορρίπτει το συγκεκριμένο RC, διαφορετικά συνεχίζει στο επόμενο βήμα
- v. Υπολογίζει τη συνολική διαφορά (σύμφωνα με τα προηγούμενα βήματα) για το κάθε RC από το repository.

Μετά το τελευταίο βήμα που υπολογίζεται η συνολική διαφορά για κάθε RC (RC αποδεκτά για τα οποία έχουν πραγματοποιηθεί όλοι οι έλεγχοι) επιλέγεται εκείνο για το οποίο έχει βρεθεί η μικρότερη συνολική διαφορά. Η μικρότερη διαφορά υποδηλώνει την ομοιότητα ανάμεσα στο CC με το RC. Η λύση που είχε ανατεθεί στο RC θα ανακτηθεί από τη βάση δεδομένων και θα αποσταλεί στη reconfiguration enforcement ώστε να εφαρμοστεί στο τμήμα δικτύου της B3G υποδομής.

5.1.1.1.1 Διάγραμμα ροής

Η λειτουργία του αλγορίθμου απεικονίζεται διαγραμματικά στην Εικόνα 23:

- i. Υπολογισμός της διαφοράς χρηστών του CC από το RC: $D_u(CC, RC) = CC_{ui} - RC_{ui}$
- ii. Ομαδοποίηση χρηστών της ίδιας υπηρεσίας για το CC
- iii. Ομαδοποίηση χρηστών της ίδιας υπηρεσίας για το RC
- iv. Υπολογισμός της διαφοράς του αριθμού των χρηστών για κάθε υπηρεσία του CC με κάθε υπηρεσία του RC_i:

$$D_{S_i}(CC, RC) = CC_{S_i} - RC_{S_i}$$

και υπολογισμός της συνολικής διαφοράς του αριθμού των χρηστών για κάθε ίδια υπηρεσία του RC

$$D_s = \sum_{i=0}^{|S|} D_{S_i}(CC, RC)$$

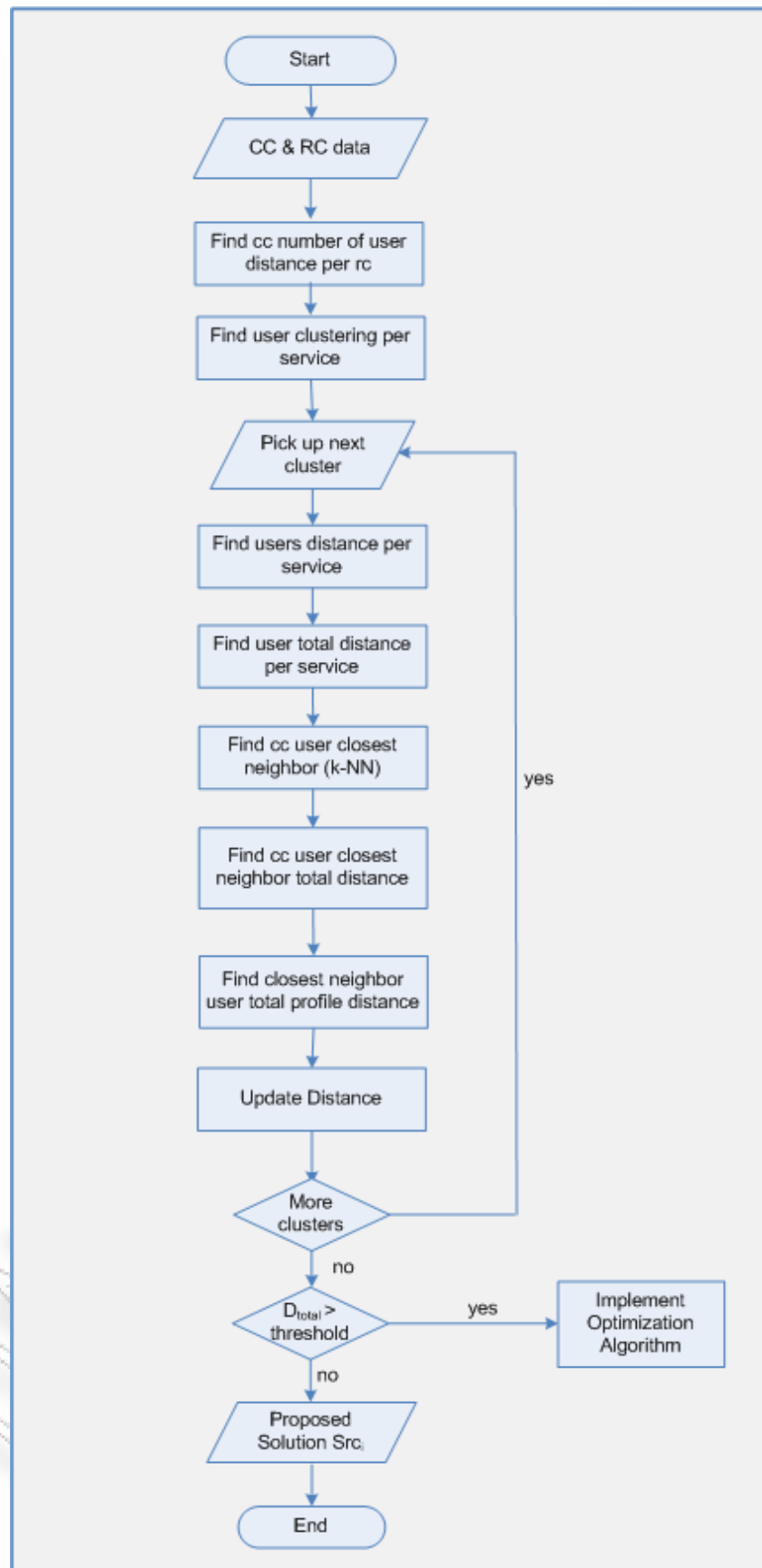
- v. Υπολογισμός του πιο κοντινού γειτονικού χρήστη για κάθε χρήστη του CC_{k-nn} και υπολογισμός της συνολικής διαφοράς της απόστασης του CC_{k-nn} από το RC,

$$D_{k-nn} = \sum CC_{k-nn} - RC_{k-nn}$$

- vi. Υπολογισμός της διαφοράς Profile κάθε χρήστη του CC με κάθε κοντινό του χρήστη από το RC, $D_{pr} = CC_{pr_{k-nn}} - RC_{pr_{k-nn}}$ και υπολογισμός της συνολικής διαφοράς

$$\text{profile } D_{pr} = \sum_{i=0}^{|pr|} D_{pr_i}(CC_{k-nn}, RC)$$

- vii. Εύρεση του RC του οποίου η συνολική διαφορά των παραπάνω είναι μικρότερη από όλες τις άλλες και προώθηση της αντίστοιχης λύσης $D_{total} = |D_u + D_S + D_{k-nn} + D_{pr}|$

**Εικόνα 23: Διαγραμματική Απεικόνιση Αλγορίθμου**

5.2 Σχεδιασμός και Υλοποίησης της Βάσης Δεδομένων

5.2.1 Εννοιολογικός σχεδιασμός

Η βάση δεδομένων αποτελείται από ένα σύνολο πινάκων που αντιστοιχούν στα δεδομένα εισόδου του αλγορίθμου. Οι πίνακες αυτοί είναι οι cc, profile, properties, rat, rc, rcusers και service και περιγράφονται λεπτομερώς παρακάτω.

Current Context (cc)

Τα στοιχεία που περιγράφουν την κατάσταση του δικτύου είναι ο αριθμός των χρηστών που καλύπτει το δίκτυο, η υπηρεσία που χρησιμοποιούν οι χρήστες, η τεχνολογία ράδιο – πρόσβασης που εκπέμπουν οι πομποδέκτες κ.α. Αυτά και μερικά ακόμη στοιχεία περιέχονται στον πίνακα cc που περιγράφει την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου:

Χαρακτηριστικά	Περιγραφή	Τύπος Δεδομένων
UserID	Μοναδικός αριθμός που χαρακτηρίζει κάθε χρήστη	Ακέραιο Αριθμητικό
CoordinateX	Η συντεταγμένη του χρήστη ως προς τον άξονα του x	Δεκαδικό Αριθμητικό
CoordinateY	Η συντεταγμένη του χρήστη ως προς τον άξονα του y	Δεκαδικό Αριθμητικό
ServiceID	Μοναδικός αριθμός που χαρακτηρίζει μια υπηρεσία	Ακέραιο Αριθμητικό
RATID	Η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία	Αλφαριθμητικό
profileID	Το επίπεδο ποιότητας υπηρεσιών που χαρακτηρίζει κάθε χρήστη	Ακέραιο Αριθμητικό
TransID	Μοναδικός αριθμός που χαρακτηρίζει μοναδικά την κεραία που χρησιμοποιείται στην περιοχή του δικτύου	Ακέραιο Αριθμητικό

	userID	coordinateX	coordinateY	serviceID	RATID	profileID	TransID
<input type="checkbox"/>	1	13	17	1	2	3	1
<input type="checkbox"/>	2	1	2	2	3	1	2
<input type="checkbox"/>	3	6	7	1	1	1	9
<input type="checkbox"/>	6	2	2	3	3	3	3
<input type="checkbox"/>	7	3	3	3	3	3	3

Εικόνα 24: Πίνακας CC "Current Context"

Στον πίνακα αυτό πρωτεύον κλειδί είναι το userID και υποδηλώνει ότι στην περιοχή κάλυψης ενός δικτύου κάθε χρήστης είναι μοναδικός. Στον πίνακα αυτό, τα πεδία serviceID, RATID και profileID αποτελούν ξένα κλειδιά και υποδηλώνουν την υπηρεσία, την τεχνολογία ράδιο-πρόσβασης και την ποιότητα υπηρεσιών κάθε χρήστη του δικτύου αντίστοιχα.

Radio Access Technology (RAT)

Ο πίνακας αυτός περιγράφει την τεχνολογία ράδιο πρόσβασης που χρησιμοποιείται από τους πομποδέκτες (transceivers) των κυψελών του δικτύου και αποτελείται από τα πεδία:

Χαρακτηριστικά	Περιγραφή	Τύπος Δεδομένων
RATID	Μοναδικός αριθμός που χαρακτηρίζει κάθε τεχνολογία ράδιο – πρόσβασης	Ακέραιο Αριθμητικό
RATName	Το όνομα της τεχνολογίας ράδιο – πρόσβασης του χρησιμοποιείται	Αλφαριθμητικό

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 25 μερικές από τις πιο σύγχρονες τεχνολογίες δικτύων είναι οι:

- GSM
- UMTS
- WLAN
- WiFi

	RATID	RATName
<input type="checkbox"/>	1	GSM
<input type="checkbox"/>	2	UMTS
<input type="checkbox"/>	3	WLAN
<input type="checkbox"/>	4	WiFi

Εικόνα 25: Πίνακας Radio Access Technology (RAT)

Service

Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούν οι χρήστες του δικτύου και αποτελείται από τα πεδία:

Χαρακτηριστικά	Περιγραφή	Τύπος Δεδομένων
ServiceID	Μοναδικός αριθμός που χαρακτηρίζει κάθε υπηρεσία χρήστη	Ακέραιο Αριθμητικό
ServiceName	Το όνομα της υπηρεσίας που χρησιμοποιείται	Αλφαριθμητικό

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 26 οι υπηρεσίες που συνήθως χρησιμοποιούνται από το δίκτυο για εξυπηρέτηση των χρηστών είναι:

- Browsing (Data)
- Φωνή (Voice) π.χ. Συνομιλία χρηστών
- Video Streaming (Data)

	serviceID	ServiceName
<input type="checkbox"/>	1	Voice
<input type="checkbox"/>	2	Video Streaming
<input type="checkbox"/>	3	Browsing
*	{NULL}	{NULL}

Εικόνα 26: Πίνακας Service

Profile

Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει τα επίπεδα ποιότητας υπηρεσιών που χαρακτηρίζουν κάθε χρήστη ανάλογα με το βαθμό ικανοποιητικής χρήσης υπηρεσιών, ταχύτητα μεταφοράς

δεδομένων, διατηρούμενο επίπεδο εύρους ζώνης, απουσία σφαλμάτων κατά τη μετάδοση δεδομένων κ.α. τα πεδία του πίνακα αυτού είναι τα:

Χαρακτηριστικά	Περιγραφή	Τύπος Δεδομένων
ProfileID	Μοναδικός αριθμός που χαρακτηρίζει το επίπεδο ποιότητας υπηρεσιών	Ακέραιο Αριθμητικό
profileName	Το όνομα του επιπέδου ποιότητας υπηρεσιών	Αλφαριθμητικό
QoS	Η τιμή που αντιστοιχεί σε κάθε επίπεδο ποιότητας υπηρεσιών	Ακέραιο Αριθμητικό

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 27 τα προσφερόμενα επίπεδα υπηρεσιών τα χωρίζουμε στις κατηγορίες:

- Gold
- Silver
- Bronze

	profileID	profileName	QoS
<input type="checkbox"/>	1	Gold	1024
<input type="checkbox"/>	2	Silver	512
<input type="checkbox"/>	3	Bronze	384

Εικόνα 27: Πίνακας profile

Σε κάθε μια από αυτές κατηγορίες αντιστοιχεί το ανάλογο επίπεδο QoS. Ο διαχωρισμός αυτός έχει πραγματοποιηθεί για λόγους ευκολίας επειδή τα προσφερόμενα επίπεδα υπηρεσιών είναι πιο κατανοητά όταν αναφέρονται ως ονόματα κατηγοριοποιημένων ομάδων παρά όταν χαρακτηρίζονται από αριθμούς.

Reference Context Users (rsusers)

Ο πίνακας rsusers περιγράφει τις παλιότερες καταγεγραμμένες καταστάσεις και περιέχει τα ίδια πεδία με αυτά του πίνακα CC καθώς και το πεδίο rcID που υποδηλώνει σε ποιο reference context ανήκει κάθε χρήστης:

Χαρακτηριστικά	Περιγραφή	Τύπος Δεδομένων
rcID	Αριθμός που χαρακτηρίζει το reference context στο οποίο υπάγεται ο κάθε χρήστης	Ακέραιο Αριθμητικό
UserID	Μοναδικός αριθμός που χαρακτηρίζει κάθε χρήστη σε κάθε reference context	Ακέραιο Αριθμητικό
CoordinateX	Η συντεταγμένη του χρήστη ως προς τον άξονα του x	Δεκαδικό Αριθμητικό
CoordinateY	Η συντεταγμένη του χρήστη ως προς τον άξονα του y	Δεκαδικό Αριθμητικό
ServiseID	Μοναδικός αριθμός που χαρακτηρίζει μια υπηρεσία	Ακέραιο Αριθμητικό
RATID	Η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία	Αλφαριθμητικό
profileID	Το επίπεδο ποιότητας υπηρεσιών που χαρακτηρίζει κάθε χρήστη	Ακέραιο Αριθμητικό

TransceiverID	Μοναδικός αριθμός που χαρακτηρίζει την κεραία που χρησιμοποιείται στην περιοχή του δικτύου	Ακέραιο Αριθμητικό
----------------------	--	--------------------

	rcID	userID	coordinateX	coordinateY	serviceID	RATID	profileID	TransID
<input type="checkbox"/>	1	1	13	17	1	1	1	1
<input type="checkbox"/>	1	2	1	2	2	1	1	2
<input type="checkbox"/>	1	3	6	7	1	2	3	1
<input type="checkbox"/>	1	4	2	2	3	3	3	3
<input type="checkbox"/>	1	5	3	3	3	3	3	3
<input type="checkbox"/>	2	1	3	2	1	4	2	1
<input type="checkbox"/>	2	2	3	12	3	2	3	1
<input type="checkbox"/>	3	1	13	17	1	1	1	1
<input type="checkbox"/>	4	1	12	7	1	1	1	2
<input type="checkbox"/>	4	2	8	2	2	1	1	3
<input type="checkbox"/>	4	3	1	2	2	1	1	2

Εικόνα 28: Πίνακας Reference Context Users "rcusers"

Στον πίνακα αυτό (Εικόνα 28) βρίσκονται καταγεγραμμένα όλα τα RC με τους χρήστες που ανήκουν σε καθένα από αυτά. Ο αριθμός των rcID (ξένο κλειδί) μπορεί και επαναλαμβάνεται χωρίς να δημιουργείται θέμα διπλότυπων εγγραφών. Ο περιορισμός που τίθεται σε αυτή την περίπτωση, είναι ότι σε κάθε rcID κάθε χρήστης είναι μοναδικός. Ο πίνακας rcusers παίρνει το ξένο κλειδί από τον πίνακα rc.

Reference Context (rc)

Στον πίνακα αυτό (Εικόνα 29) καταχωρείται ο αριθμός των context που έχει καταχωρηθεί στη βάση δεδομένων μαζί την λύση που δόθηκε σε καθένα από αυτά μετά την εφαρμογή αλγόριθμου βελτιστοποίησης. Αποτελείται από τα πεδία:

Χαρακτηριστικά	Περιγραφή	Τύπος Δεδομένων
rcID	Μοναδικός αριθμός που χαρακτηρίζει τον αριθμό του reference context	Ακέραιο Αριθμητικό
Solution	Ο κωδικός της λύσης που είχε δοθεί για το κάθε RC	Ακέραιο Αριθμητικό

	rcID	solution
<input type="checkbox"/>	1	1
<input type="checkbox"/>	2	2
<input type="checkbox"/>	3	3

Εικόνα 29: Πίνακας Reference Context (rc)

Properties

Μέσα από το πίνακα αυτό, καθορίζονται τα κατώτατα όρια για την εκτέλεση των βημάτων του αλγόριθμου. Ο CMA διαβάξει ποιο είναι το κατώτατο όριο της διαφοράς αριθμού χρηστών ανάμεσα στα CC και RC, ποια είναι η ελάχιστη διαφορά χρηστών ανά υπηρεσία ανάμεσα στα

contexts και τέλος ποιο είναι το κατώτατο όριο διαφοράς ποιότητας υπηρεσίας για τους πιο κοντινούς χρήστες ανά context. Κάθε εγγραφή του πίνακα της βάσης δεδομένων χαρακτηρίζεται μοναδικά από το πεδίο propID που αποτελεί αύξοντα αριθμό κάθε καταχώρησης στη βάση, Εικόνα 30. Τα πεδία του πίνακα είναι:

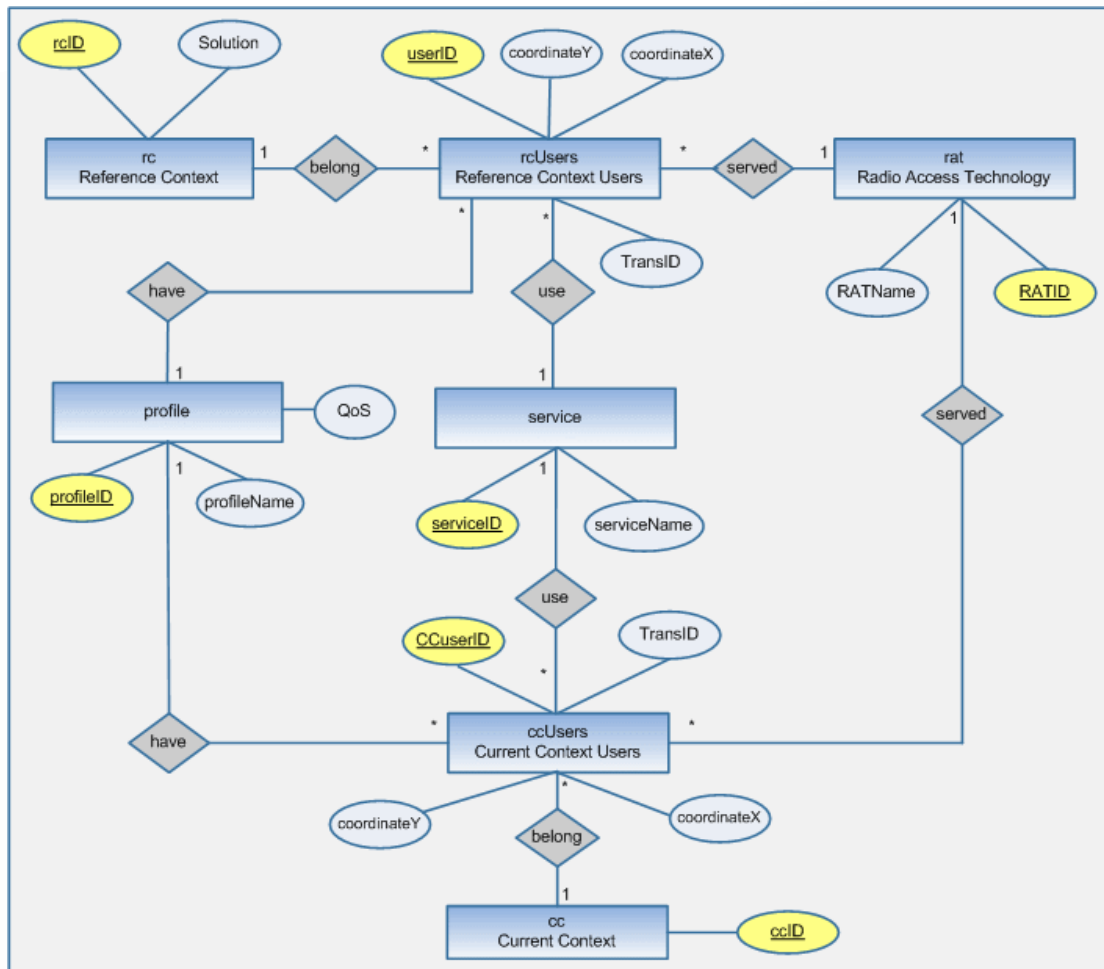
Χαρακτηριστικά	Περιγραφή	Τύπος Δεδομένων
propID	Μοναδικός αριθμός που χαρακτηρίζει τον αριθμό κάθε εγγραφής κατώτατων ορίων	Ακέραιο Αριθμητικό
threshold1	Κατώτατο όριο χρηστών ανά context	Ακέραιο Αριθμητικό
threshold2	Κατώτατο όριο χρηστών ανά υπηρεσία	Ακέραιο Αριθμητικό
Threshold3	Κατώτατο όριο ποιότητας υπηρεσιών των πιο κοντινών γειτόνων των χρηστών ανά context	Ακέραιο Αριθμητικό

	propID	threshold1	threshold2	threshold3
<input type="checkbox"/>	6	34	5	7
<input type="checkbox"/>	7	5	25	27
<input type="checkbox"/>	8	1	2	3
<input type="checkbox"/>	9	0	0	0
<input type="checkbox"/>	10	10	11	1
<input type="checkbox"/>	11	10	11	1
<input type="checkbox"/>	12	10	11	1

Εικόνα 30: Πίνακας properties

5.2.2 Μοντέλο Οντοτήτων Συσχετίσεων

Σύμφωνα με το σχεδιασμό της βάσης δεδομένων παρατίθεται το μοντέλο οντοτήτων συσχετίσεων Εικόνα 31.



Εικόνα 31: Μοντέλο Οντοτήτων – Συσχετίσεων

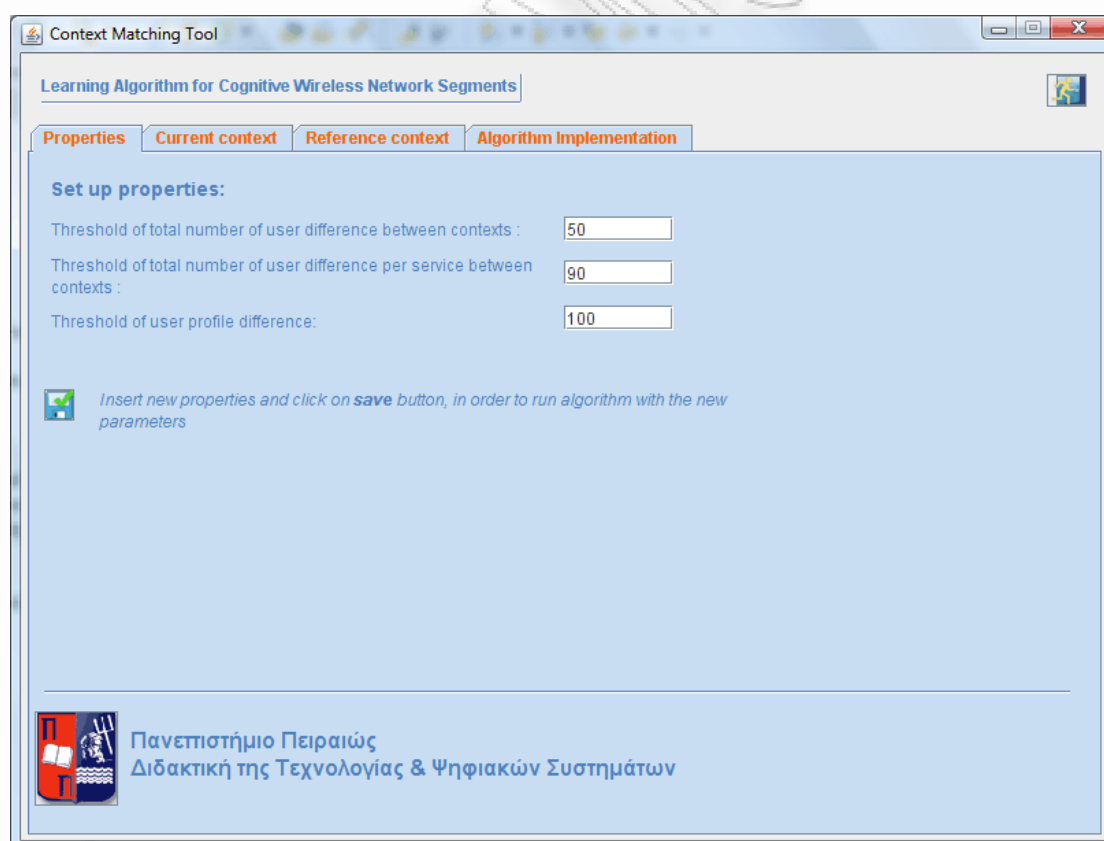
Κάθε οντότητα του μοντέλου περιέχει κάποια γνωρίσματα. Ένα από τα γνωρίσματα αυτά αποτελεί το μοναδικό στοιχείο που τη χαρακτηρίζει και αποκαλείται πρωτεύον κλειδί. Η σχέση μεταξύ δύο οντοτήτων υποδηλώνει την ύπαρξη κάποιου κοινού γνωρίσματος που δημιουργεί ένα τύπο συσχέτισης ένα προς πολλά (1:N, δυαδικός τύπος). Το γνώρισμα αυτό αποτελεί το πρωτεύον και ξένο κλειδί των σχέσεων αντίστοιχα. Πιο αναλυτικά, πρωτεύον θα είναι αυτό, που όπως προαναφέρθηκε χαρακτηρίζει μοναδικά μια σχέση, ενώ ξένο το γνώρισμα της σχέσης από την πλευρά της οντότητας N.

Για κάθε οντότητα rc και cc αναπτύσσεται μια σχέση 1:N με τους πίνακες rcUsers και ccUsers αντίστοιχα. Τα γνωρίσματα επομένως userID, CCuserID αποτελούν πρωτεύοντα κλειδιά των rcusers και ccUsers και ξένα των rc και cc και υποδηλώνουν σε ποιο rc και cc ανήκει κάθε χρήστης. Από την άλλη πλευρά οι οντότητες rcUsers και ccUsers περιλαμβάνουν τα ξένα κλειδιά profileID, serviced και RATID, πρωτεύοντα κλειδιά των οντοτήτων profile, service και RAT. Οι παραπάνω 1:N σχέσεις δείχνουν ότι κάθε χρήστης του rcUsers και ccUsers έχει ένα προφίλ, χρησιμοποιεί κάποια υπηρεσία και εξυπηρετείται από μία RAT τεχνολογία.

6. Context Matching Tool

Η διαχείριση των δεδομένων και τα αποτελέσματα του CMA παρουσιάζονται με τη βοήθεια του εργαλείου ομοιότητας περιεχομένου (Context Matching Tool - CMT). Το εργαλείο αυτό παρέχει πληροφορίες ώστε ο χρήστης να έχει μια γενική ειοπτεία για την κατάσταση που επικρατεί σε ένα δίκτυο. Εμφανίζει τα δεδομένα του CC καθώς και όλα τα καταγεγραμμένα RC με τις αντίστοιχες πληροφορίες. Επιπρόσθετα παρέχει τη δυνατότητα ρύθμισης των παραμέτρων σύμφωνα με τις οποίες θα επιστραφούν τα αποτελέσματα του αλγορίθμου. Τόσο το CMT όσο και ο αλγόριθμος που εφαρμόζει υλοποιήθηκαν με τη γλώσσα προγραμματισμού Java. Ο κώδικας του CMA παρατίθεται στο παράρτημα του παρόντος εγγράφου (§ 9).


Η αρχική σελίδα του CMT παρουσιάζει τις παραμέτρους που έχουν οριστεί για τη λειτουργία του αλγορίθμου Εικόνα 32. Εμφανίζονται τα κατώτατα όρια που είχαν καταχωρηθεί την τελευταία φορά που «έτρεξε» ο αλγόριθμος. Τα όρια αυτά αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων στον πίνακα «properties» από όπου ανακτούνται όταν εκκινείτε το CMT. Ο χρήστης μέσα από αυτήν την οθόνη μπορεί να εισάγει τα νέα όρια που επιθυμεί. Τα πεδία είναι τροποποιήσιμα και ο χρήστης αρκεί να εισάγει τα νέα thresholds και να επιλέξει το κουμπί της αποθήκευσης.

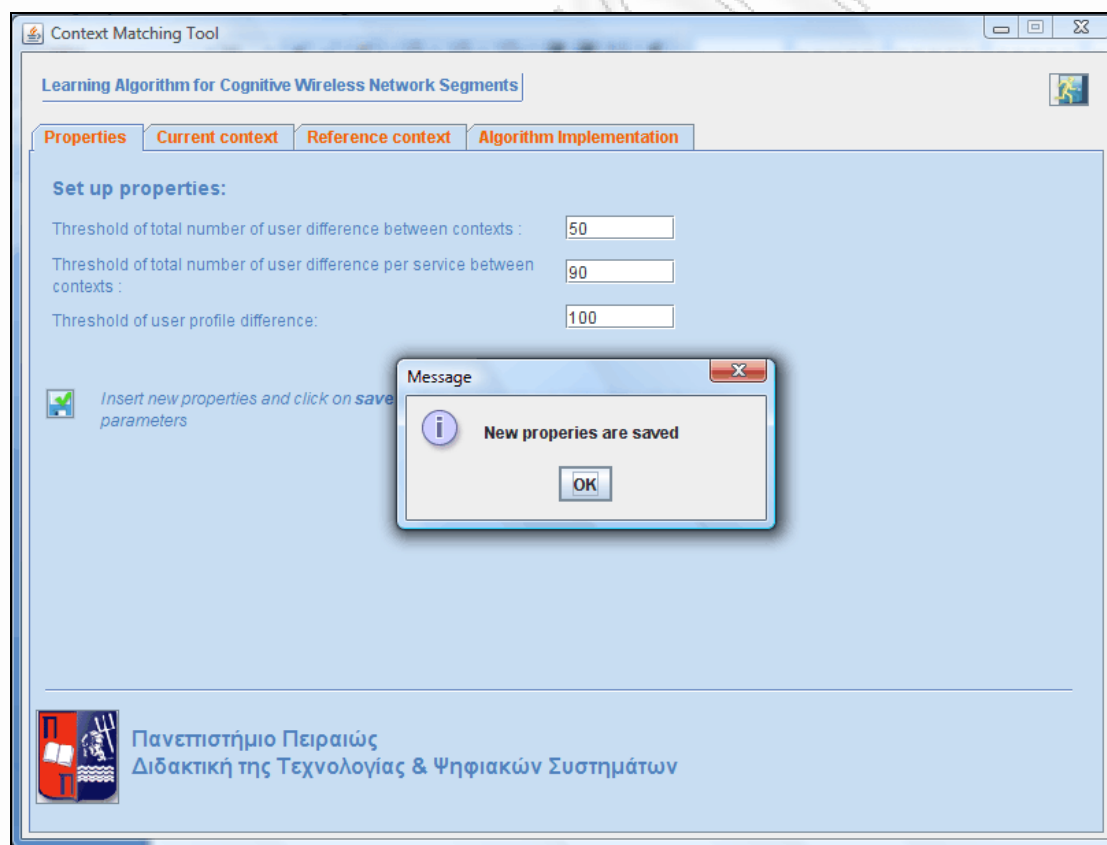


Εικόνα 32: Καθορισμός Παραμέτρων

Στην οθόνη properties, επομένως πραγματοποιούνται οι πρώτες ενέργειες για τη λειτουργία του αλγορίθμου ομοιότητας των ασύρματων τμημάτων δικτύου. Ορίζεται το κατώτατο όριο

διαφοράς του αριθμού χρηστών ανάμεσα στα contexts. Η ενέργεια αυτή αποτελεί και το πρώτο βήμα του CMA όπου πραγματοποιείται έλεγχος ανάμεσα στους χρήστες που περιέχει κάθε context. Αν οι χρήστες που περιλαμβάνονται σε ένα reference context υπερβαίνουν τον αριθμό που έχει εισάγει ο χρήστης, τότε ο αλγόριθμος απορρίπτει το συγκεκριμένο context και συνεχίζει στο επόμενο. Το επόμενο βήμα του αλγορίθμου περιλαμβάνει την ομαδοποίηση των χρηστών ανά υπηρεσία. Κατά συνέπεια το επόμενο κατώτατο όριο που καλείται να συμπληρώσει ο χρήστης είναι η διαφορά του αριθμού των χρηστών ανά υπηρεσία ανάμεσα στα contexts. Και σε αυτήν την περίπτωση για την περάτωση της λειτουργίας του CMA πρέπει ο αριθμός χρηστών ανά υπηρεσία κάθε RC να μην υπερβαίνει το κατώτατο όριο που εισάγεται από το χρήστη. Η ολοκλήρωση του αλγορίθμου επιτυγχάνεται με τη συμφωνία ανάμεσα στο τρίτο όριο που εισάγει ο χρήστης το οποίο δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τη διαφορά των προφίλ ανάμεσα σε κάθε χρήστη του CC και στον πιο κοντινό γειτονικό του από το RC.

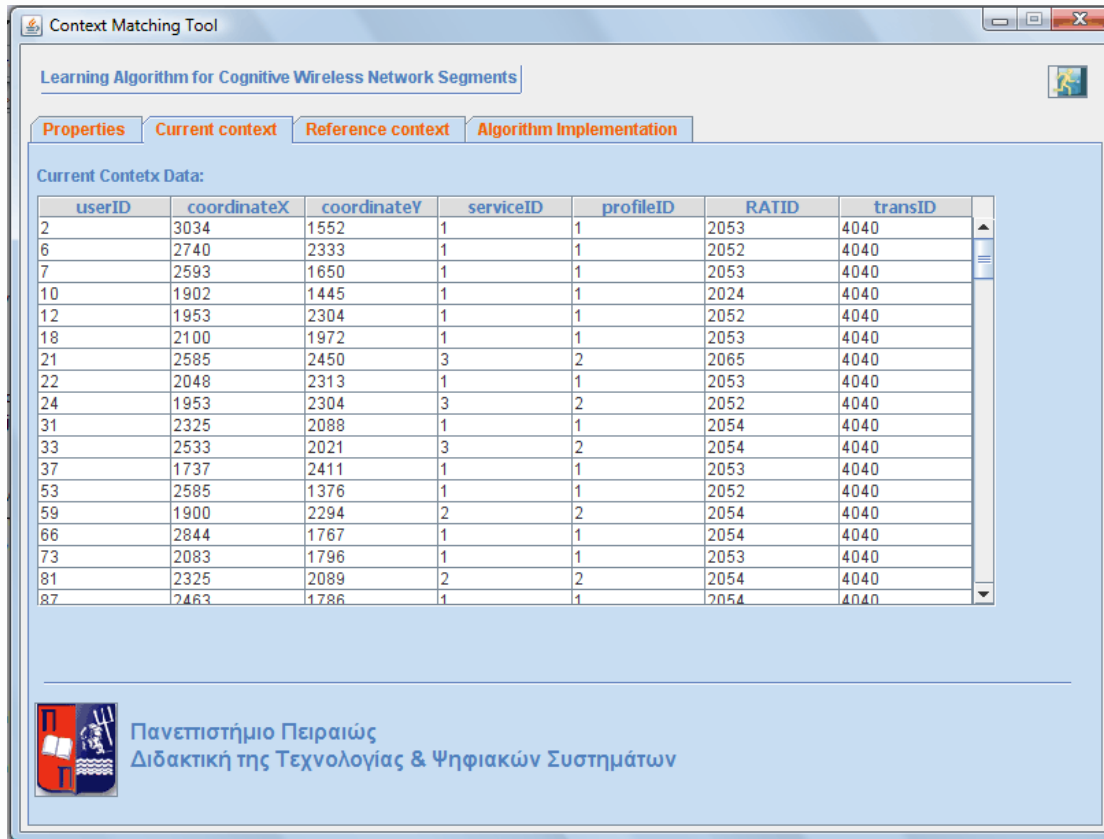
Η κατοχύρωση των νέων παραμέτρων πραγματοποιείται με την επιλογή του κουμπιού . Οι νέες τιμές αποθηκεύονται στη βάση και εμφανίζεται ενημερωτικό μήνυμα επιτυχούς καταχώρησης, Εικόνα 33.



Εικόνα 33: Αποθήκευση Νέων Παραμέτρων

Όταν επιλεγθεί το κουμπί της αποθήκευσης ο αλγόριθμος τρέχει από την αρχή με τα νέα δεδομένα. Την επόμενη φορά που θα τρέξει η context matching εφαρμογή στην οθόνη θα εμφανιστούν οι τιμές που εισήχθησαν την τελευταία φορά.

Η επόμενη οθόνη εμφανίζει τα δεδομένα που χαρακτηρίζουν την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου, Εικόνα 34.

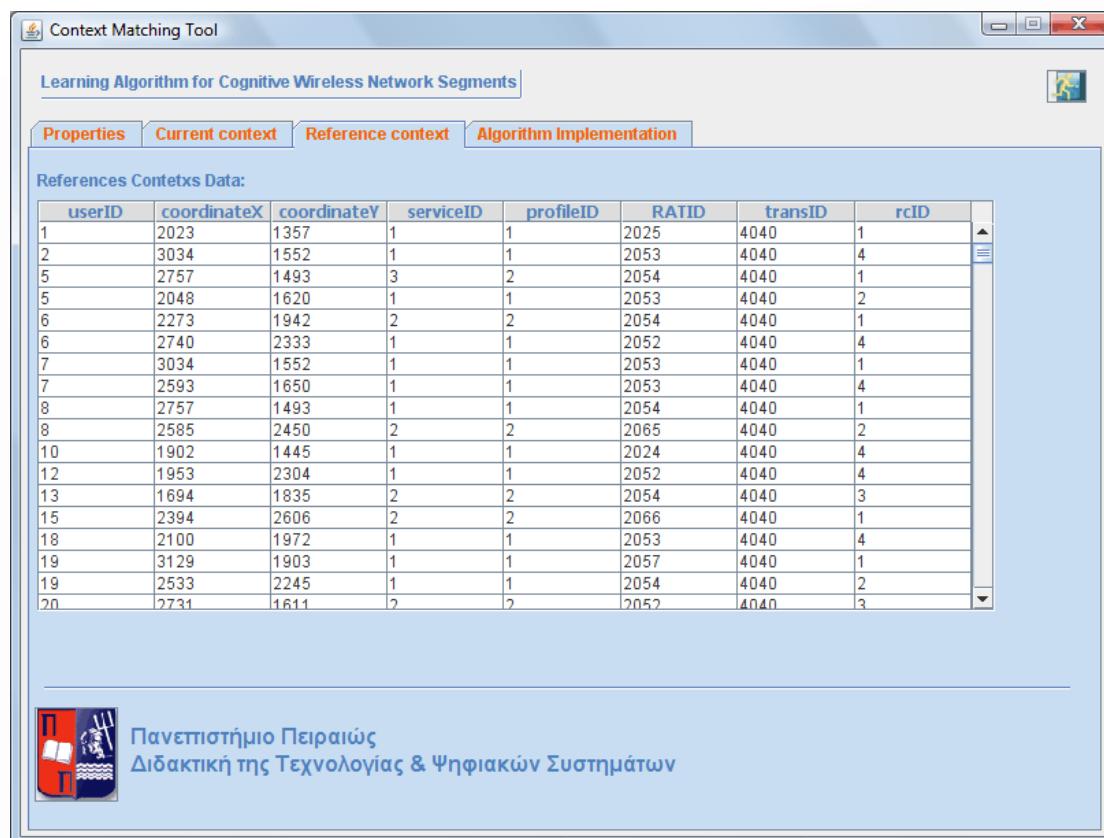


The screenshot shows a software window titled 'Context Matching Tool' with a sub-header 'Learning Algorithm for Cognitive Wireless Network Segments'. It has four tabs: 'Properties', 'Current context', 'Reference context', and 'Algorithm Implementation'. The 'Current context' tab is active, displaying a table of 'Current Context Data' with the following columns: userID, coordinateX, coordinateY, serviceID, profileID, RATID, and transID. The table contains 20 rows of data. At the bottom of the window, there is a logo and text for the University of Piraeus, Department of Educational Technology and Digital Systems.

userID	coordinateX	coordinateY	serviceID	profileID	RATID	transID
2	3034	1552	1	1	2053	4040
6	2740	2333	1	1	2052	4040
7	2593	1650	1	1	2053	4040
10	1902	1445	1	1	2024	4040
12	1953	2304	1	1	2052	4040
18	2100	1972	1	1	2053	4040
21	2585	2450	3	2	2065	4040
22	2048	2313	1	1	2053	4040
24	1953	2304	3	2	2052	4040
31	2325	2088	1	1	2054	4040
33	2533	2021	3	2	2054	4040
37	1737	2411	1	1	2053	4040
53	2585	1376	1	1	2052	4040
59	1900	2294	2	2	2054	4040
66	2844	1767	1	1	2054	4040
73	2083	1796	1	1	2053	4040
81	2325	2089	2	2	2054	4040
87	2463	1786	1	1	2054	4040

Εικόνα 34: Current Context Δεδομένα

Η τρίτη οθόνη παρουσιάζει όλα τα καταχωρημένα reference contexts, Εικόνα 35. Εμφανίζει τον κωδικό χρήστη, τις συντεταγμένες, την υπηρεσία και το προφίλ του κάθε χρήστη καθώς και την τεχνολογία ραδιοπρόσβασης μαζί με τον πομποδέκτη που τον εξυπηρετεί. Η τελευταία στήλη του πίνακα εμφανίζει το rcID δηλαδή το reference context στο οποίο συγκαταλέγεται κάθε χρήστης.



Context Matching Tool

Learning Algorithm for Cognitive Wireless Network Segments

Properties Current context Reference context Algorithm Implementation

References Contexts Data:

userID	coordinateX	coordinateY	serviceID	profileID	RATID	transID	rcID
1	2023	1357	1	1	2025	4040	1
2	3034	1552	1	1	2053	4040	4
5	2757	1493	3	2	2054	4040	1
5	2048	1620	1	1	2053	4040	2
6	2273	1942	2	2	2054	4040	1
6	2740	2333	1	1	2052	4040	4
7	3034	1552	1	1	2053	4040	1
7	2593	1650	1	1	2053	4040	4
8	2757	1493	1	1	2054	4040	1
8	2585	2450	2	2	2065	4040	2
10	1902	1445	1	1	2024	4040	4
12	1953	2304	1	1	2052	4040	4
13	1694	1835	2	2	2054	4040	3
15	2394	2606	2	2	2066	4040	1
18	2100	1972	1	1	2053	4040	4
19	3129	1903	1	1	2057	4040	1
19	2533	2245	1	1	2054	4040	2
20	2731	1611	2	2	2052	4040	3

Πανεπιστήμιο Πειραιώς
Διαδικτική της Τεχνολογίας & Ψηφιακών Συστημάτων

Εικόνα 35: Reference Context Δεδομένα

Η τελευταία οθόνη περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της εφαρμογής του αλγορίθμου Εικόνα 36. Εμφανίζει αναλυτικά στοιχεία για κάθε βήμα του και τέλος είτε προτείνει την κατάλληλη λύση είτε εμφανίζει μήνυμα πώς δεν βρέθηκε κάποια ομοιότητα ανάμεσα στα contexts. Όταν τρέχει ο αλγόριθμος αποθηκεύει τα δεδομένα σε ένα αρχείο τύπου txt. Κάθε φορά που επιλέγεται η τελευταία καρτέλα αναβαθμίζονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου μέσα από το αποθηκευμένο αρχείο. Στα αποτελέσματα αρχικά εμφανίζεται ο αριθμός των contexts που είναι αποθηκευμένος στην βάση δεδομένων και στη συνέχεια τα κατώτατα όρια που ρυθμίστηκαν στην αρχική σελίδα του εργαλείου. Κατόπιν για κάθε RC εμφανίζονται αναλυτικά όλα τα βήματα του αλγορίθμου.

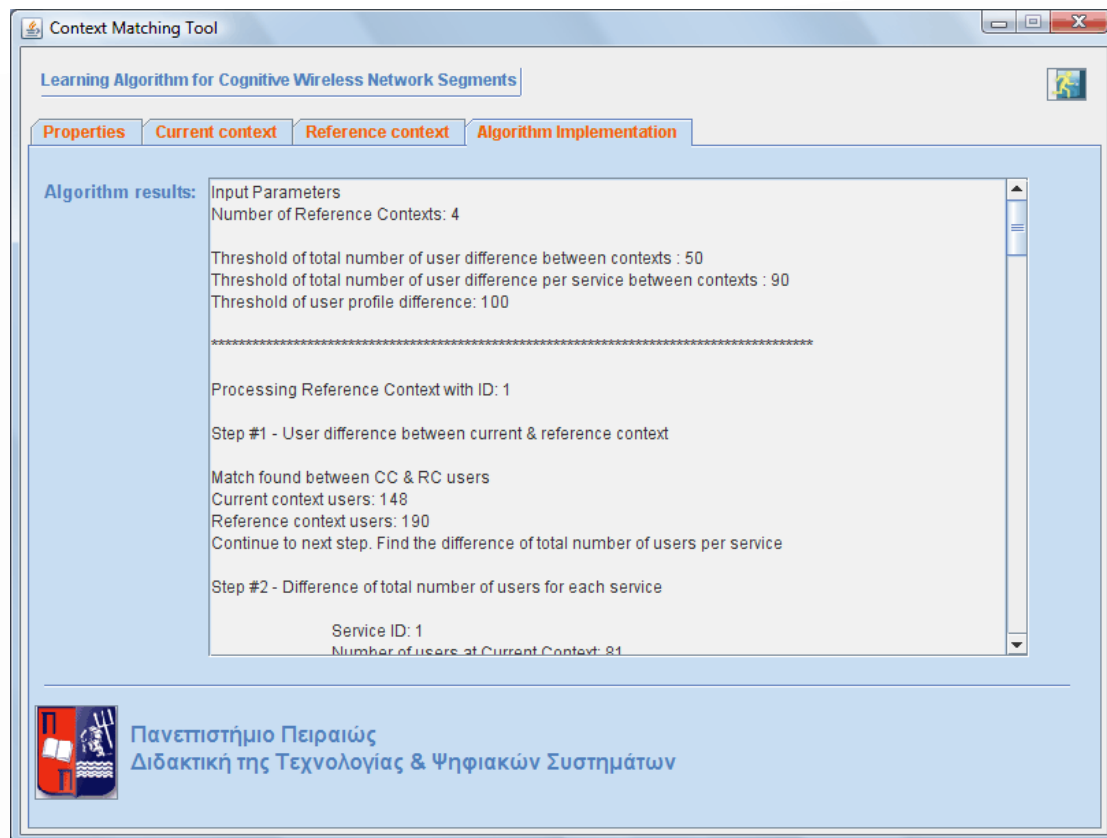
Το πρώτο βήμα ελέγχει τη διαφορά χρηστών ανάμεσα στα context και αποτελεί το πρώτο κριτήριο για την έγκριση και περαιτέρω επεξεργασία του context. Εμφανίζει τον αριθμό των χρηστών στο CC και στο RC αντίστοιχα. Έπειτα βρίσκει τη διαφορά τους και τη συγκρίνει με το όριο που έχει εισαχθεί από το χρήστη. Όταν η διαφορά χρηστών υπερβαίνει το όριο, το context απορρίπτεται διαφορετικά ο αλγόριθμος προχωρά στο επόμενο βήμα.

Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει τη εύρεση της διαφοράς χρηστών ανά υπηρεσία ανάμεσα στα context. Αρχικά για κάθε υπηρεσία ομαδοποιούνται οι χρήστες τόσο στο RC όσο στο CC και υπολογίζεται η διαφορά τους. Έπειτα για το συγκεκριμένο RC βρίσκεται η συνολική διαφορά του αριθμού χρηστών. Αν αυτή η διαφορά υπερβαίνει την τιμή που ορίστηκε στην αρχική σελίδα των παραμέτρων το RC απορρίπτεται, διαφορετικά ο αλγόριθμος συνεχίζει στο επόμενο βήμα στην εύρεση του πιο κοντινού χρήστη κάθε CC από το RC.

Η εύρεση του πιο κοντινού γειτονικού χρήστη πραγματοποιείται με τη χρήση του k-nn αλγορίθμου. Ο k-nearest neighbor υπολογίζει τον πιο κοντινό γείτονα κάθε χρήστη και στην συνέχεια ο αλγόριθμος βρίσκει τη συνολική διαφορά της απόστασης κάθε χρήστη του CC από τον πιο κοντινό του στο RC.

Το επόμενο βήμα αφορά την εύρεση της διαφοράς του προφίλ από κάθε χρήστη του CC στο πιο κοντινό του στο RC. Κάθε προφίλ αντιστοιχεί στην ποιότητα υπηρεσιών που χαρακτηρίζει κάθε χρήστη. Η ποιότητα υπηρεσιών όπως αναλύθηκε και στους πίνακες της βάσης δεδομένων κατηγοριοποιείται σε τρία επίπεδα που δηλώνουν το μέγεθος της ποιότητας της υπηρεσίας. Έτσι η ποιότητα υπηρεσιών χαρακτηρίζεται ως "Gold", "Silver" και "Bronze". Για κάθε έναν από αυτούς τους χαρακτηρισμούς αντιστοιχεί ένας μοναδικός αριθμός ο οποίος απεικονίζεται τόσο στο CC όσο στο RC ως profileID. Σύμφωνα με τους αριθμούς αυτούς υπολογίζεται η διαφορά του προφίλ κάθε χρήστη ως προς τον πιο κοντινό γειτονικό του και στην συνέχεια υπολογίζεται η συνολική διαφορά του προφίλ. Σε περίπτωση που η συνολική διαφορά είναι μεγαλύτερη από το κατώτατο όριο το RC απορρίπτεται και ο αλγόριθμος συνεχίζει με την εξέταση του επόμενου RC. Έναν η συνολική διαφορά είναι μικρότερη του ορίου τότε ο αλγόριθμος συνεχίζει στο τελευταίο βήμα που είναι ο υπολογισμός του αθροίσματος των διαφορών για κάθε RC.

Η εύρεση της μικρότερης συνολικής διαφοράς υποδηλώνει την ομοιότητα του CC με το RC και συνιστάται η λύση που αναλογεί στο προτεινόμενο RC. Αξίζει να σημειωθεί ότι κάθε φορά επιλέγεται η απόλυτη τιμή τους αθροίσματος της διαφοράς των βημάτων και αυτό γιατί σημασία έχει να βρεθεί η μικρότερη απόσταση και όχι να υπολογιστεί απλά το συνολικό άθροισμα.



Εικόνα 36: Αποτελέσματα Αλγορίθμου

Ακολουθώς εμφανίζονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου, όπως αυτά αποθηκεύονται στο αρχείο:

```

Input Parameters
Number of Reference Contexts: 4

Threshold of total number of user difference between contexts : 40
Threshold of total number of user difference per service between contexts : 90
Threshold of user profile difference: 100

*****

Processing Reference Context with ID: 1

Step #1 - User difference between current & reference context

Stop checking current pattern.
The user distance of CC to RC with id 1 is 42 > threshold (40)

*****

Processing Reference Context with ID: 2

Step #1 - User difference between current & reference context

Stop checking current pattern.
  
```

The user distance of CC to RC with id 2 is 42 > threshold (40)

Processing Reference Context with ID: 3

Step #1 - User difference between current & reference context

Match found between CC & RC users

Current context users: 148

Reference context users: 166

Continue to next step. Find the difference of total number of users per service

Step #2 - Difference of total number of users for each service

Service ID: 1

Number of users at Current Context: 81

Number of users at Reference Context: 90

Service ID: 2

Number of users at Current Context: 36

Number of users at Reference Context: 40

Service ID: 3

Number of users at Current Context: 31

Number of users at Reference Context: 36

Sum of distances for this reference context: 18

Continue to next step. Find the nearest neighbor

Step #3 - Nearest neighbor total difference

The sum of distances between each cc user and its nearest neighbor in rs is 734.808

Step #4 - User profile total difference

User total profile distance: 76

Total distance for Reference Context with ID 3 is: 846.808

Processing Reference Context with ID: 4

Step #1 - User difference between current & reference context

Match found between CC & RC users

Current context users: 148

Reference context users: 166

Continue to next step. Find the difference of total number of users per service

Step #2 - Difference of total number of users for each service

Service ID: 1
Number of users at Current Context: 81
Number of users at Reference Context: 90
Service ID: 2
Number of users at Current Context: 36
Number of users at Reference Context: 40
Service ID: 3
Number of users at Current Context: 31
Number of users at Reference Context: 36

Sum of distances for this reference context: 18

Continue to next step. Find the nearest neighbor

Step #3 - Nearest neighbor total difference

The sum of distances between each cc user and its nearest neighbor in rs is 3.0

Step #4 - User profile total difference

User total profile distance: 77

Total distance for Reference Context with ID 4 is: 116.0

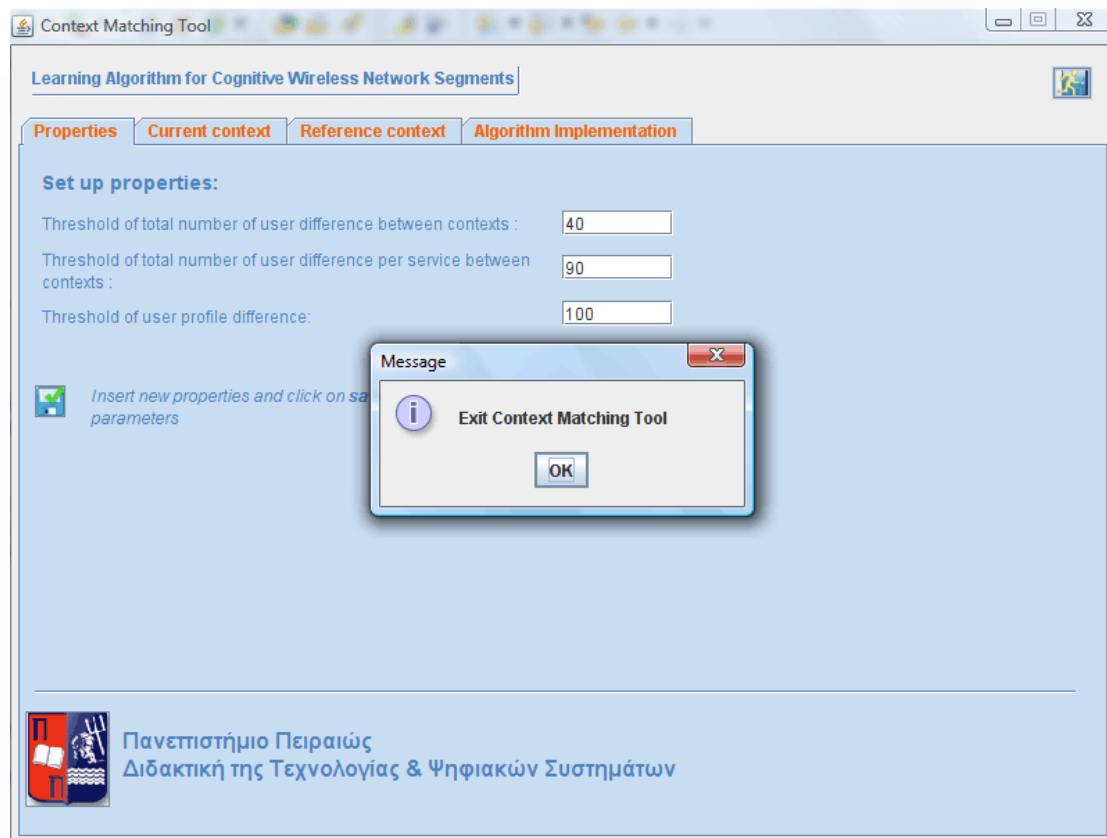
Step #5 - Find the total difference:

The smallest total absolute distance is, 116.0 which corresponds to RC with ID: 4
Implement solution: 34

Time elapsed: 1669 milliseconds

Στο τέλος εμφανίζεται ο χρόνος που διήρκησε ο αλγόριθμος για να επεξεργαστεί τα context και να καταλήξει σε κάποιο αποτέλεσμα.

Ο χρήστης εξέρχεται από το CMT επιλέγοντας το εικονίδιο  Εικόνα 37.



Εικόνα 37: Κλείσιμο Εφαρμογής

7. Ενδεικτικά Αποτελέσματα

Η ενότητα αυτή παρουσιάζει τα αποτελέσματα που προκύπτουν με τη βοήθεια του CMT από την εφαρμογή του CMA σε διάφορες περιπτώσεις σεναρίων. Παρουσιάζονται τέσσερα σενάρια τα οποία στοχεύουν στην επαρκή κάλυψη λειτουργίας του αλγορίθμου και στην εμφάνιση ενδεικτικών αποτελεσμάτων που καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος πιθανών περιπτώσεων εφαρμογής του. Τα σενάρια αφορούν την απεικόνιση της βέλτιστης λύσης σε ένα τρέχον context από την αποκτηθείσα εμπειρία, και περιλαμβάνουν την παρουσίαση αποτελεσμάτων σε συνάρτηση με την ομαδοποίηση χρηστών ανά υπηρεσία, την κατανομή χρηστών ανά κυψέλη και τη διαφορά του προφίλ των χρηστών. Επίσης παρουσιάζονται οι χρόνοι που προκύπτουν από την εφαρμογή του RDQ – A αλγορίθμου βελτιστοποίησης σε συνάρτηση με αυτούς του CMA.

7.1 Παρουσίαση Σεναρίων

7.1.1 Σενάριο #1

Στο πρώτο σενάριο ελέγχεται η αποδοτικότητα του αλγορίθμου για ένα context 190 χρηστών οι οποίοι καταναλώνουν υπηρεσίες φωνής, video streaming και browsing. Στόχος του σεναρίου είναι ο έλεγχος των αποτελεσμάτων του CMA όταν το τρέχον context παρουσιάζει μηδενική διαφορά χρηστών ανά υπηρεσία σε σχέση με τα contexts που είναι αποθηκευμένα στη βάση δεδομένων.

Η κατανομή χρηστών ανά υπηρεσίες είναι η ακόλουθη:

Πίνακας 2: Κατανομή Χρηστών ανά υπηρεσίες

Service Name	Service ID	Number of users
Voice	1	100
Video Streaming	2	50
Browsing	3	40

Αναλυτικά τα δεδομένα που περιλαμβάνει το context (cc) παρουσιάζονται στην αντίστοιχη οθόνη του CMT Εικόνα 38.


Context Matching Tool

Learning Algorithm for Cognitive Wireless Network Segments

Properties | Current context | Reference context | Algorithm Implementation

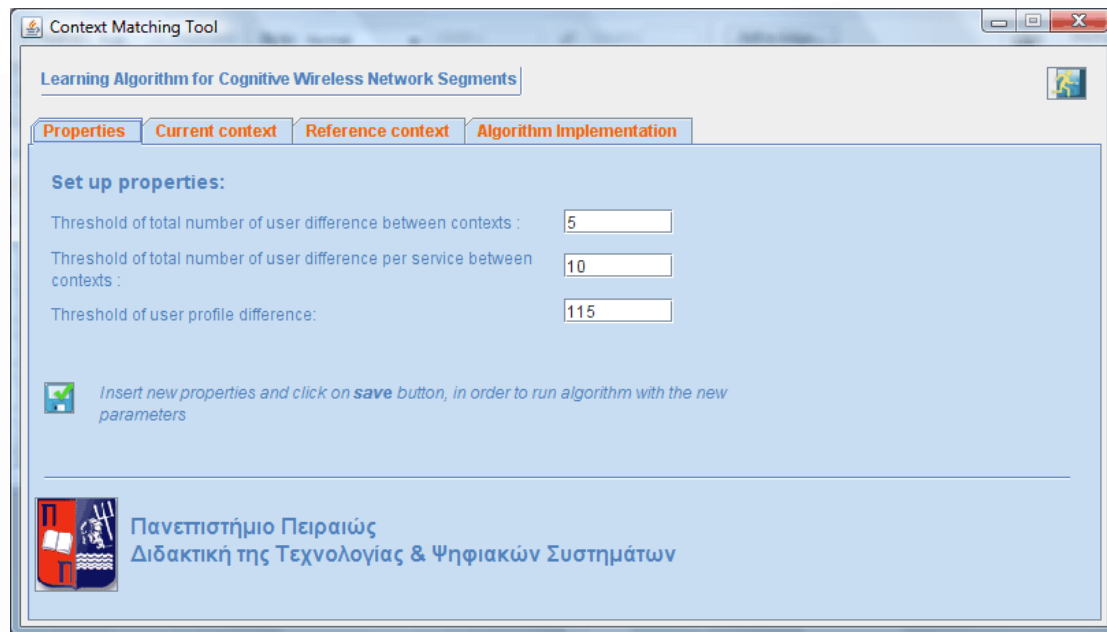
Current Context Data:

	userID	coordinateX	coordinateY	serviceID	profileID	RATID	transID
1	2023	1350	1350	1	1	2025	4040
5	2757	1493	1493	3	2	2054	4040
6	2273	1942	1942	2	2	2054	4040
7	3034	1552	1552	1	1	2053	4040
8	2757	1493	1493	1	1	2054	4040
15	2390	2606	2606	2	2	2066	4040
19	3129	1903	1903	1	3	2057	4040
22	2550	2333	2333	2	2	2052	4040
23	1936	2313	2313	1	1	2052	4040
27	2533	1464	1464	1	1	2024	4040
28	2126	2108	2108	2	2	2052	4040
30	1685	2401	2401	1	1	2053	4040
40	2878	2729	2729	2	2	2054	4040
41	2074	1718	1718	1	1	2052	4040
44	2144	2274	2274	1	1	2065	4040
55	2265	2772	2772	3	2	2065	4040
68	2714	1337	1337	1	1	2053	4040
73	2325	2431	2431	3	2	2054	4040


 Πανεπιστήμιο Πειραιώς
 Διδακτική της Τεχνολογίας & Ψηφιακών Συστημάτων

Εικόνα 38: Παρουσίαση Περιεχομένου CC

Η εξαγωγή έγκυρης λύσης προϋποθέτει την εισαγωγή «λογικών» κατώτατων ορίων για ουσιαστικό έλεγχο των αποθηκευμένων contexts. Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 39 για τη συγκεκριμένη τρέχουσα κατάσταση αποζητάτε λύση στην οποία ο αριθμός χρηστών του RC δεν θα ξεπερνά τους πέντε ενώ η διαφορά χρηστών ανά υπηρεσία δεν θα ξεπερνά τους δέκα χρήστες. Επιπλέον η διαφορά του προφίλ των κοντινότερων χρηστών θα είναι μικρότερη του εκατόν δεκαπέντε.



Εικόνα 39: Εισαγωγή Κατώτατων Ορίων

Μόλις αποθηκευτούν τα όρια επιλέγεται η καρτέλα «Algorithm implementation» που εμφανίζει τα αποτελέσματα που υποδεικνύουν τη λύση για το cc.

Input Parameters

Number of Reference Contexts: 4

Threshold of total number of user difference between contexts : 5

Threshold of total number of user difference per service between contexts : 10

Threshold of user profile difference : 115

Processing Reference Context with ID: 1

Step #1 - User difference between current & reference context

Match found between CC & RC users

Current context users: 190

Reference context users: 190

Continue to next step. Find the difference of total number of users per service

Step #2 - Difference of total number of users for each service

Service ID: 1

Number of users at Current Context: 100

Number of users at Reference Context: 100

Service ID: 2

Number of users at Current Context: 50

Number of users at Reference Context: 50

Service ID: 3

Number of users at Current Context: 40

Number of users at Reference Context: 40

Sum of distances per service for this reference context: 0

Continue to next step. Find the nearest neighbor

Step #3 - Nearest neighbor total difference

The sum of distances between each cc user and its nearest neighbor in RC is 118.0

Step #4 - User profile total difference

User total profile distance: 102

Total distance for Reference Context with ID 1 is: 220.0

Processing Reference Context with ID: 2

Step #1 - User difference between current & reference context

Match found between CC & RC users

Current context users: 190

Reference context users: 190

Continue to next step. Find the difference of total number of users per service

Step #2 - Difference of total number of users for each service

Service ID: 1

Number of users at Current Context: 100

Number of users at Reference Context: 100

Service ID: 2

Number of users at Current Context: 50

Number of users at Reference Context: 50

Service ID: 3

Number of users at Current Context: 40

Number of users at Reference Context: 40

Sum of distances per service for this reference context: 0

Continue to next step. Find the nearest neighbor

Step #3 - Nearest neighbor total difference

The sum of distances between each cc user and its nearest neighbor in RC is 8034.0

Step #4 - User profile total difference

User total profile distance: 111

Total distance for Reference Context with ID 2 is: 8145.0

Processing Reference Context with ID: 3

Step #1 - User difference between current & reference context

Stop checking current pattern.

The user distance of CC to RC with id 3 is 24 > threshold (5)

Processing Reference Context with ID: 4

Step #1 - User difference between current & reference context

Stop checking current pattern.

The user distance of CC to RC with id 4 is 24 > threshold (5)

Step #5 - Find the total difference:

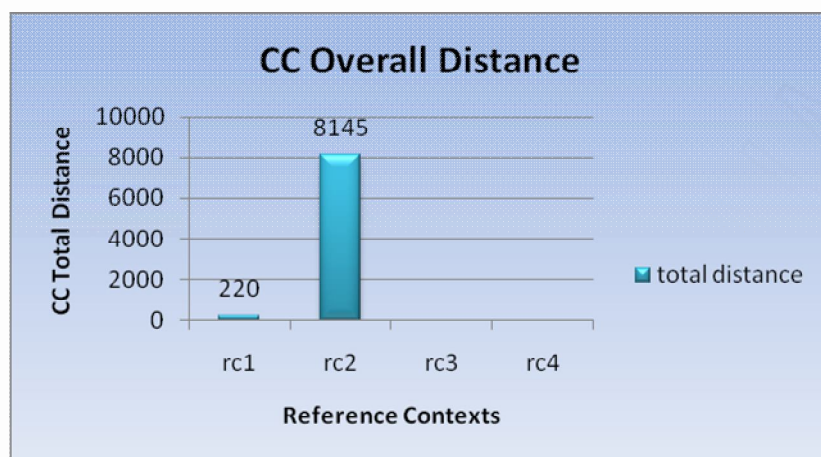
The smallest total absolute distance is, 220.0 which corresponds to RC with ID: 1

Implement solution: 12

Time elapsed: 811 milliseconds

Ο αλγόριθμος απορρίπτει δύο από τα καταχωρημένα RCs λόγω της διαφοράς του αριθμού χρηστών. Και στα δύο RCs παρουσιάζεται διαφορά 24 χρηστών που υπερβαίνει το όριο των πέντε (**Stop checking current pattern.** The user distance of CC to RC with id 3 is 24 > threshold (5)). Στην συνέχεια, ελέγχεται η συνολική διαφορά χρηστών ανά υπηρεσία, η οποία δεν υπερβαίνει το κατώτατο όριο για τα εγκεκριμένα RCs. Τα δύο εναπομείναντα contexts παρουσιάζουν ταύτιση όσον αφορά τον αριθμό χρηστών ανά υπηρεσία αφού η συνολική διαφορά είναι μηδενική (**Sum of distances per service for this reference context: 0**). Ακολουθώς υπολογίζεται η συνολική απόσταση κάθε χρήστη του CC με το κοντινότερο του από τα RCs και το άθροισμα της διαφοράς του προφίλ των χρηστών του CC από τους κοντινότερους του από τα RCs. Επειδή το άθροισμα της διαφοράς του προφίλ των κοντινότερων χρηστών είναι μικρότερο από το κατώτατο όριο και για τα δύο context (**User total profile distance: 111**) ο αλγόριθμος προχωρά στο υπολογισμό της συνολικής απόστασης. Το τελικό άθροισμα υποδεικνύει ως λύση το RC1 επειδή διαθέτει τη μικρότερη συνολική απόσταση. Τόσο το RC1 όσο το RC2 εμφανίζουν μηδενική διαφορά αριθμού χρηστών ανά με υπηρεσία σε σχέση με το CC και περίπου ίδιο επίπεδο διαφοράς προφίλ χρηστών (102, 111). Καθοριστικό ρόλο στον υπολογισμό της συνολικής απόστασης διαδραματίζει η θέση των χρηστών στην κυψέλη. Η μεγάλη διαφορά στο άθροισμα προκύπτει από τη διαφορά των συντεταγμένων του CC ως προς αυτές των RCs. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι η συνολική απόσταση κάθε χρήστη του CC με τον κοντινότερο υπολογίζεται με τον ίδιο αριθμό χρηστών ανά RC (RC1: 190 χρήστες & RC2: 190 χρήστες).

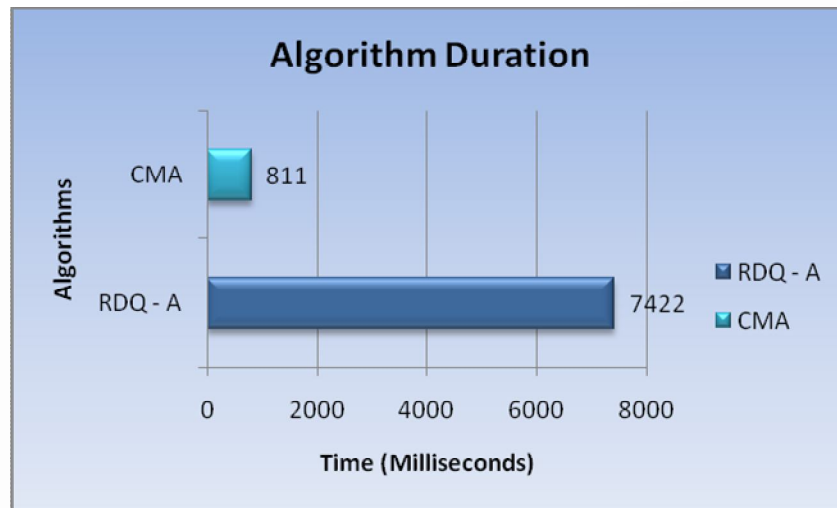
Η λύση του CC ως προς τα RCs απεικονίζεται διαγραμματικά ακολούθως:



Εικόνα 40: Βέλτιστη Λύση CC #1

Η γραφική παράσταση απεικονίζει τη συνολική απόσταση που υπολογίζει ο CMA για κάθε αποθηκευμένου context. Ο οριζόντιος άξονας εμφανίζει τα αποθηκευμένα RCs ενώ ο κάθετος εμφανίζει τη συνολική απόσταση που υπολόγισε ο CMA για καθένα από αυτά σε σχέση με το CC.

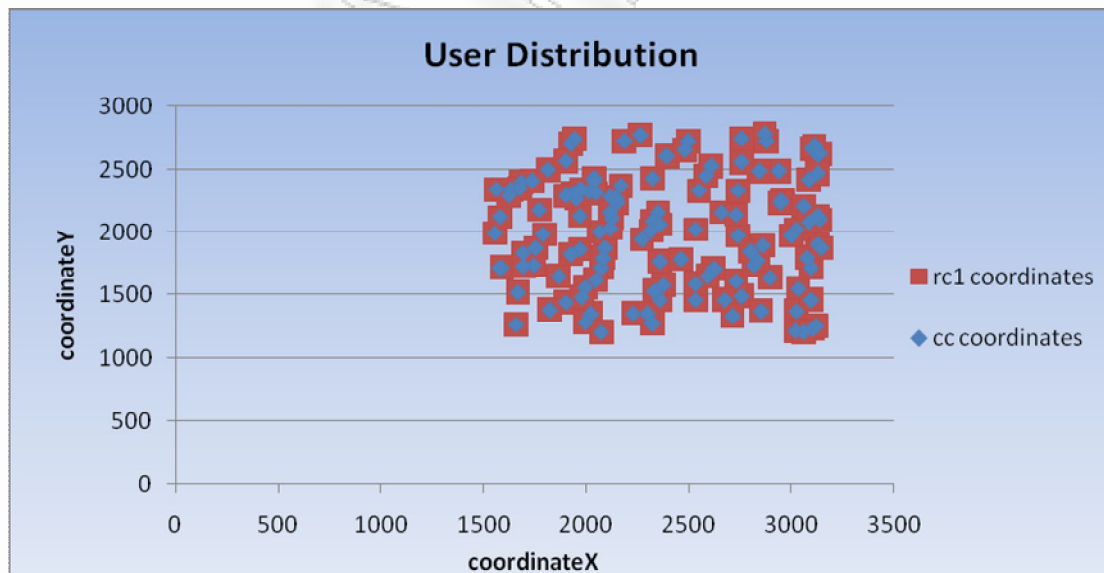
Ένα σημαντικό κριτήριο που αποδεικνύει την αποδοτικότητα του αλγορίθμου και σχετίζεται άμεσα με τη βελτιστοποίηση του δικτύου είναι ο χρόνος επεξεργασίας των contexts. Σκοπός του CMA είναι η άμεση εύρεση λύσης για κάποιο context μέσω της εμπειρίας χωρίς την εφαρμογή κάποιου αλγορίθμου βελτιστοποίησης. Συνεπώς η αποδοτικότητα του θα ελεγχθεί συγκριτικά με το χρόνο απόκρισης ενός αλγορίθμου βελτιστοποίησης και συγκεκριμένα με του RDQ – A. Το τρέχον context (CC) αντικατοπτρίζεται στο RC1. Το RC1 βρίσκεται αποθηκευμένο στην βάση δεδομένων, από όπου συνεπάγεται ότι δεν παρουσιάζε κάποια ομοιότητα με προηγούμενα καταχωρημένα contexts και για το λόγω αυτό εφαρμόστηκε ο RDQ – A. Ο RDQ – A απόδωσε λύση στην τότε τρέχουσα κατάσταση του δικτύου (RC1) μέσα σε χρόνο 7422 milliseconds, ενώ ο CMA ουσιαστικά για την ίδια κατάσταση (αριθμός χρηστών, αριθμός χρηστών ανά υπηρεσία, θέση των χρηστών στην κυψέλη και προφίλ χρηστών) απέδωσε λύση μέσα σε 811 milliseconds. Η μεγάλη διαφορά στη διάρκεια εύρεσης της λύσης αποδεικνύει τη χρησιμότητα και την αναγκαιότητα του CMA καθώς μέσω της γνώσης οδηγεί στην άμεση βελτιστοποίηση της κατάστασης του δικτύου.



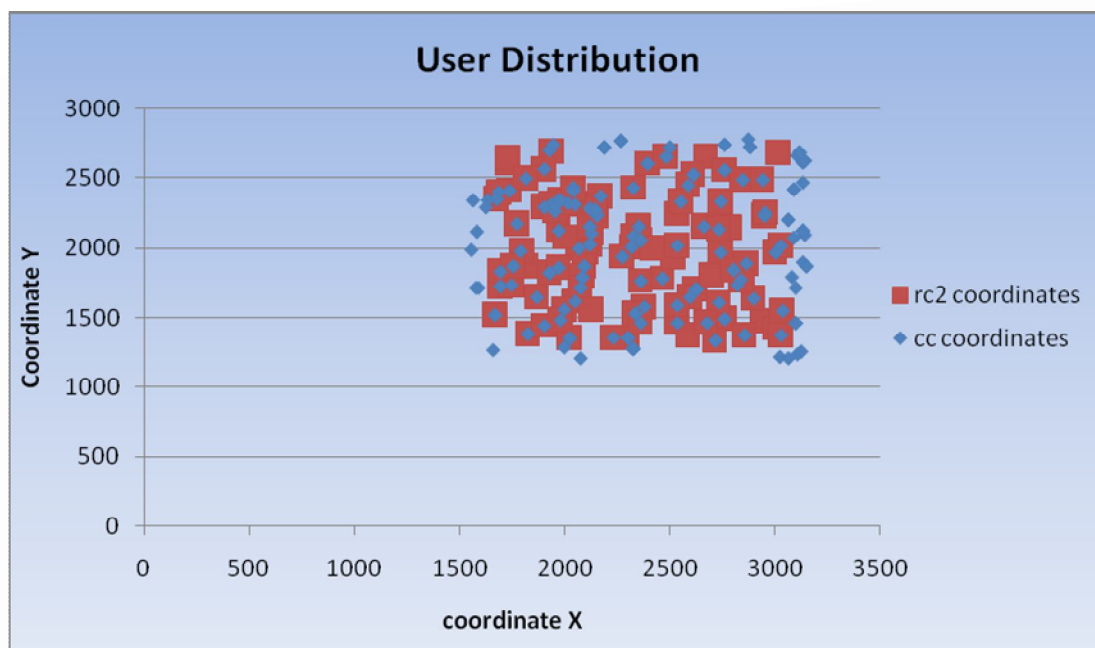
Εικόνα 41: Διάρκεια Αλγορίθμων CC #1

Η γραφική παράσταση απεικονίζει τη διάρκεια απόδοσης λύσης του CMA και του RDQ-A αλγορίθμου για το ίδιο ουσιαστικά context σε milliseconds (Εικόνα 41).

Στο σενάριο αυτό καθοριστικό ρόλο στην επιλογή του κατάλληλου RC διαδραμάτισε η συνολική απόσταση κοντινότερων χρηστών. Όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα η συνολική απόσταση για το RC1 είναι 118 ενώ για το RC2 είναι 8034. Τη χρησιμότητα του βήματος αυτού την καταλαβαίνουμε από τις ακόλουθες γραφικές παραστάσεις όπου παρουσιάζεται η ταύτιση ή η απόκλιση των χρηστών του CC από τα RC1 και RC2 αντίστοιχα. Σε κάθε μια από τις ακόλουθες γραφικές παραστάσεις απεικονίζεται η θέση των χρηστών (συνταγμένες x,y) στην κυψέλη.



Εικόνα 42: Κατανομή χρηστών RC1



Εικόνα 43: Κατανομή χρηστών RC2

Οι συντεταγμένες των χρηστών του CC σχεδόν ταυτίζονται με αυτές του RC1 σε αντίθεση με του RC2 όπου εμφανίζεται μεγαλύτερη διασπορά. Η κατάσταση ενός δικτύου περιλαμβάνει τη συσχέτιση πολλών παραγόντων, αριθμό χρηστών, χρήστες ανά υπηρεσίες, κατανομή χρηστών, χρησιμοποιούμενη τεχνολογία κ.α. Ο CMA λαμβάνει υπόψη όλους αυτούς τους παράγοντες και εξάγει μια έγκυρη λύση αφού αντικατοπτρίζει πλήρως τα χαρακτηριστικά του CC σε ένα αποθηκευμένο context.

7.1.2 Σενάριο #2

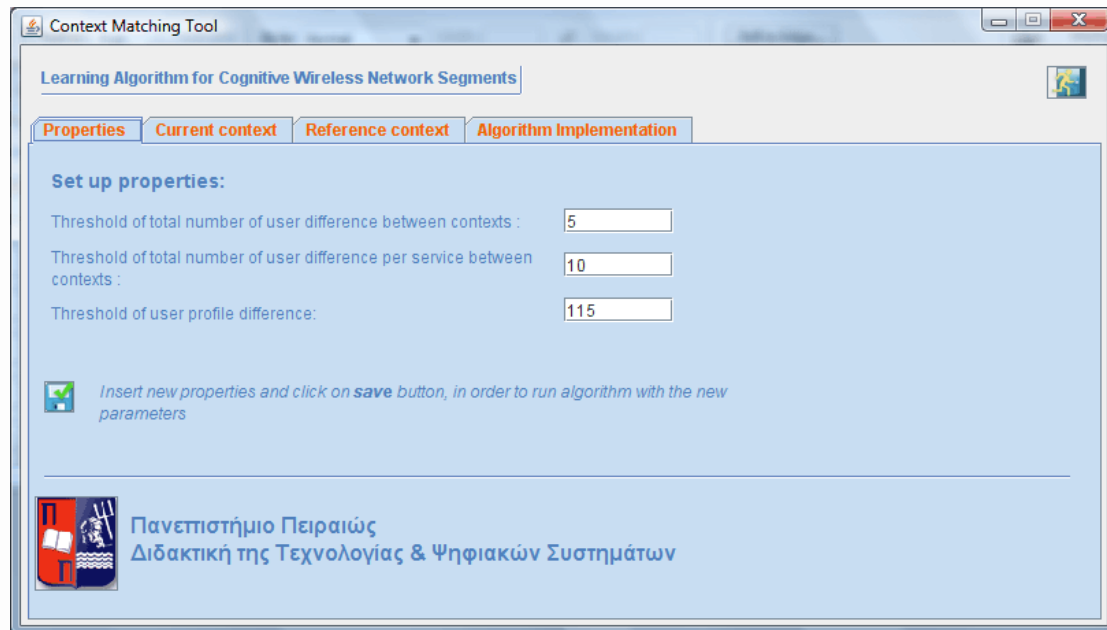
Το δεύτερο σενάριο αποσκοπεί στο έλεγχο απόδοσης του CMA όταν σε ένα context παρατηρείται αλλαγή στην κατανομή των χρηστών ανά υπηρεσία. Το σενάριο αυτό, όπως και στο προηγούμενο αρχικά εμφανίζει μηδενική διαφορά χρηστών με τα αποθηκευμένα RCs. Ο CMA εκτελείται και καταλήγει σε μία λύση. Μετέπειτα εμφανίζεται αλλαγή στην κατανομή των χρηστών και ο αλγόριθμος εκτελείται ξανά. Σκοπός είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων και η παρατήρηση της συμπεριφοράς του CMA όταν το δεύτερο βήμα του αλγορίθμου διαφοροποιείται.

Το τρέχον context αποτελείται από 190 χρήστες και η κατανομή τους ανά υπηρεσία είναι η ακόλουθη:

Πίνακας 3: Κατανομή Χρηστών ανά Υπηρεσίες

Service Name	Service ID	Number of users
Voice	1	100
Video Streaming	2	50
Browsing	3	40

Ο αλγόριθμος τρέχει για πρώτη φορά έχοντας τα ακόλουθα κατώτατα όρια (Εικόνα 44):



Εικόνα 44: Εισαγωγή Κατώτατων Ορίων

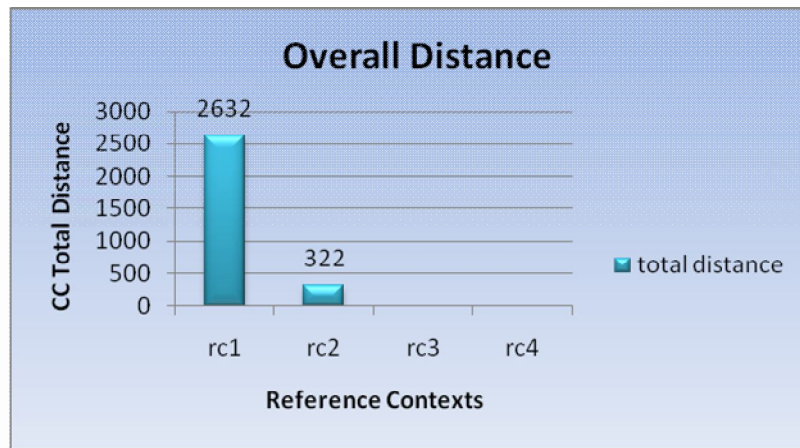
Ο CMA όπως και στο πρώτο σενάριο, απορρίπτει δύο context λόγω διαφοράς χρηστών ανά περιεχόμενο και συνεχίζει με την επεξεργασία των υπόλοιπων. Οι χρήστες του RC1 και RC2 εμφανίζουν μηδενική διαφορά χρηστών ανά υπηρεσία και υπολογίζουν την τελική λύση βάση της συνολικής απόστασης των κοντινότερων χρηστών και της συνολικής διαφοράς του προφίλ των κοντινότερων χρηστών.

Step #2 - Difference of total number of users for each service

Service ID: 1
Number of users at Current Context: 100
Number of users at Reference Context: 100
Service ID: 2
Number of users at Current Context: 50
Number of users at Reference Context: 50
Service ID: 3
Number of users at Current Context: 40
Number of users at Reference Context: 40

Sum of distances per service for this reference context: 0

Ο CMA προτείνει τη λύση του RC2 στο οποίο βρίσκει ομοιότητα δηλαδή, τη μικρότερη συνολική απόσταση. Η απόσταση απεικονίζεται για κάθε RC στην ακόλουθη γραφική παράσταση:

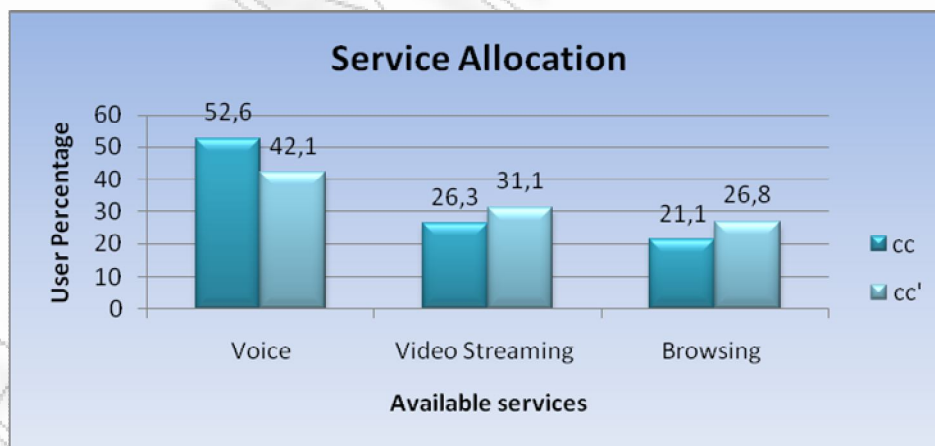


Εικόνα 45: Βέλτιστη Λύση CC #2

Η αλλαγή των χρηστών ανά υπηρεσία επηρεάζει την συνολική απόσταση του RC (αφού συνυπολογίζεται στην τελική απόσταση) και συνεπώς μπορεί να επηρεάσει και να αποτελέσει ειδοποιό διαφορά στην αντιστοίχιση της λύσης. Η μετατόπιση της κατανομής χρηστών ανά υπηρεσία εμφανίζεται ακολούθως και η ποσοστιαία μεταβολή της αναπαρίσταται στην παρακάτω γραφική παράσταση (Εικόνα 46).

Πίνακας 4: Νέα Κατανομή Χρηστών ανά Υπηρεσία

Service Name	Service ID	Number of users
Voice	1	80
Video Streaming	2	59
Browsing	3	51



Εικόνα 46: Κατανομή χρηστών

Ο οριζόντιος άξονας της παράστασης απεικονίζει τις χρησιμοποιούμενες υπηρεσίες, ενώ ο κάθετος εμφανίζει το ποσοστό χρηστών που κατανείμετε σε αυτές.

Η αλλαγή στους χρήστες αλλάζει τα δεδομένα εισόδου του αλγορίθμου και παρουσιάζει τα ακόλουθα αποτελέσματα για τα RCs που δεν απορρίπτεται λόγω διαφοράς στο αριθμό χρηστών:

Input Parameters

Number of Reference Contexts: 4

Threshold of total number of user difference between contexts : 5

Threshold of total number of user difference per service between contexts : 10

Threshold of user profile difference: 115

Processing Reference Context with ID: 1

Step #1 - User difference between current & reference context

Match found between CC & RC users

Current context users: 190

Reference context users: 190

Continue to next step. Find the difference of total number of users per service

Step #2 - Difference of total number of users for each service

Service ID: 1

Number of users at Current Context: 80

Number of users at Reference Context: 100

Service ID: 2

Number of users at Current Context: 59

Number of users at Reference Context: 50

Service ID: 3

Number of users at Current Context: 51

Number of users at Reference Context: 40

Sum of distances per service for this reference context: 40

Stop checking Current pattern.

The difference of total users per service of CC to RC with id 1 is: 40 > threshold (10)

Processing Reference Context with ID: 2

Step #1 - User difference between current & reference context

Match found between CC & RC users

Current context users: 190

Reference context users: 190

Continue to next step. Find the difference of total number of users per service

Step #2 - Difference of total number of users for each service

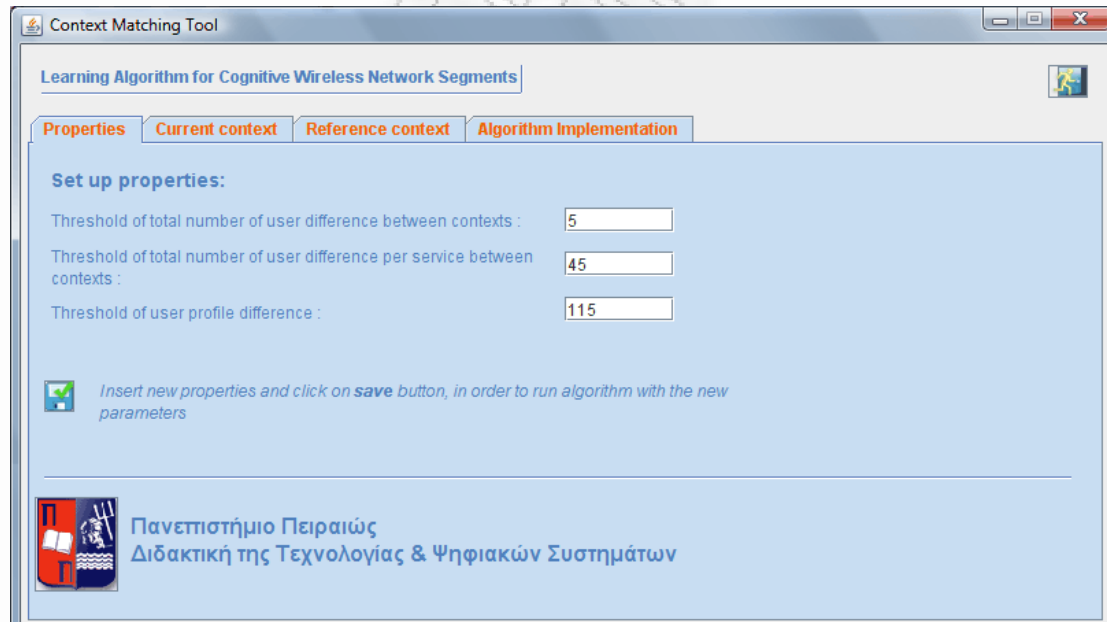
Service ID: 1
 Number of users at Current Context: 80
 Number of users at Reference Context: 100
 Service ID: 2
 Number of users at Current Context: 59
 Number of users at Reference Context: 50
 Service ID: 3
 Number of users at Current Context: 51
 Number of users at Reference Context: 40

Sum of distances per service for this reference context: 40

Stop checking Current pattern.

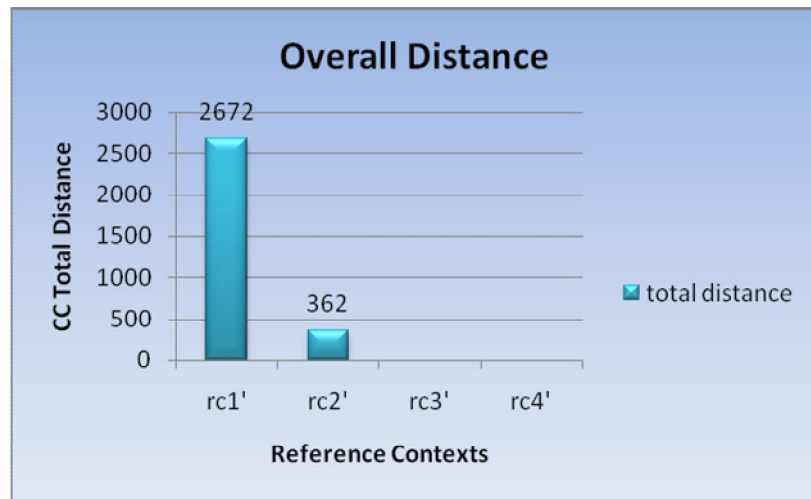
The difference of total users per service of CC to RC with id 2 is: 40 > threshold (10)

Η αλλαγή στην κατανομή υπηρεσιών έχει ως επακόλουθο την απόρριψη και των υπόλοιπων contexts λόγω υπέρβασης του δεύτερου κατώτατου ορίου. Η διαφορά στην κατανομή χρηστών, δημιούργησε συνολική διαφορά χρηστών ανά υπηρεσία μεγαλύτερη του κατώτατου ορίου. Η εύρεση ομοιότητας καθιστά αναγκαία τη μεταβολή των κατώτατων ορίων. Ο αλγόριθμος εκτελείται ξανά με την εισαγωγή νέων παραμέτρων από το CMT, που θέτουν τη διαφορά στους σαράντα πέντε χρήστες ανά υπηρεσία.

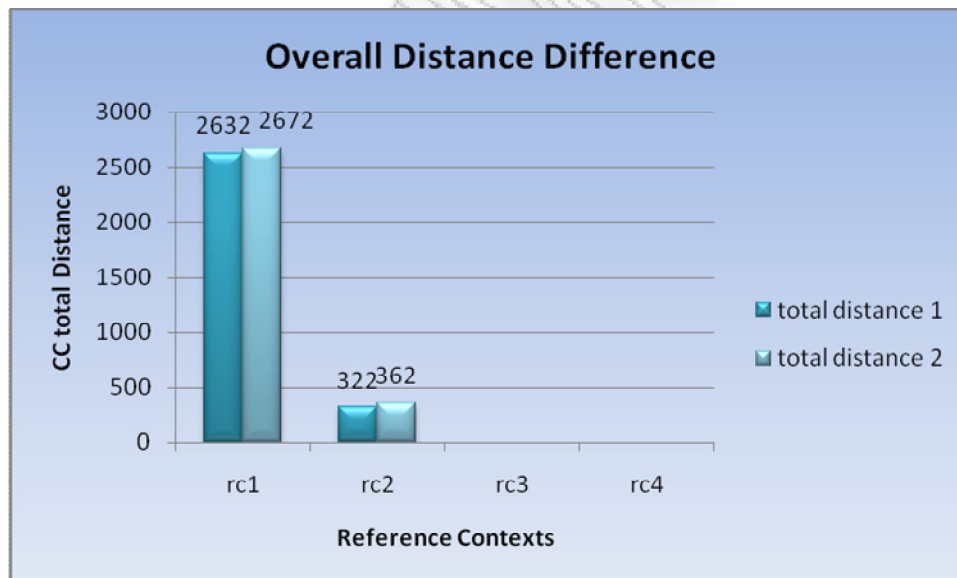


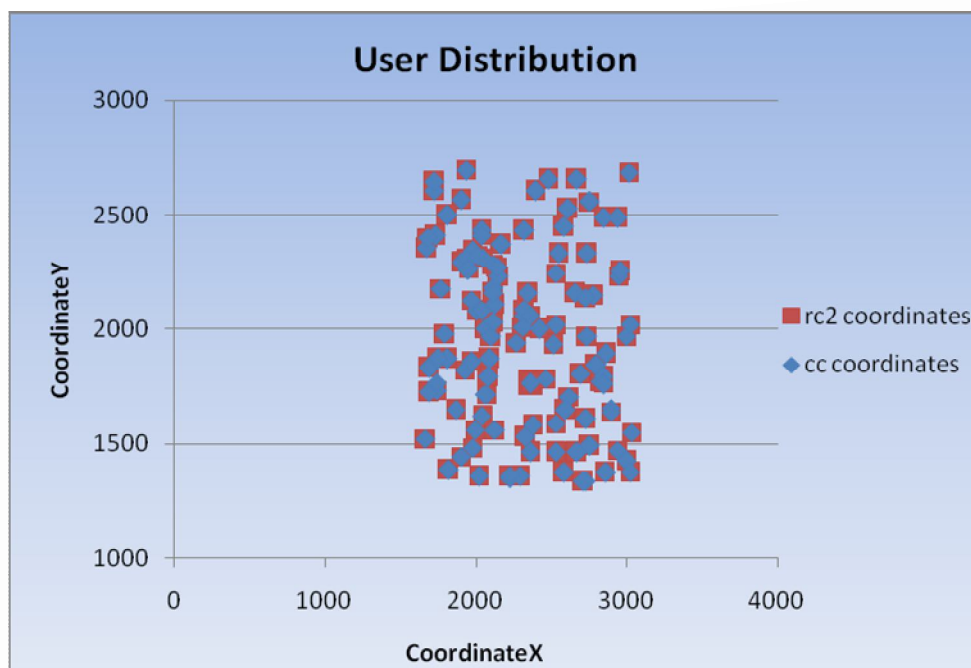
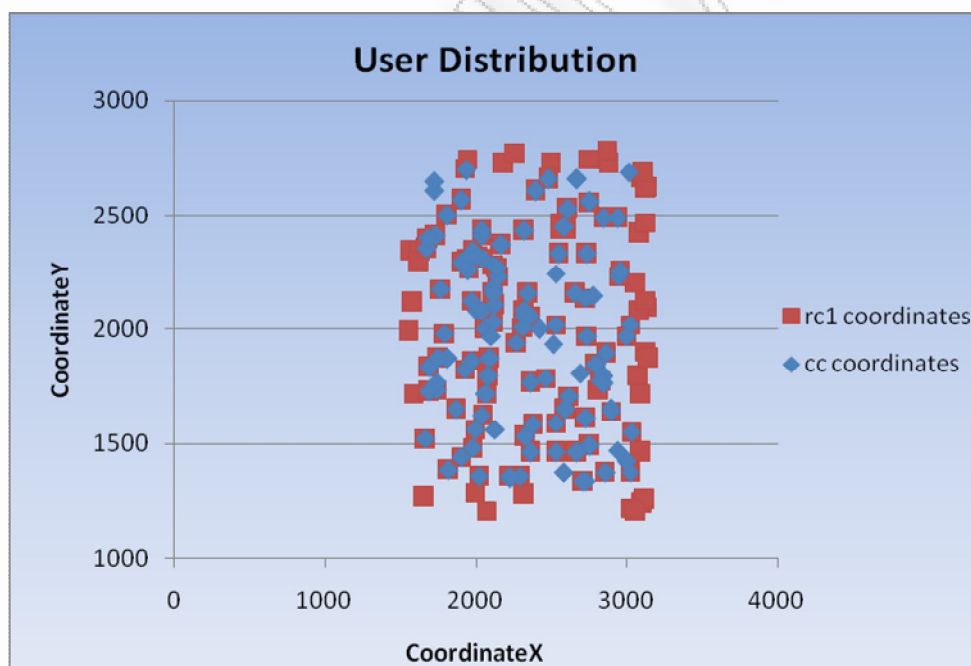
Εικόνα 47: Εισαγωγή νέων κατώτατων ορίων

Η αλλαγή του ορίου εξασφαλίζει την αποδοχή των δύο RCs και οδηγεί στον υπολογισμό νέας συνολικής απόστασης για κάθε ένα. Τα νέα δεδομένα υποδεικνύουν πάλι την ίδια λύση εμφανίζοντας ωστόσο διαφορά στο τελικό τους αποτέλεσμα Εικόνα 48.

**Εικόνα 48: Βέλτιστη λύση CC' #2**

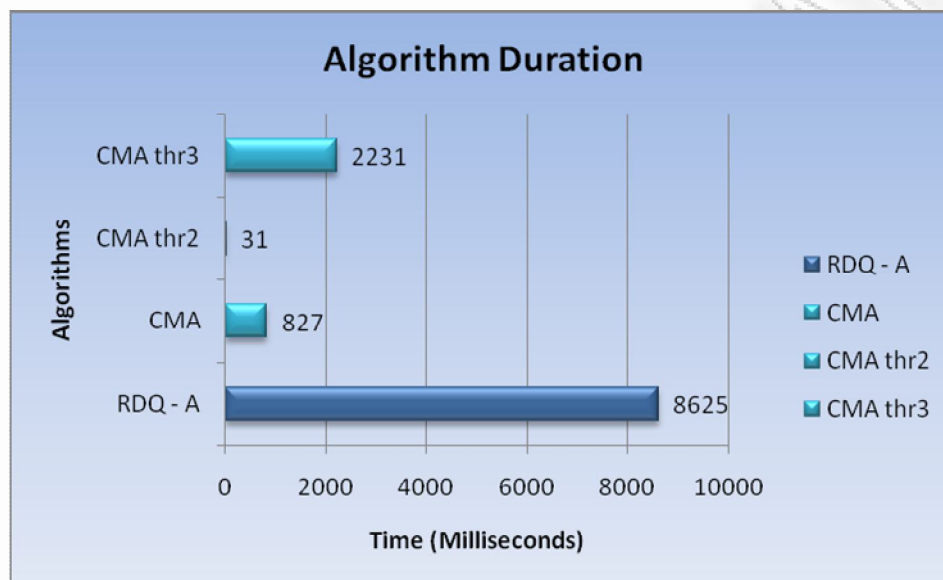
Η διαφορά χρηστών ανά υπηρεσία δεν είναι αρκετή για να αλλάξει την τελική λύση καθότι είναι της τάξης του πέντε τις εκατό. Το τελικό άθροισμα επηρεάζει και πάλι η κατανομή των χρηστών στην κυψέλη, (Εικόνα 50), που στην περίπτωση του RC1 εμφανίζει μεγάλη διασπορά (Εικόνα 51). Συγκριτικά η συνολική απόσταση κάθε RC από το CC με βάση τη διαφοροποίηση στην κατανομή χρηστών ανά υπηρεσία παρουσιάζεται στην γραφική παράσταση Εικόνα 49.

**Εικόνα 49: Σύγκριση Συνολικών Αποστάσεων**

**Εικόνα 50: Κατανομή χρηστών cc - RC2****Εικόνα 51: Κατανομή Χρηστών cc - RC1**

Τέλος αξίζει να αναφερθούν οι επιπτώσεις που έχει η αλλαγή της κατανομής χρηστών στην χρονική απόδοση του αλγορίθμου. Όπως αποδεικνύεται από την γραφική παράσταση, Εικόνα 52, ο CMA συγκριτικά με τον RDQ – A κατέληξε ταχύτερα στη λύση, παρά τις αλλαγές που παρατηρήθηκαν στην κατανομή των χρηστών. Η εύρεση λύσης με βάση τη γνώση που προκύπτει από προηγούμενες εμπειρίες προσδίδει μια εμφανή διαφορά στο χρόνο εξαγωγής αποτελεσμάτων. Ιδιαίτερης μνείας χρήζει ωστόσο η διαφορά που παρατηρείται στην διάρκεια απόκρισης του CMA όσον αφορά την αλλαγή των κατώτατων ορίων. Η αλλαγή της κατανομής

των χρηστών υπερέβη το όριο διαφοράς χρηστών ανά υπηρεσία με αποτέλεσμα ο αλγόριθμος να απορρίψει όλα τα contetx και να μην προβεί σε παραιτέρω επεξεργασία τους. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται με ολοκλήρωση των βημάτων του αλγορίθμου σε χρόνο πολύ λιγότερο από αυτόν που απαιτείται για την εξέταση όλων των βημάτων του. Τέλος ο μεγαλύτερος χρόνος του CMA (Context Matching th3) δικαιολογεί το συνυπολογισμό της διαφοράς χρηστών ανά υπηρεσία στο τελικό αποτέλεσμα (Εικόνα 52).



Εικόνα 52: Χρόνοι Απόκρισης Αλγορίθμων

Στην γραφική παράσταση αναπαρίστανται οι χρόνοι στους οποίους οι αλγόριθμοι απέδωσαν τη λύση. Στον κάθετο άξονα εμφανίζεται ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης RDQ – A και ο CMA για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις:

- i. Context Matching: Μηδενική διαφορά χρηστών ανά υπηρεσία
- ii. Context Matching th2: Διαφορά χρηστών μεγαλύτερη του κατώτατου ορίου
- iii. Context Matching th3: Μη μηδενική διαφορά χρηστών ανά υπηρεσία

7.1.3 Σενάριο #3

Το επόμενο σενάριο εξετάζει το ρόλο που διαδραματίζουν τα όρια στη λειτουργία του αλγορίθμου. Η μεταβολή των κατώτατων ορίων, μέσω του CMT, επηρεάζει καθοριστικά τα αποτελέσματα του CMA. Επιπρόσθετα το σενάριο παρουσιάζει την εγκυρότητα του αλγορίθμου όταν εμφανίζεται μεγάλη διαφορά χρηστών ανάμεσα στο CC και στα RCs.

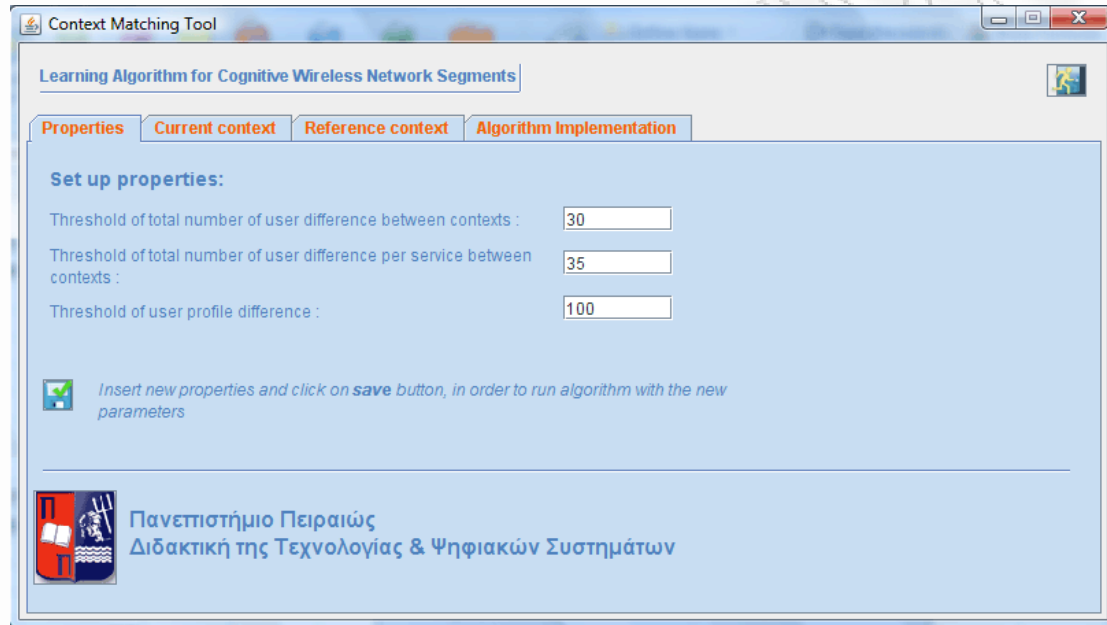
Μελετάται η διαδικασία εύρεσης λύσης για την κατάσταση ενός δικτύου που περιλαμβάνει 162 χρήστες με την ακόλουθη κατανομή τους ανά υπηρεσία:

Πίνακας 5: Κατανομή Χρηστών ανά Υπηρεσίες

Service Name	Service ID	Number of users
--------------	------------	-----------------

Voice	1	81
Video Streaming	2	39
Browsing	3	42

Μέσα από το CMT εισάγονται όρια τα οποία χαρακτηρίζονται ως πιο ελαστικά, δηλαδή περιλαμβάνουν ένα μεγαλύτερο εύρος τιμών. Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 53 η διαφορά του αριθμού χρηστών του CC με των RCs φθάνει τους τριάντα, ενώ η διαφορά των χρηστών ανά υπηρεσία και η διαφορά του προφίλ κοντινότερων χρηστών φθάνει τα τριάντα πέντε και εκατό αντίστοιχα.



Εικόνα 53: Κατώτατα Όρια CC #3

Η εκτέλεση του αλγορίθμου εξάγει τα ακόλουθα αποτελέσματα

Input Parameters

Number of Reference Contexts: 4

Threshold of total number of user difference between contexts : 30

Threshold of total number of user difference per service between contexts : 35

Threshold of user profile difference: 100

Processing Reference Context with ID: 1

Step #1 - User difference between current & reference context

Match found between CC & RC users

Current context users: 162

Reference context users: 190

Continue to next step. Find the difference of total number of users per service

Step #2 - Difference of total number of users for each service

Service ID: 1
Number of users at Current Context: 81
Number of users at Reference Context: 100
Service ID: 2
Number of users at Current Context: 39
Number of users at Reference Context: 50
Service ID: 3
Number of users at Current Context: 42
Number of users at Reference Context: 40

Sum of distances per service for this reference context: 32

Continue to next step. Find the nearest neighbor

Step #3 - Nearest neighbor total difference

The sum of distances between each cc user and its nearest neighbor in rc is 2395.0

Step #4 - User profile total difference

User total profile distance: 92

Total distance for Reference Context with ID 1 is: 2547.0

Processing Reference Context with ID: 2

Step #1 - User difference between current & reference context

Match found between CC & RC users

Current context users: 162

Reference context users: 190

Continue to next step. Find the difference of total number of users per service

Step #2 - Difference of total number of users for each service

Service ID: 1
Number of users at Current Context: 81
Number of users at Reference Context: 100
Service ID: 2
Number of users at Current Context: 39
Number of users at Reference Context: 50
Service ID: 3
Number of users at Current Context: 42
Number of users at Reference Context: 40

Sum of distances per service for this reference context: 32

Continue to next step. Find the nearest neighbor

Step #3 - Nearest neighbor total difference

The sum of distances between each cc user and its nearest neighbor in rc is 1232.0

Step #4 - User profile total difference

User total profile distance: 88

Total distance for Reference Context with ID 2 is: 1380.0

Processing Reference Context with ID: 3

Step #1 - User difference between current & reference context

Match found between CC & RC users

Current context users: 162

Reference context users: 166

Continue to next step. Find the difference of total number of users per service

Step #2 - Difference of total number of users for each service

Service ID: 1

Number of users at Current Context: 81

Number of users at Reference Context: 90

Service ID: 2

Number of users at Current Context: 39

Number of users at Reference Context: 40

Service ID: 3

Number of users at Current Context: 42

Number of users at Reference Context: 36

Sum of distances per service for this reference context: 16

Continue to next step. Find the nearest neighbor

Step #3 - Nearest neighbor total difference

The sum of distances between each cc user and its nearest neighbor in rc is 399.0

Step #4 - User profile total difference

User total profile distance: 93

Total distance for Reference Context with ID 3 is: 512.0

Processing Reference Context with ID: 4

Step #1 - User difference between current & reference context

Match found between CC & RC users

Current context users: 162

Reference context users: 166

Continue to next step. Find the difference of total number of users per service

Step #2 - Difference of total number of users for each service

Service ID: 1

Number of users at Current Context: 81

Number of users at Reference Context: 90

Service ID: 2

Number of users at Current Context: 39

Number of users at Reference Context: 40

Service ID: 3

Number of users at Current Context: 42

Number of users at Reference Context: 36

Sum of distances per service for this reference context: 16

Continue to next step. Find the nearest neighbor

Step #3 - Nearest neighbor total difference

The sum of distances between each cc user and its nearest neighbor in rc is 698.0

Step #4 - User profile total difference

User total profile distance: 93

Total distance for Reference Context with ID 4 is: 811.0

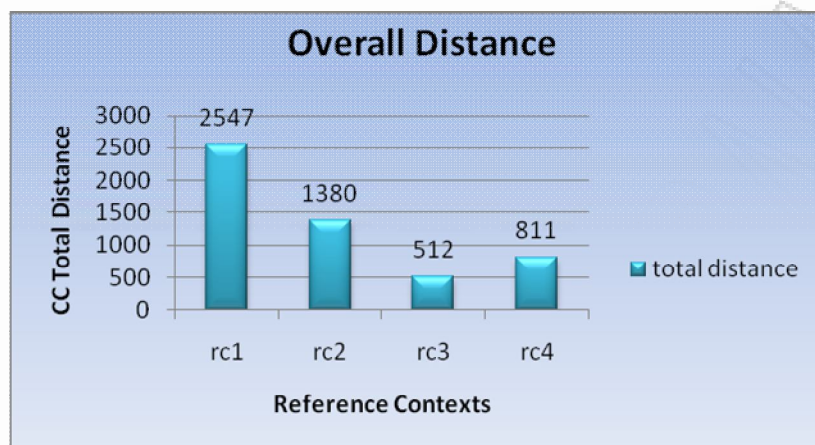
Step #5 - Find the total difference:

**The smallest total absolute distance is, 512.0 which corresponds to RC with ID: 3
Implement solution: 3**

Time elapsed: 1232 milliseconds

Ο αλγόριθμος εγκρίνει όλα τα context πάρα τη μεγάλη διαφορά του αριθμού χρηστών που ορισμένα παρουσιάζουν, και υπολογίζει τη συνολική απόσταση για κάθε ένα από αυτά. Στο σενάριο αυτό, δεν εμφανίζεται κάποια ταύτιση ανάμεσα στα στοιχεία του CC με αυτά των αποθηκευμένων RCs. Παρουσιάζεται διαφορετικός αριθμός χρηστών ανάμεσα στα contexts, μη μηδενική διαφορά χρηστών ανά υπηρεσία, μη μηδενική διαφορά του προφίλ των

κοντινότερων χρηστών και διαφορά στη κατανομή των χρηστών στην κυψέλη. Ο CMA επεξεργάζεται τα context και προτείνει το RC3 που εμφανίζει τη μικρότερη συνολική απόσταση.



Εικόνα 54: Βέλτιστη Λύση #4

Η λύση αυτή αιτιολογείται και από κάθε βήμα του CMA, όπου εμφανίζει αμελητέες διαφορές ανάμεσα στα αποτελέσματα για το RC3.

Current context users: 162

Reference context users: 166

Continue to next step. Find the difference of total number of users per service

Step #2 - Difference of total number of users for each service

Service ID: 1

Number of users at Current Context: 81

Number of users at Reference Context: 90

Service ID: 2

Number of users at Current Context: 39

Number of users at Reference Context: 40

Service ID: 3

Number of users at Current Context: 42

Number of users at Reference Context: 36

Sum of distances per service for this reference context: 16

Continue to next step. Find the nearest neighbor

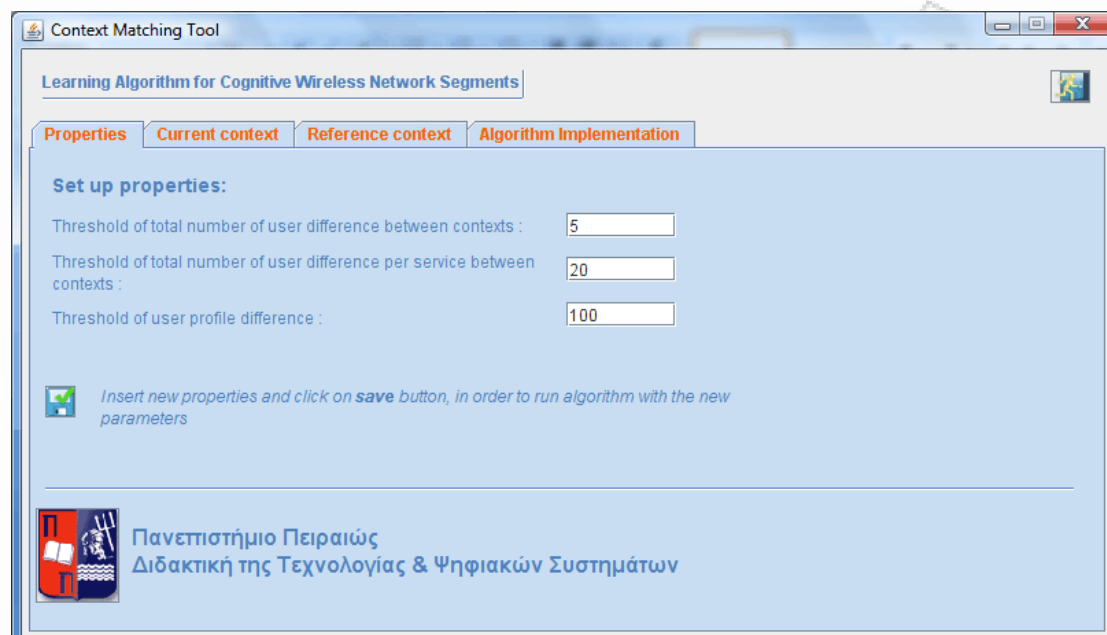
Step #3 - Nearest neighbor total difference

The sum of distances between each cc user and its nearest neighbor in RC is 399.0

Step #4 - User profile total difference

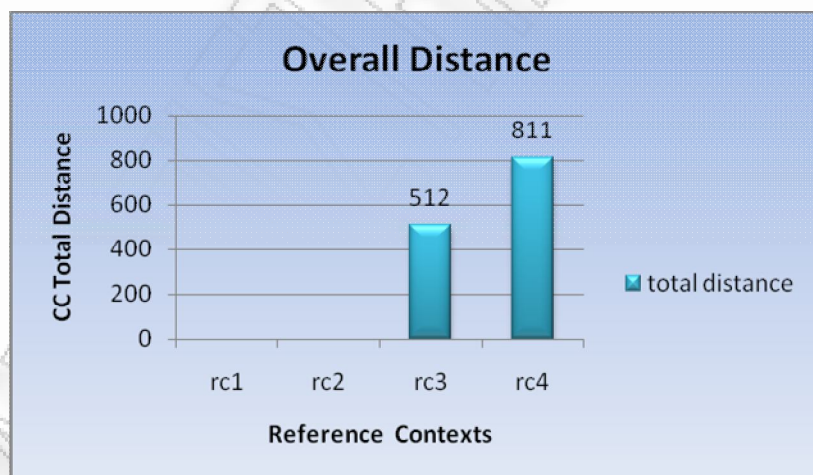
User total profile distance: 93

Η επεξεργασία των contexts επαναλαμβάνεται με την εισαγωγή νέων παραμέτρων (Εικόνα 55) που αποσκοπούν να προσεγγίσουν τη λύση απορρίπτοντας από τα πρώτα βήματα του αλγορίθμου contexts που δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις του CC.



Εικόνα 55: Εισαγωγή Νέων Κατώτατων Ορίων

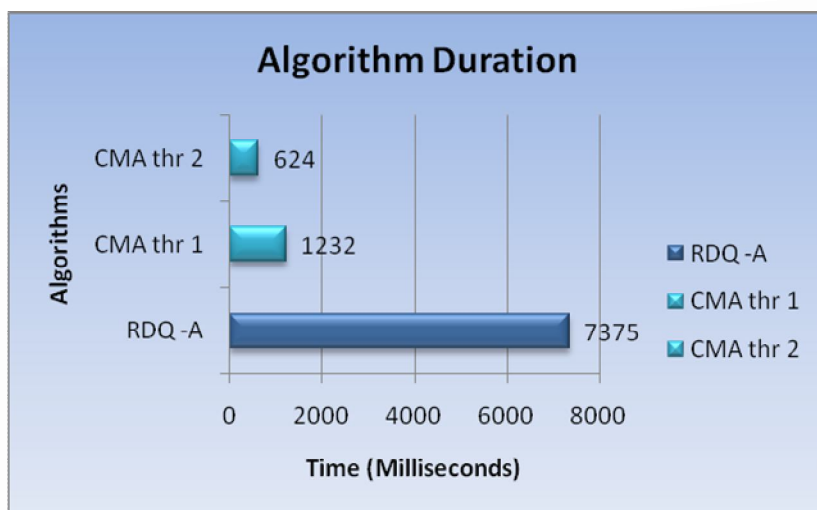
Η μείωση των ορίων και η επανεκτέλεση του CMA επιφέρει πιο γρήγορα αποτελέσματα αφού ο αλγόριθμος καταλήγει στη λύση χωρίς να επεξεργαστεί όλα τα contexts.



Εικόνα 56: Βέλτιστη λύση CC #3'

Όπως φαίνεται από τη γραφική παράσταση ο αλγόριθμος βρίσκει τη συνολική απόσταση μόνο για το RC3 και RC4 ενώ απορρίπτει τα RC1 και RC2.

Το σενάριο αυτό αποδεικνύει την αποδοτικότητα του CMA όσον αφορά το χρόνο απόκρισης του. Όπως επισημαίνεται και από την γραφική παράσταση ο αλγόριθμος βελτιστοποιεί την απόδοση του όταν εισάγονται οι κατάλληλοι παράμετροι.



Εικόνα 57: Χρόνος Απόκρισης Αλγορίθμων

Ο αλγόριθμος βρίσκει σε ποιο RC αντιστοιχεί το CC μειώνοντας το χρόνο απόκρισης του στο μισό (Context Matching thr1 = 1232 & Context Matching thr2 = 624) όταν εισάγονται όρια που έχουν σημασία. Γίνεται κατανοητό ότι η εύρεση ομοιότητας της κατάστασης του δικτύου σε μια προγενέστερη, απαιτεί τη χρήση ορίων που έχουν νόημα ώστε να παραχθεί ένα αντιπροσωπευτικό αποτέλεσμα. Όταν διατίθεται ένα μεγάλο περιθώριο με πιο «ανεκτικές» τιμές ο αλγόριθμος θα καταλήξει σε μια λύση που δεν θα είναι αντιπροσωπευτική. Όταν για παράδειγμα, τίθεται όριο άνω των πενήντα χρηστών ανάμεσα στα contexts τότε η πιθανή λύση όχι μόνο δεν θα επιφέρει βελτιστοποίηση του δικτύου αλλά θα έχει μεγαλύτερες επιπτώσεις αφού ο εν λόγω αριθμός χρηστών πιθανών να μην μπορεί να εξυπηρετηθεί από το εύρος ζώνης της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας ραδιο πρόσβασης.

7.1.4 Σενάριο #4

Το τελευταίο κεφάλαιο επιδιώκει να επισημάνει τις διαφορές που παρατηρούνται στα αποτελέσματα του CMA όταν πραγματοποιηθούν αλλαγές τόσο στην κατανομή χρηστών ανά υπηρεσία όσο στην διαφορά του προφίλ κοντινότερων χρηστών. Σκοπός είναι να αναδειχθούν και να αιτιολογηθούν τα αποτελέσματα που προκύπτουν όταν διαφοροποιούνται τα δεδομένα του CC. Ο CMA αρχικά υπολογίζει τη λύση για μια τρέχουσα κατάσταση δικτύου που αποτελείται από 166 χρήστες στους οποίους αντιστοιχούν οι ακόλουθες υπηρεσίες.

Πίνακας 6: Κατανομή Χρηστών ανά Υπηρεσία

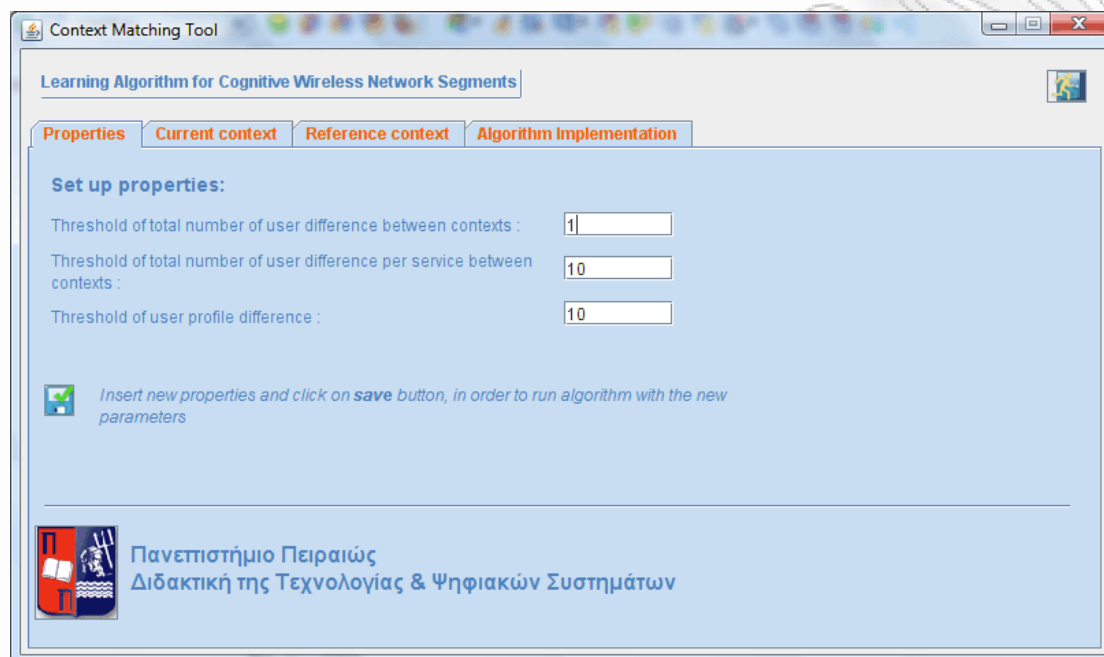
Service Name	Service ID	Number of users
Voice	1	90
Video Streaming	2	40
Browsing	3	36

Η τρέχουσα κατάσταση αρχικά παρουσιάζει μεγάλη ομοιότητα με κάποιο –α από τα αποθηκευμένα contexts. Σημειώνονται ωστόσο κάποιες αλλαγές που αφορούν τη μετατόπιση

των χρηστών ανά υπηρεσία και αλλαγές στο προφίλ των χρηστών που τροποποιούν τα δεδομένα εξόδου του CMA.

Ο αλγόριθμος εκτελείται λαμβάνοντας πολύ αυστηρά όρια για την εξαγωγή λύσης όπως παρουσιάζεται στην αντίστοιχη

Εικόνα 58:



Εικόνα 58: Εισαγωγή ορίων cc #4

Δύο context απορρίπτονται από την αρχή αφού δεν υπάρχει συμφωνία ανάμεσα στον αριθμό χρηστών που περιέχουν. Τα δύο επόμενα context διαφοροποιούνται μεταξύ τους μόνο ως προς τη θέση των χρηστών στην κυψέλη.

Processing Reference Context with ID: 3

Step #1 - User difference between current & reference context

Match found between CC & RC users

Current context users: 166

Reference context users: 166

Continue to next step. Find the difference of total number of users per service

Step #2 - Difference of total number of users for each service

Service ID: 1

Number of users at Current Context: 90

Number of users at Reference Context: 90

Service ID: 2

Number of users at Current Context: 40

Number of users at Reference Context: 40

Service ID: 3
Number of users at Current Context: 36
Number of users at Reference Context: 36

Sum of distances per service for this reference context: 0

Continue to next step. Find the nearest neighbor
Step #3 - Nearest neighbor total difference

The sum of distances between each cc user and its nearest neighbor in RC is 788.0

Step #4 - User profile total difference

User total profile distance: 82
Total distance for Reference Context with ID 3 is: 869.0

Processing Reference Context with ID: 4

Step #1 - User difference between current & reference context

Match found between CC & RC users
Current context users: 166
Reference context users: 166

Continue to next step. Find the difference of total number of users per service

Step #2 - Difference of total number of users for each service

Service ID: 1
Number of users at Current Context: 90
Number of users at Reference Context: 90
Service ID: 2
Number of users at Current Context: 40
Number of users at Reference Context: 40
Service ID: 3
Number of users at Current Context: 36
Number of users at Reference Context: 36

Sum of distances per service for this reference context: 0

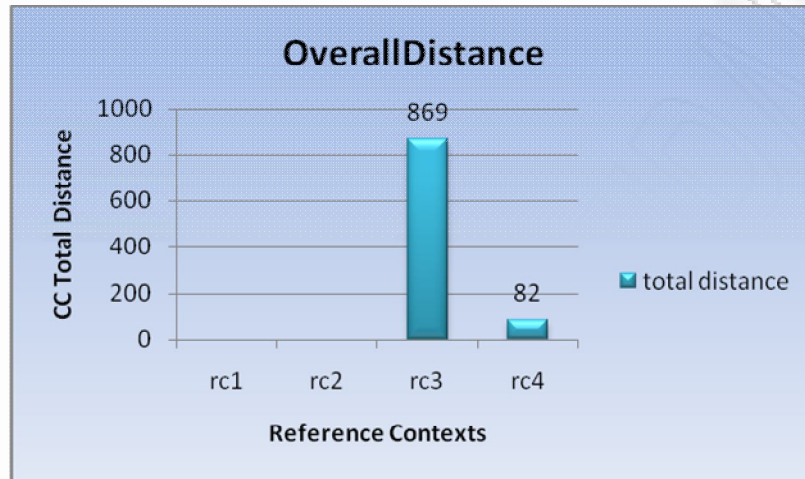
Continue to next step. Find the nearest neighbor
Step #3 - Nearest neighbor total difference

The sum of distances between each cc user and its nearest neighbor in RC is 0.0

Step #4 - User profile total difference

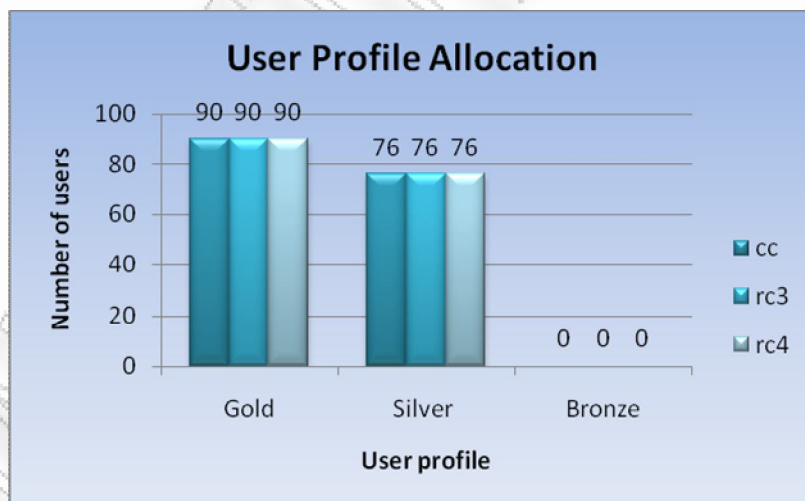
User total profile distance: 82
Total distance for Reference Context with ID 4 is: 82.0

Όπως προκύπτει το CC βρίσκει ομοιότητα με το RC4 επειδή εμφανίζει μηδενική διαφορά στην κατανομή χρηστών ανά υπηρεσία και μηδενική διαφορά (ταύτιση) στην απόσταση των κοντινότερων χρηστών. Η ακόλουθη γραφική παράσταση (Εικόνα 59) εμφανίζει τη συνολική απόσταση που υπολογίζει ο CMA για τα RC3 και RC4 και αναδεικνύει ως βέλτιστη λύση το RC4.



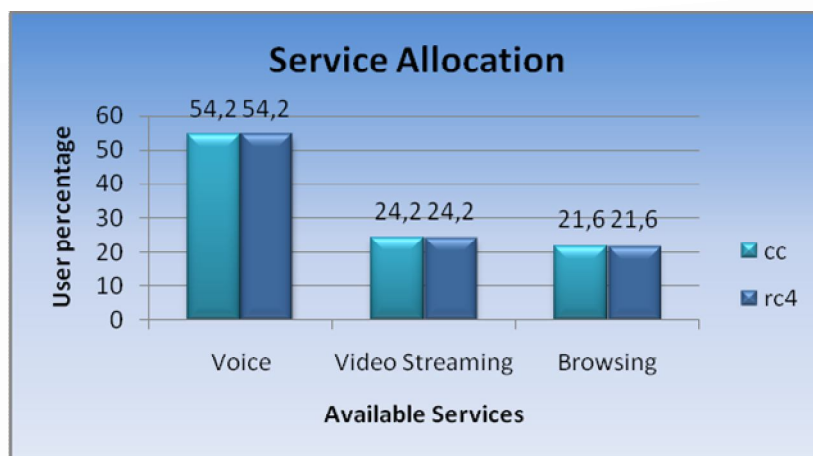
Εικόνα 59: Βέλτιστη Λύση cc #4

Και τα δύο RCs (3 & 4) εμφανίζουν το ίδιο προφίλ χρηστών επομένως η συνολική διαφορά τους είναι (**User total profile distance: 82**). Η συνολική διαφορά εμφανίζεται στη γραφική παράσταση (Εικόνα 60) όπου αντιστοιχεί σε κάθε τύπο προφίλ και για κάθε context τον αντίστοιχο αριθμό χρηστών.



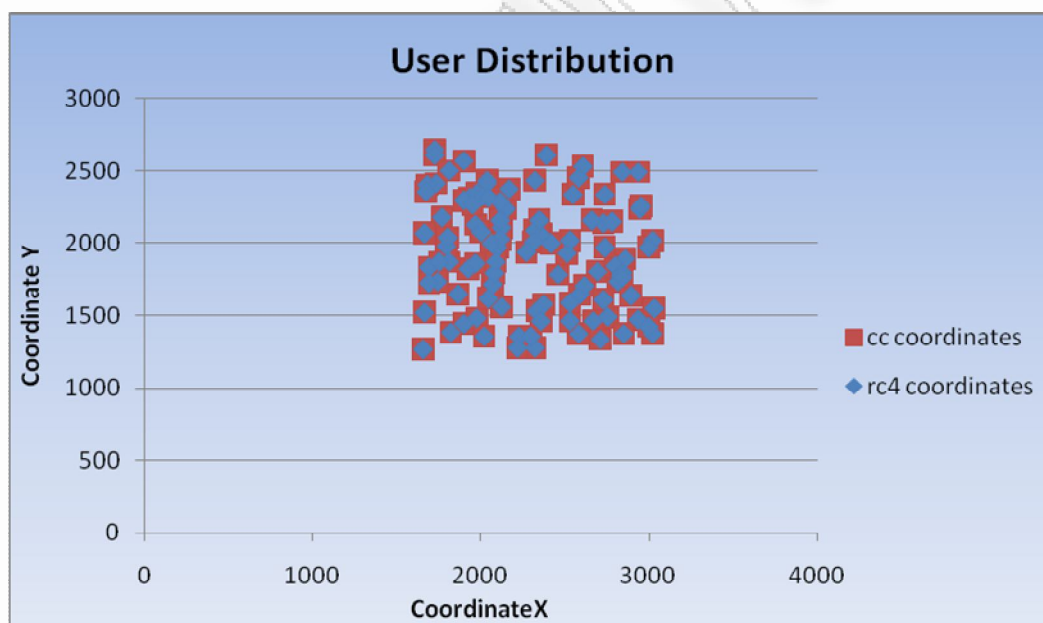
Εικόνα 60: Κατανομή Προφίλ Χρηστών

Επιπλέον εμφανίζουν τα ίδια ποσοστά χρηστών ανά υπηρεσία όπως αποδεικνύεται στην Εικόνα 61 όπου για κάθε τύπο υπηρεσίας εμφανίζεται ο αντίστοιχος αριθμός χρηστών.



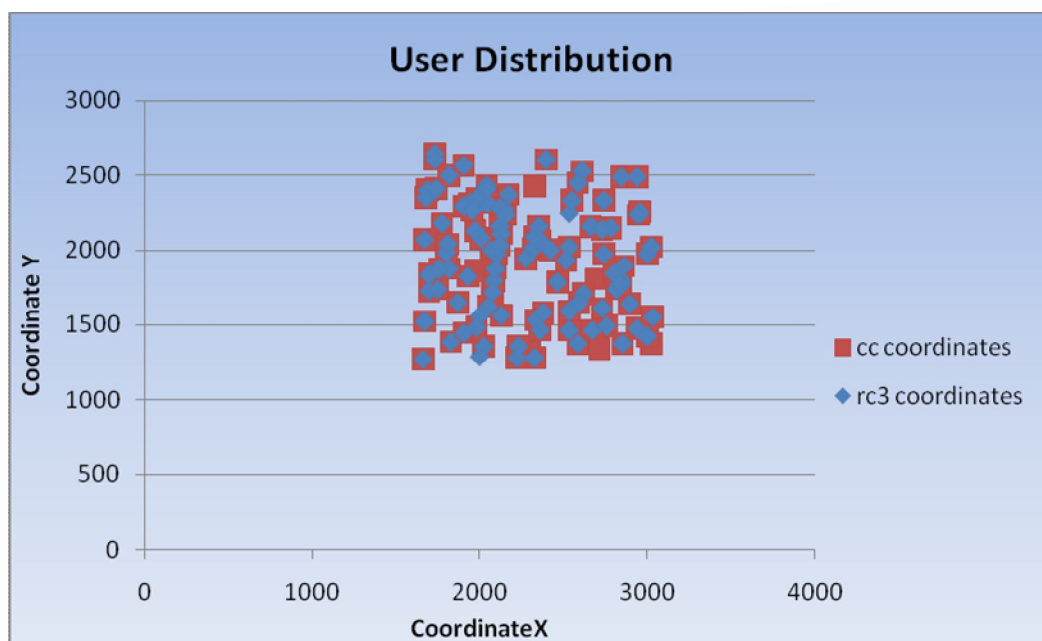
Εικόνα 61: Κατανομή Χρηστών ανά Υπηρεσία

Η ειδοποιός διαφορά προκύπτει από την κατανομή χρηστών στην κυψέλη. Όπως φαίνεται και από τις γραφικές παραστάσεις οι συντεταγμένες των χρηστών του CC με αυτές του RC4 (Εικόνα 62) είναι ίδιες επομένως παρουσιάζουν μηδενική διαφορά και έτσι δεν αυξάνουν την απόσταση στο συνολικό άθροισμα της λύσης.



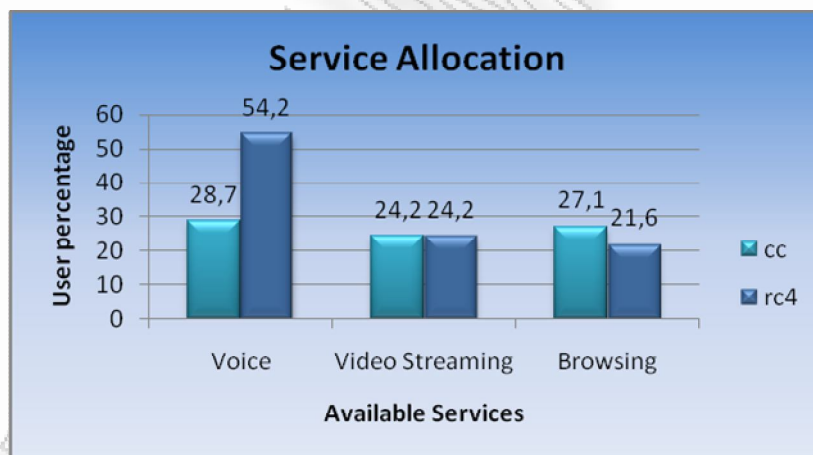
Εικόνα 62: Κατανομή Χρηστών CC - RC4

Αντιθέτως το RC3 ενώ έχει όλα τα υπολοιπά χαρακτηριστικά του κοινά με το CC εμφανίζει διαφορετική κατανομή χρηστών (Εικόνα 63). Η κατανομή στην κυψέλη, επηρεάζει το βήμα εύρεσης της απόσταση κοντινότερων χρηστών και αυτομάτως καθιστά το RC3 μη ικανοποιητικό context.



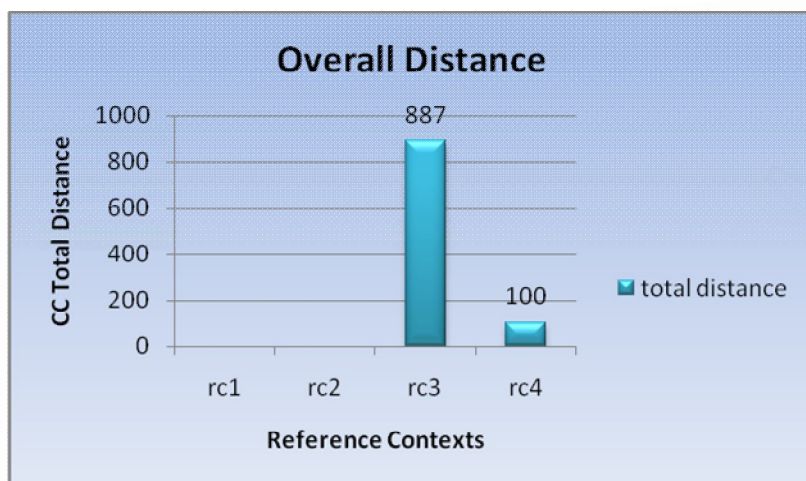
Εικόνα 63: Κατανομή Χρηστών CC - RC3

Η αλλαγή στην κατανομή χρηστών ανά υπηρεσία και ειδικότερα η μετατόπιση των μισών σχεδόν χρηστών από την υπηρεσία φωνής (voice) στην υπηρεσία δεδομένων (browsing), (Εικόνα 64) αλλάζει τα δεδομένα εισαγωγής του αλγορίθμου και προκύπτει μια νέα απόσταση ανά RC.



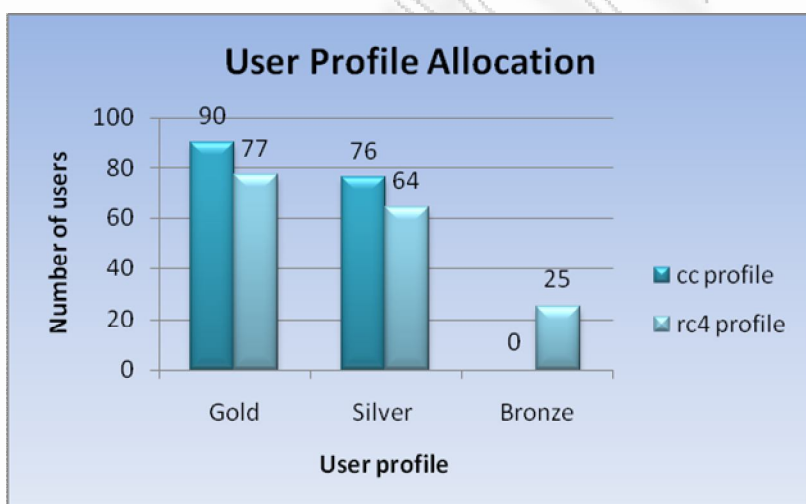
Εικόνα 64: Νέα Κατανομή Χρηστών ανά Υπηρεσία

Η γραφική παράσταση αποδεικνύει ότι η λύση εξακολουθεί να είναι το RC4, το οποίο όμως εμφανίζει μεγαλύτερη απόσταση σε σχέση με το CC τώρα που εμφανίζεται διαφορά στην κατανομή υπηρεσιών (Εικόνα 65).



Εικόνα 65: Βέλτιστη Λύση CC

Η αλλαγή στο προφίλ χρηστών παράγει με τη σειρά της νέες επιπτώσεις στη CMA λύση. Αν πραγματοποιηθεί μετατόπιση και κάποιοι χρήστες συγκαταλεχθούν στην κατηγορία «bronze» (Εικόνα 66) τότε τα αποτελέσματα του αλγορίθμου θα διαφοροποιηθούν.



Εικόνα 66: Νέα Κατανομή Προφίλ Χρηστών

Η διαφορά που δημιουργείται από την αλλαγή στο προφίλ δεν καλύπτει το όριο που εισάγεται στο CMT. Ο αλγόριθμος σταματά την επεξεργασία και των RCs 3 και 4 και αφού δεν βρίσκει ομοιότητα του CC με τα αποθηκευμένα RCs ενημερώνει το διαχειριστή του δικτύου πως πρέπει να εφαρμοστεί αλγόριθμο βελτιστοποίησης.

Step #4 - User profile total difference

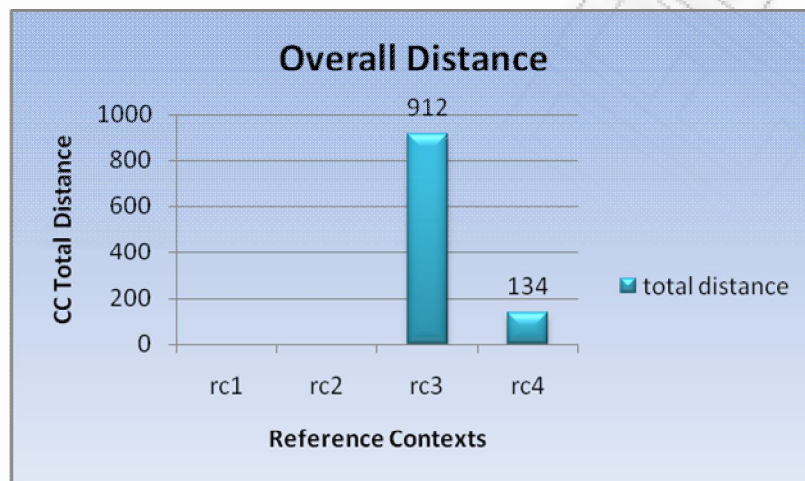
Stop checking Current pattern.

Profile difference between users of CC and best first user in RC is 116 > threshold (100)
No match with any RC was found.

Please implement optimization algorithm.

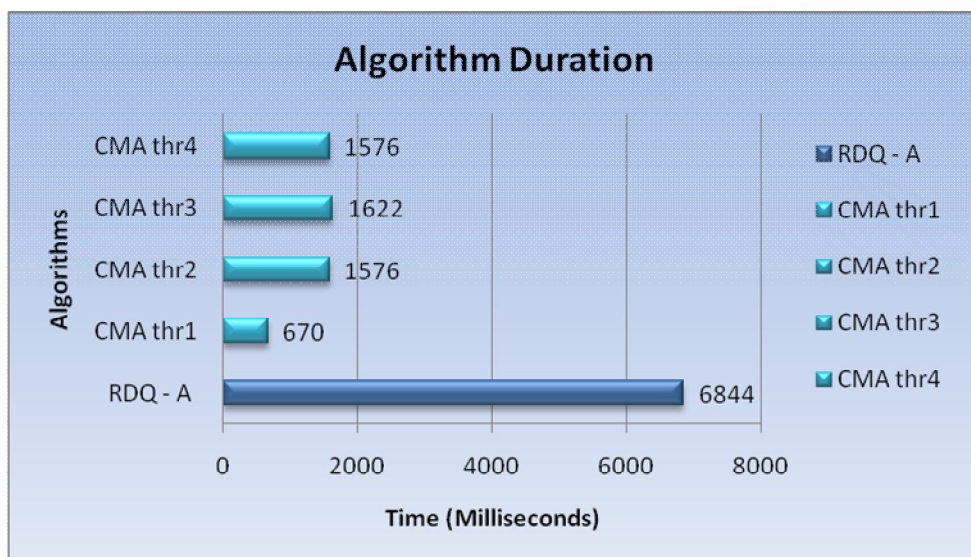
Επειδή η διαφορά του προφίλ των χρηστών με τους κοντινότερους χρήστες παρουσιάζει ελάχιστη διαφορά ($116 > 100$) τίθεται ως νέο κατώτατο όριο το 120 και ο αλγόριθμος εκτελείται ξανά.

Η αύξηση του ορίου της διαφοράς προφίλ εγκρίνει και τα δύο RCs (3 & 4). Ως κατάλληλη λύση ωστόσο προτείνεται πάλι το RC4 αφού παρουσιάζει μικρότερη συνολική απόσταση. Συμπεραίνεται ότι η απόσταση διαδραματίζει με τη σειρά της σημαντικό ρόλο αφού όλες οι προαναφερθείσες αλλαγές αυξάνουν την απόσταση του RC4. Ωστόσο η ταύτιση των συνταγμένων καθιστά το RC4 πιο ικανοποιητική λύση έναντι του RC3.



Εικόνα 67: Βέλτιστη Λύση

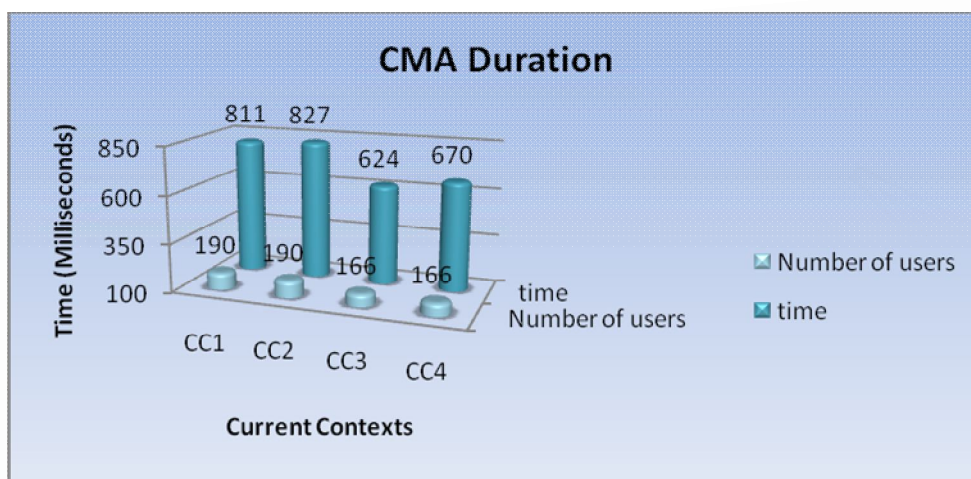
Από τις ανωτέρω αλλαγές προκύπτουν διαφορετικοί χρόνοι απόκρισης του αλγορίθμου οι οποίοι μεταβάλλονται ανάλογα με τα δεδομένα που επεξεργάζεται. Η ακόλουθη γραφική παράσταση (Εικόνα 68) εμφανίζει τους χρόνους απόκρισης του CMA για κάθε φορά που εκτελέστηκε. Επιπλέον εμφανίζεται και ο χρόνος που διήρκησε ο RDQ – A για να βρει τη βέλτιστη λύση για το context στο οποίο βρίσκει ομοιότητα ο CMA.



Εικόνα 68: Χρόνοι Απόκρισης Αλγορίθμων

Αρχικά ο CMA υπολογίζει τη λύση λαμβάνοντας υπόψη μόνο δύο contexts και διαρκεί 670 milliseconds. Ο χρόνος αυτός αυξάνεται στην συνέχεια, καθώς πρέπει να υπολογίσει τη συνολική διαφορά χρηστών ανά υπηρεσία και φθάνει τα 1576 milliseconds. Ο χρόνος γίνεται ακόμα μεγαλύτερος με τον υπολογισμό της διαφοράς του προφίλ όπου η κατανομή των χρηστών διαφοροποιείται σε σχέση με την πρώτη φορά που έτρεξε ο αλγόριθμος που παρουσίαζε ίδια κατανομή προφίλ ανάμεσα στο CC και στο RC4. Ο αλγόριθμος παρόλο που απέρριψε όλα τα contexts όταν δεν συμβάδισαν με το κατώτατο όριο του προφίλ διήρκησε παραπάνω σε σχέση με τις προηγούμενες φορές και αυτό γιατί ο υπολογισμός της απόστασης κατανομής προφίλ δαπανά περισσότερο χρόνο από ότι όταν παρουσιάζεται ταύτιση. Είναι πασιφανές ότι οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στο CC αύξησαν το χρόνο του CMA απέχουν πολύ ωστόσο από το χρόνο διάρκειας του RDQ – A για την εξεύρεση βέλτιστης λύσης.

Τέλος αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι όταν η λύση που προκύπτει από «λογικά» όρια (διαφορά χρηστών ανά υπηρεσία, μικρή διασπορά χρηστών ανά κυψέλη, μικρή διαφορά στο προφίλ κοντινών χρηστών) τότε η διάρκεια του αλγορίθμου είναι ανάλογη του αριθμού χρηστών ανά context. Το συμπέρασμα αυτό παρουσιάζεται ακολούθως (Εικόνα 69) όπου για κάθε CC εμφανίζεται ο αριθμός χρηστών ανά context και η διάρκεια υπολογισμού της λύσης του CMA. Όπου CC1, CC2, CC3, CC4 είναι η τρέχουσα κατάσταση που εξετάστηκε για κάθε σενάριο.



Εικόνα 69: Διάρκεια Αλγορίθμου ανά Αριθμό Χρηστών

Συνοψίζοντας ο CMA αποτελεί έναν ιδανικό υποψήφιο για τα CNS αφού τα βήματα που το απαρτίζουν βοηθούν στην άμεση και έγκυρη υπόδειξη λύσης. Περιλαμβάνει όλους τους βασικούς ελέγχους και μετατρέπει την εμπειρία σε γνώση. Ο αριθμός χρηστών, η κατανομή χρηστών ανά κυψέλη, η κατανομή χρηστών ανά υπηρεσία και το προφίλ χρηστών ελέγχονται αυτόνομα ή συνδυαστικά μέσα από τον CMA. Τέλος οι χρόνοι στους οποίους διεκπεραιώνει ένα context υπερέρχουν των αλγορίθμων βελτιστοποίησης.

8. Συμπεράσματα

Οι σύγχρονες τάσεις και απαιτήσεις των ασύρματων δικτύων επικοινωνιών, καθιέρωσαν την ανάπτυξη συστημάτων πέραν της τρίτης γενιάς. Οι εξελίξεις των τελευταίων ετών οδήγησαν στην ανάπτυξη δικτύων υψηλών ταχυτήτων και προσαρμοστικών δικτύων (Adaptive Networks). Τα προσαρμοστικά δίκτυα έχουν την ικανότητα δυναμικής αναδιάρθρωσης (dynamic reconfiguration) με σκοπό την άμεση προσαρμογή τους σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον συνθέτοντας έτσι τη B3G πραγματικότητα.

Τα CNs δίκτυα αποτελούν μια προσδοκώμενη λύση για την πραγματοποίηση του B3G οράματος. Η σύγκλιση ετερογενών τεχνολογιών σε μια ενιαία υποδομή είναι μια πραγματικότητα η οποία ενισχύεται από την εισαγωγή των CNs που αποτελούν μια διέξοδο για την επίλυση της πολυπλοκότητας καθώς παρέχουν τη δυνατότητα για εύρεση ταχύτερων και αξιόπιστων λύσεων. Οι NOs έχοντας το πλεονέκτημα της χρησιμοποίησης των αναδιάρθρωσιμων τμημάτων δικτύου και κάτω από την αιγίδα πολιτικών και επικοινωνίας μεταξύ τους επιτυγχάνουν διαλειτουργικότητα ετερογενών συστημάτων. Η χρησιμοποίηση διαθέσιμων RATs και φάσματος μειώνει το λειτουργικό κόστος και μεγιστοποιεί τη βελτιστοποίηση. Τα CNs έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν υψηλού - εύρους ζώνης, προσαρμοστικά συστήματα επικοινωνιών μέσω της ικανότητας τους να παρατηρούν τις τρέχουσες συνθήκες δικτύων, να αιτιολογούν το περιβάλλον τους και να προσαρμόζονται για να χρησιμοποιήσουν τους διαθέσιμους πόρους με τον αποδοτικότερο πιθανό τρόπο. Η διαχείριση της λειτουργικότητας στην B3G εποχής διευθετείται άμεσα μέσω των CNs.

Η γνώση στα CNs επιτυγχάνεται μέσω του CMA, που αποτελεί μια νέα πρόταση και επιφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα για την άμεση βελτιστοποίηση της κατάστασης του δικτύου. Ο CMA ακολουθεί μια απλή λογική για να επιλύσει προβλήματα συμφόρησης. Εξετάζει θεμελιώδη χαρακτηριστικά που ισχύουν σε όλα τα δίκτυα και με έναν έξυπνο και ευκολονόητο τρόπο καταλήγει σε μια ορθή λύση. Η δυνατότητα του να ομαδοποιεί τους χρήστες ανά υπηρεσίες, να βρίσκει την απόσταση της θέσης των κοντινότερων χρηστών και τη διαφορά του προφίλ τους, καθιστά αξιόπιστη την εύρεση ομοιότητα μίας τρέχουσας κατάστασης δικτύου με μία κατάσταση για την οποία έχει ήδη δοθεί λύση. Βασικό πλεονέκτημα του CMA είναι η ανεξαρτησία που παρέχει στις υποστηριζόμενες τεχνολογίες και υπηρεσίες. Έτσι ο αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς περιορισμούς και χωρίς την παρουσία σφαλμάτων στα ετερογενή συστήματα.

Επιπρόσθετα ο χρόνος μέσα στον οποίο πραγματοποιείται ο έλεγχος μίας δοθείσας κατάστασης και η εύρεση λύσης είναι αποδοτικότερος από την εφαρμογή κάποιου αλγόριθμου βελτιστοποίησης. Ο χρόνος αυτός αποδεικνύεται καλύτερος από το χρόνο απόκρισης του RDQ – A για ένα μεγάλο φάσμα περιπτώσεων, παρόλο που γίνεται ταυτόχρονη επεξεργασία πολλών αποθηκευμένων contexts και υπολογισμός της συνολικής απόστασης καθενός από αυτά από το current context. Επομένως η λειτουργία του αλγόριθμου εξασφαλίζει ταύτιση (αν υπάρχει) και εγγυάται βελτιστοποίηση του δικτύου μέσα σε ικανοποιητικά επίπεδα χρόνου.

Αναμφίβολα στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων του CMA σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το CMT το οποίο εκτός από την προβολή των βημάτων του CMA και την ανάδειξη της λύση παρουσιάζει αναλυτικά τα δεδομένα όλων των contexts. Ο πάροχος του δικτύου μπορεί να έχει μια πλήρη εποπτεία της κατάστασης του αφού μέσα από το CMT έχει πλήρη παρουσίαση της CC κατάστασης. Επιπλέον μέσα από την καρτέλα Reference Context ο πάροχος γνωρίζει τον αριθμό των αποθηκευμένων contexts και αναλυτικά τα στοιχεία που περιέχουν. Η βασική συνεισφορά του ωστόσο έγκειται στον καθορισμό των κατώτατων ορίων που επηρεάζουν τη λειτουργία του αλγορίθμου. Η εισαγωγή και η μεταβολή των ορίων είναι μείζονος σημασίας γιατί βοηθά στην εξαγωγή έγκυρης λύσης και στη βελτίωση του χρόνου απόκρισης του CMA.

Τα CNs οδηγούν σε έξυπνα δίκτυα τα οποία είναι ικανά να λειτουργήσουν σε ένα ευμετάβλητο περιβάλλον χρησιμοποιώντας την ικανότητα της γνώσης. Η λύση που προτείνεται μέσω του CMA αποτελεί μια μόνο απαρχή στον κόσμο των CNs και στις ενέργειες βελτιστοποίησης της απόδοσης. Οι NO μελλοντικά θα μπορούν να διαθέτουν πληροφορίες για τις απαιτήσεις της κυκλοφορίας των δεδομένων του δικτύου και να προβλέπουν και αντιμετωπίζουν τα προβλήματα πριν αυτά προκύψουν.

9. Παράρτημα

9.1 Κώδικας CMA

```
import java.awt.*;
import java.io.FileWriter;
import java.io.IOException;
import java.sql.*;
import java.util.*;
import java.util.Date;

import NNFinder.*;
import java.io.*;

public class matchingAlgorithm {
    static int STEP1_THRESHOLD ;
    static int STEP2_THRESHOLD ;
    static int STEP4_THRESHOLD ;

    static FileWriter log;

    public static void main (String args []){
        RunAlgorithm();
    }

    public static void RunAlgorithm() {
        Connection connection;
        try {

            /*remember time of start*/
```

```
Date startTime = new Date ();

log = new FileWriter
("C:\\Documents and Settings\\roulero\\write\\write.txt");

Class.forName("sun.jdbc.odbc.JdbcOdbcDriver");

String sourceURL = new String("jdbc:odbc:cognitive3");

connection = DriverManager.getConnection(sourceURL);

/* Get all rcs */

ResultSet rclist = executeQuery(connection,"select * ,
(select count(*)
from rcusers where rcusers.rcid=rc.rcid) as RcUserCount  from rc ");

/*This array contains a number for each reference context. This number
represents
* the difference of this rc to the cc */

double [] rcDiffFromCC = null;

/*Find the total number of rows in resultset rclist*/

int NumberOfReferenceContexts=0;

rclist.beforeFirst();

while (rclist.next()){

    NumberOfReferenceContexts++;

}

log.append("Input Parameters");

log.append("\n");

log.append("\rNumber          of          Reference          Contexts:
```

```
" +NumberOfReferenceContexts);

    log.append("\n");

    rcDiffFromCC = new double [NumberOfReferenceContexts];

    /*Read from db the last inserted properties */

    ResultSet rs = executeQuery(connection, "Select * from properties ORDER BY
PROPID DESC");

    if (rs.next()){

        STEP1_THRESHOLD =rs.getInt("threshold1");
        STEP2_THRESHOLD =rs.getInt("threshold2");
        STEP4_THRESHOLD =rs.getInt("threshold3");

        log.append("\r\nNumber of users at each rc: "+STEP1_THRESHOLD);
        log.append("\r\nNumber of users at each service: "+STEP2_THRESHOLD);
        log.append("\r\nUsers Profile: "+STEP4_THRESHOLD);

    }

    /* total users in current context */

    ResultSet rsTotalCCUsers = executeQuery(connection,"select count(userID)
as userCount from cc");

    rsTotalCCUsers.beforeFirst();

    rsTotalCCUsers.next();

    int TotalCCUsers = rsTotalCCUsers.getInt(1);

    /*counter for the rcs*/

    int i = -1;
```

```
rcList.beforeFirst();

/*check for # of reference context */
while (rcList.next()){
    i++;
    int rcID = rcList.getInt("rcID");

    log.append("\r\n");

log.append("\r\n*****
*****");
    log.append("\r\n");
    log.append("\r\nProcessing Reference Context with ID: "+rcID);
    log.append("\r\n");

    /*step 1*/
    int dist1 = Step1(TotalCCUsers, rcList);
    if (dist1 == -1){
        rcDiffFromCC[i] = Double.MAX_VALUE;
        continue;
    }
    /*step 2*/
    int dist2 = Step2(connection, rcID);
    if (dist2 == -1){
        rcDiffFromCC[i] = Double.MAX_VALUE;
        continue;
    }
    /*step 3*/
    double dist3 = Step3(connection, rcID);
```

```
        /*step 4*/
        int dist4 = Step4(connection, rcID);
        if (dist4 == -1){
            rcDiffFromCC[i] = Double.MAX_VALUE;
            continue;
        }
        rcDiffFromCC[i] = dist1 + dist2 + dist3 + dist4 ;

    }

    /* find the rc with the smallest dist */
    double smallestDistance=Double.MAX_VALUE; /*the smallest distance from the
cc*/
    int smallestDistanceIndex = 0; /*the position of the rc with the smallest
distance from the cc*/

    /*loop for each rc*/
    for (i=0; i < rcDiffFromCC.length; i++){

        /*take the absolute value*/
        double absoluteRcDifFromcc = Math.abs(rcDiffFromCC[i]);

        if (absoluteRcDifFromcc < smallestDistance){
            smallestDistanceIndex = i; /*save the position of rc*/
            smallestDistance = absoluteRcDifFromcc; /*save the distance for this rc*/
        }
    }

    if (smallestDistance==Double.MAX_VALUE) {
```

```
log.append("\r\nNo match with any RC was found.");

    } else {

/*find the value of the rcID for the row of ResultSet rcList
which corresponds to the position of
the smallestDistance */

        rcList.absolute(smallestDistanceIndex+1);

        int solutionID = rcList.getInt("solution");

        int rcID = rcList.getInt("rcID");

log.append("\r\n");
log.append("\r\nStep #5 - Find the total difference:");
log.append("\r\n-----");
log.append("\r\nThe smallest total absolute distance is, " + smallestDistance+
" which corresponds to RC with ID: "+rcID);

        log.append("\r\nImplement solution: " +solutionID);
    }

    connection.close();

/*Time diference*/

    Date endDate = new Date ();

    long elapsed_time = endDate.getTime() - startTime.getTime();

    log.append("\r\n\r\nTime elapsed: " + elapsed_time + " milliseconds");

    log.close();
}

catch (Exception e){

    e.printStackTrace();

}
```

```
}

public static ResultSet executeQuery (Connection connection,String sql)
throws SQLException {

    ResultSet results=null;

    Statement statement =
connection.createStatement(ResultSet.TYPE_SCROLL_SENSITIVE,
    ResultSet.CONCUR_READ_ONLY);

    boolean foundResults = statement.execute(sql);
    if (foundResults)
    {
        results = statement.getResultSet();
    }

    return results;
}

public static int Step1(int totalCCUsers,ResultSet rcList) throws SQLException, IOException {

    log.append("\r\nStep #1 - User difference between current & reference context");
    log.append("\r\n");

    int dist = Math.abs(totalCCUsers-rcList.getInt("RcUserCount"));
    int rcID = rcList.getInt("rcID");

    if( dist > STEP1_THRESHOLD){
        log.append("\r\nStop checking current pattern. \r\nThe user distance of CC
to RC with id
        "+rcID+ " is " + dist + " > threshold (" + STEP1_THRESHOLD + ")");
        return -1;
    }
}
```



```
    else {  
  
        log.append("\r\nMatch found between CC & RC users");  
  
        log.append("\r\nCurrent context users: " + totalCCUsers);  
  
        log.append("\r\nReference context users: " + rcList.getInt("RcUserCount"));  
  
        log.append("\r\nContinue to next step. Find the difference of total number of users per  
service");  
  
        log.append("\r\n");  
  
        return dist;  
  
    }  
  
}  
  
public static int Step2 (Connection connection, int rcID)throws SQLException, IOException{  
  
    log.append("\r\nStep #2 - Difference of total number of users for each service");  
  
    log.append("\r\n");  
  
  
        /*total difference*/  
  
        int dist = 0;  
  
  
        /*total # of user per service from current context */  
  
        ResultSet totalUsersPerService = executeQuery(connection, "select count(userID) as  
userCount,  
serviceID from cc group by serviceID");  
  
  
        /*move to first line of cc */  
  
        totalUsersPerService.beforeFirst();  
  
  
        /*check for services at cc to rc */  
  
        while (totalUsersPerService.next()){  
  
            int servID = totalUsersPerService.getInt("serviceID");  
  
            int ccUserCount = totalUsersPerService.getInt("userCount");  
  

```

```
log.append("\r\n\tService ID: "+servID);
log.append("\r\n\tNumber of users at Current Context: " + ccUserCount);

ResultSet rsUsersForThisService = executeQuery(connection, "select count(userID)
as userCount from rcUsers where rcID = " +rcID + " and serviceID = " +servID);
rsUsersForThisService.next();
int rcUserCount = rsUsersForThisService.getInt("userCount");

log.append("\r\n\tNumber of users at Reference Context: "+ rcUserCount);

/*add the difference of this service to the total difference*/
dist = dist + Math.abs(ccUserCount - rcUserCount);
}
log.append("\r\n");
log.append("\r\nSum of distances for this reference context: " +dist);
log.append("\r\n");
if (dist > STEP2_THRESHOLD){
log.append("\r\nStop checking Current pattern. \r\nThe difference of total
users of CC to RC with id " +rcID+ " is: " + dist + " > threshold (" + STEP2_THRESHOLD +
"");
return -1;
}
else {
log.append("\r\n");
log.append("\r\nContinue to next step. Find the nearest neighbor");
log.append("\r\n");
return dist;
}
}

public static double Step3 (Connection connection, int rcID)throws SQLException,
```

```
IOException {  
  
    log.append("\r\nStep #3 - Nearest neighbor total difference");  
  
    log.append("\r\n");  
  
    double dist = 0;  
  
    ResultSet rcUsers = executeQuery (connection, "Select * from rcusers where rcID = "  
+ rcID);  
  
    rcUsers.beforeFirst();  
  
  
    /* create vector with coordinates oof rc users*/  
  
    Vector v=new Vector(0);  
  
    Point rcpoint=null;  
  
    while(rcUsers.next()){  
  
        int x = rcUsers.getInt("coordinateX");  
  
        int y = rcUsers.getInt("coordinateY");  
  
  
        rcpoint = new Point(x,y);  
  
        v.add(rcpoint);  
  
    }  
  
    /* create instance of NNFinder class and pass the vector*/  
  
    NNFinder nnfind = new NNFinder(v);  
  
  
    /* find nearest neighbour for each cc user*/  
  
    ResultSet ccUsers = executeQuery (connection, "Select * from cc");  
  
    ccUsers.beforeFirst();  
  
    while (ccUsers.next()){  
  
        int x = ccUsers.getInt("coordinateX");  
  
        int y = ccUsers.getInt("coordinateY");  
  
        Point ccpoint = new Point(x,y);  
  
        Point npinrc = nnfind.FindFirstNN(ccpoint);  
  
    }  
  
}
```

```
        /*find the distance of this user in cc with the nearest from rc*/
        int userDist = ((npinrc.x - ccpoint.x)*(npinrc.x - ccpoint.x) +
            (npinrc.y - ccpoint.y)*(npinrc.y - ccpoint.y));
            dist = dist + Math.sqrt(userDist);
        }
log.append("\r\nThe sum of distances between each cc user and its nearest neighbor
in rs is " +dist);
log.append("\r\n");
return dist;
}

public static int Step4 (Connection connection, int rcID)throws SQLException,
IOException {
log.append("\r\nStep #4 - User profile total difference");
log.append("\r\n");
int dist = 0;
ResultSet rcUsers = executeQuery (connection, "Select * from rcusers where rcID = "
+ rcID);
rcUsers.beforeFirst();

/* create vector with coordinates oof rc users*/
Vector v=new Vector(0);
Point rcpoint=null;

while(rcUsers.next()){
int x = rcUsers.getInt("coordinateX");
int y = rcUsers.getInt("coordinateY");

rcpoint = new Point(x,y);
v.add(rcpoint);
```

```
    }

    /* create instance of NNFinder class and pass the vector*/
    NNFinder nnfind = new NNFinder(v);

    /* find nearest neighbour for each cc user*/
    ResultSet ccUsers = executeQuery (connection, "Select * from cc");
    ccUsers.beforeFirst();
    while (ccUsers.next()){
        int x = ccUsers.getInt("coordinateX");
        int y = ccUsers.getInt("coordinateY");
        Point ccpoint = new Point(x,y);
        Point npinrc = nnfind.FindFirstNN(ccpoint);

        ResultSet profile = executeQuery(connection, "Select profileID from
rcusers where coordinateX = " + npinrc.x+ " and coordinateY =" + npinrc.y);
        profile.beforeFirst();
        profile.next();
        int qos = profile.getInt(1);
        int ccQOS = ccUsers.getInt("profileID");
        //System.out.println(Math.abs(ccQOS - qos));
        dist = dist + Math.abs(ccQOS - qos);
    }

    if (dist > STEP4_THRESHOLD ){
        log.append("\r\nStop checking Current pattern.\r\nProfile difference
between users of CC and best first user in RC is "
+ dist + " > threshold (" + STEP4_THRESHOLD + ")");
        return -1;
    }
    else {
```

```
        log.append("\r\n");  
        log.append("User total profile distance: " + dist);  
        return dist;  
    }  
}  
}
```

10. Βιβλιογραφία

- [1] Cognitive Networks, Dr. Luiz A. DaSilva, Chair, Dr. Y. Thomas Hou, Dr. Allen B. MacKenzie, Dr. Madhav V. Marathe, Dr. Scott F. Midkiff, June 15, 2007, Blacksburg, Virginia
- [2] BITS: Computer and Communication news. [Rocha](#), Luis M, 1999
- [3] Jamalipour A, Wada T, Yamazato T. A tutorial on multiple access technologies for beyond 3G mobile networks. IEEE Communication Magazine 2005; 43(2):110–117.
- [4] Gustafsson E, Jonsson A. Always best connected. IEEE Wireless Communication Magazine 2003; 10(1):49–55.
- [5] End – to – End Reconfigurability System Architecture, White paper, January 2006
- [6] End – to – End Reconfigurability: Dynamic Network Planning and Management (DNPM), White Paper, August 2005
- [7] Demestichas P, Stavroulaki V. Issues in introducing resource brokerage functionality in B3G, composite radio, environments. IEEE Wireless Communications Magazine 2004; 11(5):32–40.
- [8] P. Leaves et al., "Dynamic Spectrum Allocation in Composite Reconfigurable Wireless Networks", IEEE Communications Magazine, May 2004
- [9] Federal Communications Commissions, "Spectrum Policy Task Force Report", ET Docket No. 02- 135, November 2002.
- [10] «Dynamic Spectrum Allocation Algorithm for Cognitive Networks», Paul Houzé, David Ruiz, Sana Ben Jemaa, Pascal Cordier, France Telecom Research and Development, IEEE 2007
- [11] Policies for the Reconfiguration of Cognitive Wireless Infrastructures to 3G Radio Access Technologies, K. Tsagkaris, G. Dimitrakopoulos, P. Demestichas, wireless Network Journal, Springer Netherlands, September 2007
- [12] J. Mitola, Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio. PhD thesis, Royal Institute of Technology (KTH), 2000.
- [13] S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communication," IEEE Journal on Selected Areas in Communication, vol. 23, pp. 201–220, February 2005.
- [14] R. Berezdivin, R. Breinig, and R. Topp, "Next-generation wireless communications concepts and technologies," IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 3, pp. 108–116, 2002.
- [15] A. Alexiou and M. Haardt, "Smart antenna technologies for future wireless systems: Trends and challenges," IEEE Communications Magazine, vol. 42, no. 9, pp. 90–97, 2004.
- [16] C. Ramming, "Cognitive networks," in DARPATech, 2004.
- [17] C. Prehofer and C. Bettstetter, "Self-organization in communication networks: Principles and design paradigms," IEEE Communications Magazine, pp. 78–85, July 2005.

- [18] J. D. Vriendt, P. Lain'e, C. Lerouge, and X. Xu, "Mobile network evolution: A revolution on the move," *IEEE Communications Magazine*, pp. 104–111, April 2002.
- [19] J. Jin and K. Nahrstedt, "QoS specification languages for distributed multimedia applications: A survey and taxonomy," *IEEE Multimedia*, vol. 11, no. 3, pp. 74–87, 2004.
- [20] J. Mitola and G. Q. Maguire., "Cognitive radio: Making software radios more personal," *IEEE Personal Communications*, vol. 6, no. 4, pp. 13–18, 1999.
- [21] «Cognitive Networks», Ryan W. Thomas, Luiz A. DaSilva, Allen B. MacKenzie The Bradley Department of Electrical and Computer Engineering, Virginia Tech, Blacksburg, VA, 2005 IEEE
- [22] «Cognitive Networks: Adaptation and Learning to Achieve End-to-End Performance Objectives», Ryan W. Thomas, Daniel H. Friend, Luiz A. DaSilva, and Allen B. MacKenzie, Virginia Tech, 2006 IEEE
- [23] «Introducing Reconfigurability and Cognitive Networks Concepts in the Wireless World», Panagiotis Demestichas, George Dimitrakopoulos, University of Piraeus John Strassner, Didier Bourse, Motorola, June 2006
- [24] «Distributed radio access technology selection for adaptive networks in high-speed, B3G infrastructures», K. Tsagkaris, G. Dimitrakopoulos, A. Saatsakis and P. Demestichas, June 2006
- [25] «From Reconfigurability towards Cognition: Distributed, Policy-Based Selection of Reconfigurations» P. Demestichas, G. Dimitrakopoulos, K. Tsagkaris, A. Saatsakis University of Piraeus, GR K. Moessner, The University of Surrey, UK J. Strassner, Motorola, US
- [26] A Reconfigurable Platform for Cognitive Networks Paul Sutton, Linda E. Doyle, Keith E. Nolan
- [27] J. Mitola III. Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications. In *Mobile Multimedia Communications*, 1999. (MoMuC '99) 1999 IEEE International Workshop on, pages 3–10, 1999.
- [28] Y. Labrou and T. Finin, "A proposal for a new KQML specification," Tech. Rep. CS-97-03, University of Maryland Baltimore County, Baltimore, MD, 1997.
- [29] T. Finin, J. Weber, G. Wiederhold, M. Genesereth, R. Fritzson, D. McKay, J. McGuire, R. Pelavin, S. Shapiro, and C. Beck, "Draft specification of the KQML agent communication language," tech. rep., The DARPA Knowledge Sharing Initiative, 1993.
- [30] V. Srivastava and M. Motani, "Cross-Layer Design: A Survey and the Road Ahead," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 43, no. 12, 2005, pp. 112–19.
- [31] *Machine Learning for Cognitive Networks: Technology Assessment and Research Challenges*, Department of Computer science, University of Corvallis May 2003
- [32] P. Langley and H. A. Simon. Applications of machine learning and rule induction. *Communications of the ACM*, 38:55.64, 1995.
- [33] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, and R. J. Williams. Learning internal representations by error propagation. In D. E. Rumelhart, J. L. McClelland, and the PDP research group., editors, *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition, Volume 1: Foundations*. MIT Press, Cambridge, MA, 1986.

- [34] D. W. Aha, D. Kibler, and M. K. Albert. Instancebased learning algorithms. *Machine Learning*, 6:37, 1991.
- [35] W. Buntine. A guide to the literature on learning probabilistic networks from data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 8:195.210, 1996.
- [36] A. Blum and T. Mitchell. Combining labeled and unlabeled data with cotraining. In *Proc. 11th Annu. Conf. on Comput. Learning Theory*, pages 92.100. ACM Press, New York, NY, 1998.
- [37] P. Langley. User modeling in adaptive interfaces. In *Proceedings of the Seventh International Conference on User Modeling*, pages 357.370, New York, 1999. Springer.
- [38] D. Sleeman, P. Langley, and T. Mitchell. Learning from solution paths: An approach to the credit assignment problem. *AI Magazine*, 3:48.52, 1982.
- [39] V. Kumar. Algorithms for constraints satisfaction problems: A survey. *The AI Magazine*, 13(1):32.44, 1992.
- [40] J. Jaffar and M. J. Maher. Constraint logic programming: A survey. *Journal of Logic Programming*, 19/20:503.581, 1994.
- [41] T. M. Mitchell, S. Mahadevan, and L. I. Steinberg. LEAP: A learning apprentice for VLSI design. In *Proceedings of the Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pages 573.580, Los Angeles, CA, 1985. Morgan Kaufmann.
- [42] *Cognitive Radio, An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio*, Joseph Mitola, Royal Institute of Technology (KTH), May 2000, Sweden.
- [43] *Cognitive Radio Shows Great Promise*, Dr. Bruce Fette, *COTS Journal*, 19/1/2005. <http://www.costjournalonline.com/home/article.php?id=100206>
- [44] "Enhanced Context Acquisition Mechanisms for Achieving Self-Managed Cognitive Wireless Network Segments", Aggelos Saatsakis, George Dimitrakopoulos, Panagiotis Demestichas, *ICT Mobile Summit, 2008*
- [45] <http://www.itu.int/net/home/index.aspx>
- [46] Y. Zhan, H. Chen, G.-C. Zhang, "An optimization algorithm of K-NN classification", in *Proc. International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 2006, pp. 2246-2251