

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

Κατεύθυνση: Δικτυοκεντρικά Πληροφοριακά Συστήματα

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ ΥΠΟΔΟΜΕΣ
ΚΙΝΗΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΝΕΦΟΥΣ**

Δημουλάς Χρήστος

A.M. ME12045

Επιβλέπων: Ρούσκας Άγγελος, Αναπληρωτής Καθηγητής

Πειραιάς, Ιούλιος 2015

Ευχαριστίες

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των σπουδών μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Ψηφιακά Συστήματα και Υπηρεσίες» (Κατεύθυνση Δικτυοκεντρικών Πληροφοριακών Συστημάτων) του Τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Ρούσκα Άγγελο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς, για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ μαζί του, καθώς και για την πολύτιμη καθοδήγηση και τη συμβολή του στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Υποψήφιο Διδάκτορα του Τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς κ. Οικονόμου Ευθύμη για την ουσιαστική και εποικοδομητική συνεργασία που είχαμε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Πειραιάς, Ιούλιος 2015

Δημουλάς Χρήστος

Πίνακας Περιεχομένων

Ευρετήριο Εικόνων.....	5
Ευρετήριο Πινάκων	7
Περίληψη	8
Abstract.....	9
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	10
1.1 Ορισμός προβλήματος.....	10
1.2 Δομή της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας.....	11
Κεφάλαιο 2: Κινητό Υπολογιστικό Νέφος	13
2.1 Εισαγωγή.....	13
2.2 Υπολογιστικό Νέφος.....	13
2.2.1 Χαρακτηριστικά του Υπολογιστικού Νέφους	14
2.2.2 Μοντέλα Υπηρεσιών Υπολογιστικού Νέφους.....	15
2.2.3 Είδη Υπολογιστικών Νεφών.....	17
2.3 Κινητό Υπολογιστικό Νέφος	18
2.4 Χαρακτηριστικά του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους.....	20
2.5 Αρχιτεκτονική του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους.....	22
2.5.1 Γενικό Μοντέλο Λειτουργίας	22
2.5.2 Επίπεδα Αρχιτεκτονικής.....	24
2.5.3 Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα Επικοινωνίας.....	25
Κεφάλαιο 3: Πλεονεκτήματα και Προβλήματα στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος	27
3.1 Πλεονεκτήματα Mobile Cloud Computing.....	27
3.2 Προβλήματα στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος.....	32
3.2.1 Προβλήματα Ασύρματων και Κινητών Δικτύων.....	32
3.2.1.1 Χαμηλό Εύρος Ζώνης:	32

3.2.1.2	Διαθεσιμότητα:	34
3.2.1.3	Ετερογένεια:	35
3.2.2	Προβλήματα από Υπολογιστικής πλευράς	36
3.2.2.1	Αποτελεσματικότητα Υπολογιστικής Αποφόρτωσης (Offloading):	36
3.2.2.2	Ασφάλεια.....	36
3.2.2.3	Αποτελεσματικότητας της πρόσβασης σε δεδομένα:	40
3.2.3	Γενικότερα προβλήματα	41
3.2.3.1	Κόστος.....	41
3.2.3.2	Διαλειτουργικότητα.....	42
3.2.3.3	Νομικά κολλήματα κυριότητας δεδομένων σε διαφορετικές χώρες	42
Κεφάλαιο 4:	Cloudlets.....	43
4.1	Εισαγωγή.....	43
4.2	Ορισμός.....	43
4.3	Χαρακτηριστικά ενός Cloudlet	44
4.4	Αρχιτεκτονική των Cloudlets	45
4.5	Τεχνική Υπολογιστικής Αποφόρτωσης (Offloading)	47
4.6	Πλεονεκτήματα Cloudlets	50
4.6.1	Προεπεξεργασία (Preprocessing).....	50
4.6.2	Κρυφή Μνήμη (Caching).....	51
4.6.3	Χρονοπρογραμματισμός (Scheduling)	52
4.6.3.1	Χρονοπρογραμματισμός ελαχιστοποίησης του χρόνου διεκπαιρέωσης	52
4.6.3.2	Παράλληλος προγραμματισμός.....	52
4.7	Προβλήματα συνδεσιμότητας και ανταπόκρισης δικτύου	53
4.8	Τεχνική Υπολογιστικής Μετακίνησης (Migration)	55
4.9	Η διαδρομή μιας εργασίας στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος	56

4.10	Χρονοδρομολόγηση εργασίας και τεχνικές Υπολογιστικής Μετακίνησης στο Υπολογιστικό Νέφος	58
4.11	Προκλήσεις κατά τον σχεδιασμό αποτελεσματικών τεχνικών Υπολογιστικής Μετακίνησης.....	60
4.12	Διαφορετικές τεχνικές Υπολογιστικής Μετακίνησης	61
Κεφάλαιο 5: Access Schemes		64
5.1	Ευφυή πρόσβαση.....	64
5.2	Διαχείριση ετερογενών δικτύων.....	65
5.3	Σύστημα διαχείρισης Context	66
5.4	Ευφυή πρόσβαση σε ασύρματα δίκτυα Κινητών Υπολογιστικών Νεφών....	67
Κεφάλαιο 6: Υλοποίηση σεναρίου χρήσης Cloudlet με την βοήθεια του CloudAnalyst 70		
6.1	Επιλογή εργαλείου	70
6.2	Το εργαλείο CloudAnalyst.....	71
6.3	Case Study: Υποστήριξη εφαρμογής μετάφρασης σε πολυσύχναστο αρχαιολογικό χώρο με την βοήθεια Cloudlet.....	77
6.3.1	Παραμετροποίηση Προσομοίωσης.....	78
6.3.2	Προσομοίωση σεναρίων	79
6.3.3	Αποτελέσματα σεναρίων χρήσης.....	80
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και μελλοντικές κατευθύνσεις		83
Βιβλιογραφία		85
Παράρτημα: Συνοπτική Παρουσίαση της εγκατάστασης του εργαλείου CloudAnalyst		88

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Χρήση εφαρμογών στο Υπολογιστικό Νέφος (Kulkarni et al., 2011).....	15
Εικόνα 2: Παραδείγματα διαθέσιμων υπηρεσιών στο Υπολογιστικό Νέφος (Liu, Fang, et al, 2011)	16
Εικόνα 3: Μοντέλο Υπολογιστικού Νέφους (Cloud Security Alliance, 2009)	17
Εικόνα 4: Το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος (A.Khan et al., 2012)	19
Εικόνα 5: Κάλυψη διαφορετικών ασύρματων δικτύων (Wikipedia, 2015)	22
Εικόνα 6: Αρχιτεκτονική Κινητού Υπολογιστικού νέφους (Hoang T. Dinh et al., 2011)	23
Εικόνα 7: Υπηρεσιοστρεφής αρχιτεκτονική του υπολογιστικού νέφους (Hoang T. Dinh et al., 2011)	25
Εικόνα 8: Κατανάλωση μπαταρίας εφαρμογής που εκτελείται τοπικά και σε απομακρυσμένο διακομιστή (Rudenko, 2008).	28
Εικόνα 9: Δημιουργία φωτογραφίας "Πανόραμα" στην Αϊτή το 2010	31
Εικόνα 10: Ανάγκες ταχύτητας δικτύου εφαρμογών (P&S Gupta, 2012).....	33
Εικόνα 11: Πρόβλημα διαθεσιμότητας κινητού τερματικού (Amazon.com, 2014)....	34
Εικόνα 12: Αρχιτεκτονική διαχείρισης Context	35
Εικόνα 13: Απόκρυψη ταυτότητας χρήστη με την χρήση LTS	38
Εικόνα 14: Αρχιτεκτονική του TrustCube (Z. Song, 2009).....	39
Εικόνα 15: Ειδοποίηση καταπάτησης πνευματικών δικαιωμάτων.....	40
Εικόνα 16: Αρχιτεκτονική E-Recall	41
Εικόνα 17: Συνδεσιμότητα στα Cloudlets (Satyanarayanan et al., 2009).....	44
Εικόνα 18: Διαφορές Cloudlet και Υπολογιστικό Νέφος (Satyanarayanan et al., 2009)	45
Εικόνα 19: Δυναμική Σύνδεση Εικονικών Υπολογιστών (Satyanarayanan et al., 2009)	47

Εικόνα 20: Υπολογιστική Αποφόρτωση (R. Wolski et.al, 2008).....	48
Εικόνα 21: Προεπεξεργασία σε δομή Cloudlet	51
Εικόνα 22: Caching on Cloudlet.....	51
Εικόνα 23: Χρονοπρογραμματισμός σε Cloudlet.....	53
Εικόνα 24: Frame Rate CDF at 100Mb/s.....	54
Εικόνα 25: Χρόνοι αντίδρασης σε διαφορετικούς χρόνους ανταπόκρισης.....	54
Εικόνα 26: Τεχνική της Υπολογιστικής Μετακίνησης σε δομές Cloudlet (Gkatzikis & Koutsopoulos, 2013).	56
Εικόνα 27: Ροή εργασίας στο Υπολογιστικό Νέφος (Gkatzikis & Koutsopoulos, 2013).	58
Εικόνα 28: Επιλογή κατάλληλης τεχνικής Υπολογιστικής Μετακίνησης.....	62
Εικόνα 29: Ο Mobile Cloud Controller σε ετερογενή σενάριο δικτύων	65
Εικόνα 30: Τύποι κατηγοριών πληροφοριών (Panu et al., 2013)	67
Εικόνα 31: Σύστημα Διαχείρισης πληροφοριών Context (Panu et al., 2013)	67
Εικόνα 32: IRNA Concept (Klein et al., 2010).....	68
Εικόνα 33: Αρχιτεκτονική Context Management (Klein et al., 2010)	69
Εικόνα 34: Γραφικό περιβάλλον χρήσης του CloudAnalyst	72
Εικόνα 35: Στοιχείο Βάσης Χρηστών στο εργαλείο CloudAnalyst	73
Εικόνα 36: Στοιχείο Data center controller στο εργαλείο CloudAnalyst	73
Εικόνα 37: Στοιχείο Χαρακτηριστικών Internet στο εργαλείο CloudAnalyst.....	74
Εικόνα 38: Αλγόριθμος Round Robin	74
Εικόνα 39: Αλγόριθμος Equally Spread Execution Load.....	75
Εικόνα 40: Αλγόριθμος Throttled Load.....	75
Εικόνα 41: VMLoadBalancer στο εργαλείο CloudAnalyst.....	76
Εικόνα 42: CloudAppServiceBroker στο εργαλείο CloudAnalyst	76
Εικόνα 43: Μουσείο Ακρόπολης	78

Εικόνα 44: Περιεχόμενα πακέτου εγκατάστασης του CloudAnalyst και εκτέλεση 88

Εικόνα 45: Περιβάλλον χρήσης του εργαλείου CloudAnalyst 89

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Συνήθεις ταχύτητες Ασύρματων και Κινητών Δικτύων (Wikipedia, 2015)
..... 26

Πίνακας 2: Σύγκριση εμπορικών εφαρμογών αποθήκευσης Υπολογιστικού Νέφους
(Wikipedia, 2015) 29

Πίνακας 3: Στοιχεία ομάδας χρηστών 79

Πίνακας 5: Στοιχεία των Data Centers 79

Πίνακας 6: Αποτελέσματα προσομοιώσεων 81

Περίληψη

Το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος αναφέρεται σε μια επέκταση της υποδομής του Υπολογιστικού Νέφους όπου οι κινητές συσκευές έχουν αδιάλειπτα την δυνατότητα χρήσης των εφαρμογών του Υπολογιστικού Νέφους. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει στον χρήστη, παρά τους περιορισμένους πόρους της κινητής συσκευής του, να εκτελεί εφαρμογές να αποθηκεύσει και να ανταλλάσσει πληροφορίες με ασφάλεια, απαλλαγμένος από χωροταξικούς και χρονικούς περιορισμούς.

Τα τελευταία χρόνια, το ενδιαφέρον για την αξιοποίηση των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών έχει αυξηθεί και ως αποτέλεσμα έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες και εργαλεία που έχουν ως σκοπό την αποσυμφόρηση των κινητών δικτύων και της καλύτερης επικοινωνίας μεταξύ χρηστών και δομών Υπολογιστικού Νέφους, όπως είναι οι δομές των Cloudlets και των Access Schemes. Επίσης γίνεται μελέτη σχετικά με αποτελεσματικούς μηχανισμούς μετανάστευσης (Migration) και υπολογιστικής αποφόρτωσης (Offloading) εφαρμογών, προκειμένου να επιτυγχάνεται βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων, μείωση του χρόνου εκτέλεσης και αποτελεσματική αξιοποίηση της υποδομής των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών.

Με την διάθεση τέτοιων νέων τεχνολογιών, τίθενται όμως κάποια θέματα αξιοπιστίας, προβλημάτων δικτύων και επικοινωνίας, αποτελεσματικότητας και διαχειρισιμότητας. Προς αυτή την κατεύθυνση αναγνωρίζεται:

- Η ανάγκη για τον καθορισμό των προβλημάτων που υπάρχουν στις τρέχουσες δομές Κινητών Υπολογιστικών Νεφών και
- Το ενδιαφέρον για την παρουσίαση προτάσεων βελτίωσης οι οποίες θα στηρίζουν τις τρέχουσες δομές.

Σε αυτό το πλαίσιο η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

- Προτείνει μια κατάλληλη δομή Κινητού Υπολογιστικού Νέφους, μικρότερης έκτασης και κοντινότερα γεωγραφικά στον χρήστη με σκοπό την άμεση και εύκολη επικοινωνία του χρήστη με το Νέφος
- Υλοποιεί ένα σενάριο χρήσης αυτής της δομής αξιοποιώντας το εργαλείο CloudAnalyst και παρουσιάζοντας τα αποτελέσματα.

Abstract

The Mobile Cloud Computing refers to an extension of Cloud Computing infrastructure, where mobile devices are always connected using Cloud Computing's applications. This technology allows to users, despite the limited resources of the mobile device to execute applications, to store and exchange information safely, free from spatial and temporal constraints.

In recent years, the interest in the development of Mobile Cloud Computing has increased, as a result many technologies and tools are developed to decongest mobile networks and help more the communication between users and cloud infrastructures, such as Cloudlets and Access Schemes. Also there is a study on effective migration mechanisms and computational offloading applications in order to achieve optimal use of resources, reduce runtime and efficient use of the infrastructure of Mobile Cloud Computing.

With such new technologies, some reliability issues, network problems and communication, efficiency and manageability are recognized:

- The need to determine this problems in Mobile Cloud Computing
- The interest for presenting proposals for improvement that will support current structures

In this context, the present Master Thesis:

- Proposes a suitable Mobile Cloud Computing structure, smaller in size and geographically closer to the user for immediate and easy communication
- Implements a case study of this structure using a tool called CloudAnalyst tool and presenting the results.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Ορισμός προβλήματος

Η ραγδαία εξάπλωση των δικτύων κινητών και προσωπικών επικοινωνιών καθώς και των κινητών συσκευών (όπως smartphones, tablets) τα τελευταία χρόνια στηρίζεται κυρίως στο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της ευχρηστίας και της ευελιξίας των υπηρεσιών και εφαρμογών που προσφέρουν. Ο αριθμός των χρηστών συνεχίζει να αυξάνεται, ξεπερνώντας κάθε προσδοκία, και τα κινητά υπολογιστικά συστήματα αποτελούν τα πιο εύχρηστα και αποτελεσματικά εργαλεία επικοινωνίας τα οποία έχουν το πλεονέκτημα να μην περιορίζονται σε συγκεκριμένο χώρο και χρόνο. Λόγω λοιπόν αυτής της συγκεκριμένης πρωτοποριακής δυνατότητας επικοινωνίας ενός τερματικού χωρίς την δέσμευση να βρίσκεται σε κάποιο σταθερό σημείο πρόσβασης, οι χρήστες των κινητών συσκευών αποκτούν πλούσια εμπειρία από διάφορες υπηρεσίες οι οποίες εκτελούνται είτε κατά μέρος στις ίδιες τις συσκευές με την βοήθεια απομακρυσμένων διακομιστών (servers) είτε εξ ολοκλήρου στους απομακρυσμένους διακομιστές (Hoang T. Dinh et al., 2011).

Ωστόσο, οι κινητές συσκευές αντιμετωπίζουν πολλά προβλήματα και προκλήσεις όσον αφορά τους πόρους τους (για παράδειγμα στην διάρκεια ζωής της μπαταρίας, τον αποθηκευτικό χώρο που μπορούν να διαθέσουν) καθώς και της επικοινωνίας μέσω των τηλεπικοινωνιακών δομών (για παράδειγμα σε θέματα ασφαλείας και αδυναμία επικοινωνίας λόγω συνεχής αλλαγή θέσης του τερματικού). Οι περιορισμένοι πόροι εμποδίζουν σημαντικά την βελτίωση των υπηρεσιών αυτών και έτσι υπάρχει η ανάγκη να επιλυθούν εσπευσμένα τα συγκεκριμένα προβλήματα από μια άλλη καινοτόμα τεχνολογία (Ravindranath et al., 2013). Μία νέα τεχνολογία η οποία αρκετά πρόσφατα εφαρμόζεται και χρησιμοποιείται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τους τεχνικούς κλάδους της πληροφορικής και όχι μόνο, έρχεται να παρακάμψει αυτά τα προβλήματα (Schüring M., 2013).

Το Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing) έχει αναγνωριστεί ευρέως ως υπολογιστική υποδομή της επόμενης γενιάς. Το Υπολογιστικό Νέφος είναι ένα μοντέλο που επιτρέπει την εύκολη, on-demand (τη στιγμή που ζητείται) πρόσβαση μέσω δικτύου σε ένα “κοινό ταμείο” από παραμετροποιήσιμους υπολογιστικούς πόρους (π.χ. δίκτυα, διακομιστές, αποθηκευτικός χώρος, εφαρμογές και υπηρεσίες) οι οποίοι μπορούν εύκολα να παρακολουθηθούν και να αποδοθούν από τον πάροχο των υπηρεσιών χωρίς χειροκίνητες ενέργειες. Αυτό το μοντέλο του Υπολογιστικού Νέφους προάγει τη διαθεσιμότητα και απαρτίζεται από πέντε βασικά χαρακτηριστικά, τρία μοντέλα παροχής-παράδοσης της υπηρεσίας και τέσσερα μοντέλα

υλοποίησης (Mell & Grance, 2011). Το Υπολογιστικό Νέφος προσφέρει ορισμένα πλεονεκτήματα, επιτρέποντας στους χρήστες να χρησιμοποιούν την υποδομή (π.χ. εξυπηρετητές, δίκτυα, και αποθηκευτικό χώρο), πλατφόρμες (π.χ., υπηρεσίες ενδιάμεσου λογισμικού και λειτουργικών συστημάτων), καθώς και το σχετικό λογισμικό (π.χ., προγράμματα εφαρμογών) που παρέχονται από παρόχους υπολογιστικών νεφών (π.χ., Google, Amazon, και Salesforce) με αρκετά χαμηλό κόστος. Επιπλέον, το υπολογιστικό νέφος επιτρέπει στους χρήστες να χρησιμοποιούν ελαστικά πόρους με έναν τρόπο on demand¹. Ως αποτέλεσμα, οι εφαρμογές μπορούν πολύ γρήγορα με την βοήθεια των παρόχων υπηρεσιών να τεθούν σε λειτουργία με ελάχιστες αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους (Hoang T. Dinh et al., 2011).

Με την έντονη εμφάνιση στην καθημερινή ζωή των χρηστών των κινητών τηλεφώνων και την υποστήριξη των υπολογιστικών νεφών σε υπηρεσίες χρήσιμες για τις κινητές συσκευές, εισάγεται η έννοια των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών στα κινητά περιβάλλοντα. Έτσι τα Κινητά Υπολογιστικά Νέφη φέρνουν νέους τύπους υπηρεσιών τόσο σε επίπεδο λογισμικού (software) όσο και σε τεχνικό υλικό επίπεδο (hardware) όπου οι χρήστες έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιούν αυτούς τους τύπους και τις υπηρεσίες πλεονεκτικά σε σχέση με τις παλαιότερες τεχνολογίες (Hoang T. Dinh et al., 2011).

Έτσι με την εμφάνιση των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών τίθεται το θέμα της αξιοποίησης αυτών των τεχνολογιών σε σημερινές εφαρμογές κινητών τερματικών και απαιτήσεων χρηστών αλλά και αναγνωρίζεται η ανάγκη του καθορισμού των δυνατοτήτων που προσφέρουν καθώς και της περαιτέρω ανάπτυξής τους.

1.2 Δομή της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

Η δομή της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας περιγράφεται ακολούθως:

Στο **δεύτερο κεφάλαιο**, παρουσιάζονται και αναλύονται ενδελεχώς οι τεχνολογίες των Υπολογιστικών Νεφών και των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών σχετικά με την προέλευση και την εξέλιξη τους και μέσω μιας συζήτησης σχετικά με τους ορισμούς που έχουν καταγραφεί στη διεθνή βιβλιογραφία. Αναγνωρίζονται επίσης τα βασικά χαρακτηριστικά τους, τα μοντέλα υπηρεσιών τους καθώς και η γενική αρχιτεκτονική τους με σκοπό την πλήρη χαρτογράφηση των δυνατοτήτων τους.

¹ On-demand: Είναι ένα μοντέλο στο οποίο οι υπολογιστικοί πόροι είναι διαθέσιμοι σε μια ομάδα χρηστών όταν απαιτηθούν.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των Κινητών Υπολογιστικών νεφών. Σκοπός είναι η αναγνώριση των δυνατοτήτων τους στις σύγχρονες τηλεπικοινωνιακές και υπολογιστικές δομές Νέφους αλλά και τα προβλήματα σχεδιασμού τους και αλληλεπίδρασης με άλλες τεχνολογίες.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** πραγματοποιείται η αναλυτική περιγραφή των υπολογιστικών δομών Cloudlets όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επέκταση του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους και της καλύτερης σύνδεσης των τελικών χρηστών με αυτό. Γίνεται επίσης ανάλυση στην αρχιτεκτονική τους αλλά και σε βασικές τεχνικές και τεχνολογίες που χρησιμοποιούν προκειμένου να είναι αποτελεσματικότερη η απόδοσή τους.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται το πρόβλημα ετερογενών δικτύων καθώς και μια προτεινόμενη αντιμετώπιση των προβλημάτων διασύνδεσής τους με το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος αλλά και με τον τελικό χρήστη με την βοήθεια της τεχνολογίας των Access Schemes.

Στο **έκτο κεφάλαιο** γίνεται μια παρουσίαση ενός σεναρίου χρήσης με την βοήθεια της τεχνολογίας των Cloudlets όπου και αναλύονται τα αποτελέσματα καθώς και κάποιες προτάσεις βελτίωσης στην λειτουργία τους.

Τέλος, στο **έβδομο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής και προτείνονται μελλοντικές επεκτάσεις της.

Κεφάλαιο 2: Κινητό Υπολογιστικό Νέφος

2.1 Εισαγωγή

Το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος είναι ένας συνδυασμός του Υπολογιστικού Νέφους και της υπολογιστικής δύναμης των Κινητών Συσκευών. Είναι μια νέα επιστημονική περιοχή που τον τελευταίο καιρό γίνεται δημοφιλής τάση για εξερεύνηση. Τα Κινητά Υπολογιστικά Νέφη είναι πολύ πιο πολύπλοκα από τα Υπολογιστικά Νέφη διότι κληρονομούν τα βασικά χαρακτηριστικά και των δύο τεχνολογιών, δηλαδή την κινητικότητα και την υπολογιστική ισχύ αντίστοιχα. (Ravindranath et al., 2013). Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιείται μια σύντομη παρουσίαση των δύο αυτών τεχνολογιών, τα χαρακτηριστικά τους, των αρχιτεκτονικών τους καθώς και τα είδη τους έτσι ώστε να κατανοήσουμε καλύτερα πως γίνεται η εφαρμογή τους σε υπάρχουσες τεχνολογίες καθώς και πως αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους.

2.2 Υπολογιστικό Νέφος

Ένας σύγχρονος και αρκετά κατατοπιστικός ορισμός για την τεχνολογία του Υπολογιστικού Νέφους είναι αυτός που αναφέρει ο Armbrust και οι συνεργάτες του ως εξής: Η έννοια του Υπολογιστικού Νέφους αναφέρεται σε δύο κύρια γνωρίσματα, στις εφαρμογές που παραδίδονται ως υπηρεσίες μέσω του διαδικτύου στους χρήστες καθώς και στα υλικά υπολογιστικά μηχανήματα-πόρους (hardware) με το κατάλληλο λογισμικό (software) τα οποία βρίσκονται σε ένα πληροφοριακό κέντρο που παρέχει όλες αυτές τις υπηρεσίες. Οι συγκεκριμένες υπηρεσίες αναφέρονται ως “Λογισμικό ως Υπηρεσία” (Software as a Service - SaaS). Τα υπολογιστικά μηχανήματα-πόροι και το λογισμικό στο κέντρο πληροφοριών είναι αυτά που αποκαλούμε μαζί ως ένα Υπολογιστικό Νέφος (Cloud Computing). Όταν ένα Υπολογιστικό Νέφος είναι εμπορικά διαθέσιμο σε χρήστες με την βοήθεια μιας τεχνικής χρονικής μίσθωσης, τότε αυτό μπορούμε να το ονομάσουμε ως Δημόσιο Νέφος (Public Cloud), ενώ οι προσφερόμενες υπηρεσίες που πωλούνται στους χρήστες είναι οι επονομαζόμενες ως Υπολογιστικές Υπηρεσίες Χρονομίσθωσης (Utility Computing). Χρησιμοποιούμε επίσης τον όρο Ιδιωτικό Νέφος (Private Cloud) για να μπορέσουμε να αναφερθούμε σε εσωτερικά πληροφοριακά κέντρα ενός οργανισμού ή μιας επιχείρησης, τα οποία δεν μπορούν να είναι ευρέως διαθέσιμα στο κοινό (Armbrust et al., 2009).

Ένας συμπληρωματικός ορισμός ο οποίος περιλαμβάνει και κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά του υπολογιστικού νέφους, έχει δοθεί από το Εθνικό Ινστιτούτο

Τυποποιήσεων και Τεχνολογίας και αναφέρει ότι: Το Υπολογιστικό Νέφος είναι ένα μοντέλο το οποίο καθιστά εφικτή την πρόσβαση σε ένα δίκτυο με κοινόχρηστους υπολογιστικούς πόρους σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Μπορεί πολύ εύκολα να δεσμεύσει και να αποδεσμεύσει αυτούς τους πόρους ανάλογα με τις δυνατότητες που επιθυμεί κατά περίπτωση. Το μοντέλο αυτό αποτελείται από πέντε βασικά χαρακτηριστικά: Την χρήση κατά απαίτηση (On-demand self-service), την ευρεία πρόσβαση στο δίκτυο, την διάθεση των υπολογιστικών πόρων (resource pooling), την ταχεία ελαστικότητα δέσμευσης και αποδέσμευσης των πόρων και την κοστολογημένη υπηρεσία (Mell & Grance, 2011).

Αναλυτικότερα παρακάτω μπορούμε να δούμε τα χαρακτηριστικά του Υπολογιστικού Νέφους καθώς και τα μοντέλα υπηρεσιών όπως τα παραθέτει το Εθνικό Ινστιτούτο Τυποποιήσεων και Τεχνολογίας. Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθούν και να αναλυθούν τα είδη των Υπολογιστικών Νεφών που υπάρχουν και χρησιμοποιούνται σήμερα.

2.2.1 Χαρακτηριστικά του Υπολογιστικού Νέφους

Τα κύρια χαρακτηριστικά του Υπολογιστικού Νέφους αναλυτικότερα αναφέρονται παρακάτω από το Εθνικό Ινστιτούτο Τυποποιήσεων και Τεχνολογίας (Cloud Security Alliance, 2009).

- Χρήση κατά απαίτηση (On demand self-service): Ο χρήστης μπορεί να ζητήσει τους υπολογιστικούς πόρους, όπως τον αποθηκευτικό χώρο, χωρίς να απαιτείται καμία άμεση ανθρώπινη αλληλεπίδραση με τον πάροχο της εκάστοτε υπηρεσίας. Υπηρεσίες που υπάρχουν προ-εγκατεστημένες με σκοπό την εξυπηρέτηση των χρηστών σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή με την αναλογική χρήση πόρων σε σχέση με τις απαιτήσεις του.
- Ευρεία πρόσβαση στο δίκτυο: Οι συγκεκριμένες δυνατότητες του Υπολογιστικού Νέφους είναι διαθέσιμες από παντού μέσα από το διαδίκτυο, παρέχοντας πρόσβαση από διαφορετικές πλατφόρμες και συσκευές μέσω συγκεκριμένων μηχανισμών (για παράδειγμα τα κινητά τηλέφωνα, τους φορητούς υπολογιστές και τους σταθερούς σταθμούς εργασίας)
- Διάθεση των υπολογιστικών πόρων (resource pooling): Οι διαθέσιμοι υπολογιστικοί πόροι του παρόχου βρίσκονται συγκεντρωμένοι έτσι ώστε να μπορούν να εξυπηρετήσουν πολλούς χρήστες ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας ένα εξειδικευμένο μοντέλο πολλαπλής μίσθωσης, οι οποίοι ανάλογα με την ζήτηση του κάθε χρήστη, αυξάνονται ή μειώνονται. Υπάρχει βέβαια μια αρχή η οποία

δεν δίνει στον χρήστη την δυνατότητα να γνωρίζει την τοποθεσία των υπολογιστικών πόρων αλλά μόνο να γνωρίζει ή να επιλέγει την τοποθεσία των υπολογιστικών κέντρων που περιλαμβάνουν τους πόρους στα γεωγραφικά πλαίσια μιας χώρας. Κάποια παραδείγματα τέτοιων πόρων είναι ο αποθηκευτικός χώρος, η επεξεργαστική ισχύ, η μνήμη και το εύρος ζώνης δικτύου.

- Ταχεία ελαστικότητα δέσμευσης και αποδέσμευσης των πόρων: Οι υπολογιστικοί πόροι μπορούν να δεσμευθούν και να αποδεσμευτούν αυτόματα ανάλογα με την ζήτηση του κάθε χρήστη. Βέβαια για τον ίδιο τον χρήστη, οι δυνατότητες αυτές φαίνονται απεριόριστες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε ποσότητα και ανά πάσα χρονική στιγμή.
- Κοστολογημένη υπηρεσία: Τα συστήματα Υπολογιστικού Νέφους έχουν την δυνατότητα αυτόματα να ελέγχουν, να καταγράφουν και να βελτιστοποιούν τη χρήση των πόρων χρησιμοποιώντας κάποια εξειδικευμένα συστήματα μέτρησης ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας.



Εικόνα 1: Χρήση εφαρμογών στο Υπολογιστικό Νέφος (Kulkarni et al., 2011)

2.2.2 Μοντέλα Υπηρεσιών Υπολογιστικού Νέφους

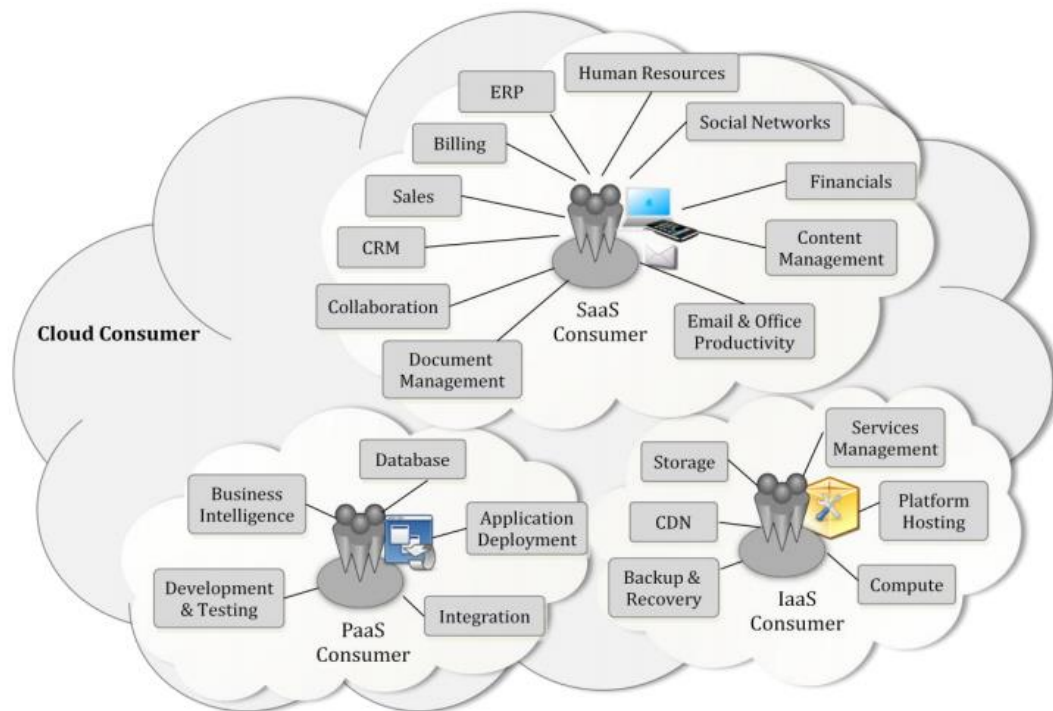
Στην γενική δομή των Υπολογιστικών Νεφών εντοπίζουμε τρία μοντέλα υπηρεσιών. Την Υποδομή ως Υπηρεσία (Infrastructure as a service – IaaS), την Πλατφόρμα Νέφους ως Υπηρεσία (Platform as a Service – PaaS) και το Λογισμικό Νέφους ως Υπηρεσία (Software as a Service - SaaS) (Osterman et al., 2009; Mell & Grance, 2011).

- Λογισμικό Νέφους ως Υπηρεσία: Σε αυτή την υποδομή δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να μπορούν να χρησιμοποιούν τις διάφορες εφαρμογές που είναι διαθέσιμες στο Υπολογιστικό Νέφος. Οι ίδιοι έχουν επίσης την δυνατότητα να τις

προσπελάνουν από διάφορες συσκευές (για παράδειγμα κινητές συσκευές ή φορητοί υπολογιστές) και μέσω διαφόρων προγραμμάτων ή διεπαφών.

- Πλατφόρμα Νέφος ως Υπηρεσία: Σε αυτή την υποδομή ο χρήστης μπορεί να αναπτύσσει στο Νέφος εφαρμογές με την βοήθεια γλωσσών προγραμματισμού, βιβλιοθηκών και εργαλείων τα οποία παρέχονται από τον πάροχο. Ο ίδιο βέβαια έχει περιορισμένες δυνατότητες όσον αφορά τον αποθηκευτικό χώρο που του παρέχεται για την εφαρμογή ή το λειτουργικό σύστημα στο οποίο εκτελείται η εφαρμογή.
- Υποδομή ως Υπηρεσία: Η υποδομή αυτή παρέχει στον τελικό χρήστη την δυνατότητα επεξεργασίας, αποθήκευσης και άλλων λειτουργιών επί των υπολογιστικών πόρων έτσι ώστε να μπορεί να εκτελέσει διάφορες μορφές λογισμικών, για παράδειγμα προγράμματα ή λειτουργικά συστήματα.

Συχνά τα μοντέλα αυτά αποκαλούνται ως το μοντέλο SPI το οποίο προκύπτει από τα αρχικά γράμματα των τριών αυτών μοντέλων. (Cloud Security Alliance, 2009)



Εικόνα 2: Παραδείγματα διαθέσιμων υπηρεσιών στο Υπολογιστικό Νέφος (Liu, Fang, et al, 2011)

2.2.3 Είδη Υπολογιστικών Νεφών

Τα Υπολογιστικά Νέφη εξυπηρετούν διαφορετικές απαιτήσεις και κατηγοριοποιούνται ανάλογα με αυτές. Τα είδη Νεφών είναι τέσσερα και αναφέρονται ως το Δημόσιο Νέφος, το Ιδιωτικό Νέφος, το Κοινοτικό Νέφος και το Υβριδικό Νέφος (Cloud Security Alliance, 2009)

- Δημόσιο Νέφος (Public Cloud): Το συγκεκριμένο είδος είναι διαθέσιμο στο ευρύ κοινό ή σε ένα μεγάλο κοινό χρηστών μια εταιρίας και ανήκει σε έναν οργανισμό ο οποίος το εκμεταλλεύεται οικονομικά.
- Ιδιωτικό Νέφος (Private Cloud): Το ιδιωτικό Νέφος χρησιμοποιείται από ένα συγκεκριμένο αριθμό χρηστών ενός οργανισμού χωρίς να έχει κάποιος άλλος πρόσβαση.
- Κοινοτικό Νέφος (Community Cloud): Η συγκεκριμένη δομή είναι κοινή για πολλές κοινότητες χρηστών οι οποίες έχουν κάποια κοινά ενδιαφέροντα και μπορεί να διαμοιράζονται συγκεκριμένες λειτουργίες ή στοιχεία.
- Υβριδικό Νέφος (Hybrid Cloud): Σε αυτού του είδους η δομή αποτελείται από δύο ή περισσότερα είδη Νεφών.



Εικόνα 3: Μοντέλο Υπολογιστικού Νέφους (Cloud Security Alliance, 2009)

Από την στιγμή που τα διάφορα είδη Υπολογιστικών Νεφών έχουν την δυνατότητα εξυπηρέτησης πολλαπλών χρηστών και οντοτήτων μέσω διάφορων συσκευών και πλατφόρμων, μπορούμε να πούμε πως τα Υπολογιστικά Νέφη είναι οι επόμενες μελλοντικές υπολογιστικές δομές. Αυτή η δυνατότητα πρόσβασης και εξυπηρέτησης παρέχεται από τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους και γενικότερα από εταιρίες που δραστηριοποιούνται στους

τομείς των υπηρεσιών Υπολογιστικών Νεφών και περιλαμβάνει όπως αναφέραμε και εφαρμογές σε κινητές συσκευές. Έτσι συγκεκριμένα οι χρήστες κινητών συσκευών συμμετέχουν σε ένα είδος Κινητού Υπολογιστικού Νέφους το οποίο τους δίνει την δυνατότητα χρήσης όλων των δυνατοτήτων του Υπολογιστικού Νέφους διαμέσου των συσκευών τους και με την βοήθεια του δικτύου της κινητής τηλεφωνίας ή άλλων τύπων ασύρματων δικτύων επικοινωνίας (Hoang T. Dinh et al., 2011)

2.3 Κινητό Υπολογιστικό Νέφος

Μελετώντας την διεθνή βιβλιογραφία μπορεί να παρατηρηθεί ότι δεν υπάρχει ένας κοινά αποδεκτός ορισμός, ο οποίος να περιγράφει το κινητό υπολογιστικό σύννεφο και να αναδεικνύει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και την αρχιτεκτονική του. Αυτή η διαπίστωση μας οδηγεί στην μελέτη διαφόρων ορισμών που δίνονται από τις σημαντικότερες πηγές της διεθνούς βιβλιογραφίας και στην ανάδειξη των κύριων, κοινών χαρακτηριστικών και δυνατοτήτων του κινητού υπολογιστικού νέφους μέσα από την σύγκριση των κοινών και επιμέρους στοιχείων τους.

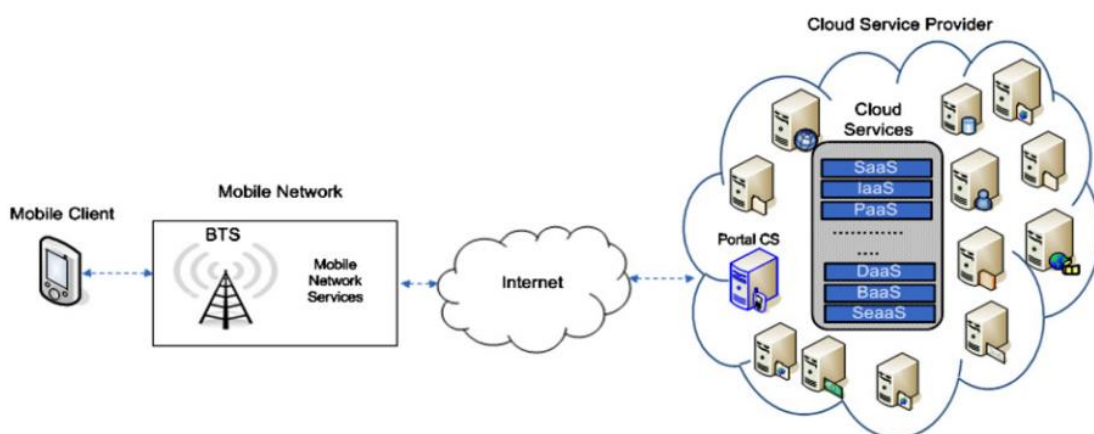
Ο ορισμός του κινητού υπολογιστικού νέφους εισάγεται λίγο αργότερα από την εισαγωγή της τεχνολογίας του υπολογιστικού νέφους δηλαδή περίπου στα μέσα του 2007 (Hoang T. Dinh et al., 2011). Το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος είναι μια υπηρεσία η οποία επιτρέπει στους περιορισμένους πόρους των χρηστών κινητών συσκευών να έχουν πρόσβαση στις δυνατότητες και τις εφαρμογές ενός Υπολογιστικού Νέφους μέσω ασύρματων δικτύων (A. Khan et al., 2012). Το Mobile Cloud Computing Forum ορίζει τα Κινητά Υπολογιστικά Νέφη ως μια δομή η αποθήκευση δεδομένων και η επεξεργασία τους, συμβαίνουν εκτός της κινητής συσκευής. Οι εφαρμογές που βρίσκονται στο Κινητό Νέφος μπορούν να μεταφέρουν την υπολογιστική ισχύ και την δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων εκτός του κινητού τηλεφώνου και μέσα στο ίδιο το Νέφος, φέρνοντας τις εφαρμογές και την κινητή υπολογιστική δύναμη όχι μόνο στους χρήστες των κινητών τερματικών αλλά και σε μια πολύ μεγαλύτερη κοινότητα συνδρομητών (Hoang T. Dinh et al., 2011).

Οι ορισμοί των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες: Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται στην εκτέλεση διεργασιών και αποθήκευσης των δεδομένων εκτός των κινητών συσκευών δηλαδή στο Νέφος. Εδώ οι κινητές συσκευές συμπεριφέρονται ως τερματικά και λειτουργούν έτσι ώστε να μπορούν να έχουν εύκολη πρόσβαση στο Νέφος. Προβλήματα όπως η χαμηλή επεξεργαστική ισχύ και ο μικρός αποθηκευτικός χώρος των κινητών τερματικών ξεπερνιούνται και επιπλέον παρέχεται στον χρήστη επιπλέον ασφάλεια μέσω των εξειδικευμένων εφαρμογών που παρέχει το

Νέφος. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει στις ίδιες τις κινητές συσκευές την αποθήκευση των δεδομένων και την υπολογιστική ισχύ. Έτσι δεν χρειάζεται η διαμεσολάβηση τεράστιων δικτυακών μεταφορών και τα ευαίσθητα δεδομένα των χρηστών παραμένουν στις κινητές συσκευές. Στόχος λοιπόν του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους είναι να δώσει στους χρήστες την αδιάλειπτη παροχή σε υπολογιστικούς πόρους από οπουδήποτε (S. Patel, 2013)

Μία ακόμα εκδοχή που συμπληρώνει τον ορισμό του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους αναφέρει ότι: Το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος είναι ένα μοντέλο το οποίο αθόρυβα μπορεί να αυξάνει τις ικανότητες των κινητών συσκευών μέσω της συνεχής και αδιάλειπτης ασύρματης πρόσβασης στους υπολογιστικούς πόρους και χώρους αποθήκευσης του υπολογιστικού νέφους. Αυτό επιτυγχάνεται με μια ειδική δυναμική ρύθμιση και συσχετισμού των διαθέσιμων υπολογιστικών πόρων και αλληλεπίδρασης των κινητών συσκευών (D. Kovachev, 2010)

Μετά την παράθεση των κυριότερων ορισμών για το κινητό υπολογιστικό νέφος έτσι όπως έχουν διατυπωθεί στην διεθνή βιβλιογραφία από την οπτική γωνιά το κάθε συγγραφέα, την μελέτη των βασικών χαρακτηριστικών τους και την σύγκριση μεταξύ τους, μπορούμε να συνθέσουμε έναν συνδυαστικό ορισμό. Ο συνδυαστικός ορισμός μπορεί να υποστηρίξει ότι: Το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος αναφέρεται σε μια επέκταση της υποδομής του Υπολογιστικού Νέφους όπου οι κινητές συσκευές έχουν αδιάλειπτα την δυνατότητα χρήσης των εφαρμογών του Υπολογιστικού Νέφους. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει στον χρήστη, παρά τους περιορισμένους πόρους της κινητής συσκευής του, να εκτελεί εφαρμογές να αποθηκεύσει και να ανταλλάσσει πληροφορίες με ασφάλεια, απαλλαγμένος από χωροταξικούς και χρονικούς περιορισμούς.



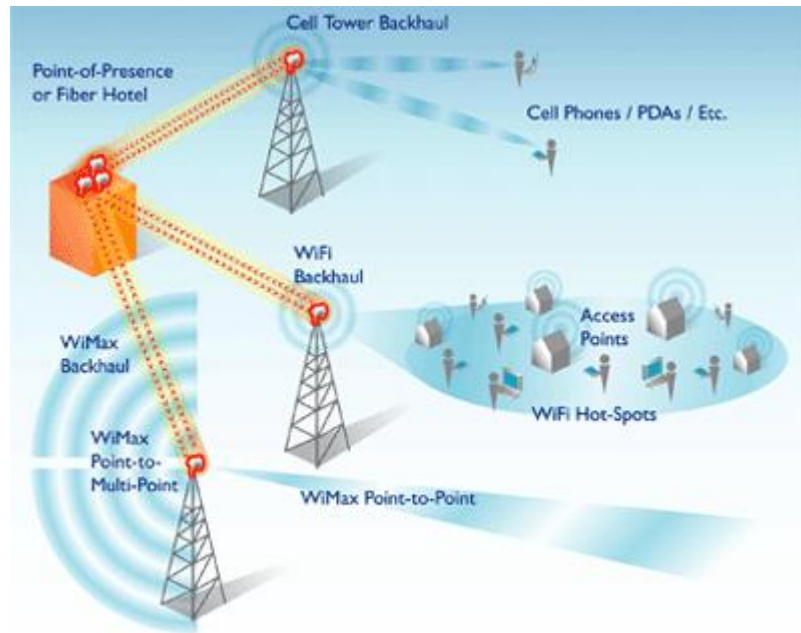
Εικόνα 4: Το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος (A.Khan et al., 2012)

2.4 Χαρακτηριστικά του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους

Τα χαρακτηριστικά του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις κατηγορίες και μπορούν να αναλυθούν ως εξής (Ravindranath et al., 2013):

- Υλικοτεχνική υποδομή και ανεξαρτησία: Όλες οι υλικοτεχνικές υποδομές καθώς και οι ενέργειες που εκτελούνται στα Κινητά Υπολογιστικά Νέφη βρίσκονται στους διακομιστές του Νέφους και όχι στην ίδια την κινητή συσκευή. Προφανώς εφαρμογές που χρειάζονται μεγάλη επεξεργαστική ισχύ δεν μπορούν να εκτελεστούν με τους πόρους που διαθέτει μια κινητή συσκευή. Είναι δεδομένο ότι μια κινητή συσκευή δεν διαθέτει ούτε δυνατό επεξεργαστή ή μνήμη αλλά και υστερεί σε κατανάλωση ενέργειας λόγω της περιορισμένης μπαταρίας που διαθέτει. Σε αυτό το κομβικό σημείο εμφανίζεται η τεχνολογία των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών ώστε να επιλύσει αυτό το πρόβλημα. Μεγάλες εγκαταστάσεις υπολογιστικών πόρων που περιλαμβάνουν για παράδειγμα υπερ-επεξεργαστές, τεράστιο αποθηκευτικό χώρο, συνδέσεις με υψηλές ταχύτητες, συνθέτουν ένα Υπολογιστικό Νέφος έτοιμο να εξυπηρετήσει κάθε αίτημα του χρήστη. Στην ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική αποτελούνται και οι σταθμοί βάσης των ασύρματων δικτύων όπου συνδέονται με το κινητό τερματικό του χρήστη με τεχνολογίες 3G, 4G αλλά και Wifi έτσι ώστε η μεταφορά δεδομένων να γίνεται ταχύτατα. Επιπλέον γίνεται κατανοητό ότι το Υπολογιστικό Νέφος δεν έχει εξουσιοδότηση στον χειρισμό των κινητών συσκευών παρά μόνο επικοινωνία και στην ανταλλαγή δεδομένων.
- Αποτελεσματικότητα στην επεξεργασία: Το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος όπως αναφέρθηκε διαθέτει πολύ μεγάλη επεξεργαστική ισχύ και γενικότερα υπολογιστικούς πόρους που καταστούν δυνατή την αποτελεσματική επεξεργασία διαδικασιών και εκτέλεσης εφαρμογών. Εάν το περιβάλλον της εφαρμογής της κινητής συσκευής βρίσκεται προ-εγκατεστημένο σε μια δομή του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα κατευθείαν χωρίς να χρειαστεί να εκτελεστούν καθόλου στο κινητό. Ακόμη και σε απλά αιτήματα χωρίς την χρήση πολύπλοκων εφαρμογών η επεξεργασία δεδομένων δεν γίνεται στο ίδιο το κινητό αλλά στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος. Επομένως αιτήματα και εφαρμογές που χρειάζονται να εκτελεστούν σε περιβάλλοντα με ισχυρούς επεξεργαστές μπορούν να μεταφερθούν με τεχνολογίες που θα αναφέρουμε σε επόμενες παραγράφους αλλά και να εκτελεστούν εκτός των κινητών συσκευών.

- Ευκολία ανταλλαγής δεδομένων: Μια μεγάλη ποσότητα δεδομένων είναι αποθηκευμένη στο Νέφος και διακινείται ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών αλλά και των μηχανισμών που διαθέτει. Αναφερόμαστε σε δεδομένα τύπου προσωρινής μνήμης (cache) όπου είναι άμεσα διαθέσιμα χωρίς επεξεργασία σε απλά αιτήματα χρηστών. Όταν χρειαστούν δεδομένα διαφορετικά, το εύρος ζώνης είναι αρκετό ώστε να ανακτηθούν γρήγορα από διαφορετικές τοποθεσίες ακόμη και το μέγεθος είναι μεγάλο. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ταχύτητα των ασύρματων και ενσύρματων σημερινών συνδέσεων καθώς όπως θα αναλύσουμε και παρακάτω μπορούν να εξυπηρετήσουν πολλούς χρήστες ταυτόχρονα αλλά και να μεταφέρουν μεγάλους όγκους δεδομένων.
- Γεωγραφική Επέκταση (Mobility): Το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος εξαλείφει τους γεωγραφικούς περιορισμούς καθώς ο χρήστης μπορεί να αιτηθεί υπηρεσίες και να εξυπηρετηθεί από οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό είναι από τα πιο βασικά χαρακτηριστικά καθώς ο συνδυασμός των δυο εννοιών του Υπολογιστικού Νέφους και των τεχνολογιών των ασύρματων και κινητών δικτύων έχει ως αποτέλεσμα την γεφύρωση τους και την εξυπηρέτηση του χρήστη και από τις δυο σκοπιές. Έτσι χρησιμοποιώντας τις τεχνολογίες κινητών και ασύρματων δικτύων, ο χρήστης ενός κινητού μπορεί να συνδέεται μέσω αυτών στο Υπολογιστικό Νέφος. Δεν χρειάζεται να βρίσκεται σε ένα σταθερό μέρος, δεν χρειάζεται να έχει άριστη συνδεσιμότητα (τουλάχιστον για μια απλή εξυπηρέτηση) και γενικά δεν περιορίζεται στο μέρος στο οποίο βρίσκεται. Μπορεί για παράδειγμα να βρίσκεται στο κέντρο της πόλης και να εξυπηρετείται μέσω μιας ασύρματης σύνδεσης WiFi ή να βρίσκεται στην κορυφή ενός βουνού και να συνδέεται μέσω μιας σύνδεσης 3G. Και στις δυο περιπτώσεις εάν χρειαστεί να μετακινηθεί, το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος μέσω των μηχανισμών που διαθέτει και θα αναλύσουμε σε επόμενα κεφάλαια μπορεί να τον εξυπηρετήσει καθώς η κάλυψη των δικτύων που μπορεί να συνδεθεί ο χρήστης είναι μεγάλης εμβέλειας.



Εικόνα 5: Κάλυψη διαφορετικών ασύρματων δικτύων (Wikipedia, 2015)

2.5 Αρχιτεκτονική του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους

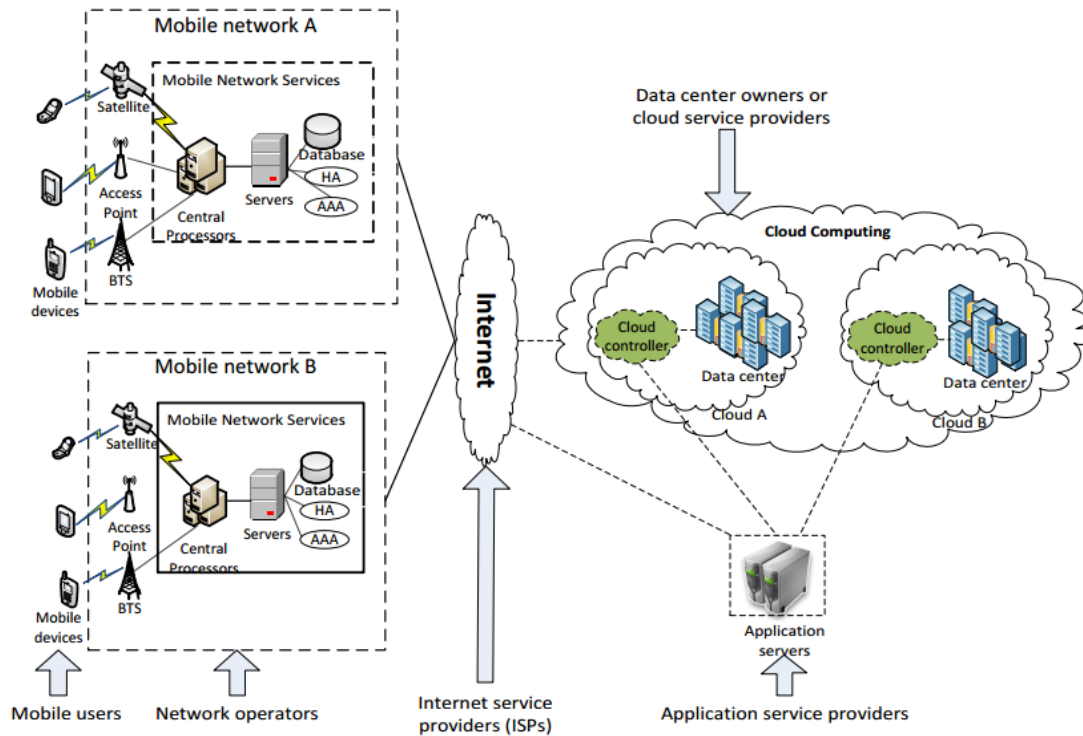
Ένα σύστημα Κινητού Υπολογιστικού Νέφους είναι ένα κατακευμαμένο σύστημα δικτύου μεγάλης κλίμακας το οποίο διατηρεί επικοινωνία με έναν αριθμό από διακομιστές σε διαφορετικά κέντρα δεδομένων. Όσον αφορά την αρχιτεκτονική του οι υπηρεσίες του υπολογιστικού νέφους κατατάσσονται γενικά σε μια ιδέα διαφορετικών στρωμάτων-επιπέδων και αναλύεται ως εξής (Hoang T. Dinh et al., 2011; S. Patel, 2013):

2.5.1 Γενικό Μοντέλο Λειτουργίας

Οι κινητές συσκευές αρχικά συνδέονται με τα κινητά δίκτυα μέσω των σταθμών βάσεων. Οι σταθμοί βάσης (για παράδειγμα ένας δορυφόρος ή ένα σημείο πρόσβασης-access point) ελέγχουν τις συνδέσεις μεταξύ των δικτύων και των κινητών συσκευών όπου εγκαθιστούν και τις συνδέσεις τους. Η σύνδεση μπορεί να είναι μέσω ασύρματων δικτύων (για παράδειγμα WiFi, GSM ή LTE). Όταν λοιπόν ένας χρήστης κινητής συσκευής αιτηθεί κάποιες πληροφορίες ή αιτηθεί εκτέλεση κάποιας εργασίας, διαβιβάζονται οι πληροφορίες του χρήστη (όπως το αναγνωριστικό της συσκευής ή η τοποθεσία του χρήστη) στους τοπικούς επεξεργαστές, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με τους κεντρικούς επεξεργαστές που παρέχουν την αιτηθείσα δικτυακή υπηρεσία. Σε αυτό το σημείο, η υπηρεσία που παρέχεται στον χρήστη

από τον πάροχο κινητής τηλεφωνίας ακολουθεί το πρωτόκολλο AAA²(Authentication, Authorization, Accounting) βασισμένα στον HA(Home Agent) και εκεί τα αιτήματα των χρηστών αποθηκεύονται στις βάσεις δεδομένων.

Μετά από αυτό, τα διάφορα αιτήματα των χρηστών μεταφέρονται σε ένα Υπολογιστικό Νέφος με την βοήθεια του Διαδικτύου. Στο Υπολογιστικό Νέφος, οι κεντρικοί ελεγκτικοί επεξεργαστές Νέφους, επεξεργάζονται τα αιτήματα ανάλογα με τα αιτήματα των κινητών χρηστών ώστε να επιλέξουν τις αντίστοιχες υπηρεσίες Υπολογιστικού Νέφους. Αυτές οι υπηρεσίες ανήκουν σε κάποιον πάροχο και έχουν αναπτυχθεί με τις έννοιες όπως το Υπολογιστικής Χρονομίσθωσης, Εικονικοποίησης πόρων και τις Υπηρεσιοστρεφείς Αρχιτεκτονικές (π.χ., οι εξυπηρετητές ιστού, εφαρμογών και βάσεων δεδομένων). Εκεί λοιπόν γίνεται η εκτέλεση των εργασιών που αιτήθηκε ο χρήστης και παράγονται οι ζητούμενες πληροφορίες.



Εικόνα 6: Αρχιτεκτονική Κινητού Υπολογιστικού νέφους (Hoang T. Dinh et al., 2011)

² Ο Όρος Authentication, Authorization, Accounting (AAA) είναι μια τεχνολογία αυθεντικοποίησης η οποία ελέγχει την πρόσβαση σε υπολογιστικούς πόρους, επιβάλλοντας πολιτικές ασφαλείας και τιμολογιακού ελέγχου για να παρέχει τελικά πληροφορίες που είναι απαραίτητες στον χρήστη (Cisco Systems, 2013)

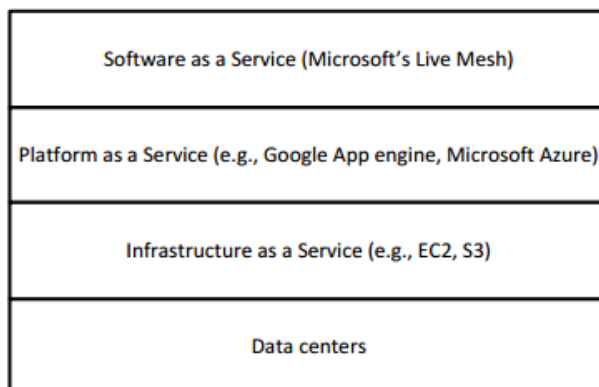
Η αρχιτεκτονική του κινητού Υπολογιστικού Νέφους μπορεί να διαφοροποιείται ανάλογα με τις διάφορες συνθήκες και απαιτήσεις. Όμως η αρχιτεκτονική των τεσσάρων επιπέδων συνηθίζεται να χρησιμοποιείται διότι αποδεικνύεται η αποτελεσματικότητα του στις απαιτήσεις χρηστών (Hoang T. Dinh et al., 2011).

2.5.2 Επίπεδα Αρχιτεκτονικής

Τα τέσσερα αυτά επίπεδα αρχιτεκτονικής αναλύονται ως:

- Επίπεδο κέντρων δεδομένων (Data centers layer): Αυτό το επίπεδο προσφέρει τον εξοπλισμό, τους υλικούς πόρους και την υλικοτεχνική υποδομή για το Υπολογιστικό Νέφος. Σε αυτά τα κέντρα δεδομένων, ένας μεγάλος αριθμός από διακομιστές είναι συνδεδεμένος με δίκτυα υψηλών ταχυτήτων μεταφοράς δεδομένων ώστε να μπορούν να παρέχουν άμεσα υπηρεσίες στους χρήστες. Συνήθως, τα κέντρα δεδομένων είναι φτιαγμένα σε αραιοκατοικημένες περιοχές, με καλή και σταθερή παροχή ρεύματος καθώς και μικρότερης πιθανότητας φυσικών καταστροφών.
- Επίπεδο Υποδομής σαν υπηρεσία (IaaS - Infrastructure as a Service): Αυτό το επίπεδο βρίσκεται υψηλότερα από το επίπεδο των κέντρων δεδομένων. Σε αυτό το επίπεδο δίνεται η δυνατότητα της πρόσβαση σε πλατφόρμες υλικού, που περιλαμβάνουν τα μηχανήματα, το δίκτυο και τα αποθηκευτικά μέσα. Οι χρήστες εδώ χρησιμοποιούν την υποδομή νοικιάζοντας την υπολογιστική ισχύ, τους χώρους αποθήκευσης αλλά και τους υπόλοιπους πόρους ώστε να τους χρησιμοποιούν σύμφωνα με τις ανάγκες τους. Έτσι ανάλογα με τις ανάγκες τους υπάρχει η δυνατότητα αύξησης των πόρων ή μείωσης καθώς όλη η υποδομή στηρίζεται σε εικονικές πλατφόρμες υλικού.
- Επίπεδο Πλατφόρμας σαν Υπηρεσία (PaaS - Platform as a Service): Αυτό το επίπεδο παρέχει πρόσβαση σε ένα προγραμματιστικό περιβάλλον ή σε ένα περιβάλλον εργασίας, με δυνατότητα επεκτάσιμης υπολογιστικής ισχύος και δομές δεδομένων ενσωματωμένες σε αυτό. Οι χρήστες μπορούν να αναπτύξουν και να εκτελέσουν τις δικές τους εφαρμογές μέσα στο περιβάλλον που τους παρέχεται από τον πάροχο της υπηρεσίας
- Επίπεδο Λογισμικού σαν υπηρεσία (SaaS – Software as a Service): Σε αυτό το επίπεδο δίνεται η δυνατότητα πρόσβασης σε μια συλλογή από εφαρμογές λογισμικού. Οι πάροχοι των συγκεκριμένων επιπέδων προσφέρουν πρόσβαση σε συγκεκριμένες εφαρμογές που ελέγχονται και εκτελούνται στην υποδομή τους. Οι

χρήστες από την μεριά τους μπορούν να έχουν πρόσβαση σε μια εφαρμογή και σε πληροφορίες μέσα από το διαδίκτυο και να πληρώνουν μόνο ότι χρησιμοποιούν.



Εικόνα 7: Υπηρεσιοστρεφής αρχιτεκτονική του υπολογιστικού νέφους (Hoang T. Dinh et al., 2011)

2.5.3 Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα Επικοινωνίας

Όπως αναφέραμε σε προηγούμενες παραγράφους, βασικό χαρακτηριστικό των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών είναι η επικοινωνία της κινητής συσκευής μέσω ασύρματου δικτύου. Πολλές ασύρματες τηλεπικοινωνιακές αρχιτεκτονικές έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια, πολλά από τα οποία έχουν σχεδιαστεί ειδικά για την χρήση από τις κινητές συσκευές. Θα γίνει μια μικρή παρουσίαση κάποιων ασύρματων δικτύων καθώς τα περισσότερα από αυτά δίνουν την δυνατότητα σύνδεσης των κινητών συσκευών με το Υπολογιστικό Νέφος. (Markus Schüring, 2011; Hoang T. Dinh et al., 2011).

- **GSM, GPRS και EDGE:** Ιστορικά με την ανάπτυξη του ψηφιακού συστήματος Δεύτερης Γενιάς (2G) γνωστό και ως GSM (Global System for Mobile Communications) η παγκόσμια παραγωγή άλλαξε πολύ. Το σύστημα GSM ή κατά την ελληνική ορολογία Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών χρησιμοποιεί την ζώνη συχνοτήτων των 900 MHz. Εξαιρέση αποτελούν τα GSM δίκτυα σε Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και Καναδά που λειτουργούν στα 850 MHz και/ή στα 1800 MHz. Όσον αφορά τους ρυθμούς μετάδοσης στα κανάλια κίνησης, αυτοί διαφέρουν και κυμαίνονται στα 9600 bit/s ανάλογα με το δίκτυο. Με την ανάπτυξη του ευρυζωνικού internet το σύστημα GSM αναπτύχθηκε σε σύστημα GPRS με μέγιστες ταχύτητες έως 171 kbit/s. Με την πάροδο του χρόνου αυτό αναπτύχθηκε περαιτέρω σε EDGE με μέγιστες ταχύτητες 384kbit/s.
- **UMTS:** Το UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) αποτελεί μια τεχνολογία Τρίτης Γενιάς (3G) κινητής τηλεφωνίας. Έχει προτυποποιηθεί από το 3GPP

και χρησιμοποιεί ως βαθύτερο πρότυπο το W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access). Σημειώνεται και ως 3GSM για να δώσει έμφαση στο συνδυασμό της 3G φύσης της τεχνολογίας του και του GSM προτύπου. Το UMTS μπορεί να υποστηρίξει ταχύτητες έως 384kbit/s.

- **LTE:** Η συνέχιση της προόδου της τεχνολογίας από το GSM και το UMTS μέσω του 3GPP οδηγήθηκε στα LTE συστήματα. Αποτελείται από τεχνολογίες τέταρτης γενιάς (4G) και είναι πλέον από τα πιο διαδεδομένα συστήματα επικοινωνίας κινητών συσκευών με τα διαδίκτυο. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές οι ελάχιστοι ρυθμοί μετάδοσης για το LTE είναι τουλάχιστον 100Mbps για την κάτω ζεύξη και 50Mbps για την άνω ζεύξη και η μέγιστη καθυστέρηση με επιστροφή υπολογίζεται στα 10 ms. Έτσι καταλαβαίνουμε πως εφαρμογές που απαιτούν μεταφορές μεγάλου όγκου δεδομένων και ταχύτητας μπορούν να εκτελούνται με επιτυχία σε δίκτυα LTE.
- **Wireless LAN:** Το IEEE 802.11 είναι μια οικογένεια προτύπων της IEEE για ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) που είχαν ως σκοπό να επεκτείνουν το 802.3 (Ethernet, το συνηθέστερο πρωτόκολλο ενσύρματης δικτύωσης υπολογιστών) στην ασύρματη περιοχή. Τα πρότυπα 802.11 είναι ευρύτερα γνωστά ως «WiFi» επειδή η WiFi Alliance, ένας οργανισμός ανεξάρτητος της IEEE, παρέχει την πιστοποίηση για τα προϊόντα που υπακούν στις προδιαγραφές του 802.11. Αυτή η οικογένεια πρωτοκόλλων αποτελεί το καθιερωμένο πρότυπο της βιομηχανίας στο χώρο των ασύρματων τοπικών δικτύων. Ο όρος WiFi (Wireless Fidelity, κατά την ορολογία High Fidelity η οποία αφορά την εγγραφή ήχου) χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τις συσκευές που βασίζονται στην προδιαγραφή IEEE 802.11 b/g/n και εκπέμπουν σε συχνότητες 2.4GHz. Ωστόσο το WiFi («ασύρματη πιστότητα» στα ελληνικά) έχει επικρατήσει και ως όρος αναφερόμενος συνολικά στα ασύρματα τοπικά δίκτυα.

Πίνακας 1: Συνήθεις ταχύτητες Ασύρματων και Κινητών Δικτύων (Wikipedia, 2015)

Όνομασία	Ταχύτητα άνω ζεύξης	Ταχύτητα κάτω ζεύξης
GSM	9.6Kbps	9.6Kbps
GPRS	35Kbps	171kbps
EDGE	120Kbps	384Kbps
UMTS	384Kbps	2Mbps
LTE	22 Mbit/s	28 Mbit/s
Wireless LAN	19 Mbit/s	19 Mbit/s

Κεφάλαιο 3: Πλεονεκτήματα και Προβλήματα στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος

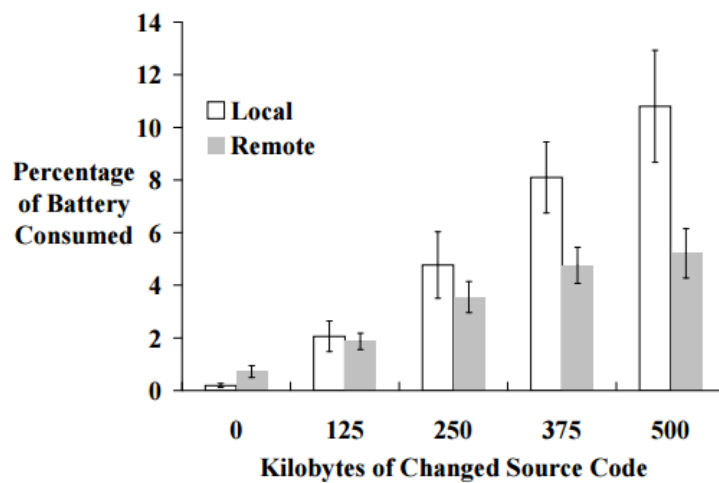
3.1 Πλεονεκτήματα Mobile Cloud Computing

Οι υπολογιστές πλέον αποτελούν μία από τις μεγαλύτερες επιστήμες και ευρέσεις στην ιστορία. Είναι δεδομένο πλέον ότι έχουνε αλλάξει δραματικά τον κόσμο καθώς σε κάθε τομέα της ζωής του ανθρώπου υπάρχει κάποιο είδος υπολογιστικής δύναμης. Αν σκεφτούμε ότι μόλις πριν λίγες δεκαετίες η τεχνολογία της κινητής τηλεφωνίας εμφανίστηκε στο προσκήνιο μπορούμε να καταλάβουμε ότι οι υπολογιστές εξελίσσονται και τροποποιούνται σύμφωνα με τις ανάγκες των χρηστών. Έτσι η κύρια πρόκληση για τον κινητό υπολογισμό είναι η δυνατότητα εργασίας από οπουδήποτε καθώς και η επικοινωνία με άλλους χωρίς γεωγραφικά περιθώρια. (G. Deepak, 2012)

Αναγνωρίζοντας τα χαρακτηριστικά του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους που αναφέραμε σε προηγούμενη ενότητα, μπορούμε να παραθέσουμε ορισμένα από τα πλεονεκτήματά που προσφέρουν τόσο στους χρήστες όσο και στους παρόχους αυτών.

1. **Επέκταση διάρκειας ζωής μπαταριών:** Οι μπαταρίες είναι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των κινητών συσκευών καθώς και ο κύριος παράγοντας σταθερής και αδιάλειπτης λειτουργίας τους. Πολλές λύσεις έχουν προταθεί για να βελτιώσουν την επεξεργαστική ισχύ, να διαχειριστούν την κατανάλωση οθόνης και γενικά να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας στο ελάχιστο. Ωστόσο αυτές οι προτάσεις υποστηρίζονται μόνο αν γίνουν μεγάλες και διαρθρωτικές αλλαγές στην αρχιτεκτονική κάτι το οποίο οδηγεί σε μεγαλύτερη δαπάνη καθώς και στον κίνδυνο να μην είναι συμβατές με τις περισσότερες συσκευές. Η τεχνική της υπολογιστικής αποφόρτωση (offloading) προτείνεται σε τέτοιες περιπτώσεις όπου ο κύριος στόχος της είναι η μεταφορά των σύνθετων υπολογισμών και διαδικασιών, από το ίδιο το κινητό, στους διακομιστές του Υπολογιστικού Νέφους. Έτσι αποφεύγεται η εκτέλεση πολύπλοκων εφαρμογών στις κινητές συσκευές καθώς αυτό οδηγεί στην μεγάλη κατανάλωση ενέργειας της μπαταρίας. Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της τεχνικής αυτής παρουσιάζει πολύ θετικά αποτελέσματα. Αποδεικνύεται ότι μπορεί να εξοικονομηθεί σε ορισμένες περιπτώσεις έως και το 45% της κατανάλωσης ενέργειας. Επισημαίνεται ένα πείραμα όπου η αποτελεσματικότητα της παραπάνω τεχνικής έχει σημαντικά θετικά αποτελέσματα. Στην παρακάτω εικόνα χρησιμοποιήθηκε κινητή υπολογιστική μονάδα όπου αρχικά εκτελέστηκε εφαρμογή

τοπικά και δεύτερον με την τεχνική της υπολογιστικής εκφόρτωσης σε απομακρυσμένο διακομιστή. Οι μετρήσεις εμφανίζονται ανάλογα με την κατανάλωση μπαταρίας σε σχέση με την αλλαγή του πηγαίου κώδικα (σε μέγεθος). Το αποτέλεσμα παρουσιάζει την αποτελεσματικότητα της ζωής της μπαταρίας κατά 45% όσο εμπλουτιζόταν ο πηγαίος κώδικας, δηλαδή τα δεδομένα που αποστέλλονταν στον απομακρυσμένο διακομιστή (Rudenko, 2008). Ο Hoang T. Dinh παρουσιάζει άλλα δυο πειράματα όπου σε τεχνικές επεξεργασίας εικόνας και εκτέλεσης παιχνιδιού σκάκι μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα στην κατανάλωση μπαταρίας 41% και 45% αντίστοιχα (Hoang T. Dinh et al., 2011).



Εικόνα 8: Κατανάλωση μπαταρίας εφαρμογής που εκτελείται τοπικά και σε απομακρυσμένο διακομιστή (Rudenko, 2008).

Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναλύσουμε περαιτέρω την λειτουργία της υπολογιστικής αποφόρτωσης καθώς είναι ένα μια από τις σημαντικότερες λειτουργίες των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών.

- Επέκταση αποθηκευτικού χώρου και βελτίωση επεξεργαστικής ισχύος:** Ο αποθηκευτικός χώρος των κινητών συσκευών είναι επίσης ένα μεγάλο εμπόδιο. Η τεχνολογία του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους έχει αναπτυχθεί έτσι ώστε πρωτίστως να δώσει πρόσβαση στους χρήστες έτσι ώστε να μπορούν να αποθηκεύουν μεγάλους όγκους δεδομένων στο Υπολογιστικό Νέφος μέσω ασύρματων δικτύων. Υπάρχουν πολλές εμπορικές εφαρμογές οι οποίες έχουν ως στόχο την αποθήκευση δεδομένων άμεσα. Μπορούμε ενδεικτικά να αναφέρουμε παραδείγματα όπως το Amazon Simple Storage Service, το Image Exchange το Flickr και το Shozu. Οι υπηρεσίες που προσφέρουν είναι κυρίως αποθήκευσης εικόνων και

μάλιστα απευθείας αποθήκευσης από την στιγμή που θα αποτυπωθεί από την φωτογραφική μηχανή του κινητού. Οι εικόνες μπορούν να διαμοιραστούν σε άλλους χρήστες (πάντα με την συγκατάθεση του ιδίου) όπως γίνεται και με την εφαρμογή του κοινωνικού δικτύου Facebook. Το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος επίσης βοηθά στη μείωση του κόστους σε κάποιες πολύπλοκες εφαρμογές που όταν εκτελούνται σε συσκευές περιορισμένων πόρων δαπανείται χρόνος και ενέργεια της μπαταρίας. Μπορεί αποτελεσματικά να υποστηρίξει διάφορες εργασίες αποθήκευσης δεδομένων, διαχείρισης και συγχρονισμού πολλών εγγράφων, μετατροπές αρχείων σε άλλη μορφή, ή την αναμετάδοση υπηρεσιών πολυμέσων στις κινητές συσκευές. Σε αυτές τις περιπτώσεις, όλοι οι σύνθετοι υπολογισμοί όταν εκτελούνται στην κινητή συσκευή δαπανείται χρόνος και ενέργεια όπως αναφέρθηκε αλλά όταν εκτελούνται στο Υπολογιστικό Νέφος μπορούν να γίνουν πολύ γρήγορα χωρίς να χρειάζεται κατανάλωση της μπαταρίας του κινητού. (Hoang T. Dinh et al., 2011).

Πίνακας 2: Σύγκριση εμπορικών εφαρμογών αποθήκευσης Υπολογιστικού Νέφους (Wikipedia, 2015)

Όνομασία εφαρμογής	Συνολικός δωρεάν χώρος (ανά χρήστη)	Μέγιστο μέγεθος αρχείου	Πρόσβαση από κινητό τηλέφωνο
Amazon Cloud Drive	5GB	-	Android, IOS, Windows Phones
Dropbox	2GB	-	Android, IOS, Windows Phones
Google Drive	15GB	5GB	Android, Windows Phones
Apple iCloud	5 GB	1GB	IOS
Mediafire	10 GB	10B	Android, IOS
OneDrive	15 GB	10GB	Android, Windows Phones

3. **Αποτελεσματικότητα:** Η αποθήκευση των δεδομένων καθώς και η εκτέλεση των εφαρμογών στο Υπολογιστικό Νέφος είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος ώστε να βελτιωθεί η αξιοπιστία. Μειώνεται η πιθανότητα καταστροφής των δεδομένων λόγω της ευαισθησίας των κινητών συσκευών. Επιπλέον, το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος έχει την δυνατότητα να παρέχει μοντέλα ασφαλείας τόσο για τους παρόχους υπηρεσιών όσο και για τους ίδιους χρήστες. Για παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί τεχνική ασφαλείας πνευματικών δεδομένων ώστε να προστατευτούν πνευματικά κατοχυρωμένα ψηφιακά αρχεία όπως βίντεο και μουσική, από ανεξέλεγκτη και παράνομη αναδιανομή τους. Επίσης, μπορεί να παρέχει στους χρήστες τις υπηρεσίες ασφάλειας από μακριά, όπως την ανίχνευση ιών και κακόβουλων λογισμικών και κώδικα. (Hoang T. Dinh et al., 2011).
4. **Φορητότητα (Mobility freedom):** Όπως αναφέραμε και στα χαρακτηριστικά των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών οι χρήστες του μπορούν να έχουν την ευελιξία να μετακινούνται οπουδήποτε θέλουν όποτε θέλουν χωρίς να χρειάζεται να είναι δεσμευμένοι σε μια συγκεκριμένη θέση. Αυτό σημαίνει πως ανά πάσα στιγμή και σε οποιαδήποτε σημείο γεωγραφικό (εντός κάλυψης βέβαια) μπορούν να εξυπηρετούνται. Οι χρήστες επωφελούνται από την δυνατότητα αυτή χρησιμοποιώντας εφαρμογές απαιτητικές σε υπολογιστικούς πόρους, μια δυνατότητα που το κινητό τους δεν μπορεί να τους την προσφέρει λόγω έλλειψης πόρων. Η φορητότητα έχει και ως αποτέλεσμα την εξυπηρέτηση το χρήστη από διαφορετικούς παρόχους δίνοντας την δυνατότητα στον χρήστη να μην δεσμεύεται ή να εξαρτάται από έναν και μόνο προμηθευτή (S. Patel, 2013). Επίσης όταν αναφερόμαστε στο ζήτημα της φορητότητας μπορούμε να σημειώσουμε και την δυνατότητα εξυπηρέτησης του χρήστη από διαφορετικές κινητές υπολογιστικές συσκευές. Ο Satyanarayanan παρουσιάζει σενάρια χρήσης της φορητότητας στα Κινητά Υπολογιστικά Νέφη όπου δίνει την δυνατότητα χρήσης της ίδιας εφαρμογής από πολλούς χρήστες, διαφορετικών κινητών συσκευών που είναι απαιτητικές σε επεξεργαστική ισχύ (Satyanarayanan & Mahadev, 2011):
- **Σενάριο εξαφανισμένου παιδιού:** Η εφαρμογή της αστυνομίας δίνει την δυνατότητα στους χρήστες της ευρύτερης περιοχής να έχουν πρόσβαση σε μια πληθώρα φωτογραφιών για αναγνώριση. Επίσης οι χρήστες μπορούν να αποστέλλουν φωτογραφίες για αναγνώριση. Η εφαρμογή αναλαμβάνει την αποθήκευση και την επεξεργασία αυτών.

- **Σενάριο ιατρού εκτός νοσοκομείου:** Ιατρός Α βρίσκεται εκτός νοσοκομείου ενώ την ίδια στιγμή εκτελείται χειρουργείο όπου κάποιος άλλος γιατρός Β χρειάζεται την άποψη του σε ένα θέμα επέμβασης. Ο ιατρός Β μέσω της εφαρμογής τηλεϊατρικής αποστέλλει την εικόνα της εγχείρησης, τις ζωτικές πληροφορίες του ασθενή αλλά και την πρόσβαση στο ιστορικό του. Ο ιατρός Α μέσω της εφαρμογής στο κινητό, του δίνεται η δυνατότητα να κάνει μια διάγνωση. Μπορεί επίσης λόγω του προβλήματος της μικρής οθόνης να χρησιμοποιήσει μια εξωτερική τηλεόραση για μεγαλύτερη ευκρίνεια.
- **Σενάριο Καταστροφής από σεισμό:** Σε μια περιοχή όπου προκλήθηκε ένας καταστροφικός σεισμός, επικρατεί πανικός και η επικοινωνίες μέσω τηλεφωνικών καλωδίων είναι αδύνατες. Η περιοχή είναι αγνώριστη και οι δυνάμεις διάσωσης δεν γνωρίζουν την περιοχή πλέον και δεν μπορούν να κινηθούν γρήγορα και με ασφάλεια. Εφαρμογή στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος δίνει την δυνατότητα αποστολής φωτογραφιών με γεωγραφικά στίγματα και άλλες πληροφορίες με σκοπό την δημιουργία ενός χάρτη και φωτογραφιών τύπου “Πανόραμα” προς χρήση των δυνάμεων διάσωσης.



Εικόνα 9: Δημιουργία φωτογραφίας "Πανόραμα" στην Αϊτή το 2010

Και τα τρία σενάρια φανερώνουν την δυνατότητα χρήσης εφαρμογών και επεξεργασίας δεδομένων στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος σε οποιαδήποτε μέρος αλλά και σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

5. **Επιχειρησιακά οφέλη:** Όσον αφορά τις επιχειρήσεις μπορούμε να πούμε πως ανοίγει νέους ορίζοντες. Οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών και οι εταιρίες παροχής υπηρεσιών Υπολογιστικού Νέφους μπορούν να επωφεληθούν οικονομικά από τις παροχές που μπορούν να διαθέσουν στους χρήστες. Επίσης προγραμματιστές και εταιρίες προγραμματισμού έχουν στην διάθεσή τους ένα νέο πεδίο δημιουργίας εφαρμογών. (S. Patel,2013). Εφαρμογές βέβαια μπορούν να αναπτυχθούν και στους τομείς του εμπορίου, της ηλεκτρονικής μάθησης, της υγείας καθώς και των ηλεκτρονικών παιχνιδιών. (Hoang T. Dinh et al., 2011)

Επιπλέον τα Κινητά Υπολογιστικά Νέφη κληρονομούν μερικά από τα πλεονεκτήματα των Υπολογιστικών Νεφών όπως περιγράφονται παρακάτω: Επεκτασιμότητα, Χρονομίσθωση, Εύκολη αναζήτηση κατάλληλων υπηρεσιών (Hoang T. Dinh et al., 2011)

- **Επεκτασιμότητα**: Οι εφαρμογές και οι υπηρεσίες που ζητάει ο χρήστης μπορούν να χρησιμοποιήσουν κάποιους συγκεκριμένους πόρους. Εάν χρειαστεί λόγω τις πολυπλοκότητας των υπολογισμών ή λόγω διάφορων άλλως παραγόντων να επεκταθούν οι υπολογιστικοί πόροι που χρησιμοποιούνται, τότε το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος μπορεί να τα παρέχει αυτή τη δυνατότητα.
- **Χρονομίσθωση**: Οι πάροχοι των υπηρεσιών του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους μπορούν να εκμεταλλευτούν τις εγκαταστάσεις τους και να μισθώνουν την χρήση τους. Έτσι μπορούν να εξυπηρετούν ταυτόχρονα πολλές συσκευές και να μισθώνουν τις υπηρεσίες τους σε ένα μεγάλο κοινό.
- **Εύκολη αναζήτηση κατάλληλων υπηρεσιών**: Οι χρήστες μπορούν να αιτηθούν μέσα από μια μεγάλη γκάμα υπηρεσιών από τους παρόχους του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους. Λόγω της αρχιτεκτονικής του, μπορούν πολλοί πάροχοι να παρέχουν διαφορετικές υπηρεσίες με αποτέλεσμα οι χρήστες να μπορούν να εξυπηρετηθούν ανάλογα με τις δικές τους ανάγκες προσωπικά..

3.2 Προβλήματα στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες παραγράφους, τα Κινητά Υπολογιστικά Νέφη παρέχουν στους χρήστες τους πολλά πλεονεκτήματα. Ωστόσο, επειδή η συγκεκριμένη τεχνολογία αποτελείται από δυο τεχνολογικά πεδία, τα Υπολογιστικά Νέφη και τα Κινητά Δίκτυα., τα Κινητά Υπολογιστικά Νέφη αντιμετωπίζουν μια σειρά προβλημάτων και προκλήσεων. Μπορούμε λοιπόν να διαχωρίσουμε τις κατηγορίες των προβλημάτων σε δύο μέρη. Στα προβλήματα των κινητών και ασύρματων δικτύων καθώς και στα προβλήματα από Υπολογιστικής πλευράς (Hoang T. Dinh et al., 2011).

3.2.1 Προβλήματα Ασύρματων και Κινητών Δικτύων

3.2.1.1 Χαμηλό Εύρος Ζώνης:

Το εύρος ζώνης είναι ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στα Κινητά Υπολογιστικά Νέφη καθώς δημιουργούν πολλά ζητήματα στις ασύρματες επικοινωνίες. Είναι δεδομένο πως όταν ένας σταθμό βάσης προσπαθήσει να εξυπηρετήσει έναν υπερβολικά μεγάλο αριθμό

χρηστών ταυτόχρονα, οι χρήστες δεν θα μπορούν να έχουν την ποιότητα που επιθυμούν, τουλάχιστον όχι όλοι. Αυτό βέβαια εξαρτάται και από το είδος σύνδεσης του κινητού με τον σταθμό βάσης (για παράδειγμα 3G ή WiFi) καθώς και από το είδος του περιεχομένου που αιτείται ο χρήστης.

Στην επόμενη εικόνα μπορούμε να δούμε διάφορες εφαρμογές που μπορούν να εκτελεστούν σε κινητές συσκευές καθώς και την υπολογιστική ισχύ που χρειάζονται, το εύρος ζώνης και την λανθάνουσα καθυστέρηση. Παρατηρούμε πως οι περισσότερες σύγχρονες εφαρμογές έχουν την ανάγκη γρήγορης σύνδεσης στο διαδίκτυο καθώς και απαιτούν αρκετή υπολογιστική ισχύ. Έτσι καταλαβαίνουμε πως η ανάγκη για ένα υψηλό εύρος ζώνης ώστε οι κινητές συσκευές να μπορούν να επικοινωνούν πολύ γρήγορα με το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος είναι επιτακτική.

Applications	Compute intensity	Network bandwidth	Network latency
Web-mail (Yahoo!,Gmail)	Low	Low	High
Social networking (Facebook)	Low	Medium	Medium
Web browsing	Low	Low	High
Online gaming	High	Medium	Low
Augmented reality	High	Medium	Low
Face recognition	High	Medium	Low
HD video streaming	High	High	Low
Language translation	High	Medium	Low

Εικόνα 10: Ανάγκες ταχύτητας δικτύου εφαρμογών (P&S Gupta, 2012)

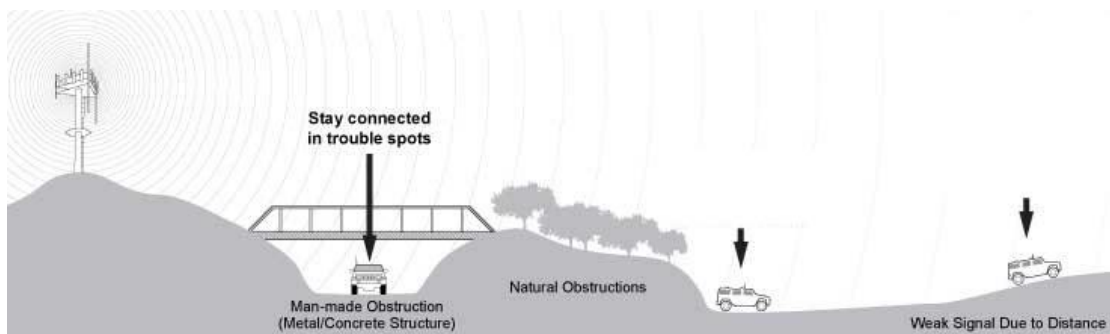
Ένα σενάριο χρήσης που περιλαμβάνει πληθώρα χρηστών σε συγκεκριμένη περιοχή αναλύει ο Hoang T. Dinh και παραθέτει κάποια αποτελέσματα σε σχέση με τα προβλήματα χαμηλού εύρους ζώνης. Υποθέτουμε ότι σε ένα στάδιο διεξάγεται ένας αγώνας και κάποιοι χρήστες επιθυμούν να έχουν πρόσβαση σε συγκεκριμένο περιεχόμενο (για παράδειγμα ένα βίντεο με το τελευταίο γκολ). Σε αυτή την περίπτωση μια κοντινή υποδομή Υπολογιστικού Νέφους με την συγκεκριμένη πληροφορία προσωρινά αποθηκευμένη θα μπορούσε να τους εξυπηρετήσει. Βέβαια αν οι χρήστες επιθυμούν διαφορετικές πληροφορίες σε περιορισμένη χρονική στιγμή, τότε έχουμε πρόβλημα στο εύρος ζώνης και οι χρήστες δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν κατάλληλα, τουλάχιστο όχι όλοι.

Καταλαβαίνουμε λοιπόν πως σε πολλές περιπτώσεις, ανάλογα με το υπάρχον δίκτυο, την συνδεσιμότητα του κινητού με το δίκτυο καθώς και το πλήθος των χρηστών σε συγκεκριμένες περιοχές το εύρος ζώνης επηρεάζεται σημαντικά.

3.2.1.2 Διαθεσιμότητα:

Η διαθεσιμότητα είναι ένα από τα βασικότερα στοιχεία στα Κινητά Υπολογιστικά Νέφη. Πολλές φορές οι χρήστες δεν μπορούν να έχουν άμεση πρόσβαση στο Υπολογιστικό Νέφος καθώς προβλήματα συνδεσιμότητας δημιουργούν δύσκολη έως αδύνατη την πρόσβαση. Επομένως καταλαβαίνουμε πως μια όχι τόσο σταθερή σύνδεση καθώς και η δυσκολία σύνδεσης των κινητών τερματικών σημαίνει και αδυναμία εκτέλεσης εφαρμογών ή πιο απλά αποστολής και λήψης στοιχείων που έχουν άμεση σχέση με το Υπολογιστικό Νέφος.

Η αδυναμία συνδεσιμότητας πολλές φορές οφείλεται και σε τοπικούς παράγοντες όπως φυσικά εμπόδια (για παράδειγμα ψηλά κτήρια, βουνά) ή ακόμη και σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Σε κάθε περίπτωση αν ένα δίκτυο που υποστηρίζει το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος δεν έχει σχεδιαστεί σωστά, δεν θα μπορέσει και να λειτουργήσει σωστά. Έχουν προταθεί κάποιες τεχνικές έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το συγκεκριμένο πρόβλημα. Η βασική πρόταση περιλαμβάνει την χρήση γειτονικών πόρων που μπορούν να συνδεθούν στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος. Έτσι η σύνδεση μετατρέπεται σε ένας είδος ad-hoc καθώς η επικοινωνία δεν είναι απευθείας αλλά διαμέσου άλλης μονάδας. Αυτό βέβαια δεν μπορεί να πραγματοποιείται πάντα καθώς υπάρχουν και προβλήματα όπως η μη ύπαρξη τους σε όλες τις περιοχές καθώς και το φαινόμενο των θορυβωδών γειτόνων όπου καθιστούν την επικοινωνία δυσκολότερη.



Εικόνα 11: Πρόβλημα διαθεσιμότητας κινητού τερματικού (Amazon.com, 2014)

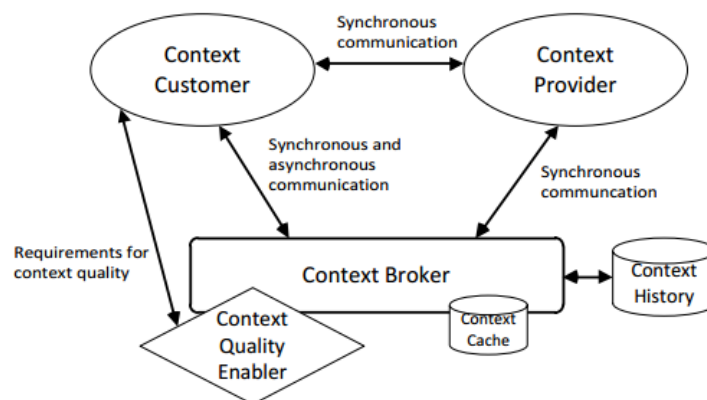
Στην προηγούμενη εικόνα μπορούμε να δούμε το συγκεκριμένο πρόβλημα της διαθεσιμότητας σε μια περιοχή. Παρατηρούμε ότι εμπόδια όπως μια μεγάλη γέφυρα, το ύψος ενός βουνού, ένα πυκνό δάσος καθώς και η απόσταση από τον σταθμό βάσης καθιστούν δύσκολη την επικοινωνία.

3.2.1.3 Ετερογένεια:

Στα κινητά Υπολογιστικά Νέφη έχουμε πολλούς και διαφορετικούς τύπους συνδέσεων των κινητών συσκευών με τους πομπούς βάσης. Η τεχνολογίες όπως έχουμε αναφέρει μπορούν να περιλαμβάνουν 3G, 4G, WCDMA, GPRS, WiFi και WLAN. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται πρόβλημα στην διαχείριση τόσων διαφορετικών τύπων συνδέσεων.

Ο Klein και οι συνεργάτες του προτείνουν μια έξυπνη αρχιτεκτονική συνδέσεων για τους χρήστες των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών. Αυτή η αρχιτεκτονική έχει δημιουργηθεί με βάση το μοντέλο των IRNA (Intelligent Radio Network Access). Αυτό είναι ένα αποτελεσματικό μοντέλο το οποίο έχει να κάνει με την ετερογένεια των δικτύων. Για να εφαρμοστεί το μοντέλο αυτό στα Κινητά Υπολογιστικά Νέφη πρέπει να εφαρμοστεί μαζί με την βοήθεια μιας Context Management Architecture έτσι ώστε να γίνεται μια διαχείριση των διαφορετικών πληροφοριών. Πιο συγκεκριμένα μπορούμε να δούμε την παρακάτω εικόνα όπου αυτή η αρχιτεκτονική περιλαμβάνει τρία στοιχεία, τον context provider, τον context broker και τον context consumer.

Σε αυτή την αρχιτεκτονική, όταν ο context consumer επιθυμεί να επικοινωνήσει με έναν context provider, ο context consumer αιτείται το Uniform Resource Identifier (URI) από τους context providers στον context broker. Χρησιμοποιώντας αυτό το URI, ο context consumer μπορεί να επικοινωνήσει απευθείας με τον context provider και να ζητήσει δεδομένα. Ως εκ τούτου αυτή η διαδικασία αυξάνει την ταχύτητα παράδοσης των δεδομένων. Επιπλέον, όταν ο context quality enabler λαμβάνει τα απαιτούμενα για την καλή ποιότητα από τον context consumer, ο context quality enabler θα φιλτράρει τα URI από τους context providers η οποίοι δεν είναι κατάλληλοι με το απαιτούμενο επίπεδο ποιότητας. Έτσι, αυτή η αρχιτεκτονική επιτρέπει την διαχείριση της ποιότητας ανάλογα με τις απαιτήσεις των context consumers.



Εικόνα 12: Αρχιτεκτονική διαχείρισης Context

Σε επόμενο κεφάλαιο θα δούμε αναλυτικότερα την συγκεκριμένη αρχιτεκτονική καθώς το πρόβλημα της ετερογένειας είναι ένα από τα βασικότερα προβλήματα στα Κινητά Υπολογιστικά Νέφη.

3.2.2 Προβλήματα από Υπολογιστικής πλευράς

3.2.2.1 Αποτελεσματικότητα Υπολογιστικής Αποφόρτωσης (Offloading):

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες παραγράφους, η υπολογιστική αποφόρτωση είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών ώστε να αυξηθεί η διάρκεια ζωής μπαταρίας καθώς και της αποτελεσματικής απόδοσης των εφαρμογών. Ωστόσο, υπάρχουν πολλά ακόμη σχετικά προβλήματα στα οποία περιλαμβάνεται η αποδοτική υπολογιστική αποφόρτωση ανάλογα με περιβαλλοντικές αλλαγές.

Η τεχνική της Υπολογιστικής Αποφόρτωσης δεν είναι πάντα η καλύτερη επιλογή. Μπορεί όπως έχουμε αναφέρει να φέρει πολλά θετικά αλλά σε μερικές περιπτώσεις και λαμβάνοντας πολλούς παράγοντες δεν μπορούμε να πούμε το ίδιο. Για παράδειγμα, όταν μια εφαρμογή είναι μικρή σε μέγεθος και χρειαστεί ένα τμήμα κώδικα να μεταφερθεί στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος ο χρόνος μεταφοράς με τον χρόνο εκτέλεσης στο ίδιο το κινητό μπορεί να είναι ίδιο μπορεί και μεγαλύτερος. Σε ένα άλλο παράδειγμα, υπάρχει περίπτωση η επικοινωνία μεταξύ του κινητού τερματικού με τον σταθμό βάσης να μην είναι η καλύτερη δυνατή και να υπάρχουν προβλήματα συνδεσιμότητας. Η αναμονή για καλύτερη σύνδεση ώστε να επιλεγεί η συγκεκριμένη τεχνική είναι προφανώς λανθασμένη τακτική.

Έτσι μπορούμε να πούμε πως είναι ένα βασικό πρόβλημα η επιλογή της Υπολογιστικής Αποφόρτωσης. Οι τεχνικές που πρέπει να ελέγχουν και τελικά να την επιλέγουν πρέπει να απαντούν τρία βασικά ερωτήματα: το πότε, το τι και το πώς. Δηλαδή πότε η τεχνική της Υπολογιστικής Αποφόρτωσης είναι κατάλληλη να επιλεγεί, τι ακριβώς πρέπει να μεταφερθεί στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος και με ποιόν τρόπο πρέπει να γίνει αυτό. Μια πολύ σημαντική και ενδιαφέρουσα πρόταση παρουσιάζει ο Satyanarayanan όπου εισάγει την υποδομή των Cloudlets. Αυτή η υποδομή έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε η τεχνική της Υπολογιστικής Αποφόρτωσης να γίνεται πρώτα σε κοντινά Cloudlets. Η συγκεκριμένη υποδομή θα αναλυθεί περαιτέρω στο επόμενο κεφάλαιο.

3.2.2.2 Ασφάλεια

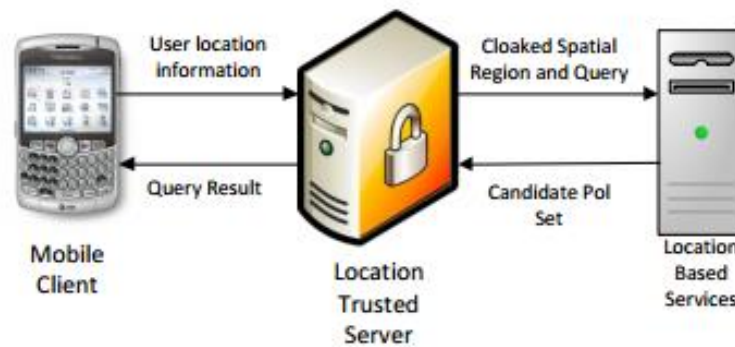
Η ασφάλεια των χρηστών καθώς και τα δεδομένα τους είναι το βασικό κλειδί ώστε να μπορούν να εμπιστεύονται την πλατφόρμα των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών. Υπάρχουν

όμως κάποια προβλήματα που έχουν να κάνουν με την ασφάλεια και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στην ασφάλεια των χρηστών και στην ασφάλεια των δεδομένων.

3.2.2.2.1 Ασφάλεια των χρηστών:

Όσον αφορά την ασφάλεια των χρηστών στις κινητές συσκευές, οι χρήστες συνήθως χρησιμοποιούν εφαρμογές και προγράμματα αντιμετώπισης ιών και κακόβουλων λογισμικών καθώς είναι εύκολα στην εγκατάσταση και την χρήση τους. Από την άλλη πλευρά είναι γνωστό ότι οι κινητές συσκευές αδυνατούν να αντιμετωπίσουν οργανωμένες επιθέσεις από μεγαλύτερα υπολογιστικά συστήματα καθώς δεν έχουν την επεξεργαστική ισχύ και την διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Έτσι η αναγνώριση ενός κακόβουλου λογισμικού στο κινητό γίνεται δύσκολα από το ίδιο και πρέπει να απευθυνθεί στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος. Το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος έχει όλα τα εργαλεία και την υπολογιστική ισχύ να αντιμετωπίσει το κακόβουλο λογισμικό καθώς είναι πάντα ενημερωμένο. Από την άλλη όμως το πρόβλημα βρίσκεται στην συνεχή επικοινωνία και ανάγνωση των περιεχομένων της κινητής συσκευής καθώς έχει επίπτωση στην διάρκεια ζωής της μπαταρίας αλλά και στην προϋπόθεση της σταθερής επικοινωνίας. Επομένως όταν συζητάμε για ασφάλεια των χρηστών στις κινητές συσκευές πρέπει να χρησιμοποιούμε εργαλεία χαμηλής επεξεργαστικής ισχύς στις ίδιες καθώς και μια συνεχή και σταθερή επικοινωνία με το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος για βοήθεια.

Ένα άλλο βασικό στοιχείο για την ασφάλεια των χρηστών είναι η ιδιωτικότητά τους. Στην σημερινή εποχή οι δέκτες GPS βρίσκονται σχεδόν σε όλες τις κινητές συσκευές. Πολλές εφαρμογές επίσης χρησιμοποιούν αυτή την πληροφορία για την παροχή διάφορων υπηρεσιών. Υπάρχουν όμως ζητήματα όταν η τοποθεσία του χρήστη χρησιμοποιείται από διαφορετικές εφαρμογές καθώς μπορεί να γίνει γνωστή και σε τρίτους. Μια προτεινόμενη λύση στα πλαίσια του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους παρουσιάζεται ο διακομιστής ασφαλούς τοποθεσίας (Location Trusted Server – LTS). Ο διακομιστής έχει τον ρόλο του «μεσίτη» στην επικοινωνία μεταξύ του χρήστη και των υπηρεσιών αναγνώρισης τοποθεσίας. Χρησιμοποιεί αλγορίθμους ασφαλείας και κάλυψης της ταυτότητας του χρήστη ώστε να μην αποκαλύπτεται η ταυτότητα του. Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε την συγκεκριμένη λύση με την χρήση του LTS.



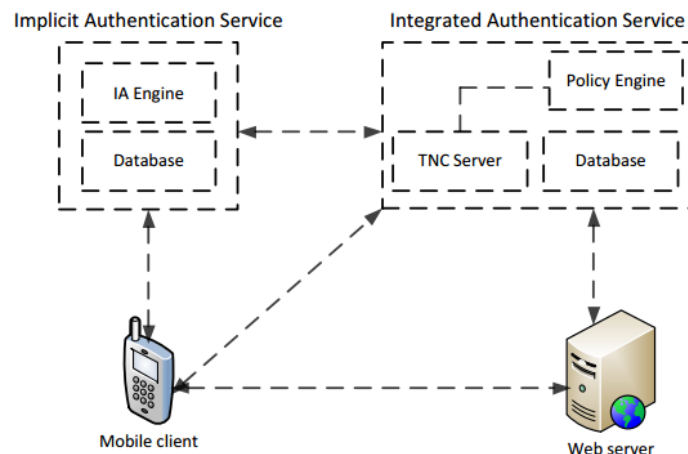
Εικόνα 13: Απόκρυψη ταυτότητας χρήστη με την χρήση LTS

3.2.2.2 Ασφάλεια δεδομένων στο Υπολογιστικό Νέφος:

Οι χρήστες των κινητών συσκευών απολαμβάνουν υπηρεσίες όπως αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων στο Υπολογιστικό Νέφος. Αυτά τα δεδομένα μπορεί να είναι φωτογραφίες, αρχεία εργασίας και άλλα προσωπικά στοιχεία. Καταλαβαίνουμε όμως σε κάτι τέτοιο πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτικοί.

- Ακεραιότητα Δεδομένων:** Η Ακεραιότητα των δεδομένων είναι πολύ σημαντική σε ένα σύστημα που ανταλλάσσει πληροφορίες. Στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος η ανταλλαγή των δεδομένων γίνεται μεταξύ του χρήστη του κινητού και του υπόλοιπου Υπολογιστικού Νέφους. Είναι δεδομένο πως οι χρήστες επιθυμούν να εξασφαλίσουν ότι τα δεδομένα τους έχουν ληφθεί όπως ακριβώς στάλθηκαν χωρίς αλλοιώσεις. Οι τεχνικές λοιπόν που πρέπει να εφαρμόζονται ώστε να εξασφαλίζεται η ακεραιότητα τους πρέπει να έχουν ως στόχο και την ενεργειακή απόδοση. Μια τεχνική που προτείνεται περιλαμβάνει τρία βασικά στοιχεία: τον χρήστη κινητής συσκευής, μια εφαρμογή αποθήκευσης δεδομένων στο Υπολογιστικό Νέφος και μια τρίτη εμπιστευτική δομή. Η επικοινωνία γίνεται σε τρία επίπεδα: την προετοιμασία, την επικαιροποίηση και την επαλήθευση. Στην πρώτη φάση τα δεδομένα τα οποία πρόκειται να αποσταλούν περιλαμβάνουν και ένα μήνυμα αυθεντικοποίησης (MAC_{FX}) το οποίο αποθηκεύεται και τοπικά στην συσκευή. Στην φάση της επικαιροποίησης όταν ένας χρήστης επιθυμεί να έχει πρόσβαση στα δεδομένα του χρησιμοποιείται το συγκεκριμένο μήνυμα έτσι ώστε να γίνει η επαλήθευση και να έχουμε ως αποτέλεσμα την ακεραιότητα των δεδομένων. Επίσης η συγκεκριμένη τεχνική βοηθά στην κατανάλωση μπαταρίας μέχρι και 90%.
- Αυθεντικοποίηση:** Η πρόσβαση σε υπηρεσίες και σε δεδομένα όταν μάλιστα αυτά δεν είναι τοπικά αποθηκευμένα τοπικά πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικά. Η τεχνική της αυθεντικοποίησης είναι αυτή η οποία θα δώσει την πρόσβαση σε έναν χρήστη να

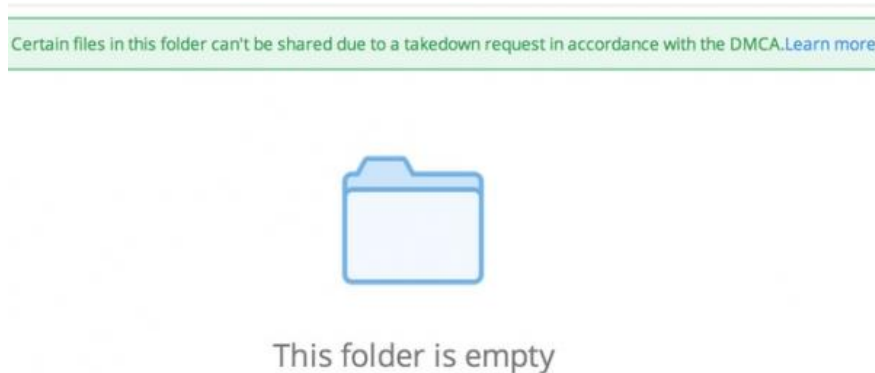
προσπελάσει πληροφορίες. Στα Κινητά Υπολογιστικά Νέφη είναι μια πρόκληση η αυθεντικοποίηση καθώς μιλάμε για πληθώρα χρηστών και δεδομένων λαμβάνοντας υπόψιν παράγοντες όπως η επεξεργαστική ισχύ του κινητού και η κατανάλωση μπαταρίας. Ο Z. Song προτείνει την αρχιτεκτονική του TrustCube (Z. Song, 2009). Στα υπάρχον κινητά συστήματα η εισαγωγή πολύπλοκων κωδικών είναι δύσκολη με αποτέλεσμα να καταφεύγουμε σε κωδικούς μικρής πολυπλοκότητας (για παράδειγμα PIN). Η παρακάτω εικόνα αναλύει την αρχιτεκτονική του TrustCube. Συγκεκριμένα όταν ένας διακομιστής παραλάβει μια αίτηση για πρόσβαση ο ίδιος τον παραπέμπει στο Integrated Authenticated Service μαζί με τις πληροφορίες της αίτησης. Ο IAS παράγει τις πληροφορίες και τις στέλνει μέσω ασφαλούς σύνδεσης στον διακομιστή IA. Ο διακομιστής IA παραλαμβάνει τις πληροφορίες, παράγει μια έκθεση (report) και την στέλνει πάλι πίσω στο IAS. Εκεί ο IAS αποφασίζει εάν ο χρήστης είναι κατάλληλος να προσπελάσει τα συγκεκριμένα δεδομένα και στέλνει το αποτέλεσμα στον πρώτο διακομιστή. Ο διακομιστής με βάση την απάντηση του IAS εκτελεί τις απαραίτητες ενέργειες.



Εικόνα 14: Αρχιτεκτονική του TrustCube (Z. Song, 2009)

- **Ψηφιακά Δικαιώματα:** Τα ψηφιακά αρχεία όπως για παράδειγμα βίντεο, μουσική ή ηλεκτρονικά βιβλία συχνά εμφανίζονται να έχουν αποκτηθεί πειρατικά. Η προστασία των ψηφιακών δικαιωμάτων είναι μια πρόκληση για το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος. Το πρόβλημα εντοπίζεται στην πληθώρα των χρηστών και των ψηφιακών αρχείων καθώς και στην ολοένα και αυξανόμενη χρήση εφαρμογών με περιεχόμενο απευθείας μετάδοσης. Μια λύση η οποία προτείνεται είναι το Phosphor μια πλατφόρμα διαχείρισης ψηφιακών δικαιωμάτων η οποία μπορεί να εφαρμοστεί με την βοήθεια μια κάρτας SIM στην κινητή συσκευή. Η πλατφόρμα όταν ο χρήστης λαμβάνει ένα αρχείο τότε ελέγχει εάν έχει το κλειδί

αποκωδικοποίησης και μπορεί να το αποκωδικοποιήσει επιτυχώς. Βέβαια Καταλαβαίνουμε πως η συγκεκριμένη τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε συσκευές με υποδοχή κάρτας SIM. Όσον αφορά όμως το υπόλοιπο Υπολογιστικό Νέφος υπάρχουν εφαρμογές που αναγνωρίζουν άμεσα αν κάποιο αρχείο προέρχεται από πειρατική πηγή. Για παράδειγμα η εφαρμογή Dropbox αποθήκευσης αρχείων χρησιμοποιεί μια τεχνική γνωστή ως «κατακερματισμό αρχείων που βρίσκονται σε μια μαύρη λίστα» («file hashing against a blacklist») για να εμποδίζει τον διαμοιρασμό των προεπιλεγμένων αρχείων από τους servers της. Από μια άποψη, αυτό που κάνει το Dropbox είναι απλό και αποτελεσματικό αφού με αυτόν τον τρόπο αφ' ενός μεν αποφεύγει τα προβλήματα και αφ' ετέρου δεν εξετάζει ποτέ τα αρχεία των χρηστών. Έτσι, ούτε παραβιάζει την πολιτική της η οποία είναι ενάντια στην παραβίαση αλλά ούτε και διακινδυνεύει να τα βάλει με τον νόμο περί δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. (Gizmodo.com, 2014)



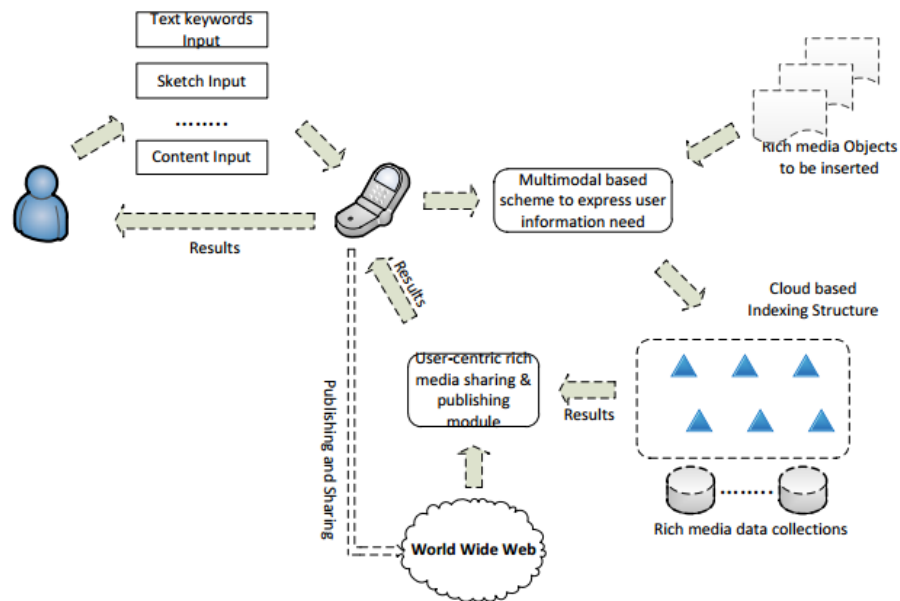
Εικόνα 15: Ειδοποίηση καταπάτησης πνευματικών δικαιωμάτων

3.2.2.3 Αποτελεσματικότητα της πρόσβασης σε δεδομένα:

Με την ραγδαία αύξηση των υπηρεσιών στο Υπολογιστικό Νέφος καθώς και με την χρήση κινητών συσκευών, η χρήση υπηρεσιών και πληροφοριών αυξάνεται συνεχώς. Για το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος είναι πρόκληση η εύκολη πρόσβαση σε πληροφορίες από τους χρήστες οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Όμως η πρόσβαση αυτή δεν είναι συνέχεια εύκολη καθώς όπως αναφέραμε υπάρχουν παράγοντες που το αποτρέπουν. Κυρίως οφείλονται στα δίκτυα επικοινωνίας καθώς μια σταθερή σύνδεση σημαίνει και γρήγορη πρόσβαση αλλά και στους ελάχιστους υπολογιστικούς πόρους των κινητών συσκευών.

Μία λύση που προτείνεται είναι η αρχιτεκτονική E-Recall. Σε αυτή την αρχιτεκτονική όπως παρουσιάζεται και στην παρακάτω εικόνα, υπάρχει ένα σύστημα διαχείρισης, ευρετηρίου, αναζήτησης και διαμοιρασμού των πληροφοριών σε σχέση με τις προσωπικές προτιμήσεις του κάθε χρήστη. Ανάλογα με τις πληροφορίες που επιθυμεί ο κάθε χρήστης,

ένα έξυπνο ευρητήριο χρησιμοποιείται για να κατευθύνει και να επιστρέψει πληροφορίες από το Υπολογιστικό Νέφος στο κινητό. Επίσης μια δεύτερη λύση την οποία θα αναφέρουμε και σε επόμενο κεφάλαιο είναι η αρχιτεκτονική δομή των Cloudlets, όπου εκεί μια κοντινή δομή Υπολογιστικού Νέφους θα μπορεί να εξυπηρετήσει χωρίς καθυστέρηση την προσπέλαση σε δεδομένα.



Εικόνα 16: Αρχιτεκτονική E-Recall

3.2.3 Γενικότερα προβλήματα

3.2.3.1 Κόστος

Η χρήση των Κινητών Υπολογιστικών νεφών περιλαμβάνει την χρήση δυο τεχνολογιών, της κινητής τηλεφωνίας και των Υπολογιστικών Νεφών. Και οι δυο τεχνολογίες έχουν διαφορετικό κόστος χρήσης, διαφορετικές τεχνικές χρέωσης καθώς και πολύπλοκους μηχανισμούς όταν αφορούν συνδυασμό τεχνολογιών. Μια σωστή διαχείριση κοστολόγησης είναι αρκετά δύσκολη και πρέπει να υπολογίζει και τις δυο τεχνολογίες αλλά και τον συνδυασμό αυτών. Για παράδειγμα όταν έχουμε μια εφαρμογή η οποία πρέπει να εκτελεστεί εκτός του κινητού θα πρέπει να γίνει μια μεταφορά δεδομένων στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος. Η μεταφορά των δεδομένων αφορά τον πάροχο κινητής τηλεφωνίας και η επεξεργασία του αφορά το Υπολογιστικό Νέφος και τον πάροχο του. Άρα το κόστος πρέπει να διαιρεθεί κατάλληλα για τον τελικό χρήστη. Επομένως μπορούμε να καταλάβουμε πως πρέπει να αναπτυχθεί ένα επιχειρηματικό μοντέλο που στοχεύει στην σωστή κατανομή χρεώσεων στα Κινητά Υπολογιστικά Νέφη (Hoang T. Dinh et al., 2011).

3.2.3.2 Διαλειτουργικότητα

Η διαλειτουργικότητα αποτελεί ένα πολύ σημαντικό ζήτημα διότι χρήστες κινητών συσκευών επικοινωνούν και γενικότερα αλληλοεπιδρούν συνεχώς με το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος. Οι σημερινές εφαρμογές και οι διεπαφές των κινητών συσκευών βασίζονται ως επί το πλείστον στην HTML. Έτσι, η χρήση εφαρμογών βασισμένες στην HTML μπορεί να μην είναι η καλύτερη επιλογή καθώς δεν έχει σχεδιαστεί με στόχο την αποτελεσματικότητα χρήσης στις κινητές συσκευές. Βέβαια η HTML5 αναμένεται ως μια ελπιδοφόρος τεχνική ώστε να μπορέσει να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα. (Hoang T. Dinh et al., 2011).

3.2.3.3 Νομικά κολλήματα κυριότητας δεδομένων σε διαφορετικές χώρες

Από την στιγμή που οι χρήστες του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους αποφασίζουν να κοινοποιήσουν και να αποστείλουν τα δεδομένα τους, επόμενο είναι να μην έχουν τον απόλυτο έλεγχο πάνω τους. Αυτό συμβαίνει, διότι πλέον τα δεδομένα βρίσκονται στις υποδομές που διαχειρίζονται οι πάροχοι των υπηρεσιών του Υπολογιστικού Νέφους οι οποίοι φροντίζουν για την επεξεργασία τους. Επειδή το Υπολογιστικό Νέφος χρησιμοποιείται από πολλούς χρήστες, οι οποίοι είναι είτε μεμονωμένα φυσικά πρόσωπα, είτε νομικά πρόσωπα, τυχαίνει πολλές φορές οι πάροχοι των υπολογιστικών νεφών να έχουν στην κατοχή τους προσωπικά δεδομένα χρηστών που δεν τους ανήκουν ή σε άλλες περιπτώσεις λόγω δημιουργίας ενός ενιαίου μητρώου, υπάρχει κίνδυνος δημοσιοποίησης των στοιχείων τους σε τρίτα πρόσωπα και μάλιστα εκτός της χώρας στην οποία βρίσκεται ο χρήστης. Έτσι σε μερικές χώρες υπάρχει νομικό κόλλημα ως προς την χρήση των προσωπικών δεδομένων των χρηστών. Αυτό μπορεί να συμβεί σε περιπτώσεις που ζητούν επιβολή του νόμου χώρες της Ε.Ε. ή τρίτες χώρες, και μέσω της επιβολής του νόμου στοχεύουν στην κοινοποίηση των προσωπικών δεδομένων των χρηστών, που είναι αποθηκευμένα στο υπολογιστικό νέφος. Εάν αυτές οι χώρες με τη σειρά τους, δεν διαθέτουν έγκυρη νομική βάση, τότε υπάρχει παραβίαση της νομοθεσίας προστασίας προσωπικών δεδομένων της Ευρωπαϊκής Ένωσης. (Παναγιωτόπουλος, 2011)

Κεφάλαιο 4: Cloudlets

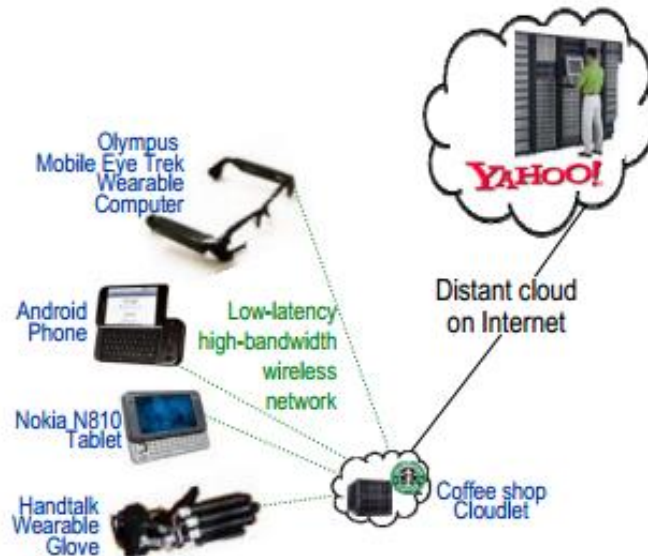
4.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, αρκετές ερευνητικές κατευθύνσεις στοχεύουν στην επίλυση των προβλημάτων που προκύπτουν πάνω στην ανάπτυξη των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών. Εξάλλου η έννοια του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους συνδυάζει δυο βασικές τεχνολογίες, το Υπολογιστικό Νέφος και τις ασύρματες συνδέσεις οπότε τα προβλήματα που προκύπτουν τείνουν να καλύψουν αυτό το “γεφύρωμα”. Ο Satyanarayanan και οι συνεργάτες του προτείνουν μια αρχιτεκτονική στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος η οποία βασίζεται σε εικονικά συστήματα και στοχεύει στην εξάλειψη των προβλημάτων συνδεσιμότητας και κυρίως σε στιγμές που η ανάγκη για εκτέλεση εφαρμογών στο Νέφος είναι άμεση (για παράδειγμα αναγνώριση ομιλίας, επεξεργασία γραφικών, εικονική πραγματικότητα). Σε αυτή την αρχιτεκτονική παρέχεται στον χρήστη η δυνατότητα της εκτέλεσης των εφαρμογών σε, κοντινό για τον χρήστη, Υπολογιστικό Νέφος μικρής έκτασης με περαιτέρω δυνατότητες χρήσης της σταθερής σύνδεσης για την επικοινωνία με το υπόλοιπο Υπολογιστικό Νέφος. (Satyanarayanan et al., 2009). Η αρχιτεκτονική αυτή μπορεί να προσφέρει πολλά οφέλη όχι μόνο στους χρήστες αλλά και στους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους. (Hoang T. Dinh et al., 2011)

4.2 Ορισμός

Το Cloudlet είναι ένα σύμπλεγμα από φυσικούς υπολογιστικούς πόρους, συνδεδεμένοι σε ένα ευρύτερο δίκτυο και στο Ίντερνετ, οι οποίοι είναι διαθέσιμοι στους κοντινούς χρήστες κινητών συσκευών. Όπως επίσης αναφέρετε, το Cloudlet αναλαμβάνει τον ενδιάμεσο σε μια ιεραρχία τριών επιπέδων: Την κινητή υπολογιστική μηχανή, το Cloudlet και το Υπολογιστικό Νέφος (Satyanarayanan et al., 2009). Όταν οι κινητές συσκευές δεν έχουν την δυνατότητα να συνδεθούν άμεσα με το Υπολογιστικό Νέφος (για λόγους ταχύτητας σύνδεσης, γεωγραφικών λόγων κτλ.) μπορούν να συνδεθούν σε ένα κοντινό σε αυτούς Cloudlet και να μεταφέρουν τις εργασίες τους εκεί, καθώς και αν απαιτείται να μεταφερθούν περαιτέρω στο Υπολογιστικό Νέφος, ή στην χειρότερη περίπτωση να βασιστούν στις δικές τους δυνατότητες. Με αυτό τον τρόπο οι χρήστες κινητών συσκευών μπορούν να διαδράσουν έμμεσα με το Υπολογιστικό Νέφος καθώς οι εργασίες του ή οι εφαρμογές του θα μπορέσουν να εκτελεστούν είτε στο Cloudlet είτε σε δεύτερο στάδιο στο Υπολογιστικό Νέφος. Η μεταφορά στο Νέφος όπως αναφέρθηκε γίνεται μέσω γρήγορων ευρυζωνικών ταχυτήτων. (Hoang T. Dinh et al., 2011).

Εσωτερικά ένα Cloudlet μοιάζει με ένα σύμπλεγμα πολλαπλών υπολογιστικών πόρων με συνδέσεις μεγάλων ταχυτήτων στο Ίντερνετ και με υψηλού εύρους ζώνης ασύρματες συνδέσεις. Μπορούμε επίσης να τα παρομοιάσουμε σαν ασύρματους σταθμούς βάσης (Access Points) (S. Patel,2013)



Εικόνα 17: Συνδεσιμότητα στα Cloudlets (Satyanarayanan et al., 2009)

Στις επόμενες παραγράφους θα αναλύσουμε τα χαρακτηριστικά ενός Cloudlet, την αρχιτεκτονική τους και τις τεχνικές που χρησιμοποιούν οι Κινητές υπολογιστικές μηχανές ώστε να επικοινωνήσουν με αυτά και τελικώς με το Υπολογιστικό Νέφος.

4.3 Χαρακτηριστικά ενός Cloudlet

Ένα Cloudlet μπορεί να περιγράφεται μέσω τεσσάρων χαρακτηριστικών τα οποία αναφέρονται στην πολυπλοκότητα των υπολογιστικών πόρων που διαθέτουν, στην διαχείρισή τους, στην συνδεσιμότητα τους, στην ιδιοκτησία τους και στην αρχιτεκτονική με την οποία είναι σχεδιασμένα (Haolianh Wang, 2011).

- **Προ-αποθηκευμένα δεδομένα και εφαρμογές:** Τα Cloudlets ανάλογα με την τοποθεσία στην οποία βρίσκονται μπορούν να περιέχουν προ-αποθηκευμένα δεδομένα και προ-εγκατεστημένες εφαρμογές που ο χρήστης σε εκείνη την γεωγραφική περιοχή χρειάζεται. Για παράδειγμα σε μια ευρύτερη περιοχή που περιέχει αρχαιολογικούς χώρους και μουσεία, υπάρχει η δυνατότητα τοπικής αποθήκευσης στα Cloudlets έτοιμων μεταφράσεων, βίντεο, κειμένων καθώς και εφαρμογές κατάλληλες όπως μετάφρασης.

- **Συνδεσιμότητα και επεξεργαστική δύναμη:** Ένα Cloudlet μπορεί να περιέχει μηχανήματα πολύ δυνατά με την έννοια της επεξεργαστικής ισχύος, μεγάλους αποθηκευτικού χώρου και γενικότερα πόρων. Έτσι μπορεί να εξυπηρετήσει πολλούς χρήστες ταυτόχρονα. Ακόμη η σταθερή του σύνδεση στο διαδίκτυο αλλά και με το υπόλοιπο Υπολογιστικό Νέφος δίνει την δυνατότητα γρήγορης επικοινωνίας και ανταλλαγής δεδομένων.
- **Κοντά στον χρήστη:** Τα Cloudlets είναι αρκετά κοντά στον χρήστη και μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα γρήγορα. Αυτό οφείλεται στις ασύρματες συνδέσεις τύπου WiFi ή WiMax όπου έχουν την δυνατότητα όχι μόνο της μεταφοράς μεγάλων όγκου δεδομένων αλλά και της αμεσότητας στην επικοινωνία χωρίς καθυστέρηση.

Όπως αναλύσαμε, μπορούμε να καταλάβουμε πως ένα Cloudlet αν και βασίζεται, εν μέρει, στην αρχιτεκτονική τους Υπολογιστικού Νέφους παρόλα αυτά υπάρχουν διαφορές που πρέπει να επισημανθούν. Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε τις διαφορές που έχει ένα Cloudlet με ένα Υπολογιστικό Νέφος

	Cloudlet	Cloud
<i>State</i>	Only soft state	Hard and soft state
<i>Management</i>	Self-managed; little to no professional attention	Professionally administered, 24x7 operator
<i>Environment</i>	“Datacenter in a box” at business premises	Machine room with power conditioning and cooling
<i>Ownership</i>	Decentralized ownership by local business	Centralized ownership by Amazon, Yahoo!, etc.
<i>Network</i>	LAN latency/bandwidth	Internet latency/bandwidth
<i>Sharing</i>	Few users at a time	100s-1000s of users at a time

Εικόνα 18: Διαφορές Cloudlet και Υπολογιστικό Νέφους (Satyanarayanan et al., 2009)

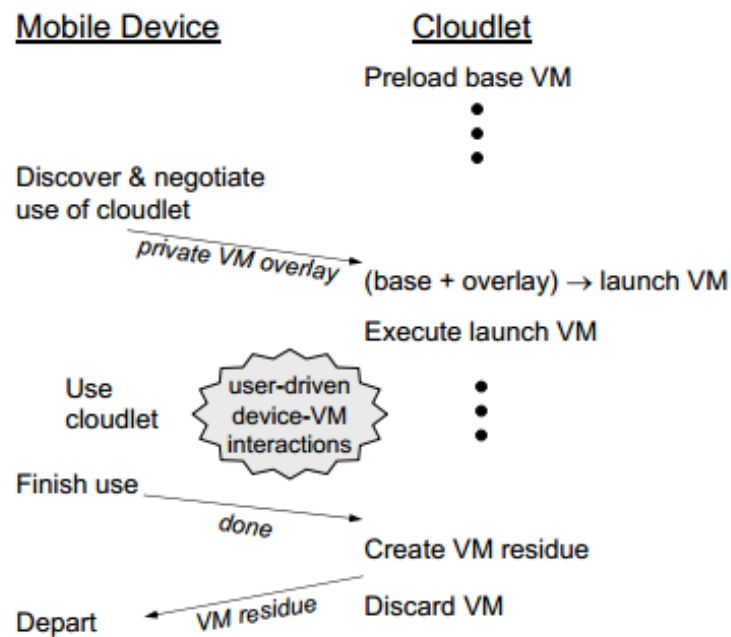
4.4 Αρχιτεκτονική των Cloudlets

Όπως αναφέραμε σε προηγούμενες παραγράφους, ένα Cloudlet αποτελείται από το ενδιάμεσο στρώμα επικοινωνίας μεταξύ της κινητής συσκευής και του Υπολογιστικού Νέφους. Η τεχνική αρχιτεκτονικής που χρησιμοποιείται βασίζεται στην εικονικοποίηση (Virtualization). Η τεχνική της εικονικοποίησης είναι αυτή που θα χρησιμοποιήσει τους υπολογιστικούς πόρους του Cloudlet και θα καταφέρει να τους προσφέρει ανάλογα με τις απαιτήσεις πολλών χρηστών ταυτόχρονα.

Για τον λόγο αυτό υπάρχουν δύο ειδών λογισμικά περιβάλλοντα που διαχωρίζουν το Cloudlet και αναλύονται γενικότερα ως: σταθερό περιβάλλον λογισμικού (Permanent host software environment) και ως φιλοξενούμενο περιβάλλον λογισμικού (Guest software environment). Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην παροδική μετατροπή των υποδομών του Cloudlet δηλαδή στο φιλοξενούμενο περιβάλλον λογισμικού. Εκεί πολλές διεπαφές εφαρμογών κινητών συσκευών είναι προ-εγκατεστημένες και συνεπώς άμεσα διαθέσιμες με την δημιουργία ενός φιλοξενούμενου περιβάλλοντος λογισμικού. Καθώς όμως το συγκεκριμένο περιβάλλον λογισμικού είναι παροδικό, εξασφαλίζεται ότι η αρχική παραμετροποίηση δηλαδή το σταθερό περιβάλλον λογισμικού του Cloudlet και ο “καθαρισμός” μετά την χρήση το επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση, χωρίς κάποιου είδους χειροκίνητης βοήθειας. Επίσης το εικονικό μηχάνημα που δημιουργείται έχει την δυνατότητα να διαχωρίζεται από τους υπόλοιπους υπολογιστικούς πόρους.

Μια ακόμη σημαντική παρατήρηση είναι ότι υπάρχει μια διεπαφή μεταξύ αυτών των δύο λογισμικών, είναι σταθερή, μικρής έκτασης και βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία. Αυτό διαβεβαιώνει ότι ο χρήστης μια κινητής συσκευής θα μπορεί πολύ εύκολα να βρει ένα συμβατό με τις δικές του απαιτήσεις Cloudlet (Satyanarayanan et al., 2009)

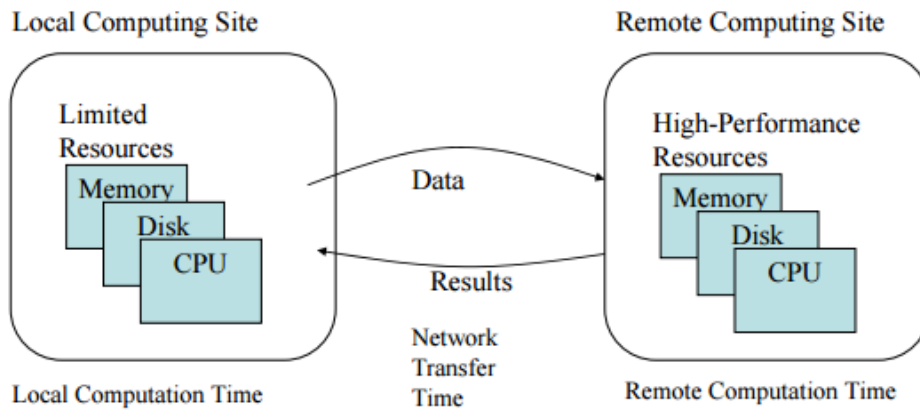
Υπάρχουν δύο ειδών προσεγγίσεις για την δημιουργία εικονικών υπολογιστών από μια συγκεκριμένη δομή υπολογιστικών πόρων. Η πρώτη είναι η τεχνική της Υπολογιστικής Μετακίνησης όπου ένας εικονικός υπολογιστής αρχικά αναστέλλεται της λειτουργίας του, οι υπολογιστικοί του πόροι δεσμεύονται και μεταφέρονται και τελικά ξαναρχίζει την λειτουργία του σε άλλο μέρος. Η άλλη προσέγγιση με την οποία ασχολούμαστε ονομάζεται δυναμική σύνθεση εικονικών υπολογιστών. Στην συγκεκριμένη προσέγγιση η κινητή συσκευή αποστέλλει ένα overlay virtual machine στο Cloudlet. Το Cloudlet χρησιμοποιεί το overlay virtual machine ώστε να εκκινήσει έναν εικονικό υπολογιστή. Για παράδειγμα το λογισμικό στο εικονικό μηχάνημα μπορεί να είναι ένας διακομιστής που λαμβάνει ομιλία από μια κινητή συσκευή, εκτελεί αναγνώριση φωνής και μετάφραση σε μια άλλη γλώσσα και τέλος επιστρέφει το αποτέλεσμα της ομιλίας. Η παρακάτω εικόνα αναλύει την συγκεκριμένη προσέγγιση.



Εικόνα 19: Δυναμική Σύνδεση Εικονικών Υπολογιστών (Satyanarayanan et al., 2009)

4.5 Τεχνική Υπολογιστικής Αποφόρτωσης (Offloading)

Μια χαρακτηριστική τεχνική των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών η οποία αποτελεί και αρχικό βήμα επικοινωνίας των κινητών συσκευών με το Υπολογιστικό Νέφος είναι η τεχνική της Υπολογιστικής Αποφόρτωσης (Offloading). Η Υπολογιστική Αποφόρτωση είναι μια λύση που προτείνεται για την ελάφρυνση των περιορισμών των πόρων των κινητών συσκευών όπου ένα μέρος της εκτέλεσης ή ολόκληρες εφαρμογές μπορούν να μεταφερθούν από τις κινητές συσκευές σε άλλες πολύ πιο δυνατές υπολογιστικές δομές ώστε να εκτελεστούν ταχύτερα (Kumar et al., 2013). Στην περίπτωση των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών, η Υπολογιστική Αποφόρτωση αναφέρεται στην μεταφορά της εκτέλεσης των εργασιών των κινητών συσκευών στο Υπολογιστικό Νέφος. Η ταχεία ανάπτυξη της ασύρματης συνδεσιμότητας των κινητών συσκευών έχει δημιουργήσει ένα έδαφος ανάπτυξης της συγκεκριμένης τεχνικής. Τα βασικά βήματα και ερωτήματα που ακολουθούνται σε αυτή την τεχνική είναι ο κατάλληλος χρόνος επιλογής της τεχνικής, το περιεχόμενο που πρέπει να αποφορτωθεί καθώς και πώς πρέπει να εφαρμοστεί η συγκεκριμένη διαδικασία. (Haoliang Wang, 2013).



Εικόνα 20: Υπολογιστική Αποφόρτωση (R. Wolski et.al, 2008)

- **Περιεχόμενο Υπολογιστικής Αποφόρτωσης:** Προφανώς σε πολλές περιπτώσεις δεν μπορεί να υλοποιηθεί η τεχνική της Υπολογιστικής Αποφόρτωσης. Πριν την υλοποίηση, το πρόγραμμα πρέπει να τμηματοποιηθεί. Η τμηματοποίηση θα περιλαμβάνει δεδομένα του προγράμματος, ρυθμίσεις του χρήστη αλλά και τμήματα κώδικα. Πολλές φορές μπορεί κάποια στοιχεία να επιλεγθούν από την κρίση του χρήστη ώστε να ακολουθήσουν την παραπάνω πορεία. Έτσι μπορούμε να πούμε πως οι διαφορετικές προσεγγίσεις δηλαδή χρησιμοποιώντας την κρίση του χρήστη ή τις αυτοματοποιημένες διαδικασίες μπορούν να έχουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα.
- **Χρόνος Υλοποίησης:** Οι εφαρμογές αποτελούνται από διαφορετικά στοιχεία καθώς και διαφορετικές ενεργειακές καταναλώσεις στα κινητά των χρηστών. Η μέθοδος της Υπολογιστικής Αποφόρτωσης πρέπει να υλοποιείται με βάση αυτές τις οπτικές καθώς η επέκταση της αποτελεσματικότητας και η ελάχιστη δυνατή ενεργειακή κατανάλωση είναι από τους κύριους στόχους της.
- **Μέθοδος Υλοποίησης:** Η ανάπτυξη των εικονικών υπολογιστικών συστημάτων και των αναδύμενων Υπολογιστικών Νεφών προσφέρει δυναμικές, ευέλικτες και εύκολα διαχειρίσιμες πλατφόρμες υλοποίησης της μεθόδου της Υπολογιστικής Αποφόρτωσης. Βέβαια ανάλογα με τα διάφορα λειτουργικά συστήματα και τις υπάρχουσες υπολογιστικές εφαρμογές μπορεί να επιλεγθεί και διαφορετική υλοποίηση.

Αυτά ήταν τα βασικά ερωτήματα που πρέπει να ακολουθούνται. Όμως εδώ αναφερόμαστε μόνο σε σχεδιασμό. Το βασικό κομμάτι είναι η τελική υλοποίηση της τεχνικής. Η υλοποίηση περιλαμβάνει μια σειρά βημάτων όπου το Υπολογιστικό Νέφος πρέπει να αναλάβει να ακολουθήσει.

Αρχικά οι εφαρμογές των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών πρέπει να κάνουν ορισμένες διαδικασίες προτού να προβούν στην υλοποίηση της υπολογιστικής Αποφόρτωσης. Αρχικά γίνεται ένας αρχικός υπολογισμός για τον συνολικό όγκο δεδομένων που θα απαιτηθεί, στον συνολικό χρόνο και γενικά στους πόρους που μπορεί να χρειαστούν. Ο χρήστης δίνει μέσω της εφαρμογής την έγκριση του αιτήματος κοινοποίησης των δεδομένων τους. Αυτό μπορεί να γίνει είτε σαν μήνυμα είτε σαν προεπιλογή της εφαρμογής κατά την εγκατάσταση. Οι πόροι οι οποίοι απαιτούνται για την εκτέλεση της εργασίας ειδοποιούνται με σκοπό να υπάρξει ένας υπολογισμός των ελεύθερων πόρων. Εκείνη την στιγμή οι μηχανισμοί απόφασης ενεργοποιούνται και λαμβάνουν απόφαση εάν η μέθοδος της Υπολογιστικής Αποφόρτωσης είναι κατάλληλη για την συγκεκριμένη ενέργεια. Εάν είναι τότε συνεχίζει αλλιώς η ενέργεια εκτελείται τοπικά στο κινητό. Και στις δυο περιπτώσεις ο χρήστης έχει την δυνατότητα επιλογής λαμβάνοντας υπόψη την ιδιωτικότητα των δεδομένων του, την μπαταρία του κινητού του και γενικά παράγοντες που έχουν σχέση με αυτόν. Για παράδειγμα, εάν ο χρήστης επιθυμεί να εξοικονομήσει ενέργεια προφανώς θα επιλέξει να χρησιμοποιήσει τις δομές του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους, ενώ σε περιπτώσεις όπου δεν έχει άριστη συνδεσιμότητα και τα δεδομένα τα οποία πρέπει να αποσταλούν είναι πολλά η μέθοδος που τελικά θα επιλέξει είναι η εκτέλεση στο κινητό του. Σε μια άλλη περίπτωση εάν η χρήση δικτύου Wifi δεν είναι εφικτή και πρέπει να ενεργοποιηθεί η μεταφορά μέσω δικτύου 4G υπάρχει το θέμα της κοστολόγησης. Έτσι μπορούμε να καταλάβουμε πώς τύπος σύνδεσης και κόστος μπορούν να επηρεάσουν την μέθοδο της Υπολογιστικής Αποφόρτωσης (Cuervo, 2010).

Όπως έχει εξηγηθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, η μέθοδος της Υπολογιστικής Αποφόρτωσης είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα του κινητού υπολογιστικού νέφους για να βελτιώσει τη διάρκεια ζωής μπαταρίας για τις κινητές συσκευές και για να αυξήσει την απόδοση των εφαρμογών. Όμως υπάρχουν πολλά σχετικά ζητήματα, συμπεριλαμβανομένου της αποδοτικής της εφαρμογής κάτω από διαφορετικούς παράγοντες. Όταν για παράδειγμα το μέγεθος των δεδομένων της εφαρμογής είναι μικρό, η κατανάλωση για την μεταφοράς της είναι περισσότερη. Επομένως, είναι ένα κρίσιμο πρόβλημα για τις κινητές συσκευές ώστε να καθορίσουν πότε θα υλοποιηθεί, ποια στοιχεία της εφαρμογής θα επιλεγθούν ώστε να βελτιώσουν την ενεργειακή αποδοτικότητα. Σε κάθε περίπτωση όμως η

σημερινή τεχνολογία κατευθύνεται σε μεθόδους Υπολογιστικής Αποφόρτωσης στις οποίες θα επωφελείται ένας μεγάλος αριθμός χρηστών.

4.6 Πλεονεκτήματα Cloudlets

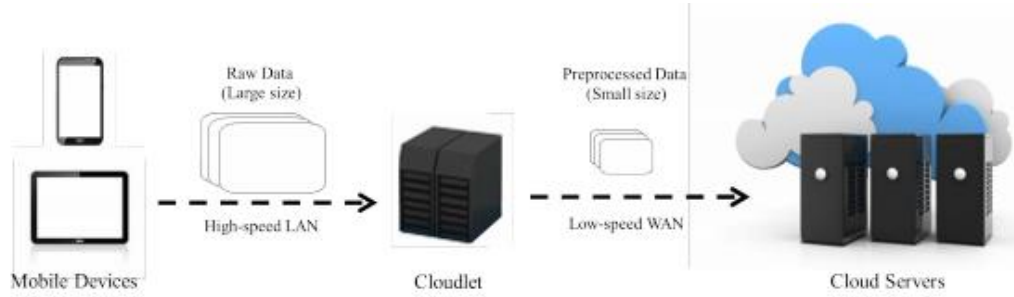
Τα βασικά σημεία όπου μια δομή Cloudlet μπορεί να βοηθήσει στην διαδικασία της εκτέλεσης εργασιών στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος όσον αφορά τον χρόνο εκτέλεσης και το συνολικό αποτέλεσμα συνοψίζονται σε τρία πλεονεκτήματα (Haoliang Wang, 2013). Στην Προ-επεξεργασία, στην Κρυφή Μνήμη και στον Χρονοπρογραμματισμό.

4.6.1 Προεπεξεργασία (Preprocessing)

Τα Cloudlets μπορούν να χρησιμοποιήσουν καλύτερα τους δικούς τους υπολογιστικούς πόρους έτσι ώστε να προεπεξεργαστεί το μέγεθος των δεδομένων τα οποία θα σταλούν μέσω διαδικτύου στο Υπολογιστικό Νέφος. Έτσι η λανθάνουσα καθυστέρηση αποστολής δεδομένων μπορεί να μειωθεί αρκετά.

Οι κινητές συσκευές όταν επιλέγουν την μέθοδο της Υπολογιστικής Αποφόρτωσης (offload) των δεδομένων και των εργασιών στο Υπολογιστικό Νέφος, συνήθως πρέπει να αποστείλουν μεγάλους όγκους δεδομένων μέσω διαδικτύου. Αυτό αποτελεί πρόβλημα διότι αυξάνεται η λανθάνουσα καθυστέρηση, οι εφαρμογές καθυστερούν υπερβολικά και δεν επιτυγχάνεται ο στόχος του πραγματικού χρόνου και ανταπόκρισης. Η προεπεξεργασία, απλή ή σύνθετη, μπορεί να εφαρμοστεί στους μεγάλους όγκους δεδομένων. Ωστόσο, λόγω της περιορισμένης υπολογιστικής δύναμης και μπαταρίας των κινητών συσκευών, η προεπεξεργασία σε αυτές είναι άχρηστη.

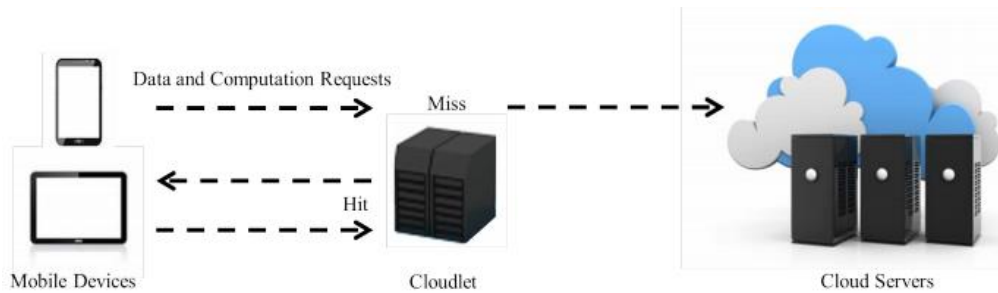
Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, προσθέτοντας ένα Cloudlet σε κοντινή απόσταση στην κινητή μονάδα και αναμεσά στην επικοινωνία της με το Υπολογιστικό Νέφος, οι κινητές συσκευές μπορούν να αποφορτώσουν τις διαδικασίες της προεπεξεργασίας στο Cloudlet μέσω ασύρματου δικτύου Wi-Fi. Η δομή του Cloudlet μπορεί να επιταχύνει δραματικά την προεπεξεργασία λόγω της υπολογιστικής δύναμης που διαθέτει και της σταθερής σύνδεσης που διαθέτει με το Υπολογιστικό Νέφος. Η λανθάνουσα καθυστέρηση στο διαδίκτυο μειώνεται επίσης δραματικά με αποτέλεσμα να έχουμε ένα γενικότερο θετικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 21: Προεπεξεργασία σε δομή Cloudlet

4.6.2 Κρυφή Μνήμη (Caching)

Τα Cloudlets μπορούν να χρησιμοποιήσουν τον μεγάλο αποθηκευτικό χώρο που διαθέτουν ώστε να έχουν αποθηκευμένο ένα κομμάτι της βάσης δεδομένων του Υπολογιστικού Νέφους με αποτέλεσμα κατάλληλο πληροφορίες να μπορούν να μεταφερθούν άμεσα στην κινητή υπολογιστική μηχανή χωρίς την διαμεσολάβηση του Υπολογιστικού Νέφους όταν αυτό ζητηθεί. Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει την συγκεκριμένη τεχνική.



Εικόνα 22: Caching on Cloudlet

Οι περισσότερες από τις εφαρμογές και τις πληροφορίες αυτές βασίζονται σε γεωγραφικά στοιχεία. Για παράδειγμα σε μια περιοχή μπορεί να γίνει μια φωτογράφιση και ένα κινητό να απαιτήσει την αναγνώριση προσώπων ή μνημείων. Είναι πολύ πιθανόν πολλές συσκευές, ακόμη και ταυτόχρονα, να απαιτήσουν την αναγνώριση αυτή. Αντί λοιπόν να αποστέλλονται συνεχώς τέτοια αιτήματα στο Υπολογιστικό Νέφος, τα αποτελέσματα μπορούν να αποθηκεύονται στο Cloudlet και να γίνεται η αναγνώριση πολύ γρήγορα. Έτσι μειώνεται η καθυστέρηση στην εξυπηρέτηση πολλαπλών συσκευών ταυτόχρονα καθώς και η αναμονή ανταπόκρισης από το Υπολογιστικό Νέφος.

4.6.3 Χρονοπρογραμματισμός (Scheduling)

Τα cloudlets έχουν την δυνατότητα να χρονοπρογραμματίζουν τις υπολογιστικές δομές τους έτσι ώστε να μπορούν να εξυπηρετήσουν ταυτόχρονα πολλαπλές κινητές συσκευές. Έχουν δηλαδή την δυνατότητα να κατανέμουν τους υπολογιστικούς πόρους τους με ένα σύστημα χρονικής κατανομής ανάλογα με την ποσότητα των εργασιών που ζητούνται, ώστε να εκτελεστούν γρήγορα και χωρίς προβλήματα.

Όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη παράγραφο, όταν μια κινητή συσκευή αποφορτώσει στο Υπολογιστικό Νέφος, συνήθως υπάρχουν πολλοί διακομιστές που μπορούν να εξυπηρετήσουν και μάλιστα με διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως ταχύτητα δικτύου ή αποθηκευτικό χώρο. Αντί λοιπόν να επιλέγεται ένας τυχαίος διακομιστής, οι κινητές συσκευές επιλέγουν τον διακομιστή που θα μπορέσει να τους εξυπηρετήσει. Αυτό γίνεται μέσα από ένα σύστημα καταγραφής το οποίο αποθηκεύει την κατάσταση των εξυπηρετητών, την ποιότητα επικοινωνίας και άλλα στοιχεία ποιητικής ανταπόκρισης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα κάποιοι εξυπηρετητές να παραμένουν ανενεργοί και κάποια να λειτουργούν συνεχώς στα μέγιστα επίπεδα. Έτσι καταλαβαίνουμε πως κάποια υπολογιστικοί πόροι μένουν ανενεργοί και αχρησιμοποίητοι, μειώνοντας την αποτελεσματικότητα του Υπολογιστικού Νέφους.

Με την παρούσα τεχνολογία που προτείνεται, οι κινητές συσκευές μπορούν να διαμοιράζονται το σύστημα καταγραφής που εμφανίζει τους καταλληλότερους διακομιστές προς εξυπηρέτηση μέσα από το Cloudlet. Έτσι το Cloudlet λειτουργεί σαν συντονιστής των πολλών συσκευών που επιθυμούν να εκτελέσουν μια εφαρμογή στο Υπολογιστικό Νέφος με αποτέλεσμα την καλύτερη εξυπηρέτηση πολλών συσκευών ταυτόχρονα.

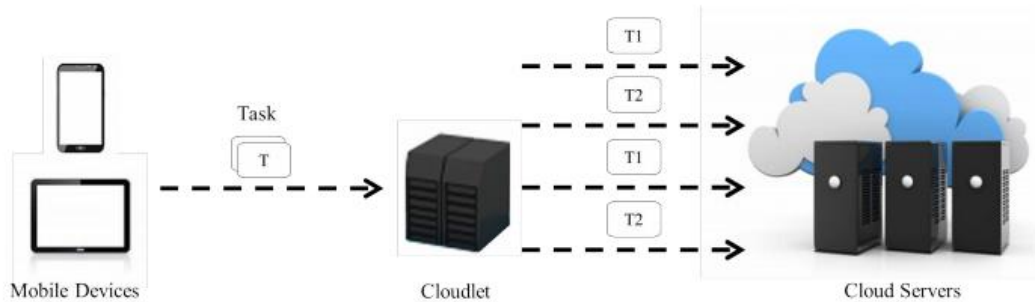
4.6.3.1 Χρονοπρογραμματισμός ελαχιστοποίησης του χρόνου διεκπαιρέωσης

Δεδομένου μιας ανεκτής λανθάνουσας καθυστέρησης, ο χρόνος διεκπαιρέωσης μπορεί να μειωθεί χρονοπρογραμματίζοντας τις εργασίες που πρέπει να εκτελεστούν στους διακομιστές σύμφωνα με την υπολογιστική τους ισχύ, την ταχύτητα δικτύου τους και γενικά τους υπολογιστικούς τους πόρους. Το Cloudlet μπορεί να εφαρμόσει αλγόριθμους όπου θα αποφασίσουν αυτή την κατανομή. Επίσης μπορούν να εφαρμοστούν και προτεραιότητες σε κινητές συσκευές όπου πρέπει να εξυπηρετηθούν πιο γρήγορα από τις υπόλοιπες.

4.6.3.2 Παράλληλος προγραμματισμός

Σε περίπτωση που η εργασία η οποία ανατίθεται στο Cloudlet να εκτελεστεί είναι παράλληλη, το Cloudlet μπορεί να χρονοπρογραμματίσει την εργασία αυτή σε διαφορετικούς

διακομιστές. Η εργασία αυτή εκτελείται παράλληλα σε διαφορετικούς διακομιστές και τελικώς τα αποτελέσματα επιστρέφουν στο Cloudlet και τελικώς στην κινητή συσκευή.

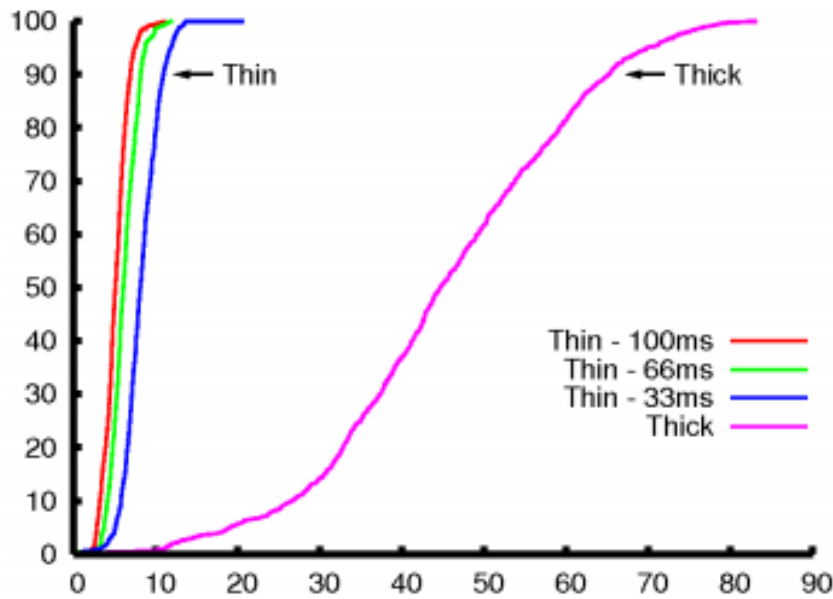


Εικόνα 23: Χρονοπρογραμματισμός σε Cloudlet

4.7 Προβλήματα συνδεσιμότητας και ανταπόκρισης δικτύου

Το κύριο πρόβλημα που υπάρχει στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος όπως αναλύσαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι το πρόβλημα της συνδεσιμότητας και της ανταπόκρισης δικτύου. Οι κινητές συσκευές δυσκολεύονται πολλές φορές λόγω καιρικών και περιβαλλοντικών συνθηκών να συνδεθούν και να αλληλοεπιδράσουν γρήγορα χωρίς καθυστερήσεις στο δίκτυο με το Υπολογιστικό Νέφος. Εφαρμογές όπως περιήγηση στο Ίντερνετ δεν κάνουν το συγκεκριμένο πρόβλημα εμφανές αλλά σε άλλες εφαρμογές όπως σε εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας εκεί μπορούμε να πούμε πως αυτές δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις των χρηστών. Οι καθυστερήσεις στην ανταπόκριση των εφαρμογών λόγω δικτύου, που εκτελούνται στο Υπολογιστικό Νέφος, μπορούν να γίνουν τεράστιες με αποτέλεσμα οι χρήστες να δυσανασχετούν. Επομένως μπορούμε να πούμε πως όσο μεγαλύτερη είναι η καθυστέρηση ανταπόκρισης μέσω δικτύου τόσο χειρότερη γίνεται η χρήση της εφαρμογής στους χρήστες.

Για παράδειγμα επιτεύχθηκε ένα πείραμα εφαρμογής απεικόνισης δεδομένων στο οποίο χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές υπολογιστικές εγκαταστάσεις και παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Στην πρώτη εγκατάσταση χρησιμοποιήθηκε ένας τοπικός υπολογιστής και στην δεύτερη ένας απομακρυσμένος εξυπηρετητής ήταν συνδεδεμένος μέσω απομακρυσμένης σύνδεσης με ταχύτητα 100Mb/s.



Εικόνα 24: Frame Rate CDF at 100Mb/s

Τα αποτελέσματα δείχνουν πως ακόμη και με επαρκή ταχύτητα δικτύου, η ανταπόκριση μπορεί να επηρεάσει την εμπειρία του χρήστη. Στο υπάρχων πείραμα προστίθεται και το πρόβλημα της απόστασης μεταξύ του χρήστη και του εξυπηρετητή καθώς όσο πιο μακριά βρίσκονται τόσο πιο προβληματική γίνεται η χρήση της εφαρμογής.

Σε ένα δεύτερο παράδειγμα χρησιμοποιήθηκε μια άλλη εφαρμογή, η GIMP, η οποία δίνει την δυνατότητα επεξεργασίας στους χρήστες σε φωτογραφίες. Οι χρήστες κατέγραψαν την εμπειρία τους στην εφαρμογή σε σχέση με διαφορετικές καθυστερήσεις από τις ενέργειες που κάνανε. Τα αποτελέσματα υποστηρίζουν την αρχική υπόθεση δηλαδή της αναλογίας ευχάριστης εμπειρίας σε σχέση με την ανταπόκριση.

Resp. Time	Subjective Impression	RTT	Crisp	Noticeable	Annoying	Unaccep.	Unusable
< 150ms	Crisp	1ms	3278	40	0	0	0
150ms - 1s	Noticeable to Annoying	20ms	3214	82	4	18	0
1s - 2s	Annoying	66ms	2710	572	12	3	21
2s - 5s	Unacceptable	100ms	2296	973	20	6	23
> 5s	Unusable						

Εικόνα 25: Χρόνοι αντίδρασης σε διαφορετικούς χρόνους ανταπόκρισης

Καθώς αναλύουμε τα αποτελέσματα των δύο αυτών πειραμάτων ο Satyanarayanan υποστηρίζει πως εκτός από την ταχύτητα δικτύου που θα αναπτύσσεται ταχέως, η ανταπόκριση στο δίκτυο δεν θα μπορέσει να βελτιωθεί πολύ. Οι σημερινοί στόχοι βελτίωσης υπολογιστικών δικτύων βασίζονται κυρίως στην ταχύτητα, στην ασφάλεια, στην ενεργειακή απόδοση και στην διαχειριστικότητα. Συνήθως αυτές οι τεχνικές επηρεάζουν την

ανταπόκριση. Για παράδειγμα τείχη προστασίας (firewalls) ή τεχνικές μείωσης χρήσης του ασύρματου δικτύου των κινητών συσκευών λόγω μπαταρίας επηρεάζουν σημαντικά την ανταπόκριση.

4.8 Τεχνική Υπολογιστικής Μετακίνησης (Migration)

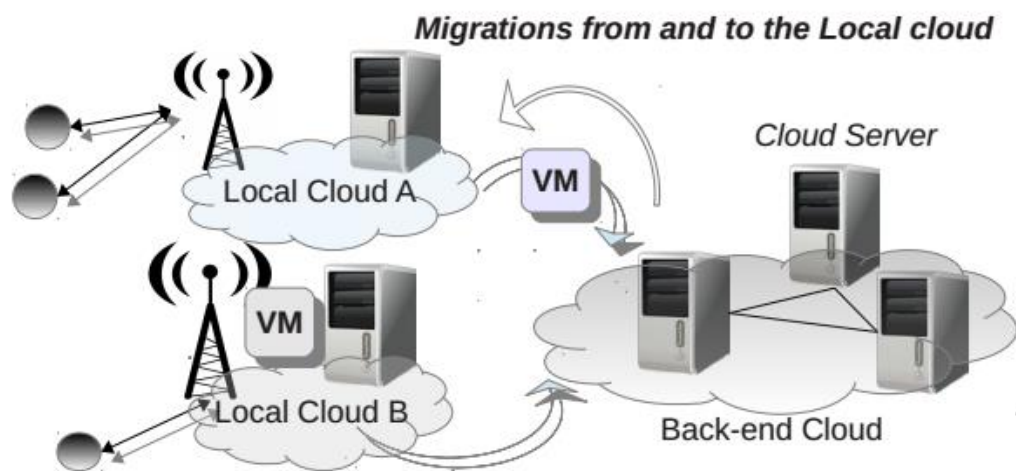
Όπως αναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια στην σημερινή εποχή οι κινητές συσκευές εκτελούν εφαρμογές και εργασίες δύσκολες και απαιτητικές. Είναι δεδομένο ότι δεν διαθέτουν την επεξεργαστική ισχύ ή άλλους ανάλογους υπολογιστικούς πόρους έτσι ώστε να εκτελέσουν τις εφαρμογές γρήγορα και αξιόπιστα. Η τεχνολογία όμως των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών είναι αυτή η οποία απαλλάσσει σε μεγάλο βαθμό τις κινητές συσκευές από αυτές τις εργασίες χρησιμοποιώντας την υπολογιστική δύναμη απομακρυσμένων διακομιστών. Η κύρια πρόκληση είναι ελαχιστοποίηση της εκτέλεσης των εργασιών, ο χρόνος μεταφοράς των δεδομένων καθώς και οι γεωγραφικοί περιορισμοί σε συνδυασμό με την δυνατότητα επικοινωνίας των χρηστών. Βέβαια η αξιόπιστη εκτέλεση των εργασιών στους απομακρυσμένους διακομιστές δεν είναι δεδομένη καθώς οι υπολογιστικοί πόροι που χρησιμοποιούνται σε κάθε εικονικό μηχάνημα που δημιουργείται για την εξυπηρέτηση ενός εύρους εργασιών μεταβάλλεται συνεχώς. Μπορούμε λοιπόν να εισάγουμε την έννοια της “Μετακίνησης” (Migration). Οι Υπολογιστικές Δομές Νέφους που βρίσκονται κοντά στον χρήστη, τα Cloudlets, ανάλογα με το αν μπορούν να εξυπηρετήσουν τον χρήστη αποφασίζουν αν οι εργασίες θα εκτελεστούν στην δικιά τους δομή ή αν θα πρέπει να μεταφερθούν σε μεγαλύτερη δομή του Υπολογιστικού Νέφους και να εκτελεστούν εκεί (Gkatzikis & Koutsopoulos, 2013).

Η Εικονικοποίηση αποτελεί το κλειδί της τεχνολογίας των Υπολογιστικών Νεφών η οποία επιτρέπει την παράλληλη εκτέλεση διαφορετικών εργασιών σε μια κοινή πλατφόρμα. Ο όρος της Εικονικοποίησης περιγράφεται ως μια τμηματοποίηση των φυσικών πόρων ενός υπολογιστικού μηχανήματος που δύναται να εκτελέσει προγράμματα όπως ένας πραγματικός υπολογιστής. Οι πόροι του φυσικού συστήματος διαμοιράζονται στα διάφορα εικονικά υπολογιστικά μηχανήματα τα οποία εκτελούνται σε αυτό με έναν τρόπο ελαστικό, δηλαδή της επέκτασης ή της μείωσης των πόρων ανάλογα με την ζήτηση (Vmware, 2006)

Δεδομένου ότι κάθε διεργασία μπορεί να φιλοξενηθεί σε μία απομονωμένη εικονική μηχανή, οι διεργασίες που βρίσκονται εγκατεστημένες στο ίδιο μηχάνημα δεν αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και επιπλέον η καθεμία έχει πρόσβαση μόνο στα δικά της δεδομένα και πόρους. Από την άλλη πλευρά η χρήση των εικονικών πόρων μπορεί να αποβεί σε μείωση της αποδοτικότητας και της ταχύτητας εκτέλεσης των εργασιών. Οι κοινόχρηστοι

πόροι πολλές φορές αδυνατούν να εξυπηρετήσουν την αυξημένη ζήτηση με αποτέλεσμα να καθυστερείται η εκτέλεση των εργασιών και να υποβαθμίζεται η απόδοση του γενικού συστήματος. Αυτό είναι γνωστό ως το πρόβλημα των «Θορυβодών Γειτόνων» (Noisy Neighbors).

Στην τεχνολογία των Cloudlets χρησιμοποιεί έντονα την τεχνική της Εικονικοποίησης. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενες παραγράφους, τα Cloudlet αποτελούνται από μικρότερες Υπολογιστικές Δομές Νέφους, βρίσκονται σε μικρή απόσταση και επικοινωνούν μέσω ασύρματων δεκτών τύπου Wifi ή LTE. Τα Cloudlets λόγω της περιορισμένης υπολογιστικής ισχύς που διαθέτουν, έχουν την δυνατότητα της επικοινωνίας με μεγαλύτερα Υπολογιστικά Νέφη. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την βοήθεια μηχανισμών Υπολογιστικής Μετακίνησης όπου δεδομένα, διαδικασίες, εφαρμογές αλλά και ολόκληρα εικονικά υπολογιστικά μηχανήματα μπορούν να μεταφερθούν από συγκεκριμένα Cloudlets σε άλλα ή ακόμη στο ευρύτερο Υπολογιστικό Νέφος. (Gkatzikis & Koutsopoulos, 2013).



Εικόνα 26: Τεχνική της Υπολογιστικής Μετακίνησης σε δομές Cloudlet (Gkatzikis & Koutsopoulos, 2013).

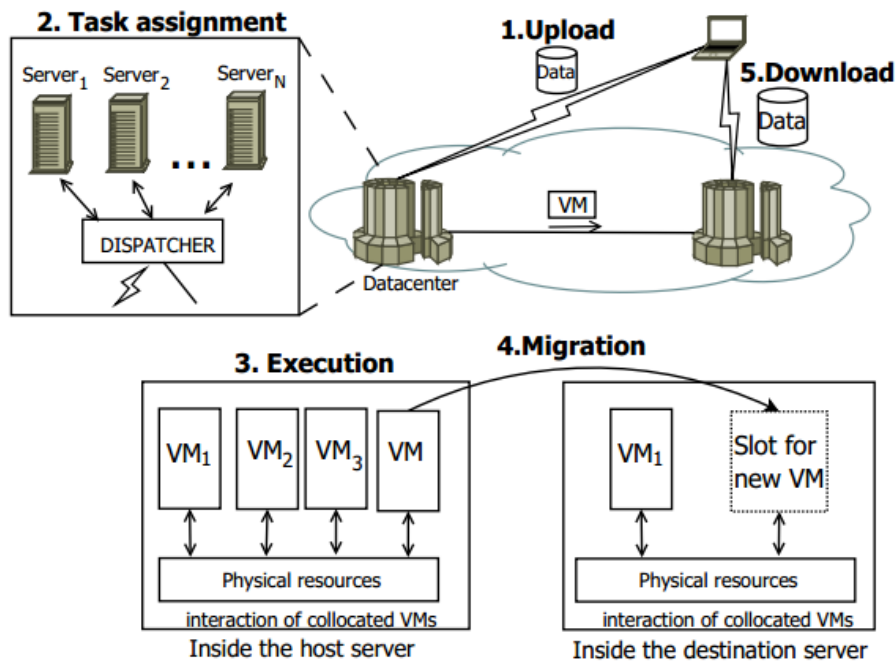
4.9 Η διαδρομή μιας εργασίας στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος

Στα πλαίσια των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών, έχουμε μια συνεχή ροή εργασιών καθώς πλήθος χρηστών από διαφορετικές τοποθεσίες που αξιοποιούν την συγκεκριμένη τεχνολογία. Η συγκεκριμένη ροή αποτελείται από πέντε στάδια τα οποία κάθε εργασία ακολουθεί. Ο όρος «διάρκεια ζωής της εργασίας» μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να αναφερθεί στην ροή αυτή καθώς και να περιγράψει τον χρόνο όπου μια εργασία παραμένει στο Υπολογιστικό Νέφος (Gkatzikis & Koutsopoulos, 2013).

- 1) **Αποστολή (Upload):** Μόλις ένας χρήστης από το κινητό του αιτηθεί μια νέα εργασία, ο πηγαίος κώδικας καθώς και οποιαδήποτε δεδομένα εισόδου απαιτούνται για την προετοιμασία του εικονικού μηχανήματος αποστέλλονται στο Υπολογιστικό Νέφος μέσω της ασύρματης σύνδεσης μεταξύ του χρήστη και του αντίστοιχου σημείου πρόσβασης. Εδώ μπορούμε να αναφέρουμε και τις δομές των Cloudlets όπου εάν η απευθείας σύνδεση με το Υπολογιστικό Νέφος δεν είναι δυνατή, ένα κοντινό Cloudlet θα αναλάβει την συγκεκριμένη επικοινωνία. Στη συνέχεια, είτε το έργο εκτελείται στο τοπικό Cloudlet, ή τα στοιχεία του μεταφέρονται μέσω του διαδικτύου στο ευρύτερο Υπολογιστικό Νέφος.
- 2) **Ανάθεση Εργασίας (Task Assignment):** Μόλις τα απαιτούμενα στοιχεία μεταφερθούν στο κέντρο δεδομένων, ένας τοπικός επιτελικός αποστολέας (dispatcher) είναι υπεύθυνος για την ανάθεση της εργασίας σε συγκεκριμένο διακομιστή. Μπορούμε να σημειώσουμε πως οι τεχνικές ανάθεσης είναι πολύπλοκες τεχνολογίες και αποτελούν πολύ σημαντικό παράγοντα στην επίτευξη της σωστής επιλογής διακομιστή καθώς και της συνολικής αποτελεσματικότητας.
- 3) **Εκτέλεση:** Στο συγκεκριμένο βήμα γίνεται η «πραγματική» δουλειά από όλη την διαδικασία. Αφού επιλεγθεί διακομιστής κατάλληλος, ο ίδιος αναλαμβάνει την δέσμευση των πόρων από το φυσικό μηχάνημα και δημιουργείται μια νέα εικονική μηχανή για την συγκεκριμένη εργασία. Όλοι οι πόροι οι οποίοι είναι κατάλληλοι για την εκτέλεση της εργασίας έχουν δεσμευτεί και χρησιμοποιούνται πλέον μόνο για την εκτέλεσή της. Έτσι η εκτέλεση της συγκεκριμένης εργασίας μπορεί να ξεκινήσει αμέσως ή στο συγκεκριμένο φυσικό μηχάνημα ή σε κάποιο άλλο όπως θα δούμε παρακάτω.
- 4) **Υπολογιστική Μετακίνηση (Migration):** Το εικονικό μηχάνημα που δημιουργήθηκε για την εκτέλεση της εργασίας ίσως να μην μπορεί να ανταπεξέλθει άμεσα για πολλούς λόγους. Όμως αυτό μπορεί να μεταφερθεί από τον τρέχοντα διακομιστή σε έναν καινούργιο για να συνεχίσει την εκτέλεση του εκεί. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως διαδικασία Υπολογιστικής Μετακίνησης (migration) και μπορεί να συμβεί πολλές φορές κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης μιας εργασίας. Για την περαιτέρω εκτέλεση της, μετά την απόφαση της Υπολογιστικής Μετακίνησης, ο συνοδευτικός όγκος δεδομένων, ο οποίος απαιτείται για την εκκίνηση του νέου εικονικού υπολογιστικού μηχανήματος, μεταφέρεται σε καινούργιο διακομιστή.
- 5) **Λήψη (Download):** Σε αυτό το στάδιο, ο χρήστης του κινητού λαμβάνει τα τελικά αποτελέσματα τα οποία επιθυμούσε. Υποθέτουμε ότι όταν η επεξεργασία των

στοιχείων έχει ολοκληρωθεί, τα τελικά δεδομένα αποκτούνται κατευθείαν από τον χρήστη μέσω της τρέχουσας τεχνολογίας πρόσβασης. Αν όμως για παράδειγμα ο διακομιστής δεν είναι στην ασύρματη εμβέλεια του χρήστη, τα δεδομένα πρέπει να μεταφερθούν σε έναν προσβάσιμο διακομιστή.

Μπορούμε επίσης να δούμε και σχηματικά την συγκεκριμένη ροή στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 27: Ροή εργασίας στο Υπολογιστικό Νέφος (Gkatzikis & Koutsopoulos, 2013).

4.10 Χρονοδρομολόγηση εργασίας και τεχνικές Υπολογιστικής Μετακίνησης στο Υπολογιστικό Νέφος

Όπως αναφέραμε, όταν μια διαδικασία ανατεθεί για εκτέλεση στο περιβάλλον του Υπολογιστικού Νέφους, ένα νέο εικονικό μηχάνημα θα πρέπει να δημιουργηθεί το οποίο θα ανατεθεί σε έναν φυσικό διακομιστή. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως εργασία ανάθεσης και διενεργείται από τον διαχειριστή των εικονικών μηχανημάτων. Η εργασία ανάθεσης ενεργοποιεί τον πάροχο του Υπολογιστικού Νέφους με σκοπό να υπάρξει μια διαδικασία ελέγχου της χρήσης των πόρων που διαθέτει. Δεδομένου ότι το Υπολογιστικό Νέφος είναι ένα εξαιρετικά ασταθές περιβάλλον, η διαδικασία αυτή δεν μπορεί να διασφαλίσει την ποιότητα των εργασιών (Quality of Service) αλλά την εγγυάται.

Επί της ουσίας η ιδέα της διαδικασίας ανάθεσης, οδηγεί στην διαδικασία της υπολογιστικής μετακίνησης. Η τεχνολογία της Υπολογιστικής Μετακίνησης παρέχει μία πιο λεπτή και συντονισμένη στρατηγική εξισορρόπησης της κατανομής των πόρων μέσα στο

σύστημα διότι η Μετακίνηση μπορεί να λάβει χώρα σε οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια μιας εργασίας. Ωστόσο κάθε διαδικασία Μετακίνησης εικονικού μηχανήματος σημαίνει και καθυστέρηση η οποία πρέπει να ληφθεί υπόψη στο συνολικό χρόνο. Αυτή η καθυστέρηση ορίζεται ως ο χρόνος που χρειάζεται το εικονικό μηχάνημα για :

- I. Να σταματήσει η εκτέλεση στον τρέχον διακομιστή,
- II. Να μετακινήσει τα συσχετιζόμενα στοιχεία για τον νέο και τέλος
- III. Να προετοιμάσει το νέο εικονικό μηχάνημα.

Ένας πάροχος Υπολογιστικού Νέφους αντιμετωπίζει βέβαια κάποια προβλήματα στην επιλογή της βέλτιστης στρατηγικής Υπολογιστικής Μετακίνησης. Αφενός, πρέπει να βελτιστοποιήσει την ποιότητα της εμπειρίας των χρηστών, η οποία μεταφράζεται σε ελαχιστοποίηση του χρόνου εκτέλεσης των εργασιών που επιθυμούν. Επίσης η μείωση του χρόνου εκτέλεσης επιτρέπει στον πάροχο να έχει ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι των υπόλοιπων παρόχων. Συνήθως όμως οι πάροχοι προσπαθούν να έχουν και πλεονέκτημα στα δικά τους λειτουργικά έξοδα (για παράδειγμα το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας από ενεργοποίηση/απενεργοποίηση ή υποεκμετάλλευση διακομιστών και μηχανημάτων), οπότε προστίθεται και ο παράγοντας της ενεργειακής απόδοσης και της κατανάλωσης ενέργειας.

Το βασικό ερώτημα που τίθεται φυσικά περιλαμβάνει την κατάλληλη χρονική στιγμή στην οποία η Υπολογιστική Μετακίνηση θα πρέπει να λάβει χώρα. Ως γενικός κανόνας , η μετάβαση σε ένα νέα εικονικό μηχάνημα είναι επωφελής, εάν ο αναμενόμενος συνολικός χρόνος εκτέλεσης στο νέο εξυπηρετητή είναι μικρότερος από ότι στον τρέχον διακομιστή. Πρέπει επίσης να λάβουμε υπόψιν τις καταστάσεις των δύο αυτών εξυπηρετητών, να έχουμε πληροφορίες σχετικά με την υποδομή τους καθώς και την επικοινωνία που έχουν μεταξύ τους.

Γενικά, ο αποδοτικός σχεδιασμός ενός υπολογιστικού μηχανήματος απαιτεί και μια ακριβή πρόβλεψη του αντίστοιχου κόστους. Σε αυτή την κατεύθυνση οδηγούνται πολλές έρευνες ώστε να υπάρξει μια ακριβή πρόβλεψη δέσμευσης πόρων και αντίστοιχου κόστους. Βέβαια πρέπει να ληφθεί υπόψη και η διάρκεια ζωής μια εργασίας στο Υπολογιστικό Νέφος καθώς και τα δεδομένα τα οποία πολλές φορές μπορεί να είναι μεγάλου όγκου. Για παράδειγμα, η συμπίεση βίντεο απαιτεί να εκτελεστεί σε υπολογιστικό μηχάνημα με δυνατή επεξεργαστική δύναμη και σε βάθος χρόνου ο όγκος αυξομειώνεται.

Συνοψίζοντας, οι παράγοντες οι οποίοι έχουν επίδραση στην χρονοδρομολόγηση είναι η κινητικότητα του χρήστη, ο χρόνος δημιουργίας ενός εικονικού μηχανήματος, ο χρόνος μεταφοράς του, καθώς και η απρόβλεπτη αύξηση των υπολογιστικών πόρων που μπορεί να

χρειαστεί. Έτσι γίνεται επιτακτική η ανάγκη της χρήσης των κατάλληλων μηχανισμών Υπολογιστικής Μετακίνησης ώστε ο χρόνος να ελαχιστοποιηθεί.

4.11 Προκλήσεις κατά τον σχεδιασμό αποτελεσματικών τεχνικών Υπολογιστικής Μετακίνησης

Αυτή τη στιγμή, οι πάροχοι των Υπολογιστικών Νεφών λειτουργούν με την μέθοδο του SLA και ανάλογα με την διαθεσιμότητα των υπηρεσιών που μπορούν να προσφέρουν στους πελάτες τους. Ωστόσο δεν παρέχεται εξασφάλιση ελέγχου ποιότητας υπηρεσιών (Quality of Services) λόγω πολλών παραγόντων οι οποίοι εισάγουν προβλήματα και αβεβαιότητα σε σχέση με την απόδοση μιας εικονικής μηχανής. Αποτελεσματικοί μηχανισμοί Υπολογιστικής Μετακίνησης μπορούν να βελτιώσουν την εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων, τη μείωση του χρόνου εκτέλεσης και την ελαχιστοποίηση της αβεβαιότητας. Η αποτελεσματική χρήση του Υπολογιστικού Νέφους αντιμετωπίζει τις ακόλουθες βασικές προκλήσεις. (Gkatzikis & Koutsopoulos, 2013).

- 1) **Αβεβαιότητα του χρόνου εργασίας:** Η ζήτηση υπολογιστικών πόρων μεταβάλλεται ανάλογα με το χρόνο και τη τοποθεσία, όταν προκύπτουν καινούργιες απαιτήσεις συνεχώς σε διάφορες τοποθεσίες, οδηγεί σε μια εξαιρετικά ανισόρροπη κατανομή του φόρτου εργασίας μέσα στο Υπολογιστικό Νέφος. Αυτό δείχνει την ανάγκη για μηχανισμούς που εκμεταλλεύονται τους διαθέσιμους πόρους κατά βέλτιστο τρόπο από τη μετακίνηση πολλών εργασιών από τους υπερφορτωμένους διακομιστές στους ελεύθερους.
- 2) **Απρόβλεπτη μίσθωση:** Η διαθεσιμότητα των πόρων επίσης μεταβάλλεται συνεχώς. Η πραγματική ικανότητα επεξεργασίας των διακομιστών του Υπολογιστικού Νέφους εξαρτάται από το χρόνο λόγω του απρόβλεπτου αριθμού της αλληλεπίδρασης των εικονικών μηχανών. Η μίσθωση οδηγεί αναπόφευκτα σε δύσκολους υπολογισμούς πρόβλεψης και έτσι πολλές φορές οδηγείται σε σπατάλη των φυσικών πόρων.
- 3) **Αγνωστος όγκος δεδομένων:** Κάθε εργασία δημιουργεί συνήθως τα δεδομένα των οποίων ο όγκος μεταβάλλεται με το χρόνο. Αυτό μπορεί να αυξάνεται, να μειώνεται ή να μένει σταθερό με το χρόνο. Για παράδειγμα, διάφορες εργασίες δημιουργούν νέες πληροφορίες, άλλες συμπιέζονται, και άλλες δεν δημιουργούν καθόλου νέες πληροφορίες. Ο χρόνος που απαιτείται για τη μετακίνηση μιας εργασίας από το τρέχοντα εξυπηρετητή σε ένα νέο διακομιστή εξαρτάται από τον όγκο δεδομένων. Δεδομένου ότι το μέγεθος ενός εικονικού μηχανήματος δεν είναι σταθερό, η επιλογή μιας εργασίας πρέπει να γίνει με βάση τη πρόβλεψη της εξέλιξής του. Η

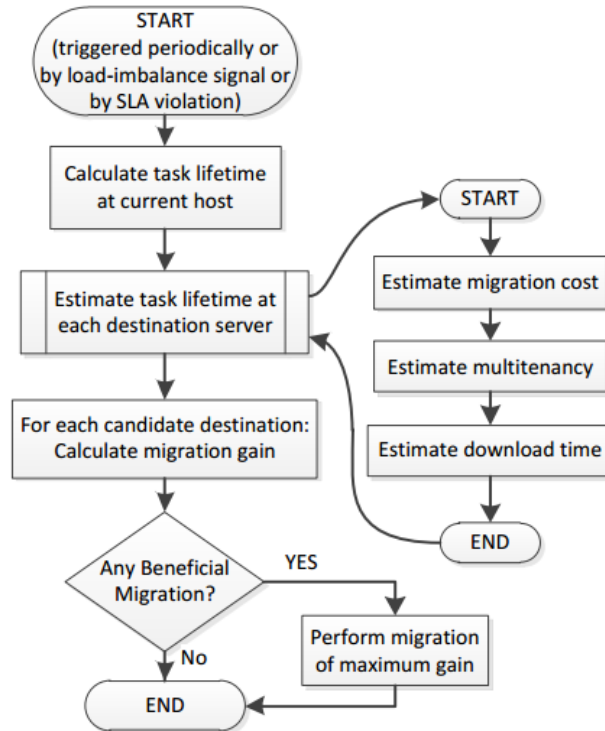
Υπολογιστική Μετακίνηση μέσα στο ίδιο κέντρο δεδομένων γίνεται με πολύ υψηλές ταχύτητες Τοπικών Δικτύων οπότε κοστίζει και λιγότερο.

- 4) **Η ταχύτητα σύνδεσης δικτύου μεταβάλλεται με το χρόνο:** Οι ταχύτητες επικοινωνίας μεταξύ των δικτύων μεταβάλλονται ανάλογα με το χρόνο. Ειδικά η σύνδεση των κινητών τερματικών στο Υπολογιστικό Νέφος γίνεται κυρίως μέσω ασύρματων συνδέσεων WiFi οπότε είναι πολύ εύκολο να υπάρξει πρόβλημα χωρητικότητας. Η κινητικότητα του τερματικού μπορεί να συμβάλλει επίσης αρκετά σε αυτό. Όταν ο χρήστης μετακινείται από μια τοποθεσία σε μια άλλη, ένα διαφορετικό σύστημα από διακομιστές του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους είναι προσβάσιμο, τουλάχιστον για πολύ άμεσες ενέργειες. Σε γενικές γραμμές, η κατάσταση του κάθε συνδέσμου δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων. Ωστόσο η κινητικότητα των χρηστών υπαγορεύει ποιος εξυπηρετητής θα χρησιμοποιηθεί για μια ενέργεια αποστολής ή λήψης δεδομένων, βάση της δυναμικά μεταβαλλόμενης θέσης του χρήστη. Καθώς η εργασία κοντεύει να ολοκληρωθεί η τεχνική της Υπολογιστικής Μετακίνησης πρέπει να ευνοεί τα κοντινά Cloudlets τα οποία βρίσκονται στην εμβέλεια του κινητού του χρήστη.
- 5) **Μερική διαθεσιμότητα των πληροφοριών:** Στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος, οι πληροφορίες που απαιτούνται για το προσδιορισμό της βέλτιστης Υπολογιστικής Μετακίνησης μπορεί να μην είναι διαθέσιμες για την επιλογή της καλύτερης απόφασης. Ο πάροχος του Υπολογιστικού Νέφους είναι ενήμερος για τη κατάσταση της υποδομής του Υπολογιστικού Νέφους, όπως και για το μέγεθος των διεργασιών που πρέπει να εκτελεστούν.. Από την άλλη, η περιπλοκότητα της εξέλιξης του όγκου των δεδομένων για κάθε εργασία είναι πληροφορίες ιδιωτικές οι οποίες είναι διαθέσιμες μόνο στο κάθε χρήστη. Έτσι απαιτείται ένας υποστηρικτικός μηχανισμός όπου θα διαθέτει όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες και θα είναι διαθέσιμες για τη λήψη αποφάσεων υπολογιστικών Μετακινήσεων.

4.12 Διαφορετικές τεχνικές Υπολογιστικής Μετακίνησης

Το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος είναι ένα δυναμικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον και η απόδοσή του εξαρτάται από πολλές ανεξέλεγκτες και απρόβλεπτες παραμέτρους. Με βασικό στοιχείο την σταθερότητα και την αποτελεσματικότητα των επιδόσεων των κινητών συσκευών απαιτούνται μηχανισμοί Υπολογιστικής Μετακίνησης κατάλληλοι για τους αναφερθέντες λόγους. Μπορούμε να τις κατηγοριοποιήσουμε ως εξής: Ξεκινώντας από τη κεντρική προσέγγιση όπου ο πάροχος του Υπολογιστικού Νέφους επιλέγει τη στρατηγική της

Υπολογιστικής Μετακίνησης, την επιλογή από τους ίδιους τους εξυπηρετητές αλλά και ακόμη από την ίδια την εργασία που εκτελείται. Στην επόμενη εικόνα μπορούμε να δούμε την δομή όπου ακολουθείται ώστε να επιλεγεί μια τεχνική Υπολογιστικής Μετακίνησης.



Εικόνα 28: Επιλογή κατάλληλης τεχνικής Υπολογιστικής Μετακίνησης

Βασικοί κανόνες τους οποίους πρέπει να ακολουθεί κάθε μεθόδους υπολογιστικής Μετακίνησης είναι οι παρακάτω:

- **Υπολογισμός μεγέθους δεδομένων:** Σε κάθε τεχνική πρέπει να υπολογίζεται όσο το δυνατόν πιο ακριβώς το συνολικό μέγεθος των δεδομένων. Πολλές φορές τα δεδομένα δεν είναι τόσα πολλά με αποτέλεσμα να μπορεί να γίνει η Υπολογιστική Μετακίνηση γρήγορα και χωρίς κάποιο κόστος.
- **Κατάσταση Διακομιστών:** Κάθε διακομιστής διαφέρει ως προς την χρησιμοποίησή του. Πρέπει σε κάθε περίπτωση να γίνεται γνωστό η κατάστασή τους έτσι ώστε η επιλογή του κατάλληλου να έχει θετικά αποτελέσματα.
- **Μίσθωση:** Σε πολλές περιπτώσεις επειδή γίνεται χρήση παραπάνω από ενός διακομιστή, η μίσθωση πρέπει να τους περιλαμβάνει όλους και να γίνεται μια κατανομή σωστή και χωρίς πολύπλοκους υπολογισμούς για λόγους αποδοτικότητας.

- **Κινητικότητα:** Από την στιγμή που η μέθοδος επιλεγθεί πρέπει να λαμβάνετε υπόψη συνεχώς η θέση του χρήστη καθώς τα δεδομένα του μπορούν να βρίσκονται σε έναν απομακρυσμένο διακομιστή αλλά πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα όταν χρειαστεί επικοινωνία να γίνει άμεσα. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι σε μερικές περιπτώσεις ένα κοντινό Cloudlet να είναι η κατάλληλη λύση.

Κεφάλαιο 5: Access Schemes

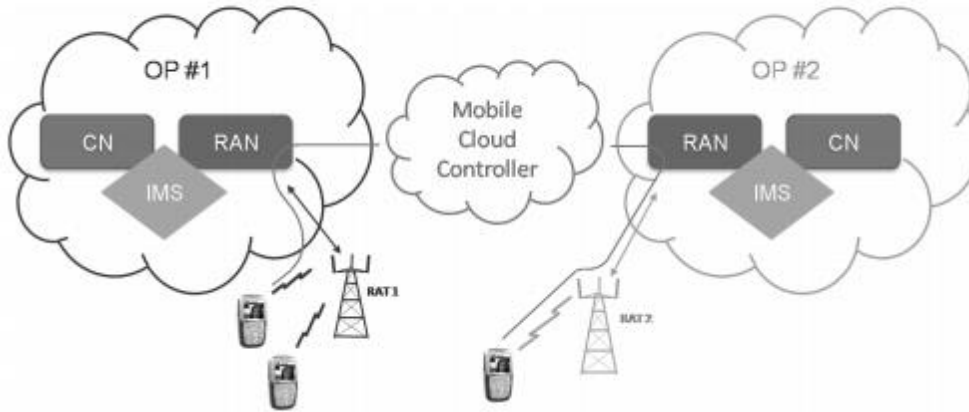
Το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια, είναι μια προηγμένη τεχνολογία η οποία έχει ως βασικό στόχο την αδιάλειπτη εξυπηρέτηση του χρήστη και μάλιστα με υψηλής ποιότητας υπηρεσίες. Βασική πτυχή της αδιάλειπτης παροχής αποτελείται από την τοποθεσία του χρήστη καθώς και την ετοιμότητα του παρόντος δικτύου στις διαφορετικές απαιτήσεις των χρηστών. Όμως όταν αναφερόμαστε σε γεωγραφικές περιοχές έχουμε να αντιμετωπίσουμε κατά κύριο λόγο την ετερογένεια των δικτύων, από τον τρόπο σύνδεσης του χρήστη με τον πομπό βάσης μέχρι και τους εξυπηρετητές που βρίσκονται εκεί συνδεδεμένοι με τους πομπούς βάσης. Προκειμένου να αξιολογηθεί το σύστημα που διαχειρίζεται την ετερογένεια αυτή θα αναλυθεί ένα ειδικά διαμορφωμένο τηλεπικοινωνιακό σύστημα (radio network simulator). Επίσης θα αναδειχθεί η ανάγκη χρήσης ενός Context, γενικών πληροφοριών δηλαδή και μητρώου ώστε να γίνεται καλύτερη η διαχείριση της συνδεσιμότητας των χρηστών (Klein et al., 2010).

5.1 Ευφυή πρόσβαση

Αυτή τη στιγμή όσον αφορά το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος, στοιχεία όπως η τοποθεσία του χρήστη, χρησιμοποιούνται συνεχώς από τις κινητές εφαρμογές. Εργαλεία όπως ο δέκτης GPS ή το γυρόμετρο μπορούν και παρέχουν τέτοιες πληροφορίες στις εφαρμογές αλλά και στον ίδιο τον χρήστη. Η έννοια της Ευφυούς Πρόσβασης προϋποθέτει πως όλα αυτά τα στοιχεία και οι μετρητές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μεγιστοποιηθεί η αποτελεσματικότητα της σύνδεσης στο Νέφος. Αν λοιπόν συνδυάσουμε τις απαιτήσεις για την ασύρματη σύνδεση με το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος οι οποίες βασίζονται σε τρεις παράγοντες:

- την συνεχή και αδιάλειπτη σύνδεση τους με το υπόλοιπο Νέφος.
- την πρόσβαση τους με τρόπους κατ' απαίτηση.
- την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης της μπαταρίας

μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα πλήθος πληροφοριών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον κινητό διαχειριστή Νέφους (mobile cloud controller) για την τοπική βελτιστοποίηση της συνδεσιμότητας των συσκευών. Πιο απλά, ο mobile cloud controller θα έχει στην διάθεσή του πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία και την παρούσα σύνδεση του χρήστη ώστε μέσω ενός έξυπνου μηχανισμού να μπορεί τον εξυπηρετήσει καλύτερα.



Εικόνα 29: Ο Mobile Cloud Controller σε ετερογενή σενάριο δικτύων

5.2 Διαχείριση ετερογενών δικτύων

Σε μια ολοένα και πιο κατακερματισμένη και ετερογενή κατάσταση των σημερινών δικτύων και ιδιαίτερα της κινητής τηλεφωνίας, καθώς και με την υψηλή απαίτηση γρήγορων συνδέσεων ή αλλιώς κατά απαίτηση γρήγορων συνδέσεων, η ανάγκη για επαρκή διαχείριση (heterogeneous access management – HAM) αυτών των διαφορετικών δικτύων (different radio access technologies – RAT) είναι επιτακτική. Οι πόροι ασύρματων δικτύων είναι προφανώς περιορισμένοι καθώς απαιτούνται εγκαταστάσεις σε πολλές περιοχές, πολλαπλές αναβαθμίσεις και γενικά δύσκολα να διαχειριστούν, πόσο μάλλον όταν εισάγεται και η έννοια των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών. Οι σημερινές έρευνες προσπαθούν να εστιάσουν σε αυτό το πρόβλημα.

Η έννοια του HAM περιγράφει την διαχείριση της κατανομής και της χρησιμοποίησης των πόρων, όπως για παράδειγμα το εύρος ζώνης, σε διαφορετικά συστήματα ασύρματων δικτύων. Κύριος στόχος είναι η συνολική βελτιστοποίηση καθώς και ο περιορισμός της απρόσκοπτης κινητικότητας. Οι αποφάσεις και οι πράξεις που μπορεί να λάβει το HAM μπορούν να επηρεαστούν από τις υπάρχουσες πολιτικές των παρόχων, των SLAS, των πληροφοριών που έχουν σχέση με την τοποθεσία των χρηστών καθώς και με προσωπικές ρυθμίσεις των ίδιων. Ως αποτέλεσμα, ο Klein και οι συνεργάτες του αναφέρουν πώς κάτω από μια τέτοια διαχείριση οι χρήστες είναι περισσότερο ικανοποιημένοι και το συνολικό δίκτυο ωφελείται από απρόσκοπτες μεταφορές δεδομένων. Επίσης ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα είναι η βοήθεια που μπορεί να παρέχει στην αλλαγή της εξυπηρέτησης του χρήστη από έναν πομπό με έναν άλλον για λόγους γεωγραφικούς και κακής επικοινωνίας

δηλαδή του handover. Μπορεί να επιλεγθεί καλύτερα ένας πομπός καθώς η διαχείριση και η επιλογή αυτών γίνεται κεντρικά.

5.3 Σύστημα διαχείρισης Context

Όταν αναφερόμαστε σε πληροφορίες context (context information) εννοούμε οποιαδήποτε πληροφορία και στοιχείο μπορεί να χαρακτηρίσει την κατάσταση μιας οντότητας. Ένα πλαίσιο πληροφοριών context μπορεί να περιλαμβάνει για παράδειγμα την τοποθεσία ενός χρήστη, την κατάσταση του καιρού, τον χρόνο ή την ταυτότητα ενός αντικειμένου. Η ανάγκη ύπαρξης ενός πλαισίου πληροφοριών context με σκοπό την αξιοποίησή του από μια εφαρμογή στοχεύει στην καλύτερη παρουσία πληροφορίας στον χρήστη, στην αυτοματοποίηση εκτέλεσης εργασιών και στην μετέπειτα εύκολη αξιοποίηση της όταν χρειαστεί να ανακτηθεί με σκοπό την εξυπηρέτηση του χρήστη (Anind, 2005). Καταλαβαίνουμε λοιπόν πως ένα τέτοιο πλαίσιο πληροφοριών είναι πολύ χρήσιμο όταν αφορά διαφορετικά δίκτυα καθώς συλλέγονται πληροφορίες από ένα ευρύ φάσμα με σκοπό την καλύτερη και ποιοτικότερη συνδεσιμότητα του χρήστη. Για να δημιουργηθεί ένα σωστό σύστημα διαχείρισης πλαισίου πληροφοριών context ώστε να συνεργάζεται με το HAM πρέπει και να υπάρχουν και οι κατάλληλες πληροφορίες. Οι πληροφορίες αυτές παρέχονται κυρίως από στοιχεία των χρηστών και συγκεκριμένα από δέκτες που έχουν στο κινητό τους τηλέφωνο καθώς. Οι κατηγορίες αυτών των πηγών των πληροφοριών αναλύονται ως εξής:

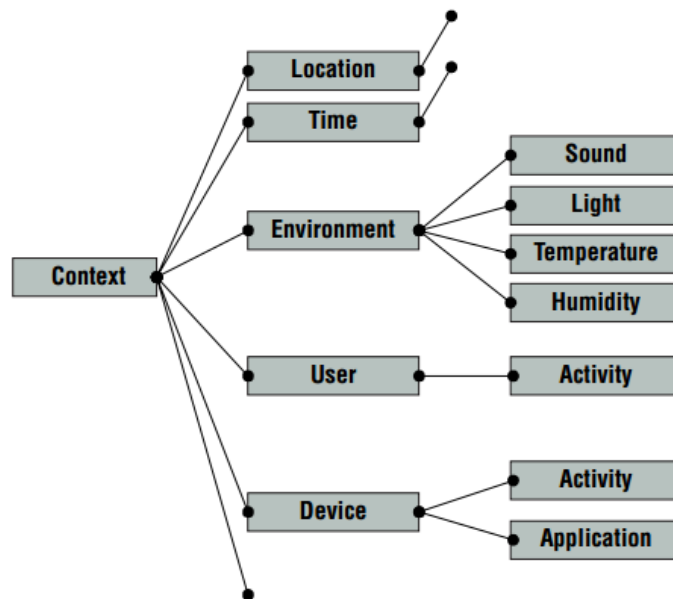
1. **Απευθείας πρόσβαση στους δέκτες:** Η πρόσβαση των στοιχείων γίνεται απευθείας από τους δέκτες των κινητών τηλεφώνων όπως για παράδειγμα το gps ή το θερμόμετρο
2. **Ενδιάμεση Υποδομή:** Μια αρχιτεκτονική υποδομής όπου η πρόσβαση δεν γίνεται απευθείας από τους δέκτες αλλά από αυτή την υποδομή.
3. **Διακομιστής πλαισίου διαχείρισης:** Σε αυτή η πρόσβαση γίνεται κεντρικά από τους διακομιστές των πληροφοριών και περιέχουν πληροφορίες από πολλές υποδομές.

Έτσι μια πληροφορία απαρτίζεται από κάποια χαρακτηριστικά. Μπορούμε να δούμε ένα παράδειγμα στο σύστημα που προτείνει το Τεχνικό Ινστιτούτο της Φινλανδίας (VTT Technical Research Centre of Finland) όπου κάθε πληροφορία απεικονίζεται με διαφορετικά χαρακτηριστικά και σε διαφορετική κλάση ανάλογα με το είδος της και με το από πού προέρχεται.

Context type	Context value
Environment:Sound:Intensity	{ Silent, Moderate, Loud }
Environment:Light:Intensity	{ Dark, Normal, Bright }
Environment:Light:Type	{ Artificial, Natural }
Environment:Light:SourceFrequency	{ 50Hz, 60Hz, NotAvailable }
Environment:Temperature	{ Cold, Normal, Hot }
Environment:Humidity	{ Dry, Normal, Humid }
User:Activity:PeriodicMovement	{ FrequencyOfWalking, FrequencyOfRunning, NotAvailable }
Device:Activity:Stability	{ Unstable, Stable }
Device:Activity:Placement	{ AtHand, NotAtHand }
Device:Activity:Position	{ DisplayDown, DisplayUp, AntennaDown, AntennaUp, SidewaysRight, SidewaysLeft }
Context type (higher-level)	Context value
Environment:Location:Building	{ Indoors, Outdoors }

Εικόνα 30: Τύποι κατηγοριών πληροφοριών (Panu et al., 2013)

Έτσι για να δημιουργηθεί αυτή η διαχείριση οι πληροφορίες ανακτώνται από τα κινητά των χρηστών, επεξεργάζονται κεντρικά και ανανεώνουν την πλατφόρμα διαχείρισης. Σημαντική παρατήρηση για ένα έξυπνο πλαίσιο πληροφοριών είναι και η είσοδος της έννοιας της ποιότητας του συνολικού πλαισίου καθώς ένα πλαίσιο δεν πρέπει να στοχεύει μόνο στην εξυπηρέτηση του τελικού χρήστη αλλά να μπορεί να εξυπηρετήσει και τα προβλήματα των δικτύων, μιας και αναφερόμαστε σε Κινητά Υπολογιστικά Νέφη.

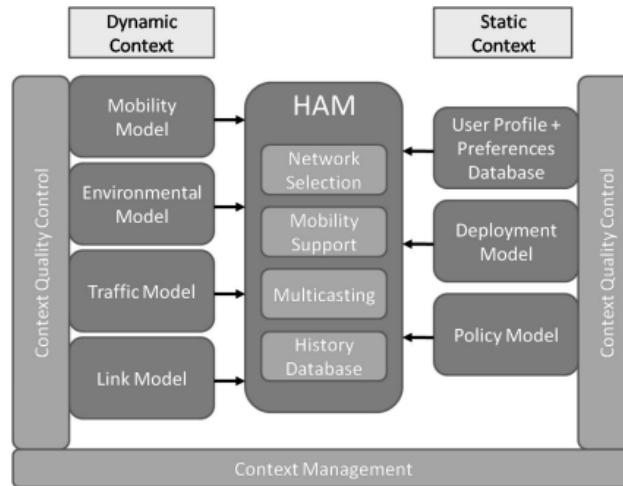


Εικόνα 31: Σύστημα Διαχείρισης πληροφοριών Context (Panu et al., 2013)

5.4 Ευφυή πρόσβαση σε ασύρματα δίκτυα Κινητών Υπολογιστικών Νεφών

Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενες παραγράφους η ετερογένεια των σημερινών ασύρματων δικτύων είναι μια πρόκληση για τα Κινητά Υπολογιστικά Νέφη. Ο Klein και οι συνεργάτες του προτείνουν μια ιδέα μιας ευφυούς πρόσβασης στα ασύρματα δίκτυα

(Intelligent Radio Network Access - IRNA) και παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα. Συγκεκριμένα το προτεινόμενο σύστημα IRNA χρησιμοποιεί τα χαρακτηριστικά καθενός ασύρματου δικτύου ενώ ταυτόχρονα προσπαθεί να εξυπηρετήσει τους χρήστες οι οποίοι αντιμετωπίζουν προβλήματα στην σύνδεσή τους. Πληροφορίες όπως η κατάσταση του δικτύου προστίθενται και ανανεώνονται συνεχώς στο σύστημα πληροφοριών πλαισίου έτσι ώστε να υπάρχει καλύτερη διαχείριση της συνδεσιμότητας του χρήστη.



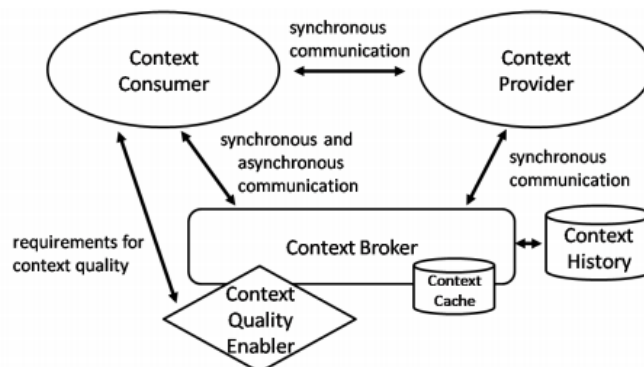
Εικόνα 32: IRNA Concept (Klein et al., 2010)

Ανάλογα με την διαφορετικές πληροφορίες πλαισίου, οι ιδέες διαχείρισης του πλαισίου έχουν να αντιμετωπίσουν διαφορετικές συνθήκες και προϋποθέσεις. Μια αρχιτεκτονική που προτείνεται (Context Management Architecture - CMA) η οποία είναι βασισμένη στο μοντέλο παραγωγού-καταναλωτή. Αυτή η αρχιτεκτονική είναι σχεδιασμένη ώστε να διαχειρίζεται έξυπνα πληροφορίες πλαισίου καθώς και να προσέχει την ποιότητα που παρέχεται για τους σκοπούς του IRNA. Τα βασικά στοιχεία που την αποτελούν είναι ο Πάροχος Context, ο Μεσίτης Context, ο Καταναλωτής Context και ο Διαχειριστής ποιότητας Context.

- **Context (Context Provider):** Ο Context Provider παρέχει τις αρχικές πληροφορίες στο πλαίσιο πληροφοριών και στις υπόλοιπες οντότητες μέσα στην αρχιτεκτονική του CMA. Αυτές οι πληροφορίες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την οντότητα από όπου προέρχεται, με το είδος τους αλλά και με την προτεραιότητα τους. Μπορούν επίσης να είναι και στατικές οι δυναμικές πληροφορίες που αλλάζουν στην πάροδο του χρόνου. Αυτές λοιπόν οι πληροφορίες μεταφέρονται στον Context Broker.

- Μεσίτης Context (Context Broker):** Ο Context Broker έχει τον ρόλο του μεσάζοντος. Βασικός του σκοπός είναι η συλλογή των πληροφοριών και η κατηγοριοποίησή τους σε ένα μητρώο. Με βάση αυτό το μητρώο γίνονται δύο ειδών επικοινωνίες με τους Context Providers, την ασύγχρονη και την άμεση επικοινωνία. Στην ασύγχρονη επικοινωνία το περιεχόμενο της πληροφορίας διαβιβάζεται και η απάντηση δημιουργείται όταν μια κατάσταση αλλάξει. Στην άμεση επικοινωνία η απάντηση από της μεταφοράς της πληροφορίας μεταφέρεται αμέσως. Κάποιες από τις πληροφορίες που δεν είναι χρήσιμες την συγκεκριμένη χρονική στιγμή μπορούν να αποθηκευτούν τοπικά για μελλοντική χρήση.
- Καταναλωτής Context (Context Consumer):** Ο Context Consumer είναι μια οντότητα όπου χρησιμοποιεί τις πληροφορίες πλαισίου σαν δεδομένα εισαγωγής για τις δικές του λειτουργίες. Δικτυακές υπηρεσίες, εφαρμογές για τους τελικούς χρήστες ή ηλεκτρονικοί δέκτες είναι Context Consumers. Οι Context Consumers μπορούν να επικοινωνούν απευθείας με τους Context Providers αλλά και μέσω αναγνωριστικών URI (Uniform Resource Identifier) με τους Context Brokers.
- Διαχειριστής ποιότητας Context (Context Quality Enabler):** Οι Context Quality enablers είναι υπεύθυνοι για την ποιότητας των περιεχομένων των πληροφοριών αλλά και της συνολικής ποιότητας της αρχιτεκτονικής CMA. Αυτοί είναι εγκατεστημένοι στους Context Brokers όπου έχουν πρόσβαση στο μητρώο. Επίσης όταν ένας Context Consumer επιθυμεί κάποιες πληροφορίες, διαβιβάζει και στον Context Quality Enabler τις δικές του απαιτήσεις ποιότητας.

Η γενική αρχιτεκτονική του συστήματος διαχείρισης παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα όπου και εμφανίζει τις σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων.



Εικόνα 33: Αρχιτεκτονική Context Management (Klein et al., 2010)

Κεφάλαιο 6: Υλοποίηση σεναρίου χρήσης Cloudlet με την βοήθεια του CloudAnalyst

Στα προηγούμενα κεφάλαια της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής εργασίας, προτάθηκε η χρήση των υπολογιστικών δομών Cloudlet κυρίως με την βοήθεια της υπολογιστικής αποφόρτωσης ώστε να ελαχιστοποιηθούν προβλήματα που αφορούν το Κινητό Υπολογιστικό Νέφος. Παρουσιάστηκε επίσης η διαδρομή που ακολουθούν τα δεδομένα από το κινητό του χρήστη μέσα στο Κινητό Υπολογιστικό Νέφος. Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστεί ο σχεδιασμός και η ανάλυση αποτελεσμάτων χρήσης μιας εικονικής δομής Cloudlet τεκμηριώνοντας τις αρχιτεκτονικές επιλογές τους. Στόχος είναι η ανάδειξη των θετικών στοιχείων και της βοήθειας που μπορεί να παρέχουν σε μια γενικότερη δομή Κινητού Υπολογιστικού Νέφους.

Με την ανάπτυξη των Υπολογιστικών Νεφών και της ολοένα μείωσης τιμών της υπολογιστικής δύναμης, η χρήση μικρότερων δομών με στόχο την υποβοήθηση του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους είναι γεγονός. Κάθε μικρότερη υπολογιστική δομή Νέφους βρίσκεται σε διαφορετικά μέρη, αποτελείται από διαφορετικά χαρακτηριστικά σε τεχνικό επίπεδο και είναι υπό κατοχή διαφορετικών παρόχων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή η σωστή διαχείριση τους, η τιμολόγηση καθώς και η αποτελεσματικότητά τους. Επίσης υπάρχει έλλειψη σε εργαλεία τα οποία μπορούν να προσομοιάσουν μια υποδομή με πολλές μικρότερες υπολογιστικές δομές έτσι ώστε, λαμβάνοντας υπόψη την γεωγραφική τους θέση τα διαφορετικά χαρακτηριστικά τους και φορτίο αιτήσεων των χρηστών, να μπορούν να παρουσιάσουν μια ολοκληρωμένη ανάλυση. Η πρόταση για την γεφύρωση αυτού του χάσματος είναι το εργαλείο CloudAnalyst (Wickremasinghe et. all, 2010) όπου θα σημειωθούν οι δυνατότητες του καθώς και θα γίνει μια παρουσίαση ενός σεναρίου χρήσης.

6.1 Επιλογή εργαλείου

Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο στην γενική δομή των Υπολογιστικών Νεφών εντοπίζουμε τρία μοντέλα υπηρεσιών. Την Υποδομή ως Υπηρεσία (Infrastructure as a service – IaaS), την Πλατφόρμα Νέφους ως Υπηρεσία (Platform as a Service – PaaS) και το Λογισμικό Νέφους ως Υπηρεσία (Software as a Service - SaaS). Η προσομοίωση ενός Υπολογιστικού Νέφους λαμβάνει χώρα στην τρίτη δομή, την δομή Λογισμικού ως Υπηρεσία. Υπάρχουν πολλές μελέτες σχετικά με την προσομοίωση τεχνικών και ανάλυση της συμπεριφοράς ενός μεγάλου συστήματος υπολογιστών. Μερικά παραδείγματα

framework είναι το GridSim, το MicroGrid, το GangSim ,το SimGrid και το CloudSim. Εκτός από το CloudSim τα υπόλοιπα frameworks εστιάζουν περισσότερο στα υπολογιστικά συστήματα Grid, το CloudSim είναι η καλύτερη επιλογή όσο αφορά την μελέτη υπολογιστικών συστημάτων (Wickremasinghe et. all, 2010)

Το CloudSim είναι ένα εργαλείο-βιβλιοθήκη για την προσομοίωση σεναρίων σε υπολογιστικά Νέφη. Παρέχει βασικές κλάσεις για την περιγραφή κέντρων δεδομένων, εικονικών μηχανημάτων, εφαρμογών, χρηστών, υπολογιστικών πόρων και πολιτικών για την διαχείριση των διαφορετικών μερών του συστήματος. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να παρουσιαστούν στους χρήστες έτσι ώστε να πορθούν να αξιολογήσουν νέες στρατηγικές χρήσης στα Υπολογιστικά Νέφη, περιλαμβάνοντας τεχνικές αλγορίθμων, load balancing και κόστους. (Code.google.com, 2015). Επέκταση του CloudSim αποτελεί το εργαλείο CloudAnalyst όπου κάνει χρήση πολλών από τα χαρακτηριστικά του CloudSim και επεκτείνει πολλές από τις δυνατότητές του. Το εργαλείο CloudAnalyst είναι αυτό το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε για την παρουσίαση του σεναρίου χρήσης.

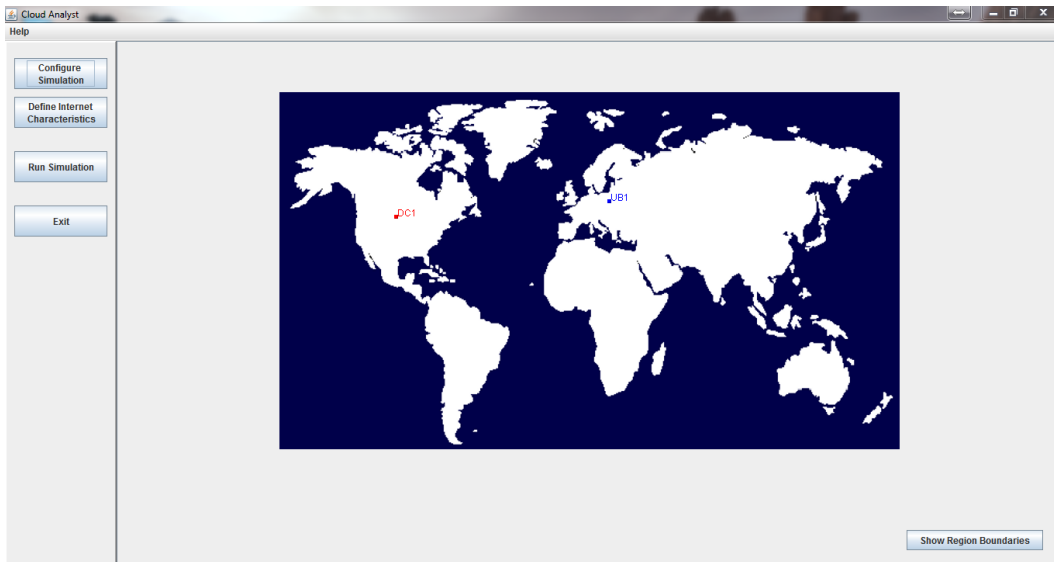
6.2 Το εργαλείο CloudAnalyst

Το CloudAnalyst είναι ένα εργαλείο το οποίο είναι κατασκευασμένο επάνω στο framework του CloudAnalyst, γραμμένο στην γλώσσα JAVA. Δίνει την δυνατότητα διαχείρισης και επαναλαμβανόμενων προσομοιώσεων στο Υπολογιστικό Νέφος. Σκοπός του εργαλείου είναι επίσης η υποστήριξη της κίνησης των Υπολογιστικών Νεφών και μεγάλων κέντρων δεδομένων λαμβάνοντας υπόψη στοιχεία όπως η γεωγραφική θέση, η απόσταση μεταξύ τους αλλά και των υπολογιστικών πόρων που χρησιμοποιούν (Wickremasinghe et. all, 2010)

Τα χαρακτηριστικά του CloudAnalyst είναι:

- **Ευκολία χρήσης.** Όπως θα δούμε και παρακάτω, η ευκολία και η απλότητα του γραφικού περιβάλλοντος καθιστά την χρήση του πολύ εύκολη. Η εγκατάσταση, η παραμετροποίηση και η εισαγωγή δεδομένων γίνεται εύκολα και γρήγορα.
- **Ευελιξία στην εισαγωγή πολύπλοκων δεδομένων:** Σε πολλές προσομοιώσεις χρειάζεται να υπολογιστούν πολλοί διαφορετικοί παράγοντες όπως μεγάλος αριθμός κέντρων δεδομένων και εικονικών μηχανημάτων ή διαφορετικών ταχυτήτων και αιτήσεων από πολλούς χρήστες ταυτόχρονα. Το CloudAnalyst μπορεί να επεξεργαστεί τέτοιους υπολογισμούς.

- **Εύρος διαφορετικών παραμέτρων-δεδομένων:** Δεδομένα που μπορεί να εισάγει ο χρήστης για την προσομοίωση είναι ο αριθμός των κέντρων δεδομένων, τα εικονικά μηχανήματα που διαθέτουν, ο γεωγραφικός χώρος που βρίσκονται, η επεξεργαστική ισχύ τους, η μνήμη, ο αποθηκευτικός χώρος, το λειτουργικό σύστημα, οι αλγόριθμοι διαμοιρασμού της κίνησης, οι χρήστες, οι ποσότητα αιτημάτων τους, η ταχύτητα internet κτλπ.
- **Εμφάνιση αποτελεσμάτων και αποθήκευση:** Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης εμφανίζονται σε παράθυρο με όλα τα χρήσιμα δεδομένα τα οποία μπορούν να αποθηκευτούν. Επίσης οι ρυθμίσεις μπορούν να αποθηκευτούν σε μορφή XML για χρήση στο μέλλον.

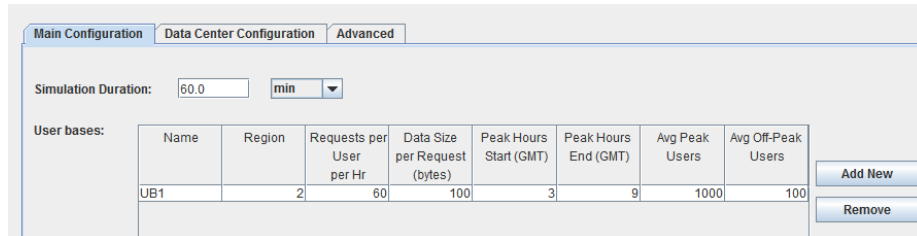


Εικόνα 34: Γραφικό περιβάλλον χρήσης του CloudAnalyst

Όσον αφορά την αρχιτεκτονική του, τα βασικά στοιχεία του CloudAnalyst είναι:

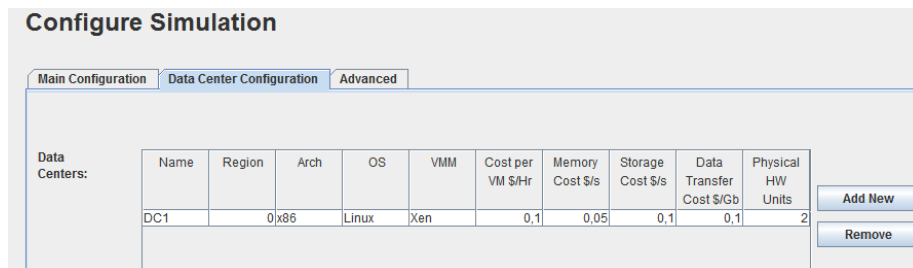
- **Περιβάλλον χρήσης – GUI:** Το περιβάλλον χρήσης όπως φαίνεται στην προηγούμενη εικόνα είναι κατασκευασμένο σε γλώσσα προγραμματισμού JAVA και είναι υπεύθυνο για την αλληλεπίδραση με τον χρήστη.
- **Προσομοίωση:** Το βασικότερο στοιχείο είναι το κομμάτι της προσομοίωση που προσφέρει το εργαλείο και είναι υπεύθυνο για την εισαγωγή των δεδομένων, την επεξεργασία και την τελική ανάλυση. Για την εκτέλεση της διαδικασίας ο χρήστης επιλέγει το κουμπί “Run Simulation” δηλαδή εκτέλεση προσομοίωσης.
- **Βάση Χρηστών:** Σε αυτό το στοιχείο ο χρήστης επιλέγει και εισάγει δεδομένα που αναπαριστούν τους χρήστες και τα αιτήματα τα οποία αποστέλλουν. Το

στοιχείο αυτό φαίνεται στην περιοχή “Κύρια Παραμετροποίηση” μετά την επιλογή του στοιχείου “Παραμετροποίηση Προσομοίωσης”. Μπορούμε να παρατηρήσουμε τα πεδία που μπορεί να βάλει ο χρήστης όπως: Περιοχή χρηστών, αιτήματα χρήστη ανά ώρα, μέγεθος αίτησης του χρήστη, ώρες αιχμής και πλήθος χρηστών σε εκείνες τις ώρες αλλά και στις υπόλοιπες ώρες της ημέρας.



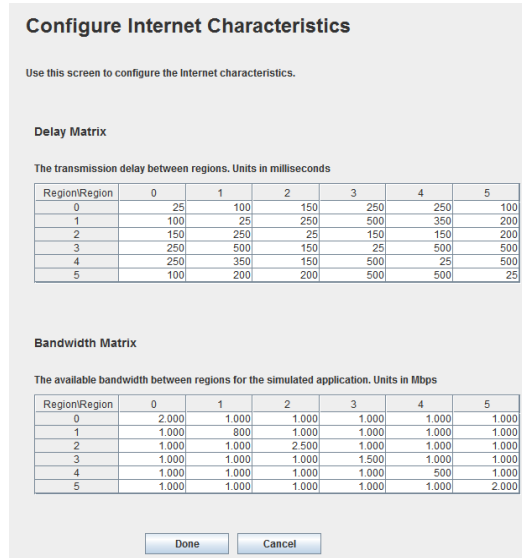
Εικόνα 35: Στοιχείο Βάσης Χρηστών στο εργαλείο CloudAnalyst

- Data center controller:** Σε αυτή την περιοχή ελέγχονται οι δραστηριότητες των κέντρων δεδομένων. Ο χρήστης μπορεί να προσθέσει κέντρα δεδομένων, να ορίσει την περιοχή όπου βρίσκονται, το κόστος καθώς και το πλήθος των εικονικών μηχανημάτων που διαθέτουν. Μπορούμε να παρατηρήσουμε τα πεδία που μπορεί να βάλει ο χρήστης όπως: Περιοχή Data Center, αρχιτεκτονική, λειτουργικό σύστημα, κόστος ανά εικονικό μηχάνημα, κόστος μνήμης, κόστος μεταφοράς δεδομένων καθώς και πλήθος φυσικών υπολογιστικών μονάδων.



Εικόνα 36: Στοιχείο Data center controller στο εργαλείο CloudAnalyst

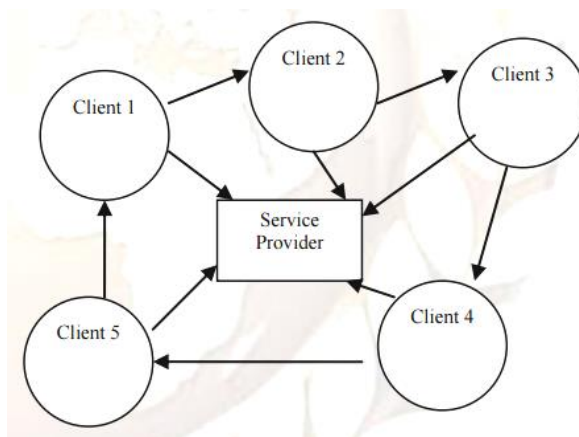
- Χαρακτηριστικά Internet:** Εδώ ρυθμίζονται οι παράμετροι του Internet όπως οι ταχύτητα ή η καθυστέρηση μεταξύ των περιοχών.



Εικόνα 37: Στοιχείο Χαρακτηριστικών Internet στο εργαλείο CloudAnalyst

- **VMLoadbalancer**: Ο VMLoadbalancer έχει την ευθύνη της ανάθεσης σε κάποιο από τα εικονικά μηχανήματα ώστε να εκτελεστεί το επόμενο αίτημα των χρηστών. Οι προεπιλεγμένες επιλογές, δηλαδή οι πολιτικές που παρέχει το εργαλείο είναι οι ακόλουθες (Tanveer et al., 2012 & Shah et al., 2013):

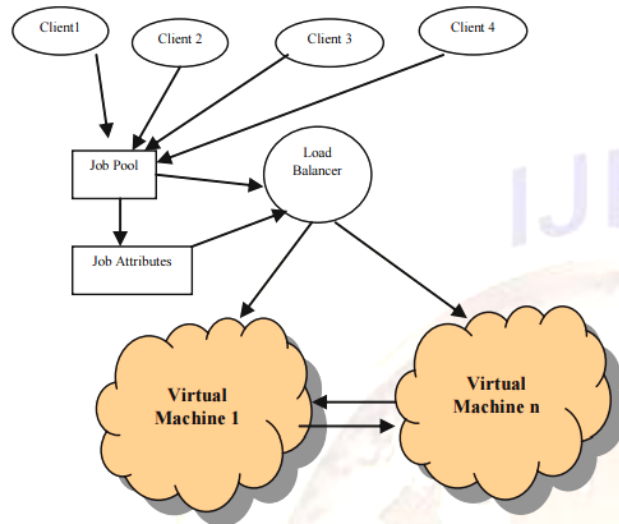
1. **Round-Robin Load Balancer**: Στην συγκεκριμένη πολιτική χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος Round Robin για την κατανομή των εικονικών μηχανημάτων. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί μια λίστα των εικονικών μηχανημάτων όπου και διαβιβάζει τα αιτήματα των χρηστών αρχίζοντας από το πρώτο μηχάνημα με την σειρά έως το τελευταίο.



Εικόνα 38: Αλγόριθμος Round Robin

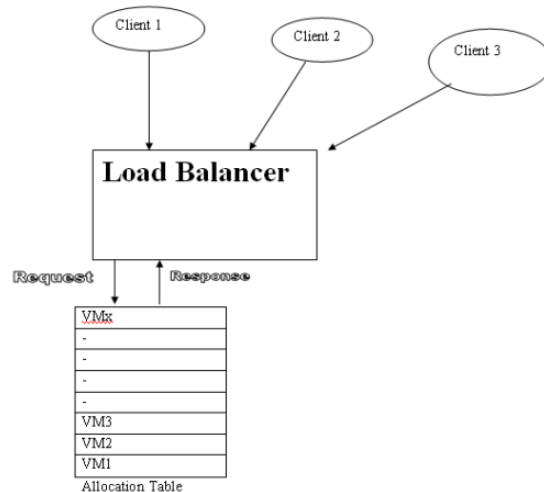
2. **Equally Spread Current Execution Load**: Σε αυτή την πολιτική ο VMLoadbalancer επικοινωνεί περιοδικά με τα εικονικά μηχανήματα ώστε

να γνωρίζει την κατάσταση στην οποία βρίσκονται. Έτσι ανάλογα με τις ανταποκρίσεις και βάση ικανοποίησης κριτηρίων επιλέγει την προώθηση των αιτημάτων των χρηστών.

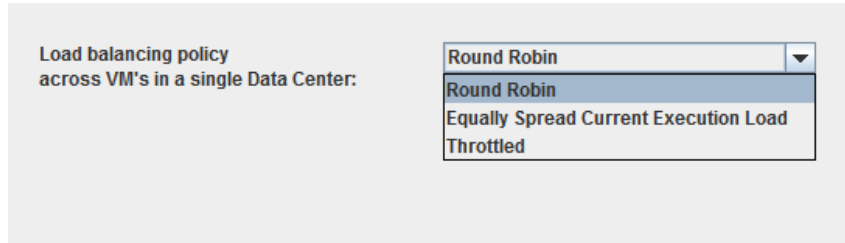


Εικόνα 39: Αλγόριθμος Equally Spread Execution Load

3. Throttled Load Balancer: Σε αυτή την πολιτική το αίτημα του χρήστη προωθείται ανάλογα με το φορτίο των εικονικών μηχανημάτων. Αρχικά γίνεται μια αναζήτηση από τον VMLoadBalancer όπου αναζητεί το κατάλληλο μηχάνημα που μπορεί να υποστηρίξει το συγκεκριμένο αίτημα. Εάν δεν βρεθεί τότε το αίτημα μπαίνει σε ουρά αναμονής.

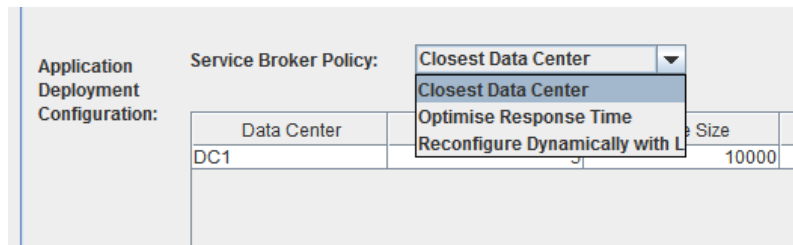


Εικόνα 40: Αλγόριθμος Throttled Load



Εικόνα 41: VMLoadBalancer στο εργαλείο CloudAnalyst

- **CloudAppServiceBroker:** Ο CloudAppServiceBroker αναλαμβάνει την επιλογή της πολιτικής της κίνησης μεταξύ των κέντρων δεδομένων και των χρηστών. Το εργαλείο CloudAnalyst διαθέτει τρεις πολιτικές όπου και φαίνονται στην παρακάτω εικόνα και αναλύονται ως εξής:



Εικόνα 42: CloudAppServiceBroker στο εργαλείο CloudAnalyst

1. Closest Data Center, όπου όλη η κίνηση προωθείται στο κοντινότερο Data Center στην περιοχή των χρηστών. Συγκεκριμένα όταν ο Broker λαμβάνει ένα αίτημα, εκείνη την στιγμή χρησιμοποιώντας μια λίστα με γεωγραφικές αποστάσεις των data centers, επιλέγει το κοντινότερο. Εάν υπάρχουν περισσότερα από ένα τότε επιλέγεται ένα τυχαία.
2. Optimize Response Time, όπου στην συγκεκριμένη χρονική στιγμή που αποστέλλεται ένα αίτημα ανάλογα με τους χρόνους απόκρισης όλων των data centers προωθείται στο καταλληλότερο δηλαδή αυτό με το μικρότερο χρόνο απόκρισης.
3. Reconfigure Dynamically with load routing, όταν ένα data center λειτουργεί κάτω από ένα όριο επιδόσεων τότε η κίνησή του μοιράζεται στα υπόλοιπα data centers. Επίσης γίνεται ανακατανομή των εικονικών μηχανημάτων ανάμεσα στα data centers ανάλογα με την λειτουργία τους ώστε τα data centers τα οποία χρειάζονται περισσότερη επεξεργαστική ισχύ να μπορούν να έχουν στην διάθεσή τους περισσότερα εικονικά μηχανήματα.

6.3 Case Study: Υποστήριξη εφαρμογής μετάφρασης σε πολυσύχναστο αρχαιολογικό χώρο με την βοήθεια Cloudlet

Υπάρχουν χώροι οι οποίοι λόγω κάποιου ενδιαφέροντος ελκύουν πλήθος κόσμου. Τις περισσότερες περιπτώσεις ο κόσμος δεν είναι σταθερός αλλά εξαρτάται από παράγοντες όπως ο χρόνος, οι καιρικές συνθήκες αλλά και παράγοντες ανθρώπινοι όπως συγκεντρώσεις και εκδηλώσεις. Η χρήση των κινητών τηλεφώνων σε τέτοιες περιπτώσεις πολλές φορές επιβαρύνει το υπάρχων δίκτυο και χρήστες οι οποίοι κάνουν χρήση εφαρμογών διαδικτύου ή τύπου cloud αδυνατούν να εξυπηρετηθούν. Κοντινές υπολογιστικές δομές Νέφους μπορούν να βοηθήσουν την αποσυμφόρηση αυτών των περιοχών. Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο οι υπολογιστικές δομές Νέφους τύπου Cloudlet εάν είναι εγκατεστημένες σε τέτοιες περιοχές μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά στην κίνηση των δεδομένων και στην υποβοήθηση των εφαρμογών των κινητών συσκευών. Ειδικότερα εάν οι εφαρμογές στην συγκεκριμένη περιοχή αιτούνται περιεχόμενο ίδιο τις περισσότερες φορές, μια δομή Cloudlet μπορεί να έχει προσωρινά αποθηκευμένο ένα μέρος του περιεχομένου αλλά και τις ίδιες τις εφαρμογές.

Μία τέτοια περιοχή είναι και η περιοχή της Ακρόπολης στην Αθήνα. Στην Ακρόπολη όλη την διάρκεια του χρόνου αλλά περισσότερο τους καλοκαιρινούς μήνες, επισκέπτες κατακλύζουν την περιοχή. Λαμβάνουμε υπόψη μας και την περιοχή του Λόφου της Ακρόπολης, το Μουσείο της Ακρόπολης καθώς και της αρχαιολογικές εφορίες που βρίσκονται στο μέρος. Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ³ οι επισκέπτες στην περιοχή της Ακρόπολης καθημερινά τους χειμερινούς μήνες μπορούν να φτάσουν κατά μέσο όρο τους 4000 ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες τους 15000.

³ Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία <http://www.statistics.gr/> (2015)



Εικόνα 43: Μουσείο Ακρόπολης

Σε αυτό το case study μελετάμε την συμπεριφορά μιας εφαρμογής μετάφρασης, προσωρινά αποθηκευμένων κειμένων, μεταφράσεων και πληροφοριών που αφορούν τον χώρο της Ακρόπολης με την βοήθεια του εργαλείου CloudAnalyst έτσι ώστε να αξιολογήσουμε την απόδοση και το κόστος χρήσης της σε μια υποδομή υπολογιστικού Νέφους που θα την υποστηρίζει. Θεωρούμε επίσης πως μια κοντινή δομή Cloudlet θα έχει προεγκατεστημένη την εφαρμογή για αποσυμφόρηση της κίνησης.

6.3.1 Παραμετροποίηση Προσομοίωσης

Για την δημιουργία της παραμετροποίησης θα πρέπει να θεωρηθεί:

- **Μια ομάδα χρηστών** που θα χρησιμοποιεί την εφαρμογή κατά μέσο όρο στην διάρκεια της ημέρας. Θα λαμβάνονται υπόψη τα αιτήματα χρήστη ανά ώρα, το μέγεθος των αιτημάτων αλλά και οι ώρες αιχμής. Θεωρούμε μια βάση χρηστών που αντιπροσωπεύει το πλήθος επισκεπτών στην αρχαιολογική περιοχή της Ακρόπολης. Τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν προέρχονται όπως αναφέραμε από τις μετρήσεις της ΕΛΣΤΑΤ και θεωρούμε πως την εφαρμογή την χρησιμοποιούν κατά μέσο όρο περίπου το 30% των συνολικών επισκεπτών, δηλαδή περίπου 2000 χρήστες. Λαμβάνεται υπόψη ότι τους καλοκαιρινούς μήνες και ιδιαίτερα τις μεσημβρινές ώρες έχουμε τον μεγαλύτερο αριθμό χρηστών (peak). Επίσης, ο κάθε χρήστης χρησιμοποιώντας την εφαρμογή, αποστέλλει ένα

αίτημα (μεγέθους 1 MB) κάθε 1 λεπτό. Τα στοιχεία αυτά τα εισάγουμε στο εργαλείο.

Πίνακας 3: Στοιχεία ομάδας χρηστών

Βάση Χρηστών	Περιοχή	Αιτήματα χρηστών/ώρα	Μέγεθος αιτημάτων	Ώρες συμφόρησης	Μέσος όρος χρηστών
UB1	1	60	1MB	12:00-16:00	2000

- **Οι δυνατότητες των data centers** όπου θα χρησιμοποιηθούν, με την επεξεργαστική τους δυνατότητα, την διαθέσιμη μνήμη, τον αποθηκευτικό χώρο που διαθέτουν αλλά και μια πολιτική χρέωσης. Το κόστος φιλοξενίας ενός μηχανήματος υπολογιστικού Νέφους ακολουθεί τα πρότυπα του Amazon. Δηλαδή το κόστος για κάθε εικονικό μηχάνημα την ώρα (1024Mb, 100MIPS) 0.10€ καθώς και η μεταφορά δεδομένων 1GB (0.10€). Τα εικονικά μηχανήματα αποτελούνται από επεξεργαστική ισχύ τεσσάρων πυρήνων 10000MIPS, αρχιτεκτονικής x86 με μνήμη RAM 2GB.

Πίνακας 4: Στοιχεία των Data Centers

Data center	Περιοχή	Αρχιτεκτονική	Κόστος εικονικού μηχανήματος/ώρα	Κόστος Μνήμης/ώρα	Αποθηκευτικός χώρος/GB	Φυσικές Μονάδες
DC1	1	x86	0,1€	0,05€	0,1€	2
DC2	2	x86	0,1€	0,05€	0,1€	2

6.3.2 Προσομοίωση σεναρίων

Τα σενάρια τα οποία παρουσιάζουμε αποτελούνται από ένα μέσο όρο πλήθους χρηστών της περιοχής και σε διαφορετικές παραμετροποιήσεις των data centers ακόμη και στον αριθμό τους όπου θα φιλοξενούν την εφαρμογή που αναφέραμε. Θα θεωρήσουμε λοιπόν αρχικά τα σενάρια:

1. Ένα data center με 50 εικονικά μηχανήματα μακριά από την περιοχή.
2. Ένα data center με 50 εικονικά μηχανήματα μακριά από την περιοχή και ένα κοντινό Cloudlet στην περιοχή με το 50% της υπολογιστικής ισχύς του πρώτου data center.

Οι διαφοροποιήσεις πραγματοποιούνται κυρίως για να μελετηθεί η συμπεριφορά ενός κοντινού Cloudlet στην περιοχή μικρότερης υπολογιστικής ισχύς, οπότε λαμβάνουμε υπόψη ότι το Cloudlet θα είναι μικρότερο έως 50% του μακρινού data center. Επίσης στα σενάρια θα εφαρμοστούν διαφορετικές πολιτικές στον Service Broker αλλά και στον VMLoadbalancer.

Τα στοιχεία προσομοίωσης εισήχθησαν στο εργαλείο του CloudAnalyst και κατόπιν 10 προσομοιώσεων σε κάθε περίπτωση τα αποτελέσματα αναγράφονται ανά μέσο όρο στον επόμενο πίνακα. Όλα τα σενάρια που προαναφέραμε αναγράφονται και παρουσιάζονται αριθμημένα.

6.3.3 Αποτελέσματα σεναρίων χρήσης

Ο παρακάτω πίνακας εμφανίζει τα αποτελέσματα αναλυτικά. Μπορούμε να παρατηρήσουμε τους διαφορετικούς χρόνους απάντησης (response time), εκτέλεσης εργασίας και κόστους. Πιο συγκεκριμένα τα στοιχεία που εμφανίζονται είναι:

- **Ο αριθμός προσομοίωσης** ο οποίος αναφέρεται στον αύξων αριθμό στον οποίο εκτελέστηκε το κάθε πείραμα. Σημειώνουμε ξανά πως τα αποτελέσματα αποτελούν μέσο όρο ενός συνόλου 10 πειραμάτων με τα ίδια χαρακτηριστικά ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν πιο έμπιστα αποτελέσματα.
- **Ο αριθμός των data centers:** όπου εμφανίζεται ο αριθμός των data centers που χρησιμοποιούνται. Στο πρώτο πείραμα χρησιμοποιούμε ένα μόνο data center το οποίο είναι μακριά από την περιοχή ενώ στα υπόλοιπα πειράματα έχουμε δύο data center όπου προστίθεται ένα κοντινό Cloudlet.
- **Πολιτική του Service Broker στα Data Centers:** όπου αναφέρεται η πολιτική του service broker μεταξύ της δρομολόγησης των εργασιών μεταξύ των διαφορετικών data centers του εκάστοτε πειράματος. Η ανάλυση των πολιτικών έχει γίνει σε προηγούμενη παράγραφο.
- **Πολιτική Load Balance στα εικονικά μηχανήματα:** αναφέρεται η πολιτική που χρησιμοποιείται στα εικονικά μηχανήματα εσωτερικά του κάθε data center. Οι αναλύσεις των πολιτικών έχουν αναφερθεί σε προηγούμενη παράγραφο.
- **Συνολικός χρόνος απάντησης:** είναι ο συνολικός χρόνος απάντησης μιας εργασίας που στάλθηκε. Υπολογίζεται συνολικά από την στιγμή που αποστέλλεται από το κινητό του χρήστη, προωθείται στο κατάλληλο data center, εκτελείται και επιστρέφει πίσω στον χρήστη.

- **Χρόνος επεξεργασίας ενός αιτήματος:** είναι ο χρόνος όπου ένα εικονικό μηχανήμα χρειάζεται να επεξεργαστεί ένα αίτημα.
- **Κόστος:** Αποτελεί το συνολικό κόστος που δαπανήθηκε από την χρήση των εικονικών μηχανημάτων, την μεταφορά δεδομένων καθώς και τον αποθηκευτικό χώρο που χρησιμοποιήθηκε. Υπενθυμίζουμε ότι η πολιτική χρέωσης που χρησιμοποιήθηκε ακολουθεί τα πρότυπα του Amazon.

Πίνακας 5: Αποτελέσματα προσομοιώσεων

Αριθμός Προσομ/ης	Data Centers	Πολιτική του Service Broker στα Data Centers	Πολιτική Load Balance στα εικονικά μηχανήματα	Συνολικός χρόνος απάντησης (ms)	Χρόνος επεξεργασίας ενός αιτήματος Avg(ms)	Κόστος €
1	1	-	Round Robin	89,22	6,14	126,81
2	2	Closest Data Center	Round Robin	72,44	11,55	150,82
3	2	Closest Data Center	Equally Spread Current Execution Load	72,40	11,51	150,82
4	2	Closest Data Center	Throttled	72,38	11,49	150,82
5	2	Optimize Response Time	Round Robin	72,43	11,55	150,81
6	2	Optimize Response Time	Equally Spread Current Execution Load	75,40	11,50	150,82
7	2	Optimize Response Time	Throttled	72,38	11,48	150,83

Συμπερασματικά η χρήση ενός data center κοντινού στην ομάδα χρηστών αποδίδει καλύτερους χρόνους. Συγκεκριμένα στις προσομοιώσεις με αύξων αριθμό 4 και 7 χρησιμοποιώντας ένα κοντινό Cloudlet και πολιτικής του Service Broker που επιλέγει κυρίως το κοντινότερο Cloudlet ακόμη και σε ώρες αιχμής (με την βοήθεια πάντα του μακρινού data center) επιτυγχάνονται καλύτερα αποτελέσματα. Επίσης λόγω της πολιτικής του load balance

μεταξύ των εικονικών μηχανημάτων επιτυγχάνεται καλύτερος χρόνος επεξεργασίας των αιτημάτων με θετική επίπτωση στον συνολικό χρόνο απάντησης. Βέβαια ο χρόνος δεν έχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους αλλά όταν μιλάμε για μεγαλύτερης κλίμακας αιτήσεων, χρηστών και δεδομένων τότε η διαφορά θα είναι εμφανής. Τα συγκεκριμένα σενάρια συμβάλλουν στις αρχικές μας υποθέσεις όπου ένα κοντινό data center που παίζει τον ρόλο του Cloudlet μπορεί να έχει αποδοτικότερα αποτελέσματα αποσυμφορώντας την κίνηση σε μια περιοχή.

Στις υπόλοιπες προσομοιώσεις λόγω πολιτικής του load balance μεταξύ των εικονικών μηχανημάτων παρατηρούμε μικρές διαφορές σε χρόνους επεξεργασίας με αποτέλεσμα να έχουν αρνητική επίπτωση στους χρόνους απάντησης. Βέβαια πάντα με την επιλογή του κοντινότερου Cloudlet οι χρόνοι είναι καλύτεροι από την χρήση μόνο του μακρινού όπως φαίνεται στο παράδειγμα 1. Μπορούμε επίσης να παρατηρήσουμε τις διαφορές στο κόστος ανάμεσα στα παραδείγματα. Προφανώς η διαφορά στο κόστος βρίσκεται στα παραπάνω μηχανήματα του από το πρώτο πείραμα, δηλαδή στην προσθήκη του κοντινού Cloudlet.

Μπορούμε να σημειώσουμε πως όταν έχουμε παραπάνω εικονικά μηχανήματα που υποστηρίζουν την εφαρμογή, σίγουρα αυτό σημαίνει και περισσότερος αποθηκευτικός χώρος αλλά και περισσότερη μνήμη. Αυτό όμως (ακόμη και στα συγκεκριμένα παραδείγματα) μας οδηγεί σε άσκοπη χρήση των πόρων αυτών, όταν μπορούν τα υπάρχοντα να ανταπεξέλθουν χωρίς προβλήματα. Το κόστος σε μεγάλη κλίμακα του χρόνου μπορεί να είναι πολύ υψηλό και να μην συμφέρει σε καμία περίπτωση. Αυτό που προτείνουμε με βάση τα αποτελέσματα είναι η χρήση ενός κοντινού Cloudlet που θα συνεργάζεται με το μακρινό data center ιδιαίτερα κατά τις ώρες αιχμής και γενικότερα την θερινή περίοδο.

Περαιτέρω προσομοιώσεις με περισσότερους αλγόριθμους και πολιτικών του Service Broker θα μπορούσαν να αναλύσουν την συμπεριφορά των σεναρίων, αλλά το εργαλείο CloudAnalyst προσφέρει αυτές τις συγκεκριμένες επιλογές. Επίσης το εργαλείο δεν μπορεί να παρουσιάσει το utilization των servers έτσι ώστε να γνωρίζουμε την απόδοση τους στις διάφορες χρονικές στιγμές κάτι το οποίο θα ήταν πολύ χρήσιμο στα πειράματά μας.

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και μελλοντικές κατευθύνσεις

Εντός αυτού του πλαισίου παρουσιάστηκε συνολικά η Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία επάνω στις υποδομές του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους. Παρουσιάστηκαν επίσης οι θετικές πτυχές αλλά και τα προβλήματα τα οποία προκύπτουν. Έγινε μια ανάλυση σε αλγόριθμους και τεχνικές βελτιστοποίησης των δομών του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους αλλά και μελέτη βασικών τεχνολογιών υποστήριξής του. Επίσης παρουσιάστηκαν αποτελέσματα πειραμάτων χρήσης τεχνολογιών του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους.

Οι δυνατότητες που προσφέρουν τα Κινητά Υπολογιστικά Νέφη είναι τεράστιες. Παρέχουν αρκετά οφέλη στις υπάρχουσες τεχνολογίες τόσο των Υπολογιστικών Νεφών όσο και στα Κινητά Δίκτυα. Όπως αναφέρθηκε οι δομές των Cloudlets συμβάλλουν στην κατεύθυνση αυτή κάνοντας χρήση τεχνικών αποφόρτωσης σε περιοχές με μεγάλο πλήθος χρηστών. Συνεπώς αξιοποιώντας τις συγκεκριμένες τεχνολογίες οι χρήστες μπορούν να λαμβάνουν υψηλού επιπέδου υπηρεσίες αλλά και οι πάροχοι να έχουν μεγαλύτερα οφέλη κυρίως σε οικονομικό επίπεδο.

Τα Κινητά Υπολογιστικά Νέφη είναι μια νέα επιστημονική περιοχή που τον τελευταίο καιρό γίνεται δημοφιλής τάση για εξερεύνηση. Πολλές μελέτες και οι κατευθύνσεις που δέχεται ο κλάδος της πληροφορικής οδηγούν στην περαιτέρω αξιοποίηση τους έχοντας ως στόχο την ποιότητα που προσφέρουν οι υπηρεσίες αυτές. Πολλές όμως πτυχές βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο όπου και χρειάζονται περαιτέρω ανάλυση διότι ο αντίκτυπος στην παροχή και στην χρήση είναι μέχρι τώρα άγνωστος. Έτσι προκύπτουν κάποιες σημαντικές ανησυχίες και περιοχές συζήτησης.

Ένα σημαντικό πεδίο συζήτησης αφορά στις δυνατότητες των ίδιων των κινητών τηλεφώνων. Οι δυνατότητες τόσο στην εισαγωγή δεδομένων όσο και στην εμφάνισή τους παραμένει δύσκολη στον απλό χρήστη σε σχέση με μια υπολογιστική μονάδα. Στο μέλλον όμως αυτό φαίνεται να αλλάζει καθώς σχεδιαστές και προγραμματιστές στοχεύουν συνεχώς στην ελαχιστοποίηση αυτού του προβλήματος με στόχο την καλύτερη χρήση και την συλλογή δεδομένων. Αυτοματοποιούντε συνεχώς διαδικασίες (όπως η θέση και η ταυτότητα του χρήστη) αλλά και γίνεται προσπάθεια καλύτερης εμφάνισης της πληροφορίας που χρειάζεται ο κάθε χρήστης (Ravindranath et al., 2013).

Μια άλλη σημαντική πτυχή είναι η διαλειτουργικότητα μεταξύ των δικτύων. Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο η ανάγκη για αδιάλειπτη σύνδεση των κινητών

συσκευών και η επαρκής διαχείριση διαφορετικών δικτύων είναι επιτακτική. Οι πόροι ασύρματων δικτύων είναι προφανώς περιορισμένοι καθώς απαιτούνται εγκαταστάσεις σε πολλές περιοχές, πολλαπλές αναβαθμίσεις και γενικά δύσκολα να διαχειριστούν, πόσο μάλλον όταν εισάγεται και η έννοια των Κινητών Υπολογιστικών Νεφών. Οι σημερινές έρευνες προσπαθούν να εστιάσουν σε αυτό το πρόβλημα εισάγοντας νέες τεχνικές και τεχνολογίες.

Η χρήση δομών του Κινητού Υπολογιστικού Νέφους είναι πολύπλοκη και δύσκολη όταν πρέπει να διαχειριστούν οι πόροι. Όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο υπάρχει έλλειψη σε εργαλεία τα οποία μπορούν να προσομοιώσουν μια υποδομή με πολλές υπολογιστικές δομές λαμβάνοντας υπόψη και χρήστες κινητών συσκευών. Η περαιτέρω αναβάθμιση των εργαλείων που υπάρχουν αλλά και η συνεχής ανάπτυξη νέων είναι επιτακτική.

Βιβλιογραφία

- [1] 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Ένωσης Ελλήνων Νομικών “Αντιμέτωποι με τις σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις” (2011)
- [2] A.N. Khan, M.L.M. Kiah, S.U. Khan, S.A. Madani, Towards a secure mobile cloudcomputing: a survey, Future Generation Computer Systems 29 (5) (2013)
- [3] Ahmed, Tanveer, and Yogendra Singh. "Analytic Study Of Load Balancing Techniques Using Tool Cloud Analyst." International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) Vol 2.2 (2012)
- [4] Cloud Security Alliance “Guidance for identity & access management” 2009
- [5] Cuervo, Eduardo, et al. "MAUI: making smartphones last longer with code offload." Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services (2010)
- [6] D. Kovachev, Y. Cao, R. Klamma, “Mobile cloud computing: a comparison of application models” Computing Research Repository, (2010)
- [7] Deepak G, Pradeep B. “Challenging Issues and Limitations of Mobile Computing” Computer Techology & Applications (2012)
- [8] Fox, R. Griffith, A. Joseph, R. Katz, A. Konwinski, G. Lee, D. Patterson, A. Rabkin, I. Stoica, M. Zaharia, and M. Armbrust, “Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing” Berkeley, CA: Univ. California (2009)
- [9] Gizmodo (2015) Ανάκτηση 2015 από <http://gizmodo.com/>
- [10] Gupta, Pragma, and Sudha Gupta. "Mobile cloud computing: the future of cloud." International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering (2012)
- [11] Haoliang Wang. MS Thesis “Accelerating Mobile-Cloud Computing Using A Cloudlet” 2013.
- [12] Hoang.T. Dinh, C. Lee, D. Niyato, P. Wang “A survey of mobile cloud computing: architecture, applications, and approaches, Wireless Communications and Mobile Computing” (2011)
- [13] Klein, Andreas, et al. "Access schemes for mobile cloud computing." Mobile Data Management (MDM), 2010 Eleventh International Conference on. IEEE, 2010.

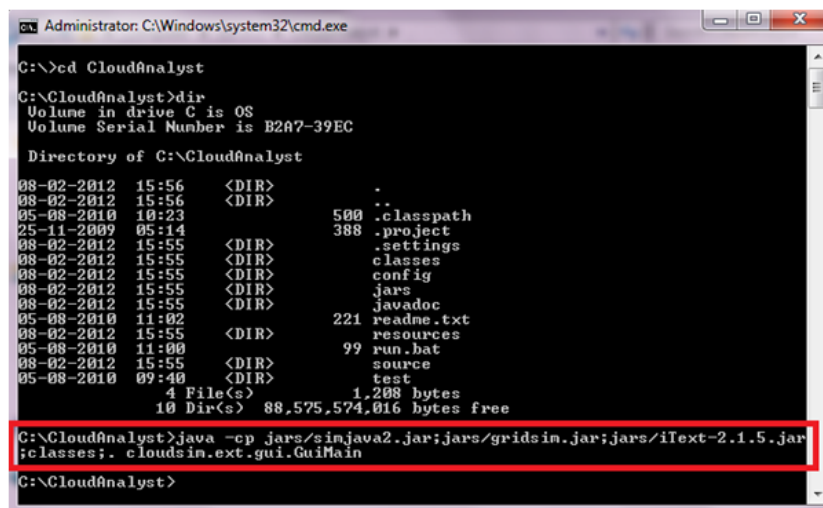
- [14] Korpipää, Panu, et al. "Managing context information in mobile devices." *IEEE pervasive computing* 3 (2003)
- [15] Kulkarni, Gurudatt, Prasad Khatawkar, and Jayant Gambhir. "Cloud Computing-Platform as Service." *International Journal of Engineering* (2011)
- [16] Kumar, Karthik, et al. "A survey of computation offloading for mobile systems." *Mobile Networks and Applications* (2013)
- [17] L. Gkatzikis and I. Koutsopoulos "Migrate or Not? Exploiting Dynamic Task Migration in Mobile Cloud Computing Systems" *IEEE Wireless Communications Magazine: Special Issue on Mobile cloud computing* (2013)
- [18] Liu, Fang, et al. "NIST cloud computing reference architecture" NIST special publication 500 (2011)
- [19] M. Satyanarayanan, P. Bahl, R. Caceres, and N. Davies. "The Case for VM-based Cloudlets in Mobile Computing" *IEEE Pervasive Computing*, (2009)
- [20] Ostermann, A. Iosup, M. N. Yigitbasi, R. Prodan, T. Fahringer, and D. Epema. "An early performance analysis of cloud computing services for scientific computing" (2009)
- [21] P. Mell and T. Grance "The NIST Definition of Cloud Computing," *US Nat'l Inst. of Science and Technology* (2011)
- [22] Ravindranath, K., N. Tejaswini, and K. Anusha. "A Novel Review on Mobile Cloud Computing" (2013)
- [23] Rudenko, Alexey, et al. "Saving portable computer battery power through remote process execution." *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review* 2.1 (1998)
- [24] Satyanarayanan, Mahadev. "Mobile computing: the next decade." *Acm Sigmobile, Mobile Computing and Communications* (2011).
- [25] Schüring, Markus "Mobile cloud computing—open issues and solutions" (2011)
- [26] Shah, MR Manan D., MR Amit A. Kariyani, and MR Dipak L. Agrawal. "Allocation Of Virtual Machines In Cloud Computing Using Load Balancing Algorithm." *International Journal of Computer Science and Information Technology & Security (IJCSITS)*, ISSN (2013)
- [27] Sweta Patel "A Survey of Mobile Cloud Computing: Architecture, Existing Work and Challenges Computer Engineering Department R.K. University" *India* (2013)

- [28] Wickremasinghe, Bhathiya, Rodrigo N. Calheiros, and Rajkumar Buyya. "Cloudanalyst: A cloudsim-based visual modeller for analysing cloud computing environments and applications." *Advanced Information Networking and Applications (AINA)*, 2010 24th IEEE International Conference on. IEEE (2010)
- [29] Wikipedia (2015) Ανάκτηση 2015 από <http://en.wikipedia.org>
- [30] Wolski, Richard, et al. "Using bandwidth data to make computation offloading decisions." *Parallel and Distributed Processing, 2008. IPDPS 2008. IEEE International Symposium*, (2008)
- [31] Z. Song, J. Molina, S. Lee, S. Kotani, and R. Masuoka. "TrustCube: An Infrastructure that Builds Trust in Client," in *Proceedings of the 1st International Conference on Future of Trust in Computing* (2009)

Παράρτημα: Συνοπτική Παρουσίαση της εγκατάστασης του εργαλείου CloudAnalyst

Πριν από την διαδικασία παραμετροποίησης του εργαλείου CloudAnalyst θα πρέπει να γίνει η εγκατάστασή του. Το πακέτο εγκατάστασης του CloudAnalyst μπορεί να ανακτηθεί σε συμπεσιμένη μορφή από το (<http://www.cloudbus.org/cloudsim/>) της σελίδας των εργαστηρίων του Πανεπιστημίου της Μεμβούρνης σε συμπεσιμένη μορφή. Θα πρέπει επίσης να υπάρχει προεγκατεστημένο κάποιο πακέτο της JAVA (τουλάχιστον Jaava SE6 η μεταγενέστερης) διότι το CloudAnalyst εκτελείτε σε περιβάλλον JAVA.

Το αρχείο αποσυμπίεσης αποτελείται από φακέλους που περιέχουν κλάσεις καθώς και οδηγίες εκτέλεσης. Η εκκίνηση του προγράμματος μπορεί να γίνει μέσω της γραμμής εντολών με την εξής εντολή: «`java -cp jars/simjava2.jar;jars/gridsim.jar;jars/iText-2.1.5.jar;classes;. cloudsim.ext.gui.GuiMain`» αλλιώς πολύ πιο εύκολα με την εκτέλεση του αρχείου run.bat όπου και περιέχει την παραπάνω εντολή για λόγους ευκολίας.



```

Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\>cd CloudAnalyst
C:\CloudAnalyst>dir
Volume in drive C is OS
Volume Serial Number is B2A7-39EC

Directory of C:\CloudAnalyst

08-02-2012  15:56  <DIR>          .
08-02-2012  15:56  <DIR>          ..
05-08-2010  10:23                500 .classpath
25-11-2009   05:14                388 .project
08-02-2012  15:55  <DIR>          .settings
08-02-2012  15:55  <DIR>          classes
08-02-2012  15:55  <DIR>          config
08-02-2012  15:55  <DIR>          jars
08-02-2012  15:55  <DIR>          javadoc
05-08-2010  11:02                221 readme.txt
08-02-2012  15:55  <DIR>          resources
05-08-2010  11:00                99 run.bat
08-02-2012  15:55  <DIR>          source
05-08-2010   09:40  <DIR>          test
                                4 File(s)    1,208 bytes
                                10 Dir(s)   88,575,574,016 bytes free

C:\CloudAnalyst>java -cp jars/simjava2.jar;jars/gridsim.jar;jars/iText-2.1.5.jar;classes;. cloudsim.ext.gui.GuiMain
C:\CloudAnalyst>
  
```

Εικόνα 44: Περιεχόμενα πακέτου εγκατάστασης του CloudAnalyst και εκτέλεση

Από εκεί και πέρα το παράθυρο αλληλεπίδρασης με τον χρήστη εμφανίζεται και ο ίδιος μπορεί να χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα και να το παραμετροποιήσει κατάλληλα έτσι ώστε να έχει τα αποτελέσματα μιας προσομοίωσης.



Εικόνα 45:Περιβάλλον χρήσης του εργαλείου CloudAnalyst