

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΤΜΗΜΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ  
ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ»**

*Διπλωματική Εργασία*

**«Ανάπτυξη και υλοποίηση εφαρμογής διαχείρισης  
ετερογενών δικτύων με βάση τη λειτουργική  
αρχιτεκτονική που βασίζεται σε σύγχρονα πρότυπα»**

**Ουρανία Φ. Βλαχούλη**

**Επιβλέπων: Αναπληρωτής Καθηγητής Παναγιώτης Δεμέστιχας**

**ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2009**

## Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων.....	i
Κατάλογος Εικόνων.....	iii
Κατάλογος Πινάκων.....	vi
Κατάλογος Πινάκων.....	vi
Ακρωνύμια.....	vii
Ακρωνύμια.....	vii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ Β3G.....	1
1.1 Εξέλιξη κυψελωτών συστημάτων μέχρι την 3η γενιά.....	1
1.2 Beyond 3 <sup>rd</sup> Generation.....	2
1.2.1 Στόχοι και απαιτήσεις.....	2
1.2.2 Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης.....	3
1.3 Cognitive Δίκτυα.....	4
1.4 Υλοποίηση Β3G μέσω cognitive δικτύων.....	6
1.5 Η έννοια του Self-X.....	7
1.6 Επαναπροσδιορισμός (Reconfigurability).....	8
1.6.1 Αντίκτυπος του Επαναπροσδιορισμού σε διάφορες ομάδες.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ.....	9
2.1 Αρχιτεκτονική διαχείρισης με βάση την Ε3.....	9
2.1.1 Autonomic Radio Entity Management.....	11
2.1.2 Cognition Enablers.....	11
2.1.3 Reconfiguration Management.....	13
2.1.4 Flexible Spectrum Management.....	14
2.1.5 Self-organising Network (SON).....	14
2.1.6. Radio Resource Management.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ.....	20
3.1 Τεκμηρίωση της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ.....	23
4.1 Μοντέλα Κινητικότητας (Mobility Models).....	23
4.1.1 Κινητικότητα βασισμένη στη συμπεριφορά των μυρμηγκιών (Mobility based on ant system).....	23
4.1.2 Κινητικότητα βασισμένη σε νευρωνικά δίκτυα (Mobility based on neural networks).....	24
4.1.3 Κινητικότητα βασισμένη σε προφίλ (Profile-based mobility scheme).....	26
4.1.4 Μοντέλο βασισμένο στη συμπεριφορά των ρευστών (The fluid model).....	28
4.2 Μοντέλα Κυκλοφορίας (Traffic Models).....	29
4.2.1 Κυκλοφορία βασισμένη σε μαρκοβιανές διαδικασίες Poisson (Markov	

Modular Poisson Process) .....	29
4.2.2 Κυκλοφορία βασισμένη σε μοντέλο ON-OFF-2ON (ON-OFF-2ON Traffic Model) .....	32
4.2.3 Κυκλοφορία βασισμένη σε μοντέλο με διάφορες πλατφόρμες (Traffic performance of cellular communications with mixed platforms).....	34
4.2.4 Κυκλοφορία βασισμένη σε πληθυσμιακό μοντέλο (The portable population model).....	37
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ</b> .....	<b>38</b>
5.1 Μοντέλο Κινητικότητα και Κυκλοφορίας.....	38
5.2 Επιλεγμένο μοντέλο .....	39
5.3 Υλοποίηση .....	40
5.4 Επεξήγηση Κώδικα .....	57
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ</b> .....	<b>61</b>
6.1 Περιγραφή του συστήματος .....	61
6.2 Σενάρια με UMTS, GSM, LTE .....	61
6.2.1 Αλλαγή στην πυκνότητα χρηστών (density) .....	62
6.2.2 Αλλαγή στην πυκνότητα χρηστών (density) με υπερφόρτωση σε μια RAT. ....	73
6.2.3 Αλλαγή στην πυκνότητα χρηστών με υπερφόρτωση σε κάποιον controller .....	92
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>106</b>
<b>ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ</b> .....	<b>108</b>

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Υποδομή ενός B3G συστήματος.....	2
Εικόνα 2: Cognition loop.....	4
Εικόνα 3: Παράδειγμα ενός cognitive ασύρματου δικτύου. Τα τερματικά μπορεί να αλλάξουν RAT ή/και συχνότητα, όταν εντοπιστούν νέες συνθήκες που το επιβάλλουν.....	6
Εικόνα 4: Βασικός κύκλος self-x .....	7
Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική σύμφωνα με την E <sup>3</sup> .....	9
Εικόνα 6: Self-organizing Network .....	15
Εικόνα 7: Κύκλος επεξεργασίας του DSNPM.....	17
Εικόνα 8: Απεικόνιση των δομικών στοιχείων στις διάφορες οντότητες.....	19
Εικόνα 9: FBS με 3 RATS (GSM, UMTS, LTE), η καθεμία από τις οποίες έχει διαφορετική ακτίνα και ορίζει διαφορετική κυψέλη.....	20
Εικόνα 10: MMPP δύο καταστάσεων.....	29
Εικόνα 11: Μοντέλο MMPP-2/M/1K.....	31
Εικόνα 12: Μοντέλο ON-OFF-2ON.....	32
Εικόνα 13: Η γραφική διεπαφή του προγράμματος.....	58
Εικόνα 14: Αριθμημένοι FBS της περιοχής κάλυψης.....	61
Εικόνα 15α: Περίπτωση 6.2.1.a – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS.....	64
Εικόνα 15β: Περίπτωση 6.2.1.a – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM.....	64
Εικόνα 15γ: Περίπτωση 6.2.1.a – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE.....	65
Εικόνα 16: Περίπτωση 6.2.1.a – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers.....	66
Εικόνα 17α: Περίπτωση 6.2.1.b – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS.....	67
Εικόνα 17β: Περίπτωση 6.2.1.b – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM.....	68
Εικόνα 17γ: Περίπτωση 6.2.1.b – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE.....	68
Εικόνα 18: Περίπτωση 6.2.1.b – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers.....	69
Εικόνα 19α: Περίπτωση 6.2.1.c – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS.....	71
Εικόνα 19β: Περίπτωση 6.2.1.c – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM.....	71

Εικόνα 19γ: Περίπτωση 6.2.1.c – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE.....	72
Εικόνα 20: Περίπτωση 6.2.1.c – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers .....	73
Εικόνα 21α: Περίπτωση 6.2.2.α – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS.....	75
Εικόνα 21β: Περίπτωση 6.2.2.α – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM.....	75
Εικόνα 21γ: Περίπτωση 6.2.2.α – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE.....	76
Εικόνα 22: Περίπτωση 6.2.2.α – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers .....	77
Εικόνα 23α: Περίπτωση 6.2.2.b – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS.....	78
Εικόνα 23β: Περίπτωση 6.2.2.b – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM.....	79
Εικόνα 23γ: Περίπτωση 6.2.2.b – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE.....	79
Εικόνα 24: Περίπτωση 6.2.2.b – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers .....	80
Εικόνα 25α: Περίπτωση 6.2.2.c – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS.....	82
Εικόνα 25β: Περίπτωση 6.2.2.c – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM.....	82
Εικόνα 25γ: Περίπτωση 6.2.2.c – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE.....	83
Εικόνα 26: Περίπτωση 6.2.2.c – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers .....	84
Εικόνα 27α: Περίπτωση 6.2.2.d – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS.....	86
Εικόνα 27β: Περίπτωση 6.2.2.d – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM.....	86
Εικόνα 27γ: Περίπτωση 6.2.2.d – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE.....	87
Εικόνα 28: Περίπτωση 6.2.2.d – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers .....	88
Εικόνα 29α: Περίπτωση 6.2.2.e – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS.....	90
Εικόνα 29β: Περίπτωση 6.2.2.e – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM.....	90

Εικόνα 29γ: Περίπτωση 6.2.2.e – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE.....	91
Εικόνα 30: Περίπτωση 6.2.2.e – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers .....	92
Εικόνα 31: Ανάθεση των sites ανά 3 σε έναν controller .....	93
Εικόνα 32α: Περίπτωση 6.2.3.a – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS.....	94
Εικόνα 32β: Περίπτωση 6.2.3.a – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM.....	95
Εικόνα 32γ: Περίπτωση 6.2.3.a – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE.....	95
Εικόνα 33: Περίπτωση 6.2.3.a – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers .....	96
Εικόνα 34α: Περίπτωση 6.2.3.b – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS.....	98
Εικόνα 34β: Περίπτωση 6.2.3.b – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM.....	98
Εικόνα 34γ: Περίπτωση 6.2.3.b – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE.....	99
Εικόνα 35: Περίπτωση 6.2.3.b – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers .....	100
Εικόνα 36: Νέα ανάθεση των FBS σε controllers.....	101
Εικόνα 37α: Περίπτωση 6.2.3.c – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS.....	103
Εικόνα 37β: Περίπτωση 6.2.3.c – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM.....	103
Εικόνα 37γ: Περίπτωση 6.2.3.c – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE.....	104
Εικόνα 38: Περίπτωση 6.2.3.c – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers .....	105

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά κινητής τηλεφωνίας από 1G έως 3G .....	1
Πίνακας 2: Οι λειτουργικές οντότητες του RCM .....	13
Πίνακας 3: Κύκλος διαδικασιών ενός SON .....	14
Πίνακας 4: Βασικές λειτουργίες του DSNPM .....	16
Πίνακας 5: Ο κύκλος επεξεργασίας του DSNPM.....	16
Πίνακας 6: Αντιστοιχία των δομικών στοιχείων στις οντότητες του δικτύου .....	18
Πίνακας 7: Πίνακας καταστάσεων σε ένα MPBS σχήμα.....	28
Πίνακας 8α: Μεταβλητές του προγράμματος.....	57
Πίνακας 8β: Μεταβλητές του προγράμματος.....	58
Πίνακας 9: Αντιστοιχία RAT – RAT_id.....	60
Πίνακας 10: Default τιμές όπως δίνονται στο gui του προγράμματος .....	60
Πίνακας 11: Περίπτωση 6.2.1.a – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών .....	63
Πίνακας 12: Περίπτωση 6.2.1.a – Αποτελέσματα για τους controllers.....	65
Πίνακας 13: Περίπτωση 6.2.1.b – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών .....	67
Πίνακας 14: Περίπτωση 6.2.1.b – Αποτελέσματα για τους controllers.....	69
Πίνακας 15: Περίπτωση 6.2.1.c – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών .....	70
Πίνακας 16: Περίπτωση 6.2.1.c – Αποτελέσματα για τους controllers.....	72
Πίνακας 17: Περίπτωση 6.2.2.a – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών .....	74
Πίνακας 18: Περίπτωση 6.2.2.a – Αποτελέσματα για τους controllers.....	76
Πίνακας 19: Περίπτωση 6.2.2.b – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών .....	78
Πίνακας 20: Περίπτωση 6.2.2.b – Αποτελέσματα για τους controllers.....	80
Πίνακας 21: Περίπτωση 6.2.2.c – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών .....	81
Πίνακας 22: Περίπτωση 6.2.2.c – Αποτελέσματα για τους controllers.....	83
Πίνακας 23: Περίπτωση 6.2.2.d – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών .....	85
Πίνακας 24: Περίπτωση 6.2.2.d – Αποτελέσματα για τους controllers.....	87
Πίνακας 25: Περίπτωση 6.2.2.e – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών .....	89
Πίνακας 26: Περίπτωση 6.2.2.e – Αποτελέσματα για τους controllers.....	91
Πίνακας 27: Περίπτωση 6.2.3.a – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών .....	94
Πίνακας 28: Περίπτωση 6.2.3.a – Αποτελέσματα για τους controllers.....	96
Πίνακας 29: Περίπτωση 6.2.3.b – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών .....	97
Πίνακας 30: Περίπτωση 6.2.3.b – Αποτελέσματα για τους controllers.....	99
Πίνακας 31: Περίπτωση 6.2.3.c – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών .....	102
Πίνακας 32: Περίπτωση 6.2.3.c – Αποτελέσματα για τους controllers.....	104

## Ακρωνύμια

AEM	Autonomic Entity Management
ASN-GW	Access Service Network GateWay
B3G	Beyond 3rd Generation
BSC	Base Station Controller
CAPEX	Capital Expenditure
CCR	Cognitive Control Radio
CN	Core Network
CPC	Cognitive Pilot Channel
DSM	Dynamic Spectrum Management
DSNPM	Dynamic Self-organizing Network Planning Management
DVA	Digital Audio Broadcasting
DVB	Digital Video Broadcasting
E3	End-to-End Efficiency
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EPC	Evolved Packet Core
FBS	Flexible Base Station
GPRS	Generalized Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
HW	Hardware
IWU	InterWorking Unit
JRRM	Joint Radio Resource Management
LTE	Long Term Evolution
MA	Multiple Access
MMS	Multimedia Messaging Service
NO	Network Operator
O&M	Operation and Management
OPEX	Operational Expenditure
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Networks
RAT	Radio Access Technology
RCM	Reconfiguration Control and Management
RNC	Radio Network Controller
RRM	Radio Resource Management
SMS	Short Message Service
SNR	Signal to Noise Ratio
SON	Self-organizing Network



SS	Spectrum Sensing
SW	Software
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network

WAVELENGTHS

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ Β3G

### 1.1 Εξέλιξη κυψελωτών συστημάτων μέχρι την 3η γενιά

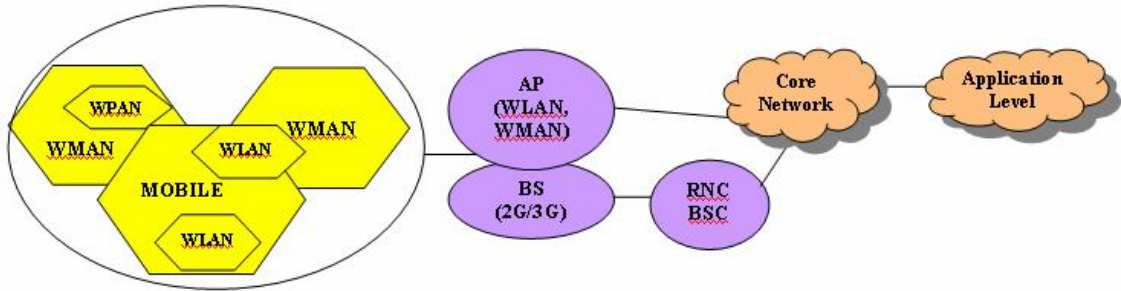
Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά κάθε γενιάς κινητών επικοινωνιών από την πρώτη μέχρι την τρίτη.

<i>Γενιά</i>	<i>Χαρακτηριστικά</i>
1G	Πρόκειται για τα αναλογικά κυψελωτά συστήματα, που εμφανίστηκαν το 1980. Υποστήριζαν πολύ χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης και χωρητικότητα.
2G	Τα συστήματα δεύτερης γενιάς εισήχθησαν στην αγορά μέσω του προτύπου GSM το 1991. Υποστήριζαν μεταγωγή κυκλώματος, όπως τα συστήματα 1G, αλλά είχαν 3 βασικές διαφορές από την προηγούμενη γενιά: <ul style="list-style-type: none"><li>• ψηφιακή διαμόρφωση της φωνής</li><li>• καλύτερη κατανομή φάσματος</li><li>• υπηρεσίες δεδομένων στα κινητά (SMS)</li></ul>
2.5G	Πρόκειται για ένα σκαλοπάτι μεταξύ των συστημάτων 2G και 3G. Αναφέρεται στα συστήματα δεύτερης γενιάς, τα οποία υποστηρίζουν, σε συνεργασία με τη μεταγωγή κυκλώματος, και μεταγωγή πακέτου, μέσω του προτύπου GPRS (General Packet Radio Service). Υποστηρίζουν ακόμα μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης, προσφέροντας έτσι και περισσότερες υπηρεσίες δεδομένων (MMS, υπηρεσίες Internet).
2.75G	Τα δίκτυα GPRS εξελίχθηκαν στα EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) με την είσοδο της διαμόρφωσης 8PSK, προσφέροντας βελτιωμένους ρυθμούς μετάδοσης.
3G	Η τρίτη γενιά υποστηρίζει πολύ μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης, μεγάλη χωρητικότητα, προηγμένες υπηρεσίες (π.χ. βίντεο-κλήσεις).

**Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά κινητής τηλεφωνίας από 1G έως 3G**

## 1.2 Beyond 3<sup>rd</sup> Generation

Με τον όρο B3G (Beyond 3G ή 4G) περιγράφουμε την επόμενη εξέλιξη στις ασύρματες επικοινωνίες. Τα συστήματα B3G θα αντικαταστήσουν πλήρως τα τωρινά δίκτυα και θα μεταδίδουν με ασφάλεια στους χρήστες δεδομένα, φωνή και multimedia οποτεδήποτε και οπουδήποτε (Anytime, Anywhere) σε πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές.



Εικόνα 1: Υποδομή ενός B3G συστήματος

### 1.2.1 Στόχοι και απαιτήσεις

Τα συστήματα B3G αναπτύσσονται για να παρέχουν στους χρήστες ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service - QoS) και υψηλές ταχύτητες, που απαιτούνται από εφαρμογές όπως MMS (Multimedia Messaging Service), video chat, mobile TV, DVB (Digital Video Broadcasting). Παρακάτω ορίζονται οι στόχοι των συστημάτων 4G:

- Ευέλικτος καταμερισμός του δεδομένου φάσματος.
- Υψηλή χωρητικότητα δικτύου: περισσότεροι χρήστες ταυτόχρονα σε μια κυψέλη.
- Επαναχρησιμοποίηση της υπάρχουσας υποδομής σταθμών βάσης.
- Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων 100 Mbit/s ενώ ο χρήστης κινείται και 1 Gbit/s όταν είναι σε σχετικά καθορισμένη θέση ως προς το σταθμό βάσης, όπως ορίζει η ITU-R.
- Ρυθμό μετάδοσης τουλάχιστον 100 Mbit/s μεταξύ δύο οποιωνδήποτε σημείων στον κόσμο.
- Μικρή καθυστέρηση.
- Handoff μεταξύ των ετερογενών δικτύων χωρίς να γίνεται αντιληπτό από το χρήστη.
- Σύνδεση στα διάφορα δίκτυα και παγκόσμια περιαγωγή.
- Υψηλή ποιότητα υπηρεσιών σε multimedia.
- Υποστήριξη εφαρμογών πραγματικού και μη-πραγματικού χρόνου.
- Παροχή υπηρεσιών όπως και στα ενσύρματα δίκτυα.

- Σύνδεση όλη την ώρα με στιγμιαία πρόσβαση στους πόρους του δικτύου.
- Διαλειτουργικότητα με τα ήδη υπάρχοντα standards ασύρματων επικοινωνιών.
- Ένα δίκτυο αποκλειστικά μετάδοσης πακέτου, σε αντίθεση με τα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς, τα οποία βασίζονται σε 2 παράλληλες υποδομές, μεταγωγή κυκλώματος και μεταγωγή πακέτου.
- Συνύπαρξη και συλλειτουργία διαφόρων ετερογενών δικτύων.
- Διαθεσιμότητα κινητών συσκευών που μπορούν να υποστηρίξουν διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης.

Επιπρόσθετα, υπάρχει και ένα σύνολο ελάχιστων απαιτήσεων απόδοσης που πρέπει να τηρούνται:

- Υψηλή αποδοτικότητα φάσματος και χωρητικότητα.
- Μικρότερο κόστος ανά bit.
- Βελτιωμένη ποιότητα που αντιλαμβάνονται οι χρήστες (Quality of Experience - QoE).

Συνοψίζοντας, τα συστήματα τέταρτης γενιάς θα πρέπει να μοιράζουν και να χρησιμοποιούν τους πόρους του δικτύου δυναμικά για να ικανοποιούν τις ελάχιστες απαιτήσεις όλων των χρηστών 4G.

## 1.2.2 Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης

Κύριο χαρακτηριστικό στην ανάπτυξη των συστημάτων B3G είναι η δυνατότητα επιλογής μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών πολλαπλής πρόσβασης. Η επιλογή κάποιας τέτοιας τεχνολογίας μπορεί να βελτιώσει σημαντικά ή να υποβαθμίσει την ποιότητα της υπηρεσίας. Οι ήδη υπάρχουσες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης (Multiple Access – MA) που υπάρχουν στα συστήματα 2G/3G αρκούν για τις υπηρεσίες φωνής, αλλά όχι και για ριπές δεδομένων. Επομένως, η ανάγκη για την ανάπτυξη νέων τεχνικών πολλαπλής πρόσβασης γίνεται επιτακτική.

Ένα δίκτυο τηλεπικοινωνιών έχει περιορισμένους πόρους. Ένα σχήμα πολλαπλής πρόσβασης πρέπει να μοιράζει το εύρος ζώνης σε πολλαπλούς χρήστες, έτσι ώστε όλοι να μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις υπηρεσίες και να μη σπαταλάει ένας μοναδικός χρήστης όλους τους διαθέσιμους πόρους. Υπάρχουν τέσσερα βασικά σχήματα MA:

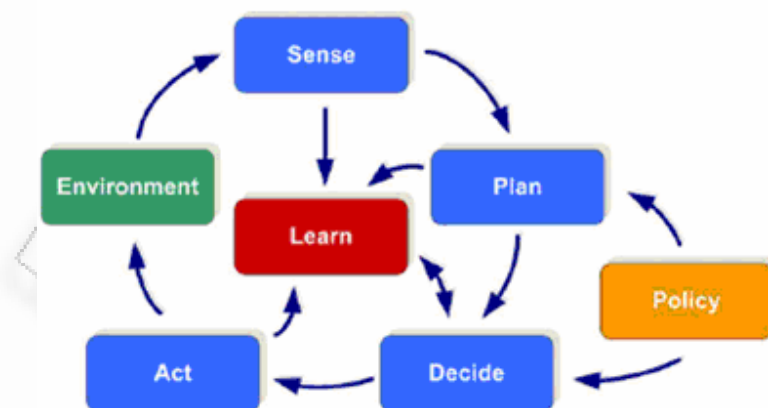
- FDMA (Frequency-Division MA)
- TDMA (Time-Division MA)
- CDMA (Code-Division MA)
- SDMA (Space-Division MA)

Εξελιγμένα σχήματα Πολλαπλής Πρόσβασης:

- Multicarrier DS-CDMA (MC/DS-CDMA: MultiCarrier/Direct Sequence-CDMA)
  - Συνδυασμός των MC-CDMA και DS-CDMA
  - Μπορεί να πετύχει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης εκμεταλλευόμενο τα πλεονεκτήματα και των δύο σχημάτων.
- TDD-CDMA
  - Είναι μια τροποποιημένη έκδοση της TD-CDMA.
  - Καλύτερη απόδοση συχνότητας από ότι στο UTRA-FDD.
  - Μπορεί εύκολα να υποστηρίξει ασύμμετρη μετάδοση.
  - Θα αποτελέσει ένα πρωτεύον σχήμα πολλαπλής πρόσβασης για τα συστήματα B3G.
- Orthogonal frequency-division MA (OFDMA)
  - Σε γενικές γραμμές μοιάζει με το FDMA με κάποιες βελτιώσεις.
  - Υποστηρίζει μετάδοση με μεταβαλλόμενο ρυθμό ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε χρήστη.

### 1.3 Cognitive Δίκτυα

Η έννοια cognitive αναφέρεται σε μια οντότητα, η οποία είναι ικανή να εκτελεί μια κατά κάποιον τρόπο συνειδητή διανοητική ενέργεια, όπως να σκέφτεται, να αιτιολογεί, να μαθαίνει ή να θυμάται, έτσι ώστε να κατανοεί το περιβάλλον της. Σύμφωνα με τον Joseph Mitola, ο οποίος πρώτος χρησιμοποίησε αυτήν την έννοια στις τηλεπικοινωνίες, με τον όρο cognitive αναφερόμαστε σε ένα συνονθύλευμα δηλώσεων και γνώσης, που είναι αποτέλεσμα επεξεργασίας ενός συστήματος που μπορεί να μαθαίνει και να αναγνωρίζει την κατάσταση του μόνο του. Ένα ασύρματο δίκτυο, για να θεωρηθεί cognitive, θα πρέπει να ακολουθεί το λεγόμενο “cognition loop”, όπως απεικονίζεται και στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2: Cognition loop

Ο όρος αυτός εξελίχθηκε στην εξής μορφή:

*Cognitive θεωρείται ένα δίκτυο, το οποίο μπορεί να αλλάξει τις παραμέτρους μετάδοσης, σύμφωνα με στοιχεία που συλλέγει από το περιβάλλον στο οποίο λειτουργεί. Αυτή η συνεργασία μπορεί να απαιτεί διαπραγματεύσεις με τους υπόλοιπους χρήστες και λήψη διαφόρων αποφάσεων μέσα στο σύστημα.*

Για την παρατήρηση του περιβάλλοντος, ένα cognitive δίκτυο μπορεί να συγκεντρώσει διάφορα στοιχεία:

- ηλεκτρομαγνητικά: διαθέσιμο φάσμα, λόγος σήματος προς θόρυβο (Signal to Noise Ratio - SNR), διάδοση μέσω πολλαπλών διαδρομών (multi-path propagation) κλπ
- υλισμικού: επίπεδο μπαταρίας, κατανάλωση ρεύματος, κλπ
- δικτύου: τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών (GSM, UMTS, WiFi...), πάροχοι και υπηρεσίες που προσφέρονται στην κοντινή περιοχή, φορτίο μιας ζεύξης κλπ
- χρήστη: θέση, ταχύτητα, στιγμή της μέρας, προτιμήσεις χρήστη, προφίλ χρήστη (δικαιώματα πρόσβασης, σύμβολο...), αισθητήρες ήχου και εικόνας (εντοπισμός παρουσίας, αναγνώριση φωνής...) κλπ

Τα cognitive δίκτυα διαθέτουν μηχανισμούς ώστε να επιλέγουν δυναμικά τη δομή τους (αλγόριθμοι και τιμές παραμέτρων σε διάφορα επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλων), μέσω κατάλληλης διαχείρισης, η οποία λαμβάνει υπόψη της το ευρύτερο πλαίσιο λειτουργίας (χαρακτηριστικά και απαιτήσεις περιβάλλοντος, προφίλ, στόχοι, πολιτικές) καθώς και γνώση που προέκυψε από παλαιότερη εμπειρία. Αυτή τη στιγμή, στο ασύρματο τοπίο συνυπάρχουν:

- κινητές επικοινωνίες (2G/2.5G/3G/3.5G),
- ασύρματα τοπικά και μητροπολιτικά δίκτυα (wireless local/metropolitan area networks - WLANs/ WMANs),
- ασύρματα προσωπικά δίκτυα (wireless personal area networks - WPANs) και επικοινωνίες μικρής εμβέλειας,
- εκπομπή ψηφιακού ήχου και εικόνας (digital video/audio broadcasting - DVB/DAB)

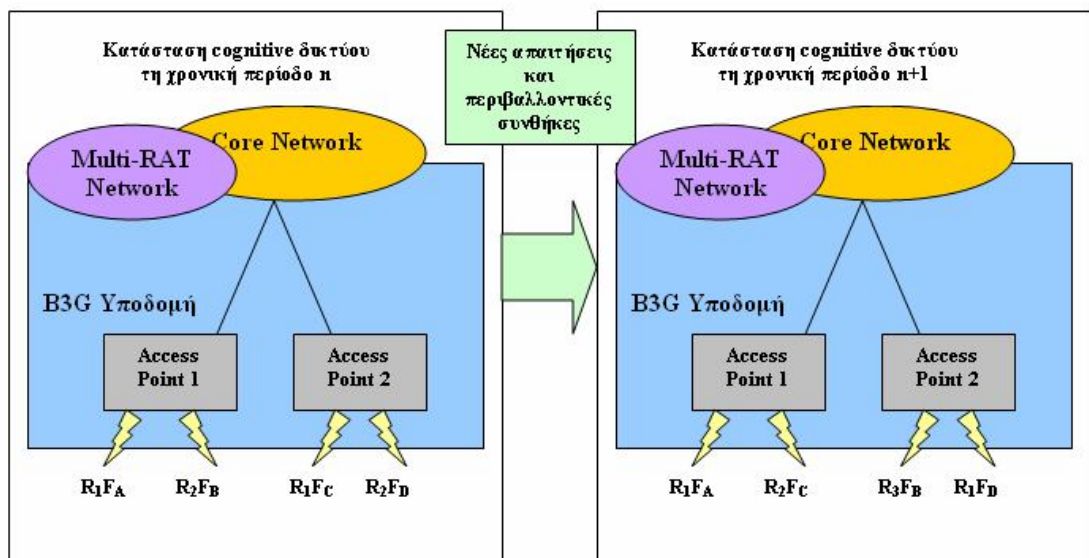
Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης (Radio Access Technologies - RATs) αυτήν την περίοδο είναι

- Global System for Mobile communications (GSM)
- Generalized Packet Radio Service (GPRS)
- Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)
- Wireless Local Area Network (WLANs)
- Digital Video Broadcasting (DVB)
- Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)
- Long Term Evolution (LTE)

## 1.4 Υλοποίηση B3G μέσω cognitive δικτύων

Τα B3G συστήματα μπορούν να υλοποιηθούν μέσω της λογικής των cognitive δικτύων. Με αυτόν τον τρόπο, τα B3G συστήματα προμηθεύονται γνώση από προηγούμενη αλληλεπίδραση με το περιβάλλον και βασίζουν τη μελλοντική τους συμπεριφορά σε αυτή τη γνώση, λαμβάνοντας υπόψη και τους νέους στόχους και πολιτικές, ώστε να βελτιστοποιούν την απόδοσή τους. Ένας network operator (NO) μπορεί να βασιστεί σε διαφορετικές RATs για να πετύχει την απαιτούμενη χωρητικότητα και ποιότητα υπηρεσιών με έναν επικερδή τρόπο. Κάθε RAT έχει τις δικές της δυνατότητες και χαρακτηριστικά, όπως χωρητικότητα, κάλυψη, υποστήριξη κινητικότητας χρηστών, κόστος, οι οποίες την καθιστούν ιδανική για συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Με αυτόν τον τρόπο, ο κάθε NO μπορεί να επιλέξει αυτήν που θα ικανοποιήσει καλύτερα τις προσυμφωνημένες απαιτήσεις των χρηστών, δεδομένων των περιβαλλοντικών συνθηκών και απαιτήσεων. Όσον αφορά τους χρήστες, δεν τους απασχολεί ποια τεχνολογία χρησιμοποιούν, αρκεί να ικανοποιεί το κόστος, την ποιότητα και την αξιοπιστία που απαιτούν.

Για την υποστήριξη μεγάλου αριθμού ασύρματων συσκευών, είναι απαραίτητη η χρήση IPv6, μιας νέας έκδοσης του Πρωτοκόλλου Δικτύου, το οποίο έχει σκοπό να επιλύσει τα σχεδιαστικά προβλήματα του IPv4 που χρησιμοποιείται σήμερα, και κυρίως το πρόβλημα εξάντλησης των διευθύνσεων. Το IPv6 επίσης προσφέρει στις διάφορες εφαρμογές μεγαλύτερη ασφάλεια και δυνατότητα βελτιστοποίησης της διαδρομής που ακολουθούν τα πακέτα για να φτάσουν στον τελικό τους προορισμό.



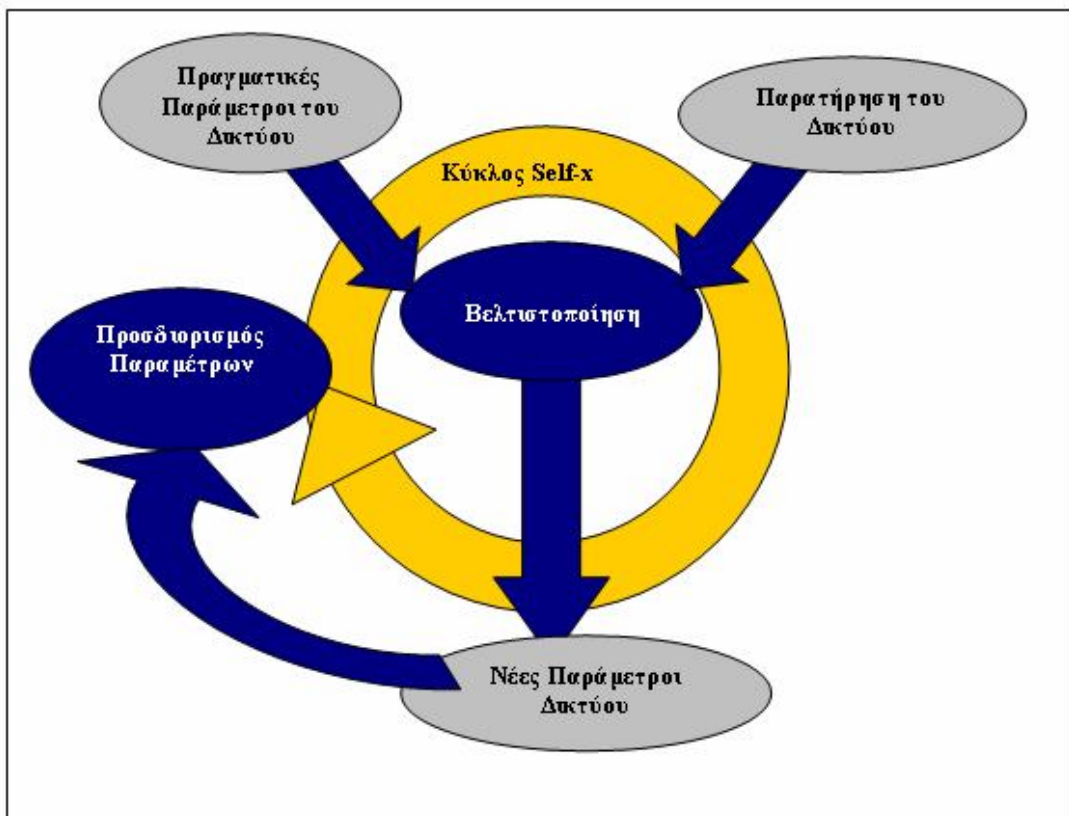
Εικόνα 3: Παράδειγμα ενός cognitive ασύρματου δικτύου. Τα τερματικά μπορεί να αλλάξουν RAT ή/και συχνότητα, όταν εντοπιστούν νέες συνθήκες που το επιβάλλουν

## 1.5 Η έννοια του Self-X

Με τον όρο self-x αναφερόμαστε σε όλες τις πιθανές τεχνικές λειτουργίες, που επιτρέπουν στο δίκτυο να διαχειρίζεται τον εαυτό του με έναν αυτόνομο τρόπο. Στόχος του self-x είναι να βελτιώσει την ποιότητα και την αποδοτικότητα μέσω μιας αυτόνομης λειτουργικότητας. Βασίζεται σε έναν κύκλο, όπου συλλέγει δεδομένα, τα επεξεργάζεται και εξάγει τις βέλτιστες παραμέτρους.

Λόγοι που οδήγησαν στο self-x:

- Η πολυπλοκότητα και η ετερογένεια των ασύρματων δικτύων αυξάνεται κατακόρυφα.
- Η ανάγκη για βελτίωση της αποδοτικότητας.
- Η ανάγκη για απλοποίηση της χρήσης των μελλοντικών ασύρματων τεχνικών πρόσβασης (plug&play).
- Εισαγωγή και ανάπτυξη νέων ασύρματων υπηρεσιών και συστημάτων.



Εικόνα 4: Βασικός κύκλος self-x



## 1.6 Επαναπροσδιορισμός (Reconfigurability)

Ο όρος Reconfigurability αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος να αλλάζει δυναμικά τη συμπεριφορά του, συχνά ως απάντηση στις δυναμικές αλλαγές του περιβάλλοντός του. Συγκεκριμένα στις ασύρματες επικοινωνίες, ο δυναμικός επαναπροσδιορισμός επικεντρώνεται στην αλλαγή της συμπεριφοράς των ασύρματων δικτύων και του συσχετιζόμενου εξοπλισμού, ειδικά στα πεδία του φάσματος, των ασύρματων τεχνολογιών πρόσβασης, των πρωτοκόλλων και των αιτήσεων παροχής υπηρεσιών.

### 1.6.1 Αντίκτυπος του Επαναπροσδιορισμού σε διάφορες ομάδες

**Χρήστες:** Οι χρήστες απολαμβάνουν αδιάλειπτη συνδεσιμότητα, μέσω απλής και σχεδόν αόρατης παροχής υπηρεσιών και προσαρμογής. Οι δυνατότητες περιαγωγής επεκτείνονται, μέσω της δυναμικής προσαρμογής στις ανάγκες της κάθε περιοχής. Ομοίως, η ικανότητα για λήψη και δυναμική εγκατάσταση λογισμικού στα τερματικά οδηγεί σε προηγμένες υπηρεσίες.

**Διαχειριστές δικτύου:** Οι NOs έχουν περισσότερες επιλογές για να παρέχουν το απαιτούμενο QoS και επίπεδα χωρητικότητας. Αυτό είναι εφικτό μέσω επανασχεδιασμού της δικιάς τους υποδομής, επιτρέποντάς τους να εισάγουν υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας πιο εύκολα. Αυτός ο επαναπροσδιορισμός θα μειώσει τις δαπάνες κεφαλαίου (CAPital Expenditure – CAPEX) με λογική αύξηση των λειτουργικών δαπανών (OPerational Expenditure – OPEX).

**Κατασκευαστές:** Αυτή η τεχνολογία αυξάνει την ευελιξία, καθώς εισάγει τη δυνατότητα δυναμικής αναβάθμισης του εξοπλισμού, επιταχύνοντας τη διάθεση των συσκευών στην αγορά. Επιπλέον επιτρέπει απλοποιημένη εξέλιξη των προϊόντων, μειωμένο κόστος ανάπτυξης και αυξημένη αξιοπιστία.

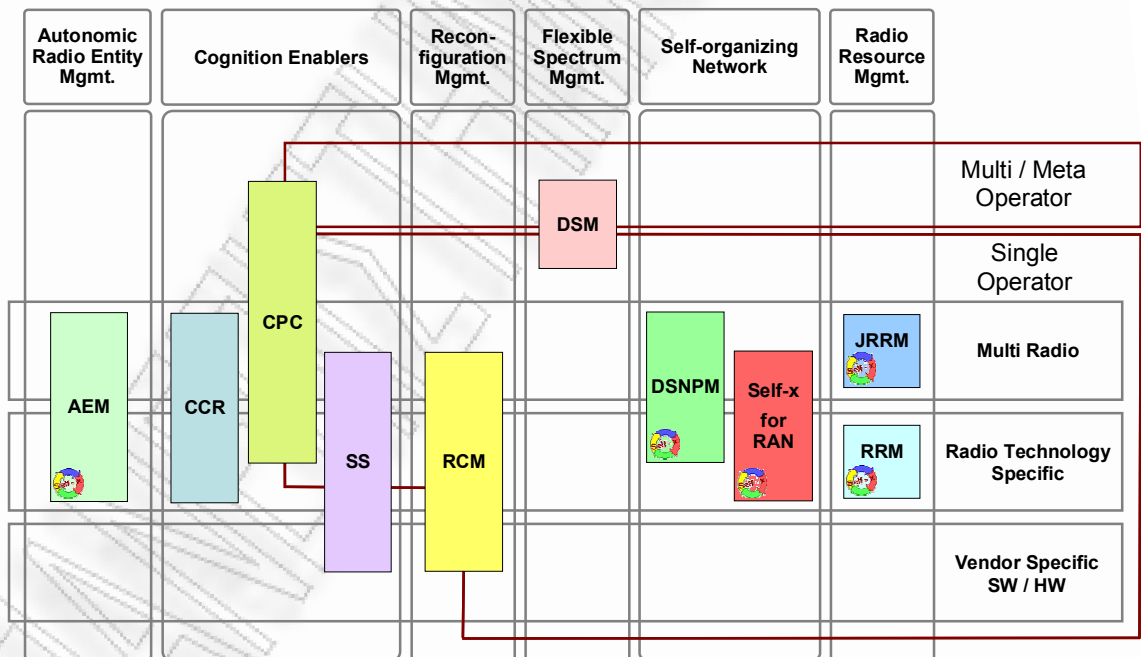
**Πάροχοι Υπηρεσιών:** Αυτή η τεχνολογία μπορεί ακόμα να εκμεταλλευθεί και στο επίπεδο εφαρμογών (application level), καθώς επεκτείνει την τωρινή ικανότητα για λήψη και εγκατάσταση εφαρμογών στα τερματικά των χρηστών. Έτσι, έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν νέες υπηρεσίες, χωρίς να είναι απαραίτητο να προσφέρουν ξεχωριστή υλοποίηση κάθε φορά.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

### 2.1 Αρχιτεκτονική διαχείρισης με βάση την E<sup>3</sup>

Η εργασία αυτή έχει βασιστεί στην αρχιτεκτονική της E<sup>3</sup>. Η ομάδα E<sup>3</sup> (End-to-End Efficiency) έχει ως σκοπό να ενσωματώσει τα cognitive ασύρματα συστήματα στον κόσμο του B3G, εξελίσσοντας τις υπάρχουσες υποδομές των διαφόρων ετερογενών ασύρματων συστημάτων σε ένα ενιαίο και αποτελεσματικό B3G-cognitive πλαίσιο. Βασικός στόχος της E<sup>3</sup> είναι να σχεδιάσει και να αναπτύξει πρότυπες λύσεις, οι οποίες θα εγγυώνται διαλλειτουργικότητα και ευελιξία μεταξύ των υπάρχοντων και των μελλοντικών ασύρματων συστημάτων. Επίσης θα πρέπει αυτές οι λύσεις να διαχειρίζονται την πολυπλοκότητα του συστήματος στο σύνολό της.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η αρχιτεκτονική που προτάθηκε από την E<sup>3</sup>. Η αρχιτεκτονική παρουσιάζεται στο διδιάστατο χώρο.



 Self-x pattern applies

**Εικόνα 5:** Αρχιτεκτονική σύμφωνα με την E<sup>3</sup>

Ο οριζόντιος άξονας αντιπροσωπεύει τις αρχιτεκτονικές στήλες της E<sup>3</sup>:

- Autonomic Radio Entity Management,
- Cognition Enablers,
- Reconfiguration Management,

- Flexible Spectrum Management,
- Self-organizing Network,
- Radio Resource Management.

Οι διάφορες περιπτώσεις της E<sup>3</sup> αρχιτεκτονικής παρουσιάζονται στον κάθετο άξονα. Συγκεκριμένα, από πάνω προς τα κάτω, υπάρχουν οι παρακάτω περιπτώσεις περιβάλλοντος τηλεπικοινωνίας:

- Multi/Meta Operator,
- Single Operator,
- Multi Radio,
- Radio Technology Specific Case,
- Vendor Specific HW/SW

Οι στήλες και οι γραμμές σχηματίζουν τα ακόλουθα δομικά στοιχεία (Building Blocks):

- Το στοιχείο Autonomic Entity Management (AEM), το οποίο ανήκει στη στήλη Autonomic Radio Entity Management και καλύπτει τις γραμμές περιπτώσεων Multi Radio και Radio Technology Specific.
- Το στοιχείο Cognitive Control Radio (CCR), το οποίο ανήκει στη στήλη Cognition Enablers και καλύπτει τις περιπτώσεις Multi Radio και Radio Technology Specific.
- Το στοιχείο Cognitive Pilot Channel (CPC), το οποίο ανήκει στη στήλη Cognition Enablers και καλύπτει στον κατακόρυφο άξονα όλες τις περιπτώσεις εκτός της Vendor Specific HW/SW.
- Το στοιχείο Spectrum Sensing (SS), το οποίο ανήκει στη στήλη Cognition Enablers και καλύπτει τις περιπτώσεις Multi Radio, Radio Technology Specific και Vendor Specific HW/SW του κάθετου άξονα.
- Το στοιχείο Reconfiguration Control and Management (RCM), το οποίο ανήκει στη στήλη της Reconfiguration Management και καλύπτει τις περιπτώσεις Multi Radio, Radio Technology Specific και Vendor Specific HW/SW.
- Το στοιχείο Dynamic Spectrum Management (DSM), το οποίο ανήκει στη στήλη Flexible Spectrum Management και χρησιμοποιείται τόσο στις περιπτώσεις Single όσο και στις περιπτώσεις Multi/Meta Operator.
- Το στοιχείο Dynamic Self-organizing Network Planning Management (DSNPM), το οποίο ανήκει στη στήλη Self-organizing Network και καλύπτει τις Multi Radio και Radio Technology Specific.
- Το στοιχείο Self-x for RAN, το οποίο ανήκει στη στήλη Self-organizing Network και καλύπτει στον κατακόρυφο άξονα τις περιπτώσεις Multi Radio και Radio Technology Specific.
- Το στοιχείο Joint Radio Resource Management (JRRM), το οποίο ανήκει στη στήλη Radio Resource Management και αφορά μόνο τις περιπτώσεις Multi Radio.
- Το στοιχείο Radio Resource Management (RRM), το οποίο ανήκει στη στήλη Radio Resource Management και αφορά μόνο τις περιπτώσεις Radio

Technology Specific.

Τα παραπάνω δομικά στοιχεία παρουσιάζονται λεπτομερώς στη συνέχεια.

### **2.1.1 Autonomic Radio Entity Management**

Το δομικό στοιχείο Autonomic Entity Management (AEM) στοχεύει στην αυτόνομη λειτουργία των cognitive οντοτήτων, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση του συστήματος.

Πιο συγκεκριμένα, είναι υπεύθυνο για τη βελτίωση της λειτουργίας συγκεκριμένων συσκευών, που βασίζονται στην πληροφορία που συλλέγεται από το σύστημα και το περιβάλλον. Μπορεί να πάρει έξυπνες αποφάσεις, βασισμένο σε προηγούμενα δεδομένα και τωρινές συνθήκες.

Το AEM μπορεί να παίρνει αποφάσεις για την πιο κατάλληλη RAT, ανταλλάσσοντας πληροφορίες και πολιτικές με άλλες οντότητες. Η επιλογή μιας RAT μπορεί να υπονοεί και τον επαναπροσδιορισμό της στοίβας πρωτοκόλλων μιας οντότητας (π.χ. ενός τερματικού).

Όλες οι παραπάνω λειτουργίες στοχεύουν στη βέλτιστη λειτουργία των συσκευών, δεδομένων συγκεκριμένων πολιτικών, που μπορεί να διαφέρουν σε κάθε οντότητα του δικτύου. Ωστόσο, η λήψη αυτών των αποφάσεων είναι μια αυτόνομη διαδικασία. Για να πετύχει τους σκοπούς του, το AEM διατηρεί κάποια δεδομένα χρήστη (προφίλ, προτιμήσεις), συσκευών (χρήση CPU, μνήμη, κατανάλωση ρεύματος, δυνατότητα επαναπροσδιορισμού), ή οντοτήτων του δικτύου (επίπεδο συμφόρησης, υποστηριζόμενα πρωτόκολλα, συχνότητες, λειτουργίες κλπ).

### **2.1.2 Cognition Enablers**

#### **Cognitive Pilot Channel**

Το στοιχείο CPC σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει μια ευφυή ανίχνευση των διαθέσιμων τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης και αποτελεσματικά sessions επικοινωνίας σε περιβάλλοντα με ετερογενή ασύρματα δίκτυα.

Το CPC είναι ένας συνδυασμός δύο συστατικών στοιχείων, του Out-Band CPC και του In-Band CPC:

- Το Out-band είναι ένα φυσικό κανάλι εκτός των RATs. Στόχος του είναι να παρέχει ζωτικές πληροφορίες, όπως πληροφορίες εκκίνησης (π.χ. διαθέσιμα δίκτυα στην περιοχή), στις συσκευές. Μόλις η συσκευή πάρει τις

πληροφορίες, θα συνδεθεί σε ένα δίκτυο και θα αλλάξει στο In-band CPC για τις περαιτέρω πληροφορίες.

- Το In-band αναφέρεται σε ένα λογικό κανάλι εντός των RATs, στέλνοντας στη συσκευή πληροφορίες συγκεκριμένα για το RAT του δικτύου, στο οποίο έχει συνδεθεί. Χρησιμοποιεί τα κανάλια των RATs που υπάρχουν ήδη και παρέχεται από κομιστές των διαχειριστών δικτύου.

Το CPC υποστηρίζει τόσο downlink όσο και uplink, ωστόσο μπορεί να υλοποιηθεί μόνο με downlink, στέλνοντας την πληροφορία στο δίκτυο.

### **Cognitive Control Radio**

Το στοιχείο Cognitive Control Radio βρίσκεται επίσης στη στήλη Cognition Enablers και είναι ένα κανάλι στενής ζώνης και χαμηλού bitrate, στο οποίο γίνεται ανταλλαγή cognitive πληροφορίας, όπως:

- Μηνύματα που βοηθούν έναν καινούριο κόμβο να βρει τη συχνότητα του δικτύου του.
- Σε περίπτωση που ένα δίκτυο έχει χαμηλή πυκνότητα κόμβων, τα δίκτυα που βρίσκονται στην ίδια περιοχή μοιράζονται τις πληροφορίες από την ανίχνευση φάσματος και τις παραμέτρους λήψης/εκπομπής μέσω του CCR, έτσι ώστε το κάθε δίκτυο να έχει βελτιωμένες πληροφορίες φάσματος.
- Μηνύματα διακανονισμού για το διαμοιρασμό του φάσματος. Σκοπός είναι να αποφευχθούν συγκρούσεις για το φάσμα και να βελτιστοποιηθεί δίκαια ο διαμοιρασμός του.

Χρησιμοποιείται κυρίως σε adhoc δίκτυα, αλλά μπορεί να υποστηρίξει σε μικρή εμβέλεια και τα δίκτυα ευρείας περιοχής (wide-area networks).

### **Spectrum Sensing**

Οι βασικές λειτουργικότητες της ανίχνευσης φάσματος είναι:

- Εύρεση των υπαρχόντων ασύρματων συστημάτων.
- Χαρακτηρισμός των ασύρματων συνθηκών.
- Εκτίμηση της ποιότητας της ασύρματης σύνδεσης.
- Υποστήριξη δικτύων ad-hoc για κατανεμημένη ανίχνευση φάσματος.
- Στρατηγικές ανίχνευσης νέων δυνατοτήτων φάσματος.

Το τερματικό θα πρέπει:

- να ανιχνεύει τις τοπικές RATs, τις κυψέλες και τους διαχειριστές,
- να υπολογίζει τις παρεμβολές και τις συνθήκες διάδοσης,
- να συγκεντρώνει και πιθανόν να προ-επεξεργάζεται τις πληροφορίες, τις οποίες στη συνέχεια στέλνει στο σταθμό βάσης,

Ο σταθμός βάσης θα πρέπει:

- να ανιχνεύει το επίπεδο κατάληψης και παρεμβολών των καναλιών,
- να αποθηκεύει τις πληροφορίες, να εκπαιδεύεται και να προβλέπει κανάλια.

### 2.1.3 Reconfiguration Management

Το Reconfiguration Management περιλαμβάνει τις λειτουργίες για την επιβολή και εκτέλεση των δράσεων που αφορούν τον επαναπροσδιορισμό μιας οντότητας μέσω του δομικού στοιχείου RCM.

Το στοιχείο RCM περιλαμβάνει λειτουργίες όπως διαχείριση της κινητικότητας (mobility), λήψη πρωτοκόλλων, εγκατάσταση και επιβεβαίωση. Μία από τις βασικές λειτουργίες του RCM είναι η αποθήκευση και επεξεργασία χρήσιμων πληροφοριών, είτε από την ίδια τη συσκευή (μνήμη, ισχύς επεξεργασίας, πρωτόκολλα, λογισμικό) είτε από το δίκτυο στο οποίο βρίσκεται η συσκευή (π.χ. φορτίο κυψέλης). Η ικανότητα του RCM να αντιλαμβάνεται τέτοιες πληροφορίες αναφέρεται και στους χρήστες και στις υπηρεσίες. Οι πληροφορίες που αφορούν τις προτιμήσεις του κάθε χρήστη και τις απαιτήσεις του (π.χ. απαιτούμενο bandwidth) διατηρούνται και επεξεργάζονται από το RCM, το οποίο μπορεί επίσης να «αναγκάσει» τη συσκευή να προσαρμοστεί σε νέες συνθήκες φάσματος. Εκτός από την παρακολούθηση του περιβάλλοντος, το RCM διαχειρίζεται και τους πόρους των συσκευών, όπως κατανάλωση ενέργειας.

Συνοψίζοντας, το RCM εστιάζει στον έξυπνο και αποδοτικό σχεδιασμό προσδιορισμού των διαφόρων παραμέτρων, λαμβάνοντας τις γενικές οδηγίες και από άλλα στοιχεία, όπως το Self-x for RAN, το JRRM και το DSNPM. Το RCM πρέπει να υπάρχει και στα τερματικά, αλλά και στο δίκτυο (στον FBS, στο EPC) για να ελέγξει τις απαραίτητες ενέργειες.

Οι λειτουργικές οντότητες του RCM είναι οι εξής:

Protocol Reconfiguration	Προσδιορισμός πρωτοκόλλων, επιλογή καλύτερης RAT, ανακάλυψη τοποθεσίας, ενδοσκόπηση της υπάρχουσας στοίβας πρωτοκόλλων, δυναμική ένωση των πρωτοκόλλων.
Reconfiguration Control	Έλεγχος επαναπροσδιορισμού, προσδιορισμός παραμέτρων, έλεγχος HW και γενικός έλεγχος όλης της διαδικασίας επαναπροσδιορισμού.
Self-Healing	Αυτό-ίαση, αναφερόμενη κυρίως στο μπλοκάρισμα ή στην εκ νέου ρύθμιση (reset) μιας συσκευής.
Software Download and Installation	Λήψη και εγκατάσταση καινούργιου λογισμικού.
RAT Switching	Αλλαγή RAT, αλλαγή μεταξύ διαφόρων διεπαφών, επαναπροσδιορισμός μετά από την εκτέλεση ενός handover.
Network Elements Composition	Σύνθεση στοιχείων δικτύου, όσον αφορά το κομμάτι της εκτέλεσης.

**Πίνακας 2: Οι λειτουργικές οντότητες του RCM**

## 2.1.4 Flexible Spectrum Management

Η στήλη Flexible Spectrum Management είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση του φάσματος.

Το δομικό στοιχείο DSM έχει τις παρακάτω λειτουργίες:

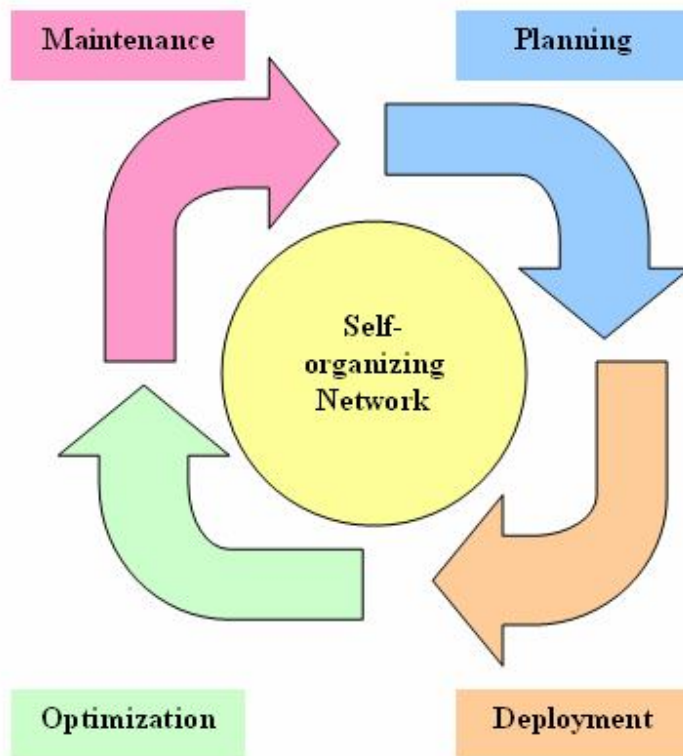
- Γνώση των πολιτικών ανάθεσης φάσματος.
- Γνώση της υπάρχουσας ανάθεσης φάσματος στην περιοχή.
- Λήψη αποφάσεων όσον αφορά την ανάθεση σε συγκεκριμένη RAT.
- Γνώση των διαθέσιμων ζωνών φάσματος προς διάθεση.
- Δυνατότητα να ανταλλάσσονται διαθέσιμες ζώνες φάσματος με άλλες οντότητες DSM, π.χ. άλλους παρόχους.

## 2.1.5 Self-organising Network (SON)

Ένα SON περιλαμβάνει τον παρακάτω κύκλο διαδικασιών:

Maintenance (Διατήρηση)	<ul style="list-style-type: none"><li>• παρατήρηση σε πραγματικό χρόνο</li><li>• ανίχνευση σφαλμάτων</li><li>• επιβεβαίωση σφαλμάτων</li><li>• αναφορά σφαλμάτων</li></ul>
Planning (Σχεδιασμός)	<ul style="list-style-type: none"><li>• εύρεση καινούριου σταθμού βάσης</li><li>• αυτό-προσδιορισμός των βασικών παραμέτρων</li></ul>
Deployment (Ανάπτυξη)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Προσαρμογή και επαναπροσδιορισμός δικτύου</li></ul>
Optimization (Βελτιστοποίηση)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Βελτιστοποίηση ασύρματων παραμέτρων</li><li>• Διαχείριση των Handovers</li><li>• Αυτόματη διόρθωση σφαλμάτων</li></ul>

**Πίνακας 3: Κύκλος διαδικασιών ενός SON**



**Εικόνα 6: Self-organizing Network**

Το στοιχείο Self-x for RAN επιτρέπει την αυτοματοποίηση διαφόρων λειτουργιών των ασύρματων δικτύων. Γενικά, οι λειτουργίες του Self-x περιλαμβάνουν έναν κύκλο συλλογής δεδομένων, επεξεργασίας και εξαγωγή της βέλτιστης παραμετροποίησης. Είναι υπεύθυνο για τη βέλτιστη αντιμετώπιση των handover, την ανίχνευση και επανόρθωση προβλημάτων λειτουργίας στις κυψέλες και την ισοστάθμιση του φορτίου. Αρχικά, το Self-x for RAN του δικτύου (self-x for RAN-N) παρατηρεί και ανακαλύπτει γεγονότα και βλάβες, ώστε να αποκτήσει την τρέχουσα εικόνα του δικτύου. Το Self-x for RAN-N παίρνει αποφάσεις για την αντιμετώπιση των βλαβών και διαφόρων προβλημάτων των χρηστών. Μετά το πέρας αυτών, στέλνει μήνυμα στο RCM του δικτύου να εκτελέσει τον επαναπροσδιορισμό.

Το στοιχείο Dynamic Self-organising Network Planning Management (DSNPM) παρέχει αποφάσεις για τη χρησιμοποίηση του φάσματος και των διαθέσιμων πόρων. Το DSNPM πρέπει να υλοποιηθεί στους κόμβους RAN, στο βασικό δίκτυο, στις οντότητες O&M και στα τερματικά των χρηστών.

Βασικές λειτουργίες:

General Application layer	
QoS assignment	Ικανοποίηση Ποιότητας Υπηρεσιών (π.χ. υψηλό bit-rate ανά υπηρεσία ανά κυψέλη).
Network layer	



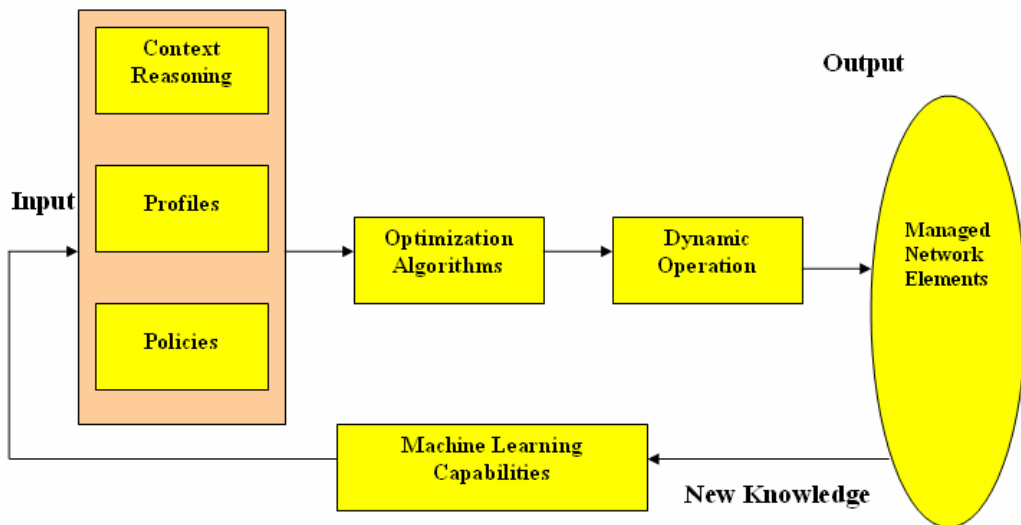
Distribution of traffic to RATs and networks	Καταμερισμός του φορτίου στις διάφορες RATs και στα δίκτυα (Η απόφαση προωθείται στο JRRM).
Network performance	Επίδοση δικτύου (ελαχιστοποίηση των ΗΟ, ισοστάθμιση φορτίου, έλεγχος παρεμβολών).
Element interconnections	Διασύνδεση των διαφόρων στοιχείων.
PHY/MAC	
RAT selection	Επιλογή RAT προς χρήση στον δέκτη της κυψέλης (απόφαση για φόρτωση μιας νέας RAT στον FBS).
Spectrum selection	Επιλογή φάσματος, υπακούοντας σε πολιτικές.
Radio parameter	Επαναπροσδιορισμός των ασύρματων παραμέτρων (π.χ. μέγιστο επίπεδο ισχύος για κάθε φέρον, κλίση κεραίας, επιλογή καναλιού).
Application layer	
Assignment of QoS	Ικανοποίηση Ποιότητας Υπηρεσιών (bit-rate, μέγιστος αριθμός ροών υπηρεσιών κλπ). Διαχείριση των αποφάσεων με βάση στατιστικές παραμέτρους.

**Πίνακας 4: Βασικές λειτουργίες του DSNPM**

Ο κύκλος επεξεργασίας του DSNPM περιλαμβάνει τις παρακάτω διαδικασίες:

Context reasoning (monitoring and discovery)	Παρατήρηση και ανακάλυψη πληροφοριών για το φορτίο, την κινητικότητα, τις παρεμβολές και την κατάσταση του δικτύου.
Profiles	Δυνατότητες εξοπλισμού δικτύου, απαιτήσεις εφαρμογών, προτιμήσεις και απαιτήσεις χρηστών.
Policies	Κανόνες και στρατηγικές των NOs.
Dynamic operation	Αυτό-σχεδιασμός (self-planning), -συντήρηση (-maintenance), -ίαση (-healing) και επανπροσδιορισμός.
Optimization algorithms	Αλγόριθμοι βελτιστοποίησης.
Machine learning capabilities	Ικανότητες μάθησης της μηχανής.

**Πίνακας 5: Ο κύκλος επεξεργασίας του DSNPM**



Εικόνα 7: Κύκλος επεξεργασίας του DSNPM

### 2.1.6. Radio Resource Management

Η στήλη Radio Resource Management μπορεί να χωριστεί στο JRRM και στο RRM.

Το RRM περιλαμβάνει τη λειτουργικότητα της διαχείρισης των πόρων μια συγκεκριμένης RAT. Αυτή η λειτουργία υπάρχει ήδη στα υπάρχοντα δίκτυα GSM και UMTS, αλλά πρέπει να επεκταθεί μέσω διεπαφής στο JRRM.

Το JRRM εκτελεί την ενοποιημένη διαχείριση των ασύρματων πόρων που ανήκουν σε ετερογενείς RATs.

Οι βασικές λειτουργίες του JRRM είναι:

- Επιλογές πρόσβασης:
  - Απαιτούμενο QoS (Εύρος ζώνης, Μέγιστη καθυστέρηση...)
  - Συνθήκες ασύρματης πρόσβασης (ισχύς/ποιότητα σήματος, διαθέσιμο εύρος ζώνης...)
  - Συνθήκες πρόσβασης δικτύου (χωρητικότητα κυψελών, τρέχον φορτίο κυψέλης...)
  - Προτιμήσεις χρηστών
  - Πολιτικές δικτύων
- Πρόβλεψη πληροφοριών από τις γειτονικές κυψέλες, για έξυπνη ανακάλυψη των διαθέσιμων δυνατοτήτων πρόσβασης, σε συνεργασία με το CPC. Το σύστημα μπορεί να έχει μία βάση στην οποία αποθηκεύει την τοποθεσία όλων των κυψελών, συμπεριλαμβανομένων των παρακάτω πληροφοριών:
  - Τοποθεσία κυψέλης (γεωγραφικό μήκος/πλάτος)

- Μέγεθος κυψέλης (π.χ. ακτίνα)
- Δυνατότητες κυψέλης (π.χ. υποστήριξη real-time / non real-time υπηρεσιών)
- Χωρητικότητα κυψέλης
- Δυναμικά δεδομένα (π.χ. τρέχον φορτίο κυψέλης)
- Καταμερισμός και έλεγχος του διαθέσιμου εύρους ζώνης και QoS (ανά session χρήστη ή σύνδεσης βάσει του απαιτούμενου QoS των εφαρμογών χρήστη).
- Αίτηση του φορτίου κυψέλης από το RRM, αποθήκευση των μετρήσεων και προώθηση της πληροφορίας σε άλλα στοιχεία, αν χρειάζεται.
- Πρόβλεψη της κινητικότητας και των περιορισμών διαχείρισης πόρων.

Το JRRM μπορεί να βρίσκεται στην πλευρά του δικτύου ("JRRM-NET"), και στην πλευρά του τερματικού ("JRRM-TE"). Το JRRM-NET λαμβάνει πληροφορίες για τις διαθέσιμες RATs και τις διαθέσιμες κυψέλες και μπορεί να ζητάει πληροφορίες για το φορτίο της κυψέλης σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Το JRRM-TE εκτελεί την αρχική επιλογή πρόσβασης μόλις ανοίξει το τερματικό. Μπορεί να σαρώσει την περιοχή για να ανακαλύψει διαφορετικές RATs.

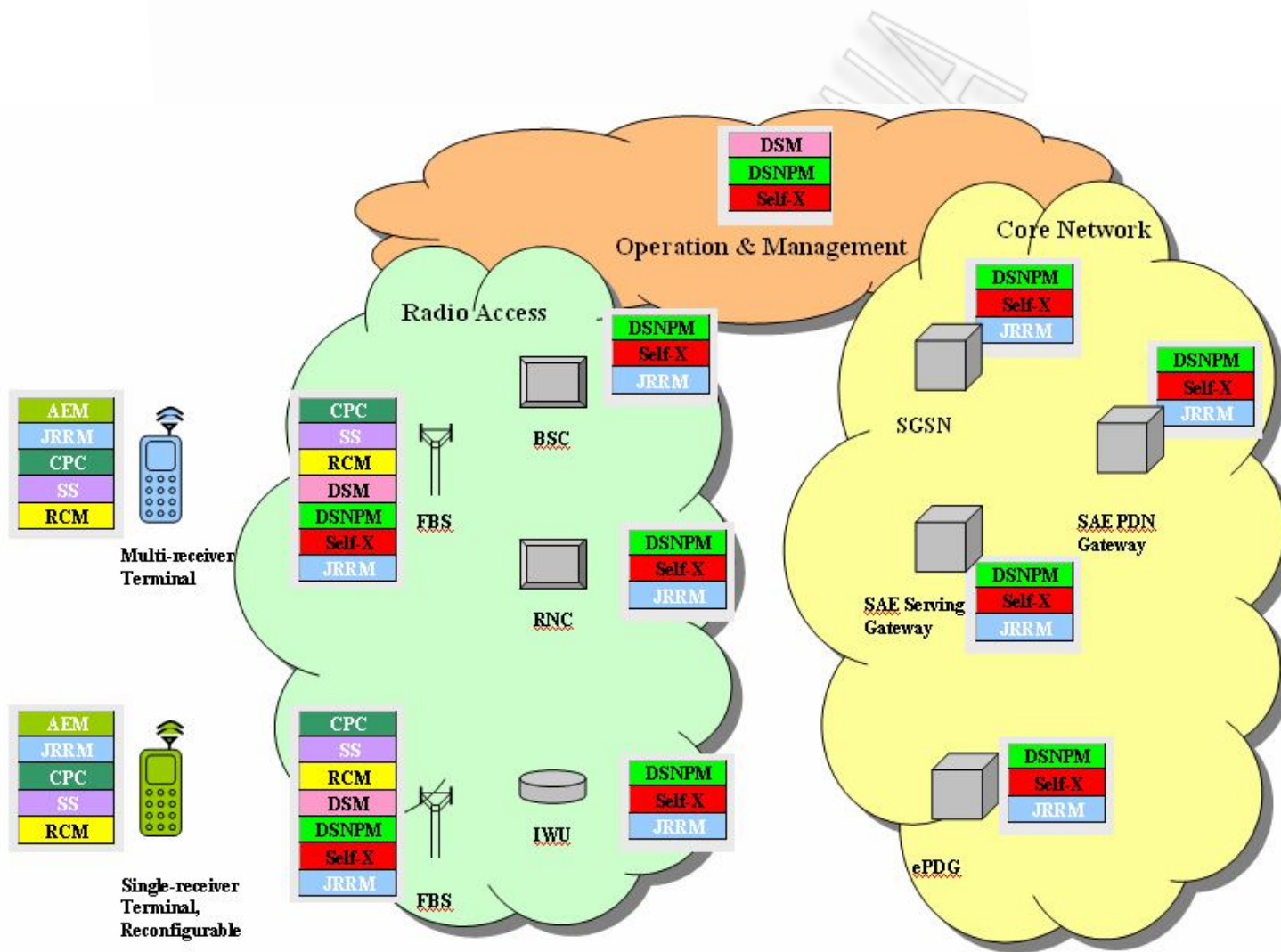
Μετά την αρχική επιλογή, το τερματικό θα συνδεθεί στο δίκτυο στην επιλεγμένη RAT. Το απαιτούμενο QoS θα σταλεί στο δίκτυο. Επιπλέον πληροφορία για την απόδοση της σύνδεσης, όπως ισχύς και ποιότητα σήματος, μπορούν να συμπεριληφθούν τόσο για τη συγκεκριμένη RAT όσο και για τις υπόλοιπες υποψήφιες.

Το JRRM-NET θα συνδέσει αυτήν την πληροφορία με την κατάσταση του δικτύου (χωρητικότητα και δυνατότητες κυψέλης, πολιτικές) και θα αποφασίσει στη συνέχεια τι θα χρησιμοποιήσει. Η πληροφορία αποστέλλεται στο τερματικό και στην περίπτωση που έχει αποφασιστεί διαφορετική RAT, θα αλλάξει μέσω handover.

Στον παρακάτω πίνακα και στην εικόνα, αντιστοιχίζονται τα δομικά στοιχεία που αναφέρθηκαν προηγουμένως σε κάθε οντότητα του δικτύου.

	AEM	CPC	SS	RCM	DSM	DSNPM	Self-X	JRRM
Terminal								
FBS								
Controller								
Core Network								
O&M								

**Πίνακας 6: Αντιστοιχία των δομικών στοιχείων στις οντότητες του δικτύου**



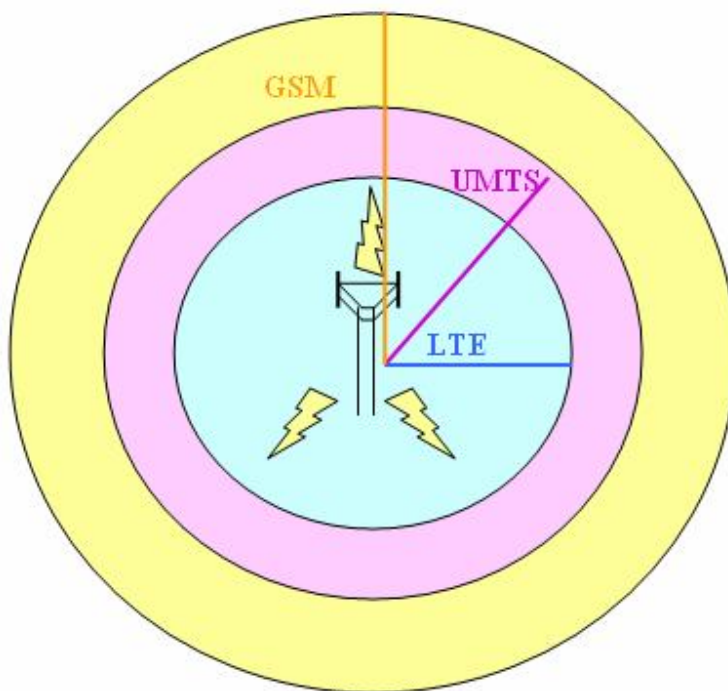
Εικόνα 8: Απεικόνιση των δομικών στοιχείων στις διάφορες οντότητες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ

#### 3.1 Τεκμηρίωση της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής

Η τεκμηρίωση της αρχιτεκτονικής θα επιβεβαιώσει ότι ικανοποιεί τις ανάγκες και τις προδιαγραφές του συστήματος. Το σύστημα θα πρέπει να υποστηρίζει πολλές ασύρματες τεχνολογίες πρόσβασης (RATs), δηλαδή μιλάμε για Flexible Base Stations (FBSs), οι οποίοι μπορούν ταυτόχρονα να λειτουργούν, για παράδειγμα, τρεις RATs. Η κάθε RAT μπορεί να έχει διαφορετική ακτίνα, οπότε ορίζει δικιά της περιοχή κάλυψης, της έχει ανατεθεί μια συγκεκριμένη περιοχή φάσματος, ανήκει σε διαφορετικό πάροχο και γενικότερα είναι ανεξάρτητη από τις υπόλοιπες. Θα αναφερόμαστε στον FBS με τον όρο site για να το ξεχωρίζουμε από την κυψέλη που ορίζει η κάθε RAT.



**Εικόνα 9: FBS με 3 RATs (GSM, UMTS, LTE), η καθεμία από τις οποίες έχει διαφορετική ακτίνα και ορίζει διαφορετική κυψέλη**

Οι διάφοροι πάροχοι θα πρέπει να έχουν συμφωνήσει ότι επιτρέπουν σε τερματικά άλλου παρόχου να καταναλώνει πόρους του δικτύου τους. Επίσης τα τερματικά των χρηστών θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν στις διαφορετικές RATs, είτε χρησιμοποιώντας προεγκατεστημένο λογισμικό, είτε κάνοντας λήψη και

εγκατάσταση σε πραγματικό χρόνο. Τα τεμαχικά, ανάλογα με τις αιτήσεις κλήσεων, δεδομένων και λοιπά που στέλνουν, παράγουν κάποιο φορτίο, το οποίο πρέπει να το διαχειριστεί ο FBS, στου οποίου την κυψέλη βρίσκονται. Ο FBS, θα αναλάβει να στείλει τις αιτήσεις στους αντίστοιχους controllers. Στο GSM ο controller είναι ο BSC (Base Station Controller), στο UMTS ο RNC (Radio Network Controller) και στο WiMAX ο ASN-GW (Access Service Network GateWay). Όσον αφορά το LTE και το WLAN, επειδή δεν υπάρχει κάποιος controller, θα θεωρήσουμε ότι στο επίπεδο Radio Access συγκεντρώνεται το φορτίο σε κάποια IWUs (InterWorking Units), έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να προωθηθεί το φορτίο από και προς LTE ή WLAN δίκτυα. Στη συνέχεια, η κίνηση από όλα τα δίκτυα συγκεντρώνεται στο Core Network (CN), το οποίο συνδέει τα διαφορετικά RANs (Radio Access Networks) και επιτρέπει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ τους. Είναι υπεύθυνο για το διαμοιρασμό του φορτίου μεταξύ των δικτύων πρόσβασης, υπακούοντας σε κάποιους κανόνες, έτσι ώστε να δρομολογηθεί το φορτίο μέσω του πιο κατάλληλου συστήματος πρόσβασης. Τέλος, το Operation and Management συγκεντρώνει και διαχειρίζεται όλες τις παραμέτρους λειτουργίας των δικτύων.

Σε κάθε οντότητα του δικτύου ενημερώνεται το JRRM συνεχώς για το φορτίο κάθε κυψέλης και κάθε controller. Ο FBS, λοιπόν, έχει κάθε στιγμή γνώση του τρέχοντος φορτίου και επίσης γνωρίζει τις δυνατότητές του, τις τρέχουσες συνθήκες λειτουργίας καθώς και τις εναλλακτικές που έχει.

Ο DSNPM δε χρειάζεται να ενημερώνεται κάθε χρονική στιγμή για το τι συμβαίνει στο δίκτυο. Έστω ότι σε μια περιοχή 100.000 χρηστών έχουμε ρυθμό άφιξης αιτήσεων για οποιαδήποτε υπηρεσία (φωνή, δεδομένα, βίντεο κλπ)  $\lambda=0,001679$ . Συνολικά αυτοί οι χρήστες σε ένα δευτερόλεπτο θα παράγουν 168 αιτήσεις. Θεωρούμε καλό διάστημα για ενημέρωση τα 5 seconds, κατά τα οποία παράγονται 840 αιτήσεις. Κάθε 5 δευτερόλεπτα, λοιπόν, ενημερώνεται ο DSNPM σε όλες τις οντότητες του δικτύου, που υπάρχει, για την κίνηση στις κυψέλες και στους controllers.

Στο έκτο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί κάποια σενάρια, όπου οι χρήστες σε μια κυψέλη ή σε μια ευρύτερη περιοχή, έχουν αυξηθεί επικίνδυνα και από προηγούμενη γνώση το σύστημα γνωρίζει ότι η αύξηση αυτή θα οδηγήσει σε υπερφόρτωση και οι χρήστες δε θα μπορούν να εξυπηρετηθούν.

Μόλις ο DSNPM λάβει αυτό το στιγμιότυπο του δικτύου που υποδεικνύει ανισοκατανομή του φορτίου στις διάφορες RATs και επικίνδυνη αύξηση φορτίου, πρέπει να συνεργαστεί με τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία και να λάβει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τις λοιπές συνθήκες του δικτύου και του περιβάλλοντος. Αν αποφασιστεί ότι πρέπει να γίνει κάποια αλλαγή, ενημερώνονται οι αντίστοιχοι FBS για τις αλλαγές, αλλάζουν τις δικές τους παραμέτρους λειτουργίας και στέλνουν την εντολή και στα τεμαχικά. Τα τεμαχικά μπορεί να χρειαστεί να λάβουν ασύρματα και να εγκαταστήσουν πρώτα το κατάλληλο λογισμικό και στη συνέχεια να εκτελέσουν τον επαναπροσδιορισμό. Οι FBS θα πρέπει να φροντίσουν, ώστε τα handovers προς τις διαφορετικές κυψέλες να

πραγματοποιηθούν χωρίς να γίνει αντιληπτή η αλλαγή από τους χρήστες. Αυτού του είδους τα handovers από μία ασύρματη τεχνολογία πρόσβασης προς μια άλλη ονομάζονται vertical handovers.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΑΙΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

# ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

### 4.1 Μοντέλα Κινητικότητας (Mobility Models)

#### 4.1.1 Κινητικότητα βασισμένη στη συμπεριφορά των μυρμηγκιών (Mobility based on ant system)

Το παρακάτω μοντέλο προβλέπει την κίνηση των χρηστών βασισμένο στη συμπεριφορά της κοινωνίας των μυρμηγκιών.

Σε ένα σημείο  $i$  τη χρονική στιγμή  $t$  ένα μυρμήγκι επιλέγει το σημείο  $j$  (επιλέγει δηλαδή να ακολουθήσει το μονοπάτι  $(i, j)$ ) σύμφωνα με την πιθανότητα:

$$P_{i,j}(t) = \frac{(\tau_{i,j}(t))^\alpha (n_{i,j})^\beta}{\sum_{(i,k) \in C} (\tau_{i,k}(t))^\alpha (n_{i,k})^\beta}$$

όπου:

- $\tau_{ij}(t)$ : η ποσότητα φερομόνης στο μονοπάτι  $(i, j)$  τη χρονική στιγμή  $t$
- $n_{ij}$ : η ορατότητα του μυρμηγκιού στο μονοπάτι  $(i, j)$  (το μυρμήγκι υποθέτει ότι υπάρχει φαγητό στο τέλος του μονοπατιού)
- $\alpha$  και  $\beta$ : παράμετροι που ελέγχουν τη σημασία της ποσότητας της φερομόνης σε σχέση με το πεδίο της ορατότητας
- $C$ : αντιπροσωπεύει το σύνολο των πιθανών μονοπατιών από το σημείο  $i$  (το  $(i, k)$  είναι ένα μονοπάτι του συνόλου  $C$ ).

Κάθε μυρμήγκι που ακολουθεί το μονοπάτι  $(i, j)$  προσθέτει μια ποσότητα φερομόνης, που αντιπροσωπεύεται από την ποσότητα  $\Delta\tau_{ij}^\alpha$ . Καθώς η φερομόνη είναι κάτι που εξατμίζεται με την πάροδο του χρόνου, η ποσότητα της φερομόνης στο μονοπάτι  $(i, j)$  τη χρονική στιγμή  $(t+1)$  ισούται με όση απομένει μετά την εξάτμιση από τη χρονική στιγμή  $t$ , προστιθέμενη στην ποσότητα που άφησαν όλα τα μυρμήγκια που ακολούθησαν αυτό το μονοπάτι τη χρονική στιγμή  $t$ . Αυτό δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\tau_{i,j}(t+1) = \sigma * \tau_{i,j}(t) + \sum_{\alpha=1}^m \Delta\tau_{i,j}^\alpha$$

όπου:

- $\sigma$ : είναι ένας συντελεστής, όπου το  $(1-\sigma)$  αντιπροσωπεύει τη φερομόνη που



εξατιμίζεται μεταξύ των χρονικών στιγμών  $t$  και  $(t+1)$ . Πρέπει να είναι μια τιμή μικρότερη του 1, ώστε να αποφεύγεται η συσσώρευση και η πρόωρη σύγκλιση της φερομόνης.

- $\alpha$ : αντιπροσωπεύει ένα μυρμήγκι το οποίο άφησε μια ποσότητα φερομόνης στο μονοπάτι  $(i, j)$ .
- $m$ : το πλήθος των μυρμηγκιών που ακολούθησαν το μονοπάτι  $(i, j)$  τη χρονική στιγμή  $t$ .

#### 4.1.2 Κινητικότητα βασισμένη σε νευρωνικά δίκτυα (Mobility based on neural networks)

Στο συγκεκριμένο μοντέλο προτείνεται ένα σύστημα, το οποίο χρησιμοποιεί νευρωνικά δίκτυα για να καταγράψει τις μετατοπίσεις σε ένα ασύρματο δίκτυο, ώστε να προβλέψει τη μελλοντική συμπεριφορά των χρηστών. Η προσέγγιση αυτή είναι καινοτόμος, καθώς χρησιμοποιεί γενικευμένα μοτίβα για τους σταθμούς βάσης σε αντίθεση με τα μοτίβα που κάνουν προβλέψεις για κάθε χρήστη. Τα mobility μοντέλα επηρεάζονται σημαντικά από τα γεωγραφικά όρια και τις τάσεις στην τοποθεσία κάθε σταθμού βάσης. Η συμπεριφορά κάθε χρήστη επηρεάζεται από την κατάσταση του δικτύου και υπάρχει μια ομοιογένεια στον τρόπο που συμπεριφέρεται το δίκτυο σε συγκεκριμένες τοποθεσίες. Αυτή η ομοιογένεια δε μπορεί να εξαχθεί από τη συμπεριφορά των μεμονωμένων χρηστών.

Το σύστημα αυτό εκπαιδεύει ένα ξεχωριστό νευρωνικό δίκτυο για κάθε ΣΒ (σταθμό βάσης) χρησιμοποιώντας ιστορικά στοιχεία των χρηστών που συνδέθηκαν σε αυτόν. Σκοπός είναι να καταγραφούν γενικευμένα μοτίβα ως προς τη συμπεριφορά της κίνησης στην κοντινή περιοχή και να χρησιμοποιηθούν αυτά τα μοτίβα για μελλοντική πρόβλεψη της συμπεριφοράς των χρηστών που θα συνδεθούν στον συγκεκριμένο ΣΒ.

Αρχικά συγκεντρώνονται στοιχεία σύνδεσης των χρηστών και μετατρέπονται σε δεδομένα, τα οποία τα χρησιμοποιεί το νευρωνικό δίκτυο για να εκπαιδευτεί και να προβλέψει. Επίσης, το νευρωνικό δίκτυο εκπαιδεύεται για να προβλέψει μόνο το κοντινό μέλλον, έτσι υπάρχει ένας εξωτερικός μηχανισμός που επιτρέπει για μια αναδρομική πρόβλεψη πιο μακριά στο μέλλον.

Το σύστημα παρακολουθεί τα ίχνη των χρηστών σε διακριτά κομμάτια χρόνου μεγέθους  $t$ , που ονομάζεται time step (χρονικό βήμα). Η τιμή αυτή πρέπει να είναι αρκετά μικρή, έτσι ώστε να αντιπροσωπεύει σχεδόν συνεχόμενα βήματα.

Ένα δίκτυο αντιμετωπίζει handoffs όταν υπάρχουν περισσότεροι από ένας σταθμοί βάσης στην περιοχή. ΣΒ οι οποίοι μπορούν να ανταλλάσσουν handoffs μεταξύ τους ονομάζονται άμεσοι γείτονες. ΣΒ οι οποίοι δε μπορούν να ανταλλάσσουν άμεσα handoffs ονομάζονται έμμεσοι γείτονες κάποιου βαθμού, ο οποίος αντιπροσωπεύει το

μικρότερο αριθμό handoffs που πρέπει να γίνουν για να μεταφερθεί μία κλήση μεταξύ τους. Αυτοί οι βαθμοί ορίζουν ένα *n-layer neighbor map* (χάρτης γειτνίασης *n* επιπέδων). Ένας τέτοιος χάρτης ενός ΣΒ είναι το σύνολο όλων των ΣΒ που έχουν βαθμό γειτνίασης μεγαλύτερο ή ίσο του *n*. Ορίζουμε επίσης το *Future Location Set* (σύνολο μελλοντικών τοποθεσιών), το οποίο ορίζει ένα σύνολο από σταθμούς βάσης όπου μπορεί να επισκεφτεί ο χρήστης σε μια συγκεκριμένη μελλοντική περίοδο.

Καθώς ένας χρήστης μετακινείται μεταξύ των ΣΒ ενός δικτύου, δημιουργεί ένα ιστορικό από ΣΒ που έχει επισκεφτεί στο παρελθόν. Αυτό το ιστορικό καταγράφεται σαν ένα ID vector μεγέθους *HistLen*. Αυτό το vector κρατάει δύο στοιχεία πληροφορίας για την πρόσφατη κινητικότητα του χρήστη. Η πρώτη πληροφορία είναι πότε συνδέθηκε στον εκάστοτε ΣΒ. Το δεύτερο στοιχείο είναι πόσο χρόνο ήταν συνδεδεμένος στον ΣΒ.

Αυτά τα δύο κομμάτια πληροφορίας για την πρόσφατη συμπεριφορά σύνδεσης του χρήστη πρέπει να ενσωματωθούν σε ένα στοιχείο για να εισαχθούν στο νευρωνικό δίκτυο. Ο *input vector* δημιουργείται ως εξής: Το μέγεθος του vector ορίζεται από το πλήθος των γειτόνων που βρίσκονται στο *n-layer neighbor map* του τρέχοντος σταθμού βάσης (cNAP – current Network Access Point), όπου cNAP είναι ο ΣΒ, του οποίου το νευρωνικό δίκτυο εκπαιδεύεται. Η παράμετρος *n* υποδεικνύει πόσο μεγάλη είναι η «γειτονιά» του cNAP, η οποία λαμβάνεται υπόψη. Δημιουργείται ο *n-layer neighbor map*, ο οποίος είναι αντιστοιχία ενός NAP ID σε έναν δείκτη στον *input vector*. Οι τιμές στον *input vector* τίθενται στην αρχική τιμή 0. Η παράμετρος *λ* παίρνει μία τιμή μεταξύ (0,1], όπου το 1 θέτει όλο το βάρος στον χρόνο τον οποίο ξόδεψε σε ένα NAP, αγνοώντας οποιαδήποτε ιστορική ακολουθία, και μια τιμή κοντά στο 0 θέτει σχεδόν όλο το βάρος στην ιστορική ακολουθία και ελάχιστο στο χρόνο τον οποίο ξόδεψε στον ΣΒ. Αν βρισκόμαστε στη χρονική στιγμή  $t=0$ , τότε  $t=-k$  αντιστοιχούν σε *k* χρονικά βήματα στο παρελθόν. Ο *input vector* δημιουργείται προσθέτοντας την τιμή  $λk+1$  στην τιμή του *input vector* που αντιστοιχεί στον ΣΒ που ο χρήστης συνδέθηκε τη χρονική στιγμή  $t=-k$ . Αν αυτός ο ΣΒ δε βρίσκεται στη γειτονιά του cNAP, η τιμή αυτού του βήματος αγνοείται και η πληροφορία χάνεται.

Για να εκπαιδευτεί το νευρωνικό δίκτυο, είναι αναγκαίο να υπάρχουν ζεύγη εισόδου-εξόδου, παραδείγματα του τι πρέπει να παράγει το δίκτυο αφού εκπαιδευτεί. Ο *input vector* δημιουργείται όπως περιγράφηκε παραπάνω. Ο *output vector* θα πρέπει με κάποιο τρόπο να υποδεικνύει την επιθυμητή πρόβλεψη, που αντιπροσωπεύει τον ΣΒ στον οποίο θα κινηθεί ο χρήστης το επόμενο χρονικό βήμα. Αυτό είναι αδύνατον να προσδιοριστεί τη στιγμή που δημιουργείται ο *input vector* καθώς η μελλοντική συμπεριφορά των χρηστών είναι άγνωστη. Το πρόβλημα λύνεται περιμένοντας μέχρι το επόμενο χρονικό βήμα για να καταγραφεί πού θα πάει πραγματικά ο χρήστης και δημιουργείται ο *output vector* ανάλογα. Σε συνδυασμό με τον ήδη υπάρχοντα *input vector*, αποτελούν τα στοιχεία πληροφορίας που θα εκπαιδεύσουν το νευρωνικό δίκτυο.

### 4.1.3 Κινητικότητα βασισμένη σε προφίλ (Profile-based mobility scheme)

Από την καθημερινή μας ζωή παρατηρούμε ότι πολλοί χρήστες ακολουθούν κάποιες συγκεκριμένες διαδρομές. Αν το δίκτυο ξέρει τις καθημερινές συνήθειες του κάθε χρήστη, τότε μπορεί να μετριαστεί το βάρος φορτίου που προκαλείται από τις αλλαγές τοποθεσίας. Βασισμένοι σε αυτήν την παρατήρηση, προτάθηκε ένα σχήμα βασισμένο στο προφίλ των χρηστών (profile-based scheme -PBS). Σε αυτό το σχήμα, οι πληροφορίες για την καθημερινότητα του χρήστη αποθηκεύονται στο προφίλ του. Αν ο χρήστης ακολουθεί το δρομολόγιο αυτό, τότε δε χρειάζεται αλλαγή τοποθεσίας και μειώνεται το φορτίο αλλαγής. Όταν φτάνει μία κλήση για αυτόν το χρήστη, τα RAs (registered areas) όπου θα μπορούσε να είναι ο χρήστης ειδοποιούνται.

Τα καταγεγραμμένα ιστορικά στοιχεία χρησιμοποιούνται για να κατασκευάσουν ένα δέντρο αναζήτησης για αυτόν το χρήστη. Δημιουργείται ή ανακτάται αν υπάρχει ένα μοτίβο κινητικότητας χρήστη (user mobility pattern -UMP) βασισμένο στην κίνηση του χρήστη και η πιθανότητα ο χρήστης να είναι σε μια κυψέλη εξάγεται από αυτό το μοτίβο. Η ειδοποίηση μπορεί να γίνει σε όλα τα RAs την ίδια χρονική στιγμή ή ένα ένα με τη σειρά, ακολουθώντας μία φθίνουσα σειρά πιθανότητας. Έτσι μειώνεται το κόστος αλλαγής τοποθεσίας, αλλά αυξάνεται το συνολικό κόστος από τις πολλαπλές ειδοποιήσεις. Το CMR (call-to-mobility ratio – λόγος κλήσης προς κινητικότητα) είναι πολύ κρίσιμο στο PBS και η εξοικονόμηση φορτίου μπορεί μόνο να επιτευχθεί κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο CMR. Ένα νέο σχήμα κινητικότητας προτείνεται: mobility-pattern- based scheme (MPBS). Το σχήμα αυτό μπορεί να υιοθετήσει πολλαπλές στρατηγικές ειδοποίησης βασισμένες στις προδιαγραφές του χρήστη έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος UMP.

Στο νέο αυτό σχήμα το UMP χρησιμοποιείται για να ελαχιστοποιήσει το βάρος από τις αλλαγές τοποθεσίας και ειδοποίησης. Με το σχήμα MPBS το πλεονέκτημα είναι ότι το σύστημα μπορεί να προβλέψει την μελλοντική τοποθεσία του χρήστη και έτσι οι πόροι μπορούν να μοιραστούν εκ των προτέρων κατάλληλα για να καλύψουν τις ανάγκες χρηστών που χρησιμοποιούν εφαρμογές υψηλής προτεραιότητας. Για τα δίκτυα ασύρματων επικοινωνιών επόμενης γενιάς, διαφορετικές ομάδες χρηστών έχουν διαφορετικές απαιτήσεις υπηρεσιών. Μπορούν να τεθούν διαφορετικές προτεραιότητες με βάση το ιστορικό κλήσεων, το μοντέλο κινητικότητας και την προθυμία να πληρώσουν για υψηλότερο QoS. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, το δίκτυο πρέπει να συλλέξει και να αποθηκεύσει κάποιες επιπλέον πληροφορίες στο προφίλ κάθε χρήστη. Για παράδειγμα, αν ένα UMP είναι γνωστό, μπορούν να προετοιμαστούν κάποιες πληροφορίες και να δεσμευτούν πόροι για το χρήστη στην τοποθεσία στην οποία προβλέπεται σύντομα να πάει. Αν οι παραπάνω πληροφορίες ενσωματωθούν στο ήδη υπάρχον σύστημα βάσεων των ασύρματων επικοινωνιών, το κόστος ανάκτησης από τη βάση μπορεί να κατακλύσει την επεξεργαστική ισχύ του συστήματος. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος προτείνεται η έννοια του Virtual Management Network (VMN).

Το VMN είναι ένα δίκτυο διαχείρισης πάνω από τα ήδη υπάρχοντα ασύρματα δίκτυα. Στο σχήμα αυτό προτείνεται μία καινούργια λειτουργική οντότητα, το mobility agent (MA). Τα MAs μπορεί να είναι hardware-based ή software-based και συνδέονται τόσο με τους VLRs όσο και με τους HLRs. Την ίδια χρονική στιγμή, τα MAs συνδέονται μεταξύ τους.

Το δίκτυο κρατάει αρχείο με τη λίστα της πιο πιθανής διαδρομής κάθε χρήστη. Το δρομολόγιο του χρήστη μπορεί να χαρακτηριστεί ως εξής: Αν  $A_i$  είναι ένα από τα RAs στην καταγεγραμμένη λίστα, το πιο πιθανό δρομολόγιο του χρήστη μπορεί να οριστεί ως  $A_k$ , όπου  $k$  το πλήθος των RAs στο σύνολο. Η πιθανότητα ενός χρήστη να είναι στο RA  $A_i$  είναι  $\alpha_i$ . Υπάρχουν δύο ακόμα παράμετροι – ο χρόνος κατά τον οποίο ο χρήστης εισήλθε στην κυνέλη  $A_i(t_i)$  και ο χρόνος παραμονής  $A_i(T_i)$ . Ο MA θα διατηρεί μια λίστα με 4 παραμέτρους ( $A_i, t_i, T_i, \alpha_i$ ) για κάθε χρήστη. Στη λίστα οι εγγραφές ταξινομούνται με βάση το  $t_i$ . Για παράδειγμα, αν το προφίλ ενός χρήστη περιλαμβάνει όλες τις εισόδους σε τοποθεσίες που έκανε τις τελευταίες 24 ώρες, η λίστα ταξινομείται με βάση το χρόνο που ο χρήστης επισκέπτεται κάθε  $A_i$ . Ορίζουμε  $\varphi > 0$  σαν την πιθανότητα ο χρήστης να ακολουθήσει μια διαδρομή έξω από τα συνηθισμένα, και δίνεται από τον τύπο:

$$\varphi = 1 - \sum_{i=1}^k \alpha_i$$

Αν  $\varphi > 0$ , υπάρχει πιθανότητα ο χρήστης να βρεθεί εκτός των RAs που βρίσκονται στη λίστα του. Στο MPBS σχήμα, όταν ένας χρήστης ακολουθεί το UMP, το φορτίο που προκαλείται από την ανανέωση της τοποθεσίας μπορεί να μειωθεί. Υπάρχουν δύο μοτίβα χρηστών που ακολουθούν το MPBS σχήμα. Όταν ο χρήστης εισέρχεται στο  $A_i$  τη χρονική στιγμή  $t_i$  και ο χρόνος παραμονής του στο  $A_i$  είναι  $T_i$ , τότε λέμε ότι ο χρήστης ακολουθεί το μοτίβο time-sequence (χρονικής ακολουθίας). Αν ο χρήστης εισέρχεται και εξέρχεται από τα RAs ακολουθώντας μόνο την ταξινόμηση των  $A_i$ , τότε ο χρήστης είναι στο μοτίβο sequence (ακολουθίας).

Είναι σαφές ότι ο χρήστης που ακολουθεί το μοτίβο time-sequence, ακολουθεί και το μοτίβο sequence. Όταν ένας χρήστης περιφέρεται στο δίκτυο, υποθέτουμε ότι το τερματικό μπορεί να καταγράψει το RA ID και τους χρόνους εισόδου και εξόδου. Ορίζουμε ως UAP (user actual path) την πληροφορία για την πραγματική διαδρομή του χρήστη. Το UAP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ανανεώσει το UMP ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Καθώς ο χρόνος περνάει ή ο χρήστης διαπερνά τα όρια των RA, το τερματικό μπορεί να πει αν ο χρήστης ακολουθεί το μοτίβο του ή όχι, συγκρίνοντας το UAP με το UMP.

Όταν ένας χρήστης εισέρχεται στην περιοχή  $A_i$ , λέγεται ότι ακολουθεί το μοτίβο time-sequence αν και μόνο αν ισχύουν τα παρακάτω:

- 1)  $A_i \in A$
- 2)  $|t_{i,\text{actual}} - t_i| < \Delta T$
- 3)  $t - t_i - T_i < \Delta T$

όπου  $t_{i,\text{actual}}$  ο πραγματικός χρόνος που ο χρήστης εισήλθε στο  $A_i$ ,  $t$  ο τρέχων χρόνος του συστήματος και  $\Delta T$  το κατώφλι χρόνου.

Το 1) περιορίζει το χρήστη να ακολουθήσει το προφίλ του, το 2) και το 3) ορίζουν ότι ο χρήστης θα εισέλθει και θα εξέλθει από την τοποθεσία  $A_i$  σε περιορισμένο χρονικό διάστημα. Αν υποθέσουμε ότι ένα UAP είναι  $\mathbf{B}$ , η απόσταση μεταξύ των UAP και UMP είναι  $d(A_1, A_2, \dots, A_N, B_1, B_2, \dots, B_N)$ , και το κατώφλι απόστασης  $\Delta D$ , όπου  $N$  το επιλεγμένο μέγεθος του μοτίβου, αρκετά μεγάλο ώστε να εγγυηθεί την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων σύγκρισης. Λέμε ότι ο χρήστης ακολουθεί το μοτίβο sequence αν:

- 1)  $A_i \in \mathbf{A}$
- 2)  $|t_{i,\text{actual}} - t_i| > \Delta T$  or  $t - t_i - T_i > \Delta T$
- 3)  $d(A_1, A_2, \dots, A_N, B_1, B_2, \dots, B_N)/N < \Delta D$ .

Στο MPBS σχήμα, ένας χρήστης μπορεί να είναι σε μία από τις καταστάσεις που σημειώνονται στον παρακάτω πίνακα, όταν ο χρήστης εισέρχεται σε ένα RA.

Κατάσταση	Επεξήγηση
1	Ο χρήστης ακολουθεί το μοτίβο time-sequence.
2	Ο χρήστης ακολουθεί το μοτίβο sequence.
3	Ο χρήστης δεν ακολουθεί κανένα από τα παραπάνω μοτίβα αλλά $A \in \mathbf{A}$ .
4	$A \notin \mathbf{A}$ .

**Πίνακας 7: Πίνακας καταστάσεων σε ένα MPBS σχήμα**

Όταν ο χρήστης είναι στις καταστάσεις 1, 2 ή 3, δε χρειάζεται να σταλεί μήνυμα καταχώρησης ή κατάστασης, όσο ο χρήστης διατηρεί την κατάσταση στην οποία είναι. Αν ο χρήστης είναι στην κατάσταση 4, το τερματικό πρέπει να ανανεώνει την τοποθεσία του στο δίκτυο κάθε φορά που εισέρχεται σε νέο RA. Αν μπορούσαμε να συλλέξουμε όλες τις πληροφορίες της καθημερινότητας του χρήστη, έτσι ώστε να υπάρχει μεγάλη πιθανότητα αυτός να βρίσκεται στις καταστάσεις 1, 2 ή 3, το κόστος ανανέωσης μπορεί να μειωθεί.

#### 4.1.4 Μοντέλο βασισμένο στη συμπεριφορά των ρευστών (The fluid model)

Το fluid model αντιλαμβάνεται την κινητικότητα των χρηστών σαν τη ροή ενός ρευστού. Χρησιμοποιείται για να προβλέψει μακροσκοπικά τη συμπεριφορά της κινητικότητας. Στην απλή του μορφή, το μοντέλο σχηματίζει την ποσότητα της κίνησης που φεύγει από την περιοχή αναλογικά με την πυκνότητα των χρηστών στην περιοχή, τη μέση ταχύτητα και το μήκος των συνόρων της περιοχής. Για μια κυκλική περιοχή με πληθυσμιακή πυκνότητα  $\rho$ , μέση ταχύτητα  $v$  και διάμετρο περιοχής  $L$ , ο

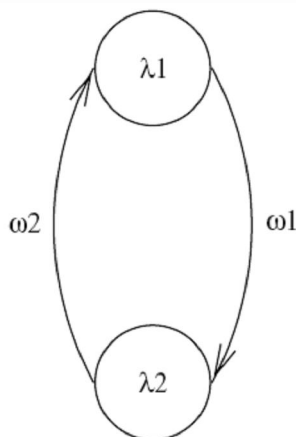
μέσος αριθμός διάσχισης των συνόρων στη μονάδα του χρόνου,  $N$ , δίνεται από τον τύπο:  $N = \rho L v$ .

Ένα πιο εξεζητημένο fluid model σχηματίστηκε για να περιγράψει τη ροή κίνησης σαν διαδικασία βαθμιαίας διάδοσης. Ένας από τους περιορισμούς του fluid model είναι ότι περιγράφει τη συνολική κίνηση και δύσκολα εφαρμόζεται σε ατομικά μοτίβα κίνησης. Άλλος περιορισμός προκύπτει από το γεγονός ότι χρησιμοποιούνται η μέση πληθυσμιακή πυκνότητα και η μέση ταχύτητα, καθιστώντας πιο ακριβές για περιοχές με μεγάλο πληθυσμό.

## 4.2 Μοντέλα Κυκλοφορίας (Traffic Models)

### 4.2.1 Κυκλοφορία βασισμένη σε μαρκοβιανές διαδικασίες Poisson (Markov Modular Poisson Process)

Η MMPP (Markov Modular Poisson Process) είναι στοχαστική διαδικασία, η οποία περιγράφεται ως μαρκοβιανή αλυσίδα καταστάσεων, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



**Εικόνα 10: MMPP δύο καταστάσεων**

Στη γενική περίπτωση MMPP, ο πίνακας  $Q$  ορίζεται ως ο πίνακας μετάβασης (1) της μαρκοβιανής αλυσίδας και ο  $\Lambda$ , ο οποίος περιγράφεται από τον τύπο 2, δίνεται σαν πίνακας του οποίου τα διαγώνια στοιχεία περιλαμβάνουν τους ρυθμούς αφίξεων, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν διαφορετικές καταστάσεις στην αλυσίδα.

$$Q = \begin{pmatrix} -\omega_{11} & \omega_{12} & \cdots & \omega_{1m} \\ \omega_{21} & -\omega_{22} & \cdots & \omega_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_{m1} & \omega_{m2} & \cdots & -\omega_{mm} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) \quad (2)$$

Χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση το μοντέλο MMPP για δύο λόγους: μπορεί να προσομοιώσει σε κάποιο επίπεδο τη φύση του πραγματικού δικτύου και προσφέρεται για μαθηματική ανάλυση.

Έστω

$$\{x(t), t \geq 0\} \quad (3)$$

τυχαίες διαδικασίες που αντιπροσωπεύουν τον αριθμό αφίξεων σε κάποιο διάστημα χρόνου διάρκειας  $t$ . Η πιθανότητα αφίξεων  $i$  περιγράφεται από την κατανομή poisson:

$$P(x(t) = i) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^i}{i!}, i \geq 0 \quad (4)$$

όπου  $\lambda$  ο ρυθμός άφιξης. Η τυχαία μεταβλητή  $T$ , που περιγράφει το χρόνο μεταξύ διαδοχικών αφίξεων poisson διαδικασιών έχει εκθετική κατανομή:

$$P(T > t) = e^{-\lambda t}, t > 0 \quad (5)$$

Για την κατανομή Poisson έχουμε:

$$E(x(t)) = \text{var}(x(t)) \quad (6)$$

έτσι ώστε ο λόγος μέσης τιμής προς διασπορά να είναι ίσος με 1. Δεδομένου αυτού, η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης ισοδυναμεί με 0 για οποιαδήποτε τιμή χρονικού διαστήματος μεγαλύτερης του 0, το οποίο καθιστά το μοντέλο αρκετά ελαττωματικό για να περιγράψει την κίνηση.

Σε ένα MMPP δύο καταστάσεων, το διάγραμμα αλυσίδας απεικονίζεται στην εικόνα 10, ενώ ο απειροστικός πίνακας περιγράφεται παρακάτω:

$$Q = \begin{bmatrix} -\omega_{11} & \omega_{12} \\ \omega_{21} & -\omega_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\omega_1 & \omega_1 \\ \omega_2 & -\omega_2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

όπου  $\omega_1, \omega_2$  περιγράφουν τη συχνότητα μεταφοράς ροής MMPP από την κατάσταση 1 στην κατάσταση 2. Οι αντίστοιχοι ρυθμοί άφιξης παρουσιάζονται στον πίνακα (8):

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Παρατηρώντας τις δυαδικές διαδικασίες Markov, είναι σαφές ότι η πιθανότητα μία διαδικασία να είναι σε μία από τις δύο καταστάσεις περιγράφεται με γεωμετρική κατανομή, που σημαίνει αντίστοιχα:

$$P(\lambda_1) = \frac{\omega_2}{\omega_1 + \omega_2}, P(\lambda_2) = \frac{\omega_1}{\omega_1 + \omega_2} \quad (9)$$

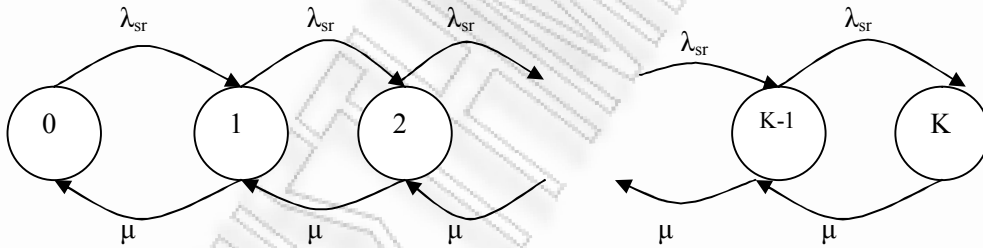
Με άλλα λόγια, αν κάποιος αριθμός πακέτων σε χρονικό διάστημα  $T$  είναι  $NT$ , ο μέσος αριθμός πακέτων στην ουρά αναμονής ισούται με:

$$E(N_T) = (\lambda_1 * P(\lambda_1) + \lambda_2 * P(\lambda_2)) * t = \frac{\lambda_1 \omega_2 + \lambda_2 \omega_1}{\omega_1 + \omega_2} * t \quad (10)$$

Στη συνέχεια, παρατηρώντας το μοντέλο στη στάσιμη κατάσταση, ο ρυθμός άφιξης πακέτων στην αναμονή περιγράφεται ως εξής:

$$\lambda_{sr} = \lambda_1 * P(\lambda_1) + \lambda_2 * P(\lambda_2) = \frac{\lambda_1 \omega_2 + \lambda_2 \omega_1}{\omega_1 + \omega_2} \quad (11)$$

Για την ουρά αναμονής θα χρησιμοποιηθεί μοντέλο MMPP-2/M/1/K που περιγράφεται από το παρακάτω σχήμα.



**Εικόνα 11: Μοντέλο MMPP-2/M/1K**

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, η πιθανότητα το σύστημα να είναι στην κατάσταση  $n$  υπολογίζεται ως εξής:

$$p_n = p_0 \prod_{i=0}^{n-1} \frac{\lambda_{sr}}{\mu} = p_0 \left( \frac{\lambda_{sr}}{\mu} \right)^n \quad (12)$$

για κάθε  $n \leq K$ . Η πιθανότητα  $p_0$  να βρίσκεται στη μηδενική κατάσταση δίνεται από τον τύπο:

$$p_0 = \frac{1 - \frac{\lambda_{sr}}{\mu}}{1 - \left( \frac{\lambda_{sr}}{\mu} \right)^{K+1}} \quad (13)$$

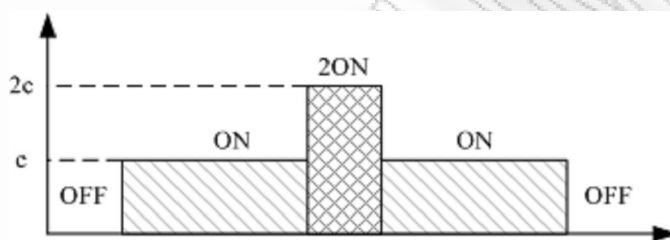


## 4.2.2 Κυκλοφορία βασισμένη σε μοντέλο ON-OFF-2ON (ON-OFF-2ON Traffic Model)

Το μοντέλο ON-OFF-2ON είναι βασισμένο στο μοντέλο ON-OFF. Η κατάσταση 2ON αντιστοιχεί στην περίπτωση όπου οι δύο συνομιλητές μιλάνε ταυτόχρονα.

Σε ένα δίκτυο ο σταθμός συνδρομητή (Subscriber Station – SS) επικοινωνεί με οντότητες πίσω από τον σταθμό βάσης (Base Station – BS) και ο BS μεταφέρει τα πακέτα, έτσι ώστε μπορούμε να υποθέσουμε ότι η συζήτηση γίνεται μεταξύ του SS και το BS. Όταν υπάρχουν  $S$  πηγές πακέτων από SS πομπούς, υπάρχουν αντίστοιχα  $S$  πηγές πακέτων πίσω από το BS. Αν δεν υπάρχουν επικοινωνίες φωνής μεταξύ των SSs στο ίδιο δίκτυο (το οποίο αποτελεί μια λογική παραδοχή για ένα δίκτυο πρόσβασης), συνολικά υπάρχουν  $N = S + S$  πηγές πακέτων.

Η βασική ιδέα έχει να κάνει με το ότι το μοντέλο ON/OFF ενός SS πομπού αντιστοιχεί σε ένα OFF/ON μοντέλο του αντίστοιχου πομπού πίσω από το BS. Είναι πιθανό όμως οι ενεργές περιόδους των δύο μερών (ON period) να επικαλύπτονται, όπως φαίνεται και παρακάτω, έχοντας ως αποτέλεσμα το double talk. Κατά τη διάρκεια της περιόδου επικάλυψης, η συζήτηση παράγει τα διπλάσια πακέτα ανά δευτερόλεπτο.



Εικόνα 12: Μοντέλο ON-OFF-2ON

Σύμφωνα με την παραπάνω παραδοχή προτείνουμε:

- Συγχώνευση των δύο μερών διαλόγου σαν μία πηγή που παράγει κίνηση
- Προσθήκη μίας επιπλέον κατάστασης την οποία ονομάζουμε 2ON στο μοντέλο ON/OFF.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα αναλυτικό μοντέλο για τον υπολογισμό των απωλειών στην κίνηση της φωνής. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του κατάλληλου μέσου ρυθμού μετάδοσης  $C$ , δεδομένης μιας τιμής-στόχου (target value) για την πιθανότητα απώλειας (loss probability).

Ορίζουμε:

- $C, c$  = συνολικός ρυθμός που αποδίδεται στη φωνή και ρυθμός πηγής (source rate) στην κατάσταση ON αντίστοιχα.
- $n = C/c$  = πλήθος μονάδων πόρων μετάδοσης
- $N$  = πλήθος πηγών φωνής

- $S =$  πλήθος συνδρομητών του δικτύου πρόσβασης (πλήθος συζητήσεων)
- $P_k^\beta = \Pr$  ( $k$  συζητήσεις δε βρίσκονται στην κατάσταση αμοιβαίας ησυχίας)
- $P_i^\gamma = \Pr$  ( $i$  συζητήσεις βρίσκονται στην κατάσταση double talk |  $k$  συζητήσεις δε βρίσκονται στην κατάσταση αμοιβαίας ησυχίας)
- $P_{PL} = \Pr$  (το πακέτο χάθηκε)
- $\alpha = \Pr$  (το μέρος της συζήτησης που είναι σε ενεργή κατάσταση – active state)
- $\beta = \Pr$  (η συζήτηση δεν είναι στην κατάσταση αμοιβαίας ησυχίας)
- $\gamma = \Pr$  (η συζήτηση βρίσκεται στην κατάσταση double talk | η συζήτηση δεν είναι στην κατάσταση αμοιβαίας ησυχίας).
- Οι μονάδες  $C$  και  $c$  (bits ανά δευτερόλεπτο, πακέτα ανά δευτερόλεπτο κλπ.) δεν είναι σημαντικές για τη μελέτη μας, όσο είναι ίδιες.
- Το  $T_i$  αντιπροσωπεύει το μέσο χρόνο, τον οποίο ξοδεύει το σύστημα στην κατάσταση  $i$  κατά τη διάρκεια μιας συζήτησης, όπου το  $i$  είναι OFF, ON και 2ON. Ο μέσος χρόνος  $T_\alpha$  που κάθε μέρος είναι ενεργό κατά τη διάρκεια μιας συζήτησης, είναι μια ποσότητα που χρησιμοποιείται συχνά. Επομένως για μια συζήτηση σύμφωνα με την εικόνα 1 έχουμε:  $T_{ON} = 2(T_\alpha - T_{2ON})$ .

Δίνονται οι τύποι για κάθε πιθανότητα:

- $\alpha = T_\alpha \frac{T_\alpha}{T_{ON} + T_{OFF} + T_{2ON}}$
- $\beta = \frac{T_{ON} + T_{2ON}}{T_{ON} + T_{OFF} + T_{2ON}}$
- $\gamma = \frac{T_{2ON}}{T_{ON} + T_{2ON}}$

Η ακόλουθη σχέση συνδέει τα  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ :

$$\beta = \frac{2\alpha}{1+\gamma}$$

Επίσης:

$$P_k^\beta = \binom{S}{k} \beta^k (1-\beta)^{S-k}$$

$$P_i^\gamma = \binom{k}{i} \gamma^i (1-\gamma)^{k-i}$$

Ο ρυθμός απώλειας πακέτων προς το ρυθμό άφιξης πακέτων δίνει την πιθανότητα

$$\text{ένα συγκεκριμένο πακέτο να χαθεί: } P_{PL} = \frac{E(X-C)^+}{EX}$$

όπου,  $E$  είναι ο τελεστής αναμενόμενης τιμής (expectation operator) και  $(z)^+ = \max(z,0)$ .

### 4.2.3 Κυκλοφορία βασισμένη σε μοντέλο με διάφορες πλατφόρμες (Traffic performance of cellular communications with mixed platforms)

Θεωρούμε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή από κυψέλες. Κινητοί σταθμοί διατρέχουν την περιοχή και μπορούν να υποστηρίξουν το πολύ μία κλήση. Ο χρόνος συνόδου (session time) κάθε κλήσης είναι μια τυχαία μεταβλητή  $T$  και εικάζεται ότι έχει κατανομή p.e.d. με μέση τιμή  $1/\rho$ . Υποθέτουμε ότι σε κάθε κυψέλη υπάρχει μια πύλη με  $C$  κανάλια, από τα οποία  $C_h$  χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για κλήσεις handoff. Καινούριες κλήσεις που θα φτάσουν στην κυψέλη δεν θα εξυπηρετηθούν αν υπάρχουν λιγότερα από  $C_h$  αδρανή κανάλια.

Επιτρέπουμε πολλαπλούς τύπους υποδομών  $g=1,2,\dots,G$ . Κάθε τύπος έχει τα δικά του χαρακτηριστικά, τα οποία ορίζονται από τις στατιστικές ιδιότητες του χρόνου παραμονής σε μια υποδομή αυτού του τύπου. Ο χρόνος παραμονής στον τύπο  $g$  είναι τυχαία μεταβλητή υποδηλούμενη από το  $TD(g)$ . Σε κάθε πύλη μπορεί να υπάρχουν περιορισμοί σύμφωνα με τους οποίους δε μπορούν παραπάνω από  $J(g)$  κανάλια να καταλαμβάνονται από τον ίδιο τύπο πλατφόρμας την ίδια χρονική στιγμή.

Το παραγόμενο φορτίο ανά κυψέλη για κάθε τύπο πλατφόρμας δίνεται από το μέσο αριθμό καναλιών που καταλαμβάνονται από κλήσεις του δεδομένου τύπου πλατφόρμας. Το παραγόμενο φορτίο για τον τύπο  $g$  είναι:

$$A_c(g) = \sum_{s=0}^{s_{\max}} j(s, g) p(s)$$

Το συνολικό παραγόμενο φορτίο για όλους τους τύπους πλατφόρμας, δηλαδή το συνολικό παραγόμενο φορτίο για κάθε κυψέλη είναι:

$$A_c = \sum_{g=1}^G A_c(g)$$

Η πιθανότητα απόρριψης (blocking probability) για μια νέα κλήση του τύπου  $g$  ορίζεται ως ο μέσος αριθμός νέων κλήσεων πλατφόρμας τύπου  $g$ , που δε γίνονται δεκτές από το κανάλι. Μία νέα κλήση πλατφόρμας τύπου  $g$  θα απορριφθεί αν:

- 1) Δεν υπάρχουν κανάλια να εξυπηρετήσουν την κλήση.
- 2) Ο αριθμός κλήσεων τύπου  $g$  που είναι σε εξέλιξη είναι  $J(g)$ .

Ορίζουμε τα παρακάτω σύνολα καταστάσεων:

$$B_o = \{ \mathbf{s} : C - C_h \leq j(s) \leq C \}$$

$$B_g = \{ s : j(s) < C - C_h, j(s, g) = J(g) \}$$

όπου  $g = 1, 2, \dots, G$ . Η πιθανότητα απόρριψης για μία κλήση τύπου  $g$  δίνεται από τον τύπο:

$$P_B(g) = \sum_{s \in B_0} p(s) + \sum_{s \in B_g} p(s)$$

Η πιθανότητα απόρριψης μια κλήσης handoff τύπου  $g$  ορίζεται ως ο μέσος αριθμός προσπαθειών handoff τύπου  $g$  που απορρίπτονται από το κανάλι. Οι προσπάθειες handoff έχουν πρόσβαση σε όλα τα  $C$  κανάλια μιας κυψέλης, χωρίς να ξεπερνούν όμως το φράγμα  $J(g)$ . Επομένως, έχουμε τα ακόλουθα σύνολα καταστάσεων, στα οποία οι προσπάθειες handoff θα αποτύχουν.

$$H_0 = \{s: j(s) = C\}$$

$$H_g = \{s: j(s) < C, j(s, g) = J(g)\}$$

Η πιθανότητα αποτυχίας handoff για μία κλήση handoff του τύπου  $g$  δίνεται από τον τύπο:

$$P_H(g) = \sum_{s \in H_0} p(s) + \sum_{s \in H_g} p(s)$$

Η πιθανότητα εξαναγκασμένης διακοπής της κλήσης για την πλατφόρμα τύπου  $g$  δίνεται από τον τύπο:  $P_{FT}(g)$ . Ορίζεται ως η πιθανότητα μια κλήση τύπου  $g$  που δεν απορρίφθηκε να διακοπεί εξαιτίας αποτυχίας handoff κατά τη διάρκειά της. Μία πλατφόρμα τύπου  $g$  που βρίσκεται στη φάση  $i$ , όπου  $i=1,2,\dots,N(g)$  πρέπει να ολοκληρώσει τις υπόλοιπες φάσεις για να απαιτήσει ένα handoff. Υπάρχουν  $N(g)-i+1$  όταν μια υποδομή βρίσκεται στη φάση  $i$ . Όλες οι φάσεις ακολουθούν την υπερεκθετική κατανομή και η φάση  $i$  έχει  $k=1,2, \dots, M(g, i)$  στάδια. Μια πλατφόρμα επιλέγει ένα στάδιο  $k$  για την  $i$ -οστή φάση της από τα  $M(g, i)$  στάδια με πιθανότητα  $a(g, i, k)$ .

Έστω  $\pi_i(g|k)$  η υπό συνθήκη πιθανότητα μια πλατφόρμα που βρίσκεται στη φάση  $i$  να ολοκληρώσει την τωρινή της φάση πριν ολοκληρωθεί η κλήση, δεδομένου ότι είναι στο στάδιο  $k$ :

$$\pi_i(g|k) = \frac{a(g, i, k) * \mu_D(g, i, k)}{\mu_D(g, i, k) + \mu(g)}$$

Ορίζουμε  $\pi_i(g)$  την πιθανότητα μια πλατφόρμα τύπου  $g$  να ολοκληρώσει τη φάση  $i$  του χρόνου παραμονής πριν ολοκληρωθεί η κλήση:

$$\pi_i(g) = \sum_{k=1}^{M(g, i)} \frac{a(g, i, k) * \mu_D(g, i, k)}{\mu_D(g, i, k) + \mu(g)}$$

Για να προκαλέσει handoff μια κλήση που εξυπηρετείται από πλατφόρμα τύπου  $g$  στη φάση  $i$ , πρέπει να ολοκληρωθούν  $N(g)-i+1$  φάσεις πριν ολοκληρωθεί η κλήση. Η πιθανότητα μια τέτοια κλήση να απαιτήσει handoff είναι

$$b(g, i) = \prod_{n=i}^{N(g)} \pi_n(g)$$

Να σημειωθεί ότι στο δεξιό μέρος υπάρχει γινόμενο, καθώς κάθε φάση είναι ανεξάρτητη από τις άλλες.

Όταν μια νέα κλήση ξεκινάει σε μια πλατφόρμα τύπου  $g$ , μπορούν να καταφθάσει κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε φάσης του χρόνου παραμονής της πλατφόρμας. Ο αριθμός των νέων κλήσεων που καταφθάνουν για πλατφόρμες τύπου  $g$  στη φάση  $i$  δίνεται από τον τύπο:

$$\rho_n(g, i) = \frac{\bar{T}_D(g, i)}{\bar{T}_D(g)} = \frac{\sum_{k=1}^{M(g, i)} a(g, i, k)}{\bar{T}_D(g)} \mu_D(g, i, k)$$

Μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε την πιθανότητα μια νέα κλήση σε πλατφόρμα τύπου  $g$  να χρειαστεί handoff μέσω του τύπου:

$$b(g) = \sum_{i=1}^{N(g)} \rho_n(g, i) * b(g, i)$$

Μία κλήση που μεταβαίνει επιτυχώς από μια κυψέλη σε μια άλλη, εισέρχεται στην κυψέλη προορισμού στην πρώτη φάση του χρόνου παραμονής. Η πιθανότητα μια κλήση πλατφόρμας τύπου  $g$ , που έχει ήδη υποστεί handoff χρειαστεί ακόμα ένα handoff, είναι  $b(g, 1)$ . Η πιθανότητα μια κλήση να αναγκαστεί να τερματίσει πριν την  $k$ -οστή απόπειρα handoff είναι ίση με την πιθανότητα  $k-1$  επιτυχών handoffs, ακολουθούμενα από την  $k$ -οστή αποτυχημένη απόπειρα. Αυτό δίνεται από τον τύπο:

$$Y(g, k) = b(g) * P_H(g) * \{b(g, 1) * [1 - P_H(g)]\}^{k-1}$$

Η συνολική πιθανότητα εξαναγκαστικού τερματισμού κλήσης είναι:

$$P_{FT}(g) = \sum_{k=1}^{\infty} Y(g, k)$$

Αναγνωρίζουμε τα παραπάνω ως γεωμετρικές σειρές και αντικαθιστούμε το άθροισμα:

$$P_{FT}(g) = \frac{b(g) * P_H(g)}{[1 - \Psi(g)]}, \text{ όπου } \Psi(g) = b(g, 1) * [1 - P_H(g)]$$

#### 4.2.4 Κυκλοφορία βασισμένη σε πληθυσμιακό μοντέλο (The portable population model)

Έστω  $N$  ο αναμενόμενος αριθμός χρηστών σε μια κυψέλη. Υποθέτουμε ότι ο μέσος χρόνος παραμονής ενός χρήστη σε μια κυψέλη ακολουθεί μια γενική κατανομή  $F(t)$  με μέση τιμή  $1/\eta$ . Στην κατάσταση ισορροπίας, ο ρυθμός κατά τον οποίο χρήστες εισέρχονται στην κυψέλη ισοδυναμεί με το ρυθμό που εξέρχονται. Οι αφίξεις νέων χρηστών μπορούμε να πούμε ότι παράγονται από  $N$  ρεύματα εισόδου, τα οποία έχουν την ίδια γενική κατανομή με ρυθμό άφιξης  $\eta$ . Το καθαρό ρεύμα εισόδου σε μια κυψέλη μπορεί να προσεγγίσει μια διαδικασία Poisson με ρυθμό άφιξης  $\lambda^* = N\eta$ . Επομένως, η κατανομή για το μοντέλο portable population μπορεί να αναπαρασταθεί από μια ουρά  $M/G/1$  με ρυθμό άφιξης  $\lambda^*$  και ρυθμό εξυπηρέτησης  $\eta$ . Έστω  $\pi_n$  η πιθανότητα μόνιμης κατάστασης να βρίσκονται  $n$  χρήστες στην κυψέλη. Το  $\pi_n$  τότε δίνεται από τον τύπο:

$$\pi_n = \left(\frac{\lambda^*}{\eta}\right)^n \frac{e^{-\lambda^*/\eta}}{n!} = \frac{N^n e^{-N}}{n!}$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

#### 5.1 Μοντέλο Κινητικότητας και Κυκλοφορίας

Η παρακάτω μέθοδος υπολογισμού φορτίου είναι βασισμένη στα μοντέλα 4.1.4 και 4.2.4.

Σκοπός είναι να υπολογιστεί το φορτίο από τις υπηρεσίες και τις διαδικασίες UMTS για κάθε κυψέλη  $i$ . Έστω  $d_i$  (user/km<sup>2</sup>) η πυκνότητα χρηστών σε κάθε κυψέλη,  $v$  η μέση ταχύτητα και  $\lambda_s$  (calls per time unit per user), όπου  $s \in S$  είναι μία από τις προσφερόμενες υπηρεσίες του συστήματος. Τα χαρακτηριστικά της περιοχής κάλυψης δίνονται από το εμβαδόν της περιοχής  $A_i$  (km<sup>2</sup>) και την περίμετρο  $L_i$  (km) για κάθε κυψέλη  $i$ . Τέλος δίνεται  $1/\mu_s$  η μέση διάρκεια κλήσης.

Ο μέσος αριθμός χρηστών σε μια κυψέλη  $i$  μπορεί να δοθεί μέσω του τύπου  $N_i = A_i * d_i$ .

Η πιθανότητα μόνιμης κατάστασης να βρίσκονται  $n$  χρήστες στην κυψέλη  $i$  ορίζεται

$$\text{ως } \pi_n(N_i) \text{ και δίνεται από τον τύπο } \pi_n(N_i) = \left(\frac{\lambda^*}{\eta}\right)^n \frac{e^{-\lambda^*/\eta}}{n!} = \frac{N_i^n e^{-N_i}}{n!}.$$

Έστω

$\rho_s = (\lambda_s / \mu_s) * \text{penetration}(s)$  το φορτίο κάθε χρήστη για την υπηρεσία  $s$ , όπου  $\text{penetration}(s)$  το ποσοστό των χρηστών που χρησιμοποιούν την υπηρεσία  $s$ . Επομένως το φορτίο των χρηστών για την υπηρεσία  $s$  στην κυψέλη  $i$  δίνεται από τον

$$\text{τύπο } \rho_s(i) = \rho_s * \sum_{n=0}^{\infty} \pi_n(N_i)$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω μπορούμε να υπολογίσουμε το ρυθμό αιτήσεων κλήσης

$$\text{(rate of call requests) με τον τύπο: } r_c(i) = \sum_{s=1}^{|S|} \lambda_s * \sum_{n=0}^{\infty} n * \pi_n(N_i).$$

Αντίστοιχα ο ρυθμός αιτήσεων handover (rate of handover operations) δίνεται από τον

$$r_h(i) = \left(\frac{1}{\pi}\right) * L_i d_i \sum_{s=1}^{|S|} \rho_s * v.$$

Τέλος, ο ρυθμός αιτήσεων αλλαγής τοποθεσίας (rate of location update operations)

σε μια κυψέλη  $i$  δίνεται από τον τύπο:  $r_l(i) = \left(\frac{1}{\pi}\right) * L_i d_i \left(1 - \sum_{s=1}^{|S|} \rho_s\right) * v * \delta_i$ , όπου

$\delta_i$  το ποσοστό των ορίων μια κυψέλης (cell border) που είναι ταυτόχρονα όριο

τοποθεσίας (location area border).

Ας ορίσουμε  $1/x_c$ ,  $1/x_h$  και  $1/x_l$  το κόστος εξυπηρέτησης μιας αίτησης κλήσης, ενός handover και μιας αλλαγής τοποθεσίας αντίστοιχα. Τότε το συνολικό φορτίο για το σταθμό βάσης της κυψέλης  $i$  δίνεται από τον τύπο:

$$u_i = r_c(i) \left( \frac{1}{x_c} \right) + r_h(i) \left( \frac{1}{x_h} \right) + r_l(i) \left( \frac{1}{x_l} \right).$$

## 5.2 Επιλεγμένο μοντέλο

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία είναι μια απλοποίηση της μεθόδου που παρουσιάστηκε προηγουμένως, ώστε να προσαρμοστεί στις ανάγκες του συστήματος και στις δυνατότητες του προγράμματος.

Έστω  $R$  η ακτίνα μιας κυψέλης και  $d$  η πυκνότητα χρηστών. Μέσω του τύπου

$$N_i = A_i * d_i$$

υπολογίζουμε το εκτιμώμενο αριθμό χρηστών ανά κυψέλη, όπου  $A_i$  το εμβαδόν της κυψέλης.

$$A = 3 * \frac{\sqrt{3}}{2} * R^2.$$

Με  $p$  συμβολίζουμε τις διαφορετικές υπηρεσίες που μπορεί να ζητήσει ο κάθε χρήστης (π.χ. voice, video, data).

Υπολογίζουμε το rate of call requests για την κυψέλη  $i$ :

$$r_c(i) = \sum_{p=1}^{|p|} \lambda_p * N(i)$$

Υπολογίζουμε το rate of handover requests για την κυψέλη  $i$ :

$$r_h(i) = \left( \frac{1}{\pi} \right) * L_i * d * \sum_{p=1}^{|p|} \rho_p * v_p$$

όπου  $\rho_p = \left( \frac{\lambda_p}{\mu_p} \right) * penetration(p)$  και  $penetration(p)$  η διείσδυση των χρηστών που χρησιμοποιούν την υπηρεσία  $p$ .

Συνολικό φορτίο για την κυψέλη  $i$ :  $B_i = r_c(i) \left( \frac{1}{x_c} \right) + r_h(i) \left( \frac{1}{x_h} \right).$



### 5.3 Υλοποίηση

```
import java.io.*;
import java.lang.Math;
import java.util.Arrays;
import java.awt.*;
import javax.swing.*;
import java.awt.event.*;
import java.io.File;
import java.io.IOException;

class calculateLoad {
    // metavlhtes
    static long N_users []; // pinakas me arithmo xrhstwn gia kathe cell
    static long N_all; // synolikos arithmos xrhstwn sto systema
    static double Radius[]; // pinakas me aktina se km gia kathe cell
    static double A[]; // pinakas me ektash se km^2 kathe cell
    static double L[]; // perimetros kathe cell se km
    static double d[]; // density of users se kathe cell (users/km^2)
    static int cell_rat[]; // antistoixia cell me rat
    static int cell_controller[]; // antistoixia cell me controller
    static int site_id[]; // site id kathe cell
    static int V_cells; // arithmos cells
    static double load_per_cell[]; // fortio kathe kypselhs
    static String rat_id[]; // antistoixish kwdikoy RAT

    static double v_voice; // mesh taxytha twn xrhstwn (km/h)
```

```

static double v_video; // mesh taxythta tw n xrhstwn (km/h)
static double v_packet; // mesh taxythta tw n xrhstwn (km/h)

// rate
static double l_voice = 0.0;
static double l_video = 0.0;
static double l_session = 0.0;
static double l_packet = 0.0; // mesos arithmos paketwn ana session

// mesh diarkeia
static double m_voice;
static double m_video;
static double m_packet;

// dieisdysh
static double penetration_voice;
static double penetration_video;
static double penetration_packet;

static double Xc; // kos tos eksyphrethshs enos call request
static double Xh; // kos tos eksyphrethshs enos handover request

DataOutputStream results;

public static void main(String args[]){

    rat_id = new String[4];
    rat_id[0] = new String("UMTS");
    rat_id[1] = new String("GSM");

```

```

rat_id[2] = new String("LTE");
rat_id[3] = new String("WLAN");

GuiApp gui = new GuiApp();
gui.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);
}

static double load(int i){
    return ((1/Xc)*rate_of_call_requests(i) + (1/Xh)*rate_of_handover_requests(i));
}

static double sum_rates(){
    return l_voice+l_video+l_session*l_packet;
}

static double sum_loads(){
    return
(l_voice/m_voice)*penetration_voice+(l_video/m_video)*penetration_video+(l_session*l_packet/m_packet)*penetration_packet;
}

static double rate_of_call_requests(int i){

```

```

        double r= sum_rates()*N_users[i];
        return r;
    }

    static double rate_of_handover_requests(int i){

        double r = ((1/Math.PI)*L[i]*d[i]*((l_voice/m_voice)*penetration_voice)*v_voice/3600 +
(1/Math.PI)*L[i]*d[i]*((l_video/m_video)*penetration_video)*v_video/3600 +
(1/Math.PI)*L[i]*d[i]*((l_session*l_packet/m_packet)*penetration_packet)*v_packet/3600);
        return r;
    }

    //synarthsh ypologismoy toy paragontikoy
    static double factorial(long number){

        if(number==1 || number==0) return 1.0;
        else { return (double)(number*(factorial(number-1))); }
    }

    static void readlist(){

        StringBuffer sBuff = new StringBuffer("");
        int i=0;

```

```

int j=0; // plithos grammwn
char lastchar = ' ';
try {
    FileInputStream fileInput = new FileInputStream("inputs.txt");
    try {

        while(true) {
            i = fileInput.read();
            if(i==-1) break;

            lastchar = (char)i;

            if(lastchar=='\n') j++;

            sBuff.append(lastchar);
        }
        if(lastchar!='\n') j++;
    }
    catch (EOFException e) {}
    finally { fileInput.close(); }

    V_cells = j;

    N_users = new long[V_cells];
    Radius = new double[V_cells];
    A = new double[V_cells];
    L = new double[V_cells];
    d = new double[V_cells];
    site_id = new int[V_cells];
}

```

```

cell_rat = new int[V_cells];
cell_controller = new int[V_cells];
load_per_cell = new double[V_cells];
int l = 0;

double R = 0.0; // h aktina
String[] temp = new String[5];
String delimiter = new String(" ");

String s1 = new String(sBuff);
String s2 = new String("");

for(int k=0; k<V_cells; k++){
    l = s1.indexOf('\n');
    if(l!=-1) s2 = s1.substring(0);
    else s2 = s1.substring(0,l);
    if(s2!=""){

        temp = s2.split(delimiter);

        Radius[k] = Double.parseDouble(temp[0]);
        A[k] = 3*Math.sqrt(3)/2*Math.pow(Double.parseDouble(temp[0]),2);
        L[k] = Double.parseDouble(temp[0])*Math.cos(Math.toRadians(60))*12;
        d[k] = Double.parseDouble(temp[1]);
        site_id[k] = (int)Double.parseDouble(temp[2]);
        N_users[k] = Math.round(A[k]*d[k]);
    }
}

```

```

        N_all += N_users[k];
        cell_rat[k] = (int)Double.parseDouble(temp[3]);
        cell_controller[k] = (int)Double.parseDouble(temp[4]);

        s1 = s1.substring(l+1);
    }
}

}

catch (IOException e) {
    System.out.println (e.toString());
}

}

}

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////Gui////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

class GuiApp extends JFrame implements ActionListener, WindowListener{

    static JPanel jpanel_inputs;
    static JPanel jpanel_results;

    private JLabel jl_arrive = new JLabel("Arrival rate");

```

```
private JLabel jl_l_voice = new JLabel("l_voice: ");
private JLabel jl_l_video = new JLabel("l_video: ");
private JLabel jl_l_session = new JLabel("l_session: ");
private JLabel jl_l_packet = new JLabel("packets per session: ");

private JTextField jt_l_voice = new JTextField("0.00083");
private JTextField jt_l_video = new JTextField("0.00022");
private JTextField jt_l_session = new JTextField("0.0000629");
private JTextField jt_l_packet = new JTextField("10.0");

private JLabel jl_service = new JLabel("Service rate");

private JLabel jl_m_voice = new JLabel("m_voice: ");
private JLabel jl_m_video = new JLabel("m_video: ");
private JLabel jl_m_packet = new JLabel("m_packet: ");

private JTextField jt_m_voice = new JTextField("0.01");
private JTextField jt_m_video = new JTextField("0.005");
private JTextField jt_m_packet = new JTextField("0.01");

private JLabel jl_penetration = new JLabel("Penetration");

private JLabel jl_penetration_voice = new JLabel("penetration_voice: ");
private JLabel jl_penetration_video = new JLabel("penetration_video: ");
private JLabel jl_penetration_packet = new JLabel("penetration_packet: ");

private JTextField jt_penetration_voice = new JTextField("0.85");
private JTextField jt_penetration_video = new JTextField("0.2");
```



```

private JTextField jt_penetration_packet = new JTextField("0.59");

private JLabel jl_various = new JLabel("Various: ");

private JLabel jl_Xc = new JLabel("cost of call request: ");
private JLabel jl_Xh = new JLabel("cost of handover request: ");
private JLabel jl_v_voice = new JLabel("average velocity - voice (km/h): ");
private JLabel jl_v_video = new JLabel("average velocity - video (km/h): ");
private JLabel jl_v_packet = new JLabel("average velocity - packet (km/h): ");

private JTextField jt_Xc = new JTextField("1");
private JTextField jt_Xh = new JTextField("1");
private JTextField jt_v_voice = new JTextField("20");
private JTextField jt_v_video = new JTextField("0");
private JTextField jt_v_packet = new JTextField("5");

private JLabel jl_results = new JLabel("Calculation completed. Open the file Results.doc to see the results.");
private JLabel jl_print = new JLabel("");

private JButton jb_calculate = new JButton("Calculate");

public GuiApp(){

    super("Calculate Load");

    final Container frameContainer = getContentPane();
    setResizable(false);

    jpanel_inputs = new JPanel();

```

```
jpanel_inputs.setLayout(null);

jl_arrive.setBounds(20, 20, 100, 20);
jpanel_inputs.add(jl_arrive);

jl_1_voice.setBounds(20, 50, 100, 20);
jpanel_inputs.add(jl_1_voice);
jt_1_voice.setBounds(150, 50, 100, 20);
jpanel_inputs.add(jt_1_voice);

jl_1_video.setBounds(20, 80, 100, 20);
jpanel_inputs.add(jl_1_video);
jt_1_video.setBounds(150, 80, 100, 20);
jpanel_inputs.add(jt_1_video);

jl_1_session.setBounds(20, 110, 100, 20);
jpanel_inputs.add(jl_1_session);
jt_1_session.setBounds(150, 110, 100, 20);
jpanel_inputs.add(jt_1_session);

jl_1_packet.setBounds(20, 140, 150, 20);
jpanel_inputs.add(jl_1_packet);
jt_1_packet.setBounds(150, 140, 100, 20);
jpanel_inputs.add(jt_1_packet);

jl_service.setBounds(300, 20, 100, 20);
jpanel_inputs.add(jl_service);

jl_m_voice.setBounds(300, 50, 100, 20);
```

```
jpanel_inputs.add(jl_m_voice);  
jt_m_voice.setBounds(400, 50, 100, 20);  
jpanel_inputs.add(jt_m_voice);
```

```
jl_m_video.setBounds(300, 80, 100, 20);  
jpanel_inputs.add(jl_m_video);  
jt_m_video.setBounds(400, 80, 100, 20);  
jpanel_inputs.add(jt_m_video);
```

```
jl_m_packet.setBounds(300, 110, 100, 20);  
jpanel_inputs.add(jl_m_packet);  
jt_m_packet.setBounds(400, 110, 100, 20);  
jpanel_inputs.add(jt_m_packet);
```

```
jl_penetration.setBounds(550, 20, 100, 20);  
jpanel_inputs.add(jl_penetration);
```

```
jl_penetration_voice.setBounds(550, 50, 150, 20);  
jpanel_inputs.add(jl_penetration_voice);  
jt_penetration_voice.setBounds(700, 50, 100, 20);  
jpanel_inputs.add(jt_penetration_voice);  
jl_penetration_video.setBounds(550, 80, 150, 20);  
jpanel_inputs.add(jl_penetration_video);  
jt_penetration_video.setBounds(700, 80, 100, 20);  
jpanel_inputs.add(jt_penetration_video);
```

```
jl_penetration_packet.setBounds(550, 110, 150, 20);  
jpanel_inputs.add(jl_penetration_packet);  
jt_penetration_packet.setBounds(700, 110, 100, 20);
```

```
jpanel_inputs.add(jt_penetration_packet);
```

```
jl_various.setBounds(20, 270, 100, 20);  
jpanel_inputs.add(jl_various);
```

```
jl_Xc.setBounds(20, 300, 200, 20);  
jpanel_inputs.add(jl_Xc);  
jt_Xc.setBounds(230, 300, 100, 20);  
jpanel_inputs.add(jt_Xc);
```

```
jl_Xh.setBounds(20, 330, 200, 20);  
jpanel_inputs.add(jl_Xh);  
jt_Xh.setBounds(230, 330, 100, 20);  
jpanel_inputs.add(jt_Xh);
```

```
jl_v_voice.setBounds(20, 360, 200, 20);  
jpanel_inputs.add(jl_v_voice);  
jt_v_voice.setBounds(230, 360, 100, 20);  
jpanel_inputs.add(jt_v_voice);
```

```
jl_v_video.setBounds(20, 390, 200, 20);  
jpanel_inputs.add(jl_v_video);  
jt_v_video.setBounds(230, 390, 100, 20);  
jpanel_inputs.add(jt_v_video);
```

```
jl_v_packet.setBounds(20, 420, 200, 20);  
jpanel_inputs.add(jl_v_packet);  
jt_v_packet.setBounds(230, 420, 100, 20);  
jpanel_inputs.add(jt_v_packet);
```

```
jb_calculate.setBounds(20, 480, 250, 30);

jl_results.setBounds(20, 600, 600, 20);
jl_results.setVisible(false);
jpanel_inputs.add(jl_results);

jl_print.setBounds(20, 630, 600, 100);
jl_print.setVisible(false);
jpanel_inputs.add(jl_print);

jb_calculate.addActionListener(new ActionListener(){
    public void actionPerformed(ActionEvent e){

        calculateLoad.l_voice = Double.parseDouble(jt_l_voice.getText());
        calculateLoad.l_video = Double.parseDouble(jt_l_video.getText());
        calculateLoad.l_session = Double.parseDouble(jt_l_session.getText());
        calculateLoad.l_packet = Double.parseDouble(jt_l_packet.getText());

        calculateLoad.m_voice = Double.parseDouble(jt_m_voice.getText());
        calculateLoad.m_video = Double.parseDouble(jt_m_video.getText());
        calculateLoad.m_packet = Double.parseDouble(jt_m_packet.getText());

        calculateLoad.penetration_voice = Double.parseDouble(jt_penetration_voice.getText());
        calculateLoad.penetration_video = Double.parseDouble(jt_penetration_video.getText());
        calculateLoad.penetration_packet = Double.parseDouble(jt_penetration_packet.getText());

        calculateLoad.Xc = Double.parseDouble(jt_Xc.getText());
        calculateLoad.Xh = Double.parseDouble(jt_Xh.getText());
```

```

calculateLoad.v_voice = Double.parseDouble(jt_v_voice.getText());
calculateLoad.v_video = Double.parseDouble(jt_v_video.getText());
calculateLoad.v_packet = Double.parseDouble(jt_v_packet.getText());

calculateLoad.readlist();

try{
    DataOutputStream results = new DataOutputStream( new FileOutputStream
("Results.doc"));

    for(int l=0; l<calculateLoad.V_cells; l++){

        double load_per_cell = calculateLoad.load(l);
        calculateLoad.load_per_cell[l] = load_per_cell;
        results.writeBytes(l+" "+load_per_cell+"\n");

    }

    results.writeBytes("\n\n\n");

    for(int l=0; l<calculateLoad.V_cells; l++){

        int rat_id = calculateLoad.cell_rat[l];
        int controller_id = calculateLoad.cell_controller[l];
        double load_per_cell = calculateLoad.load_per_cell[l];
        double load_per_controller = load_per_cell;

        boolean checked = false;
        for(int m=l-1; m>=0; m--){

```

```

        if((rat_id==calculateLoad.cell_rat[m]) &&
(controller_id==calculateLoad.cell_controller[m])){
            checked = true;
            break;
        }
    }

    if(!checked){
        for(int m=l+1; m<calculateLoad.V_cells; m++){
            if((rat_id==calculateLoad.cell_rat[m]) &&
(controller_id==calculateLoad.cell_controller[m])){
                load_per_controller += calculateLoad.load_per_cell[m];
            }
        }
        results.writeBytes(rat_id+" "+controller_id+" "+load_per_controller+"\n");
    }
}

results.close();
}
catch(IOException ioe){
    System.out.println("Sfalma "+e.toString());
}

jl_results.setVisible(true);

```

```
        jl_print.setVisible(true);
        calculateLoad.N_all = 0;
    }
});

jpanel_inputs.add(jb_calculate);

frameContainer.add(jpanel_inputs, BorderLayout.CENTER);

jpanel_inputs.setVisible(true);

setSize(900, 700);
setVisible(true);
}

public void actionPerformed(ActionEvent e) {
}

public void windowClosing(WindowEvent e) {

    System.exit(0);
}

public void windowClosed(WindowEvent e) {};
public void windowActivated(WindowEvent e) {};
public void windowDeactivated(WindowEvent e) {};
public void windowIconified(WindowEvent e) {};
```



```
public void windowDeiconified(WindowEvent e) {};  
public void windowOpened(WindowEvent e) {};  
}
```

ПАВЕЛЪ СЪМО ПЕРВА

## 5.4 Επεξήγηση Κώδικα

Στους παρακάτω πίνακες επεξηγούνται οι μεταβλητές που θα χρειαστούμε στο πρόγραμμα.

Όνομα	Τύπος	Περιγραφή
<b>V_cells</b>	int	Το πλήθος των κυψελών στο σύστημα
<b>N_all</b>	long	Το πλήθος των χρηστών στο σύστημα (Θεωρούμε ότι υπάρχει statistical balance, δηλαδή όσοι εισέρχονται στο σύστημα τόσοι εξέρχονται, οπότε για τις ανάγκες του προγράμματος θεωρείται σταθερός ο συνολικός αριθμός των χρηστών)
<b>Radius[]</b>	double	Σε κάθε θέση αντιστοιχεί η ακτίνα της κυψέλης (km)
<b>N_users[]</b>	long	Πίνακας σε κάθε θέση του οποίου αντιστοιχεί ο αριθμός χρηστών για την κυψέλη i
<b>A[]</b>	double	Σε κάθε θέση αντιστοιχεί το εμβαδόν της κυψέλης (km <sup>2</sup> )
<b>L[]</b>	double	Σε κάθε θέση αντιστοιχεί η περίμετρος της κυψέλης (km)
<b>site_id[]</b>	int	Σε κάθε θέση αντιστοιχεί το site στο οποίο ανήκει κάθε κυψέλη
<b>load_per_cell[]</b>	double	Σε κάθε θέση αποθηκεύεται το φορτίο της κυψέλης
<b>d[]</b>	double	Σε κάθε θέση του πίνακα αποθηκεύεται η πυκνότητα των χρηστών στην κάθε κυψέλη (users/km <sup>2</sup> )
<b>rat_id[]</b>	String	Αντιστοίχιση κωδικού RAT με την ονομασία του
<b>cell_rat[]</b>	int	Σε κάθε θέση του πίνακα αποθηκεύεται ο κωδικός του RAT που χρησιμοποιεί
<b>cell_controller[]</b>	int	Σε κάθε θέση του πίνακα αποθηκεύεται ο κωδικός του controller
<b>Xc</b>	double	Κόστος εξυπηρέτησης ενός call request
<b>Xh</b>	double	Κόστος εξυπηρέτησης ενός handoff request
<b>v_voice</b>	double	Μέση ταχύτητα των χρηστών για υπηρεσίες φωνής (km/h)
<b>v_video</b>	double	Μέση ταχύτητα των χρηστών για υπηρεσίες βίντεο(km/h)
<b>v_packet</b>	double	Μέση ταχύτητα των χρηστών για υπηρεσίες πακέτων(km/h)

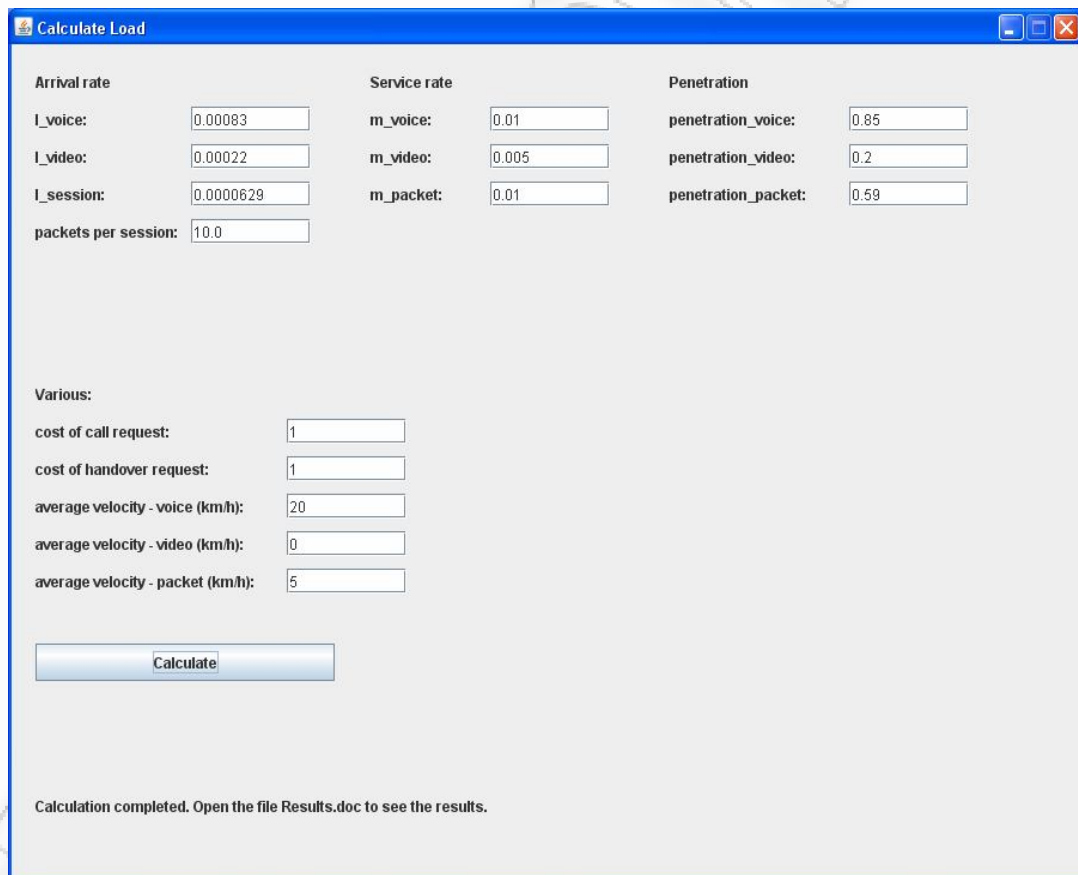
**Πίνακας 8α: Μεταβλητές του προγράμματος**

	Arrive rate	Service rate	Penetration
$\lambda_{\text{voice}}$	$l_{\text{voice}}$	$m_{\text{voice}}$	penetration_voice
$\lambda_{\text{video}}$	$l_{\text{video}}$	$m_{\text{video}}$	penetration_video
$\lambda_{\text{session}}$	$l_{\text{session}}$		
$\lambda_{\text{packet}}$ (μέσος αριθμός πακέτων ανά session)	$l_{\text{packet}}$	$m_{\text{packet}}$	penetration_packet

**Πίνακας 8β: Μεταβλητές του προγράμματος**

Τις ακόλουθες μεταβλητές θα τις δίνει ο χρήστης κάθε φορά μέσω της γραφικής διεπαφής του προγράμματος:

$l_{\text{voice}}$ ,  $l_{\text{video}}$ ,  $l_{\text{session}}$ ,  $l_{\text{packet}}$ ,  $m_{\text{voice}}$ ,  $m_{\text{video}}$ ,  $m_{\text{packet}}$ , penetration\_voice, penetration\_video, penetration\_packet,  $X_c$ ,  $X_h$ ,  $v_{\text{voice}}$ ,  $v_{\text{video}}$ ,  $v_{\text{packet}}$ .



**Εικόνα 13: Η γραφική διεπαφή του προγράμματος**

Στη συνέχεια, επειδή το πλήθος των κυψελών αναμένεται να είναι ένας σχετικά μεγάλος αριθμός, θεώρησα ότι θα υπάρχει ένα αρχείο inputs.txt όπου θα περιέχεται για κάθε κυψέλη μια γραμμή με τις τιμές της ακτίνας, της πυκνότητας χρηστών, του site id, του rat id και του controller id. Το  $V_{\text{cells}}$  αντιστοιχεί στο πλήθος των

γραμμών που έχει το αρχείο txt. Με βάση αυτήν την τιμή, θα αρχικοποιήσουμε τους πίνακες N\_users, Radius, A, L, d, site\_id, cell\_rat, cell\_controller, load\_per\_cell ώστε να έχουν ισάριθμες θέσεις. Στη συνέχεια, για κάθε γραμμή του αρχείου διαβάζεται το πρώτο όρισμα, το οποίο είναι η ακτίνα, το δεύτερο, το οποίο είναι η πυκνότητα χρηστών, η οποία και αποθηκεύεται στον αντίστοιχο πίνακα, το τρίτο το οποίο είναι το site που ανήκει η κάθε κυψέλη, το τέταρτο που αντιστοιχεί στον κωδικό του RAT όπως ορίζεται στον πίνακα rat\_id και το πέμπτο που είναι ο κωδικός του controller της συγκεκριμένης κυψέλης. Από την ακτίνα R, μπορούμε μέσω του τύπου  $A = 3 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot R^2$  να υπολογίσουμε το εμβαδόν της κυψέλης.

Επίσης, μέσω της ακτίνας υπολογίζουμε την περίμετρο του εξαγώνου, στο οποίο αντιστοιχεί η κυψέλη ως εξής:  $L = (2 \cdot R \cdot \cos 60^\circ) \cdot 6 = 12 \cdot R \cdot \cos 60^\circ$

Μέσω του εμβαδού της κυψέλης και της πυκνότητας χρηστών μπορούμε μέσω του τύπου  $N_i = A_i \cdot d_i$  να υπολογίσουμε το εκτιμώμενο πλήθος χρηστών στην κυψέλη i. Αθροίζοντας όλες τις τιμές του πίνακα N\_users, αφού έχουν συμπληρωθεί, παίρνουμε την τιμή N\_all.

Αυτά όλα γίνονται μέσω της μεθόδου readlist() του προγράμματος.

Στη συνέχεια, θα πρέπει να ορίσουμε κάποιες επιμέρους συναρτήσεις για τον τελικό υπολογισμό του φορτίου. Για τον υπολογισμό του signaling load έχουμε τις εξής συναρτήσεις:

rate of call requests για την κυψέλη i:  $r_c(i) = \sum_{p=1}^{|P|} \lambda_p \cdot N(i)$

rate of handover requests για την κυψέλη i:  $r_h(i) = \left(\frac{1}{\pi}\right) L_i d_i \left(\sum_{p=1}^{|P|} \rho_p\right) v$

συνολικό φορτίο για την κυψέλη i:  $B_i = \left(\frac{1}{x_c}\right) \cdot r_c(i) + \left(\frac{1}{x_h}\right) \cdot r_h(i)$

όπου  $\rho_p = (\lambda_p / \mu_p) \cdot \text{penetration}(p)$ , το φορτίο που παράγει ο κάθε χρήστης για την υπηρεσία p.

Ορίζουμε τη συνάρτηση sum\_rates(), η οποία υπολογίζει το  $\sum_{p=1}^{|P|} \lambda_p$ .

Η συνάρτηση sum\_loads() υπολογίζει το  $\sum_{p=1}^{|P|} \rho_p$  σύμφωνα με τον τύπο  $\rho_p = (\lambda_p / \mu_p) \cdot \text{penetration}(p)$ .

Η συνάρτηση rate\_of\_call\_requests(int i) υπολογίζει το rate of call requests από τον παραπάνω τύπο και αντίστοιχα η rate\_of\_handover\_requests(int i) το rate of handover requests.

Τέλος η συνάρτηση load(int i) υπολογίζει το συνολικό φορτίο για την κυψέλη i.

RAT	RAT_id
UMTS	0
GSM	1
LTE	2
WLAN	3

**Πίνακας 9: Αντιστοιχία RAT – RAT\_id**

Μαζί με τα δεδομένα από το αρχείο inputs.txt και αυτά που θα εισάγει ο χρήστης μέσω της γραφικής διεπαφής του προγράμματος, πατώντας το κουμπί calculate θα καταγραφεί στο αρχείο Results.doc μία γραμμή με το συνολικό φορτίο για κάθε κυψέλη. Στη συνέχεια, ομαδοποιεί τις κυψέλες που έχουν το ίδιο RAT και τον ίδιο controller και προσθέτει τα επιμέρους φορτία, τα οποία τα καταγράφει στο αρχείο Results.doc ως εξής: rat\_id controller\_id συνολικό\_φορτίο.

Όνομα	Τιμή
Xc	1
Xh	1
v_voice	20
v_video	0
v_packet	5
l_voice	0.00083
l_video	0.00022
l_session	0.0000629
l_packet	10
m_voice	0.01
m_video	0.005
m_packet	0.01
penetration_voice	0.85
penetration_video	0.2
penetration_packet	0.59

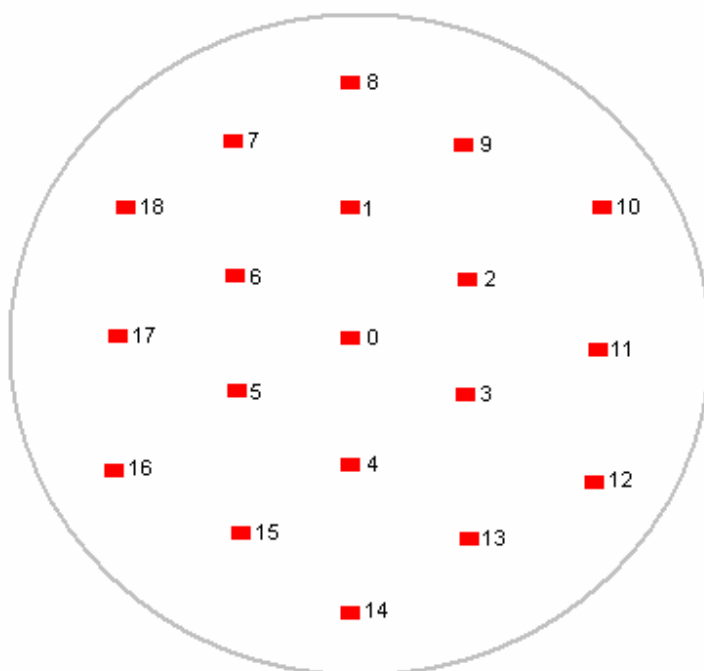
**Πίνακας 10: Default τιμές όπως δίνονται στο gui του προγράμματος**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

#### 6.1 Περιγραφή του συστήματος

Έχουμε ένα σύστημα με 19 Flexible Base Stations (FBSs) όπως ορίζονται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 14: Αριθμημένοι FBS της περιοχής κάλυψης

Οι αποστάσεις μεταξύ των FBS δεν είναι ίσες. Σε καθένα FBS μπορούν να λειτουργούν παραπάνω από ένα Radio Access Technologies (RATs), ορίζοντας στον καθένα παραπάνω από μία κυψέλες.

#### 6.2 Σενάρια με UMTS, GSM, LTE

Παρακάτω παρατίθενται κάποια παραδείγματα προς παρατήρηση των αποτελεσμάτων.

Σε κάθε FBS υπάρχει ένας transceiver UMTS, ένας GSM και ένας LTE, ορίζοντας

συνολικά 57 κυψέλες. Στο επίπεδο Radio Access οι κυψέλες ελέγχονται από κάποιον controller. Στο GSM ο controller είναι ο BSC και στο UMTS ο RNC. Στο LTE, όπως προαναφέρθηκε, το ρόλο του controller εκτελούν τα IWUs, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να προωθηθεί το φορτίο από και προς LTE δίκτυα. Στα δεδομένα του πίνακα που παρατίθεται παρακάτω, αυτό δηλώνεται για όλες τις τεχνολογίες στη στήλη controller\_id, είτε μιλάμε για BSC είτε για RNC είτε για IWU. Στην πρώτη στήλη υπάρχει ο αύξων αριθμός κυψέλης, στη δεύτερη η ακτίνα, στην τρίτη η πυκνότητα χρηστών, στην τέταρτη το site\_id (δηλαδή ο αριθμός του FBS στον οποίο ανήκει σύμφωνα με την παραπάνω εικόνα), στην πέμπτη η RAT και στην τελευταία το φορτίο ανά κυψέλη.

### 6.2.1 Αλλαγή στην πυκνότητα χρηστών (density).

Αρχικά, αλλάζουμε μόνο την πυκνότητα των χρηστών και παρατηρούμε το παραγόμενο φορτίο για κάθε κυψέλη. Επίσης, υπολογίζουμε το συγκεντρωτικό φορτίο για κάθε controller του UMTS και του GSM και για κάθε IWU του LTE.

Εξετάζουμε ένα σενάριο, όπου οι χρήστες μετακινούνται από τα σπίτια τους στα περίχωρα προς το κέντρο της πόλης, όπου βρίσκεται ο χώρος εργασίας τους. Η κίνηση έχει δοθεί σε 3 φάσεις:

- μεγάλη πυκνότητα χρηστών στα εξωτερικά sites (site\_ids 7 με 18)
- κίνηση προς το κέντρο, δηλαδή μείωση της πυκνότητας στα εξωτερικά sites και αύξηση στα εσωτερικά (site\_ids 0 με 6).
- μεγάλη πυκνότητα χρηστών στο κεντρικό site (site\_id 0), αρκετά υψηλή στα site\_ids 1 με 6 και μειωμένη στα εξωτερικά sites.

Ο συνολικός αριθμός χρηστών στο σύστημα έχει κρατηθεί σταθερός στις 105.500, με μια μικρή απόκλιση σε κάθε περίπτωση, ώστε να διατηρείται όσο καλύτερα γίνεται το statistical balance.

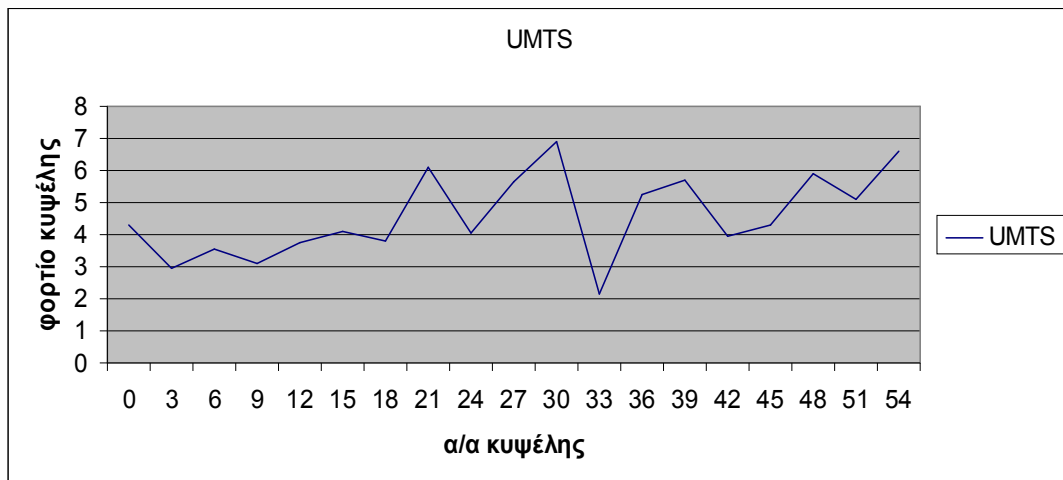
- Μεγάλη πυκνότητα χρηστών στα εξωτερικά sites (site\_ids 7 με 18)

α/α κυψέλης	radius	density	site_id	RAT	controller_id	φορτίο κυψέλης
0	3,8	65	0	UMTS	4	4,3043
1	3,6	47	0	GSM	3	2,8012
2	2,5	63	0	LTE	5	1,8510
3	3,2	62	1	UMTS	4	2,9367
4	3,5	47	1	GSM	4	2,6511
5	2,8	67	1	LTE	1	2,4507
6	3,5	63	2	UMTS	1	3,5532
7	2,9	52	2	GSM	5	2,0351
8	3,2	61	2	LTE	2	2,8904
9	3,3	62	3	UMTS	1	3,1183
10	3,5	53	3	GSM	1	2,9896

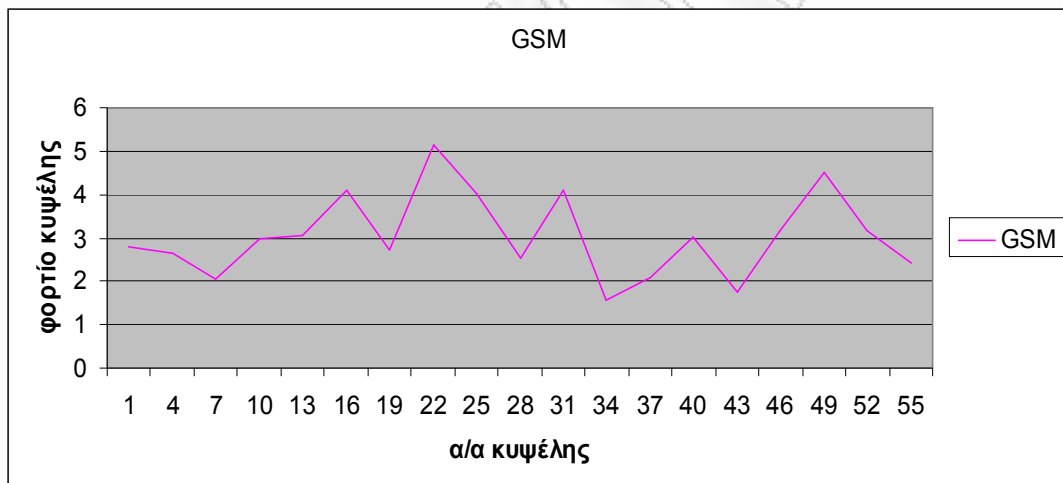
11	3,1	55	3	LTE	3	2,4497
12	3,4	70	4	UMTS	2	3,7308
13	3,9	44	4	GSM	2	3,0651
14	2,9	60	4	LTE	4	2,3485
15	3,8	62	5	UMTS	3	4,1049
16	4,2	51	5	GSM	3	4,1053
17	2,8	58	5	LTE	5	2,1205
18	3,6	64	6	UMTS	4	3,8134
19	3,5	48	6	GSM	4	2,7078
20	2,2	53	6	LTE	5	1,2170
21	3,5	108	7	UMTS	5	6,0909
22	4,1	67	7	GSM	4	5,1454
23	3,4	59	7	LTE	1	3,1451
24	3,2	85	8	UMTS	5	4,0266
25	3,7	64	8	GSM	5	4,0220
26	3,3	61	8	LTE	1	3,0685
27	3,3	112	9	UMTS	5	5,6338
28	3	61	9	GSM	5	2,5493
29	2,6	63	9	LTE	2	1,9957
30	3,6	116	10	UMTS	1	6,9119
31	3,8	62	10	GSM	5	4,1049
32	3,1	60	10	LTE	2	2,6727
33	2,1	103	11	UMTS	1	2,1644
34	2,3	63	11	GSM	1	1,5767
35	2	60	11	LTE	3	1,1493
36	3,1	118	12	UMTS	2	5,2562
37	2,7	61	12	GSM	1	2,0787
38	2,8	60	12	LTE	3	2,1940
39	3,4	107	13	UMTS	2	5,7044
40	3,1	68	13	GSM	1	3,0295
41	3,4	60	13	LTE	4	3,1983
42	2,7	116	14	UMTS	2	3,9540
43	2,5	60	14	GSM	2	1,7624
44	2,1	60	14	LTE	4	1,2602
45	2,8	117	15	UMTS	3	4,2785
46	3,2	67	15	GSM	2	3,1736
47	2,9	60	15	LTE	6	2,3485
48	3,2	125	16	UMTS	3	5,9232
49	3,8	68	16	GSM	2	4,5020
50	2,9	60	16	LTE	6	2,3485
51	3,1	115	17	UMTS	3	5,1224
52	3,3	63	17	GSM	3	3,1681
53	2,8	60	17	LTE	7	2,1940
54	3,5	117	18	UMTS	5	6,5994
55	2,8	66	18	GSM	4	2,4131
56	2,6	60	18	LTE	7	1,9018

**Πίνακας 11: Περίπτωση 6.2.1.α – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών**

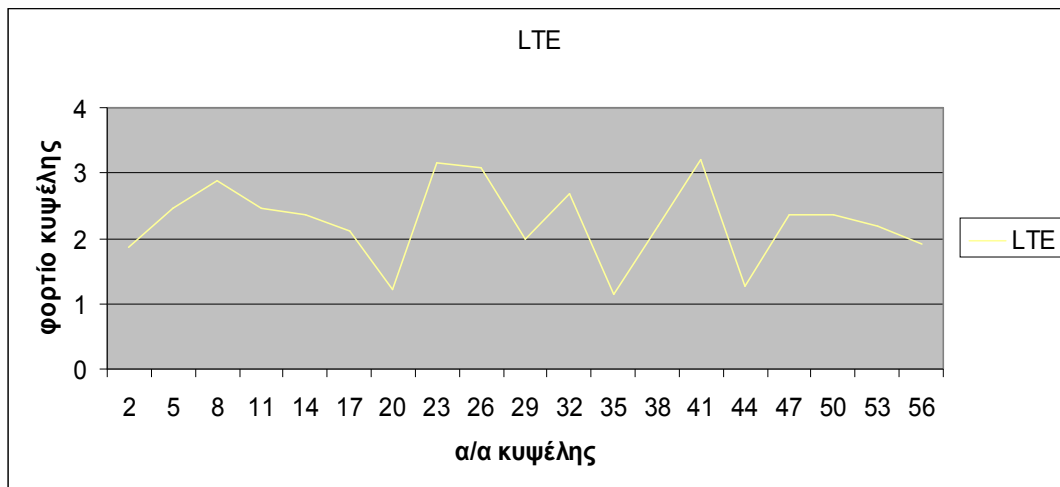




Εικόνα 15α: Περίπτωση 6.2.1.α – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS



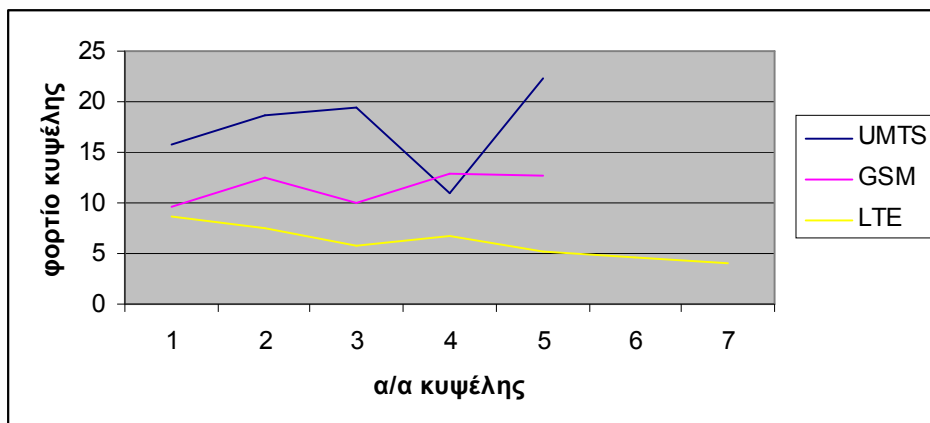
Εικόνα 15β: Περίπτωση 6.2.1.α – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM



Εικόνα 15γ: Περίπτωση 6.2.1.a – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE

RAT	controller_id	φορτίο
UMTS	1	15,7477
UMTS	2	18,6455
UMTS	3	19,4290
UMTS	4	11,0544
UMTS	5	22,3507
GSM	1	9,6746
GSM	2	12,5031
GSM	3	10,0745
GSM	4	12,9174
GSM	5	12,7112
LTE	1	8,6643
LTE	2	7,5587
LTE	3	5,7930
LTE	4	6,8071
LTE	5	5,1884
LTE	6	4,6971
LTE	7	4,0958

Πίνακας 12: Περίπτωση 6.2.1.a – Αποτελέσματα για τους controllers



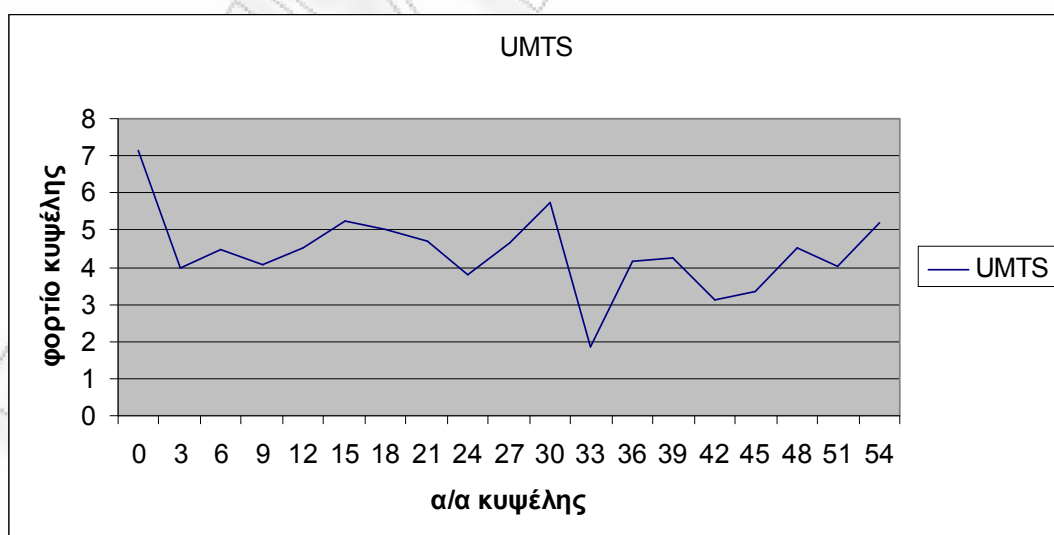
**Εικόνα 16: Περίπτωση 6.2.1.a – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers**

b) Κίνηση προς το κέντρο, δηλαδή μείωση της πυκνότητας στα εξωτερικά sites και αύξηση στα εσωτερικά (site\_ids 0 με 6).

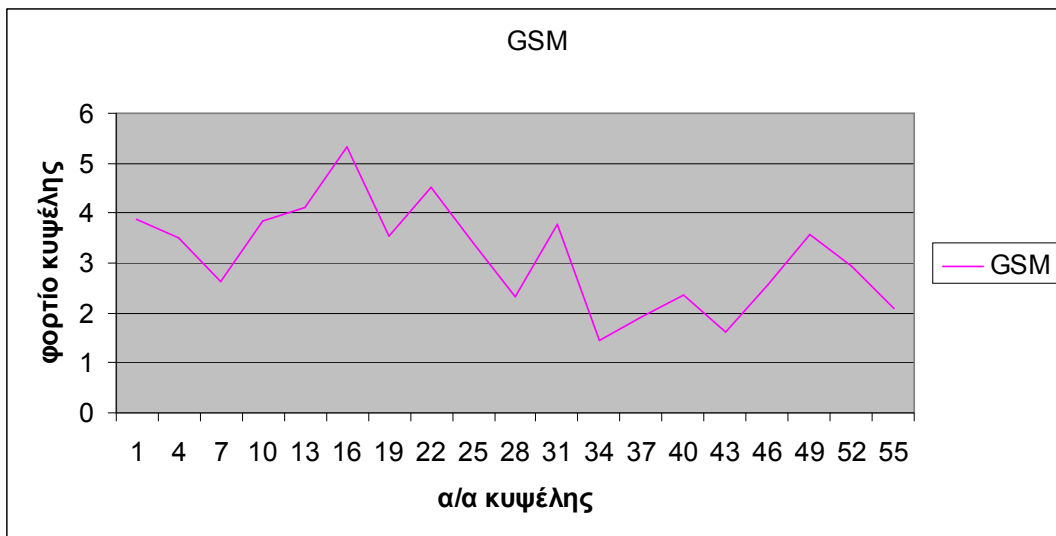
α/α κυψέλης	radius	density	site_id	RAT	controller_id	φορτίο κυψέλης
0	3,8	108	0	UMTS	4	7,1509
1	3,6	65	0	GSM	3	3,8735
2	2,5	95	0	LTE	5	2,7919
3	3,2	84	1	UMTS	4	3,9802
4	3,5	62	1	GSM	4	3,4965
5	2,8	82	1	LTE	1	2,9984
6	3,5	79	2	UMTS	1	4,4552
7	2,9	67	2	GSM	5	2,6226
8	3,2	76	2	LTE	2	3,6009
9	3,3	81	3	UMTS	1	4,0747
10	3,5	68	3	GSM	1	3,8349
11	3,1	70	3	LTE	3	3,1187
12	3,4	85	4	UMTS	2	4,5313
13	3,9	59	4	GSM	2	4,1086
14	2,9	75	4	LTE	4	2,9361
15	3,8	79	5	UMTS	3	5,2308
16	4,2	66	5	GSM	3	5,3138
17	2,8	73	5	LTE	5	2,6698
18	3,6	84	6	UMTS	4	5,0043
19	3,5	63	6	GSM	4	3,5532
20	2,2	68	6	LTE	5	1,5623
21	3,5	83	7	UMTS	5	4,6820
22	4,1	59	7	GSM	4	4,5317
23	3,4	54	7	LTE	1	2,8788
24	3,2	80	8	UMTS	5	3,7897
25	3,7	54	8	GSM	5	3,3946
26	3,3	56	8	LTE	1	2,8161
27	3,3	93	9	UMTS	5	4,6774
28	3	56	9	GSM	5	2,3401

29	2,6	58	9	LTE	2	1,8386
30	3,6	96	10	UMTS	1	5,7193
31	3,8	57	10	GSM	5	3,7732
32	3,1	55	10	LTE	2	2,4497
33	2,1	88	11	UMTS	1	1,8490
34	2,3	58	11	GSM	1	1,4512
35	2	51	11	LTE	3	0,9763
36	3,1	93	12	UMTS	2	4,1428
37	2,7	56	12	GSM	1	1,9095
38	2,8	55	12	LTE	3	2,0109
39	3,4	80	13	UMTS	2	4,2650
40	3,1	53	13	GSM	1	2,3605
41	3,4	55	13	LTE	4	2,9321
42	2,7	92	14	UMTS	2	3,1352
43	2,5	55	14	GSM	2	1,6158
44	2,1	55	14	LTE	4	1,1556
45	2,8	91	15	UMTS	3	3,3287
46	3,2	54	15	GSM	2	2,5591
47	2,9	55	15	LTE	6	2,1533
48	3,2	95	16	UMTS	3	4,5003
49	3,8	54	16	GSM	2	3,5755
50	2,9	55	16	LTE	6	2,1533
51	3,1	90	17	UMTS	3	4,0090
52	3,3	58	17	GSM	3	2,9174
53	2,8	55	17	LTE	7	2,0109
54	3,5	92	18	UMTS	5	5,1888
55	2,8	57	18	GSM	4	2,0845
56	2,6	55	18	LTE	7	1,7430

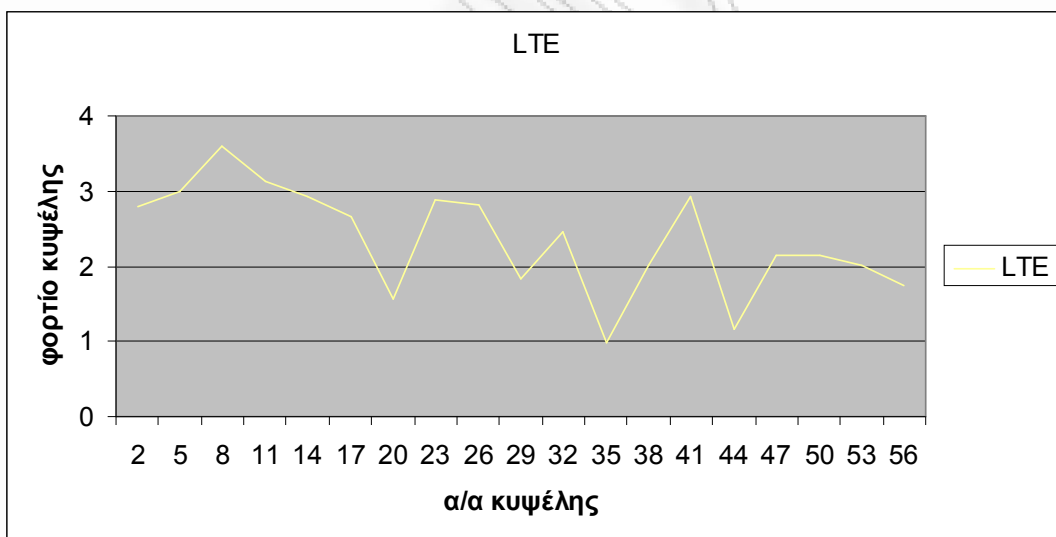
Πίνακας 13: Περίπτωση 6.2.1.b – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών



Εικόνα 17α: Περίπτωση 6.2.1.b – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS



Εικόνα 17β: Περίπτωση 6.2.1.b – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM

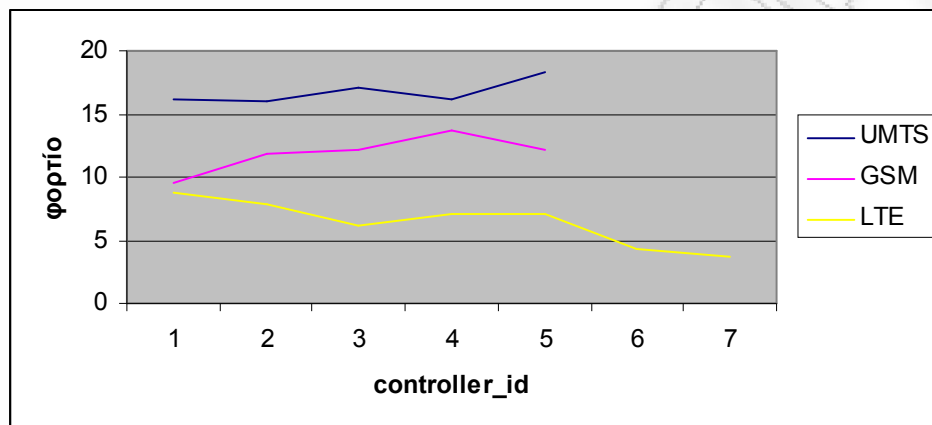


Εικόνα 17γ: Περίπτωση 6.2.1.b – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE

RAT	controller_id	φορτίο
UMTS	1	16,0981
UMTS	2	16,0743
UMTS	3	17,0689
UMTS	4	16,1355
UMTS	5	18,3380
GSM	1	9,5561
GSM	2	11,8590
GSM	3	12,1046
GSM	4	13,6658

GSM	5	12,1305
LTE	1	8,6933
LTE	2	7,8892
LTE	3	6,1059
LTE	4	7,0238
LTE	5	7,0239
LTE	6	4,3065
LTE	7	3,7540

**Πίνακας 14: Περίπτωση 6.2.1.b – Αποτελέσματα για τους controllers**



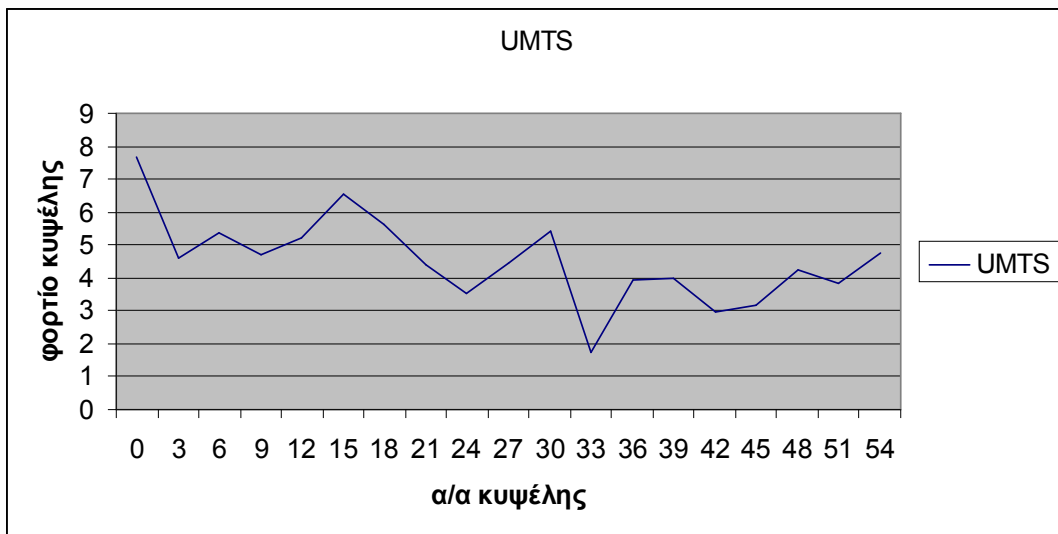
**Εικόνα 18: Περίπτωση 6.2.1.b – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers**

c) Μεγάλη πυκνότητα χρηστών στο κεντρικό site (site\_id 0), αρκετά υψηλή στα site\_ids 1 με 6 και μειωμένη στα εξωτερικά sites.

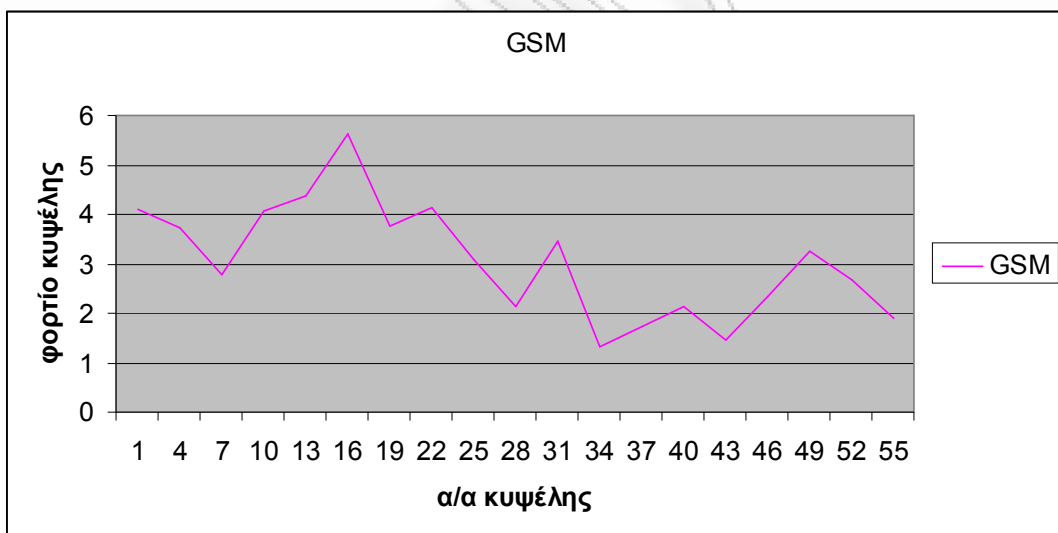
α/α κυψέλης	radius	density	site_id	RAT	controller_id	φορτίο κυψέλης
0	3,8	116	0	UMTS	4	7,6804
1	3,6	69	0	GSM	3	4,1107
2	2,5	99	0	LTE	5	2,9095
3	3,2	97	1	UMTS	4	4,5964
4	3,5	66	1	GSM	4	3,7232
5	2,8	86	1	LTE	1	3,1456
6	3,5	95	2	UMTS	1	5,3589
7	2,9	71	2	GSM	5	2,7785
8	3,2	80	2	LTE	2	3,7897
9	3,3	94	3	UMTS	1	4,7289
10	3,5	72	3	GSM	1	4,0617
11	3,1	74	3	LTE	3	3,2971
12	3,4	98	4	UMTS	2	5,2235
13	3,9	63	4	GSM	2	4,3888
14	2,9	79	4	LTE	4	3,0920
15	3,8	99	5	UMTS	3	6,5544
16	4,2	70	5	GSM	3	5,6352
17	2,8	77	5	LTE	5	2,8153
18	3,6	94	6	UMTS	4	5,6007

19	3,5	67	6	GSM	4	3,7782
20	2,2	72	6	LTE	5	1,6537
21	3,5	78	7	UMTS	5	4,3985
22	4,1	54	7	GSM	4	4,1466
23	3,4	49	7	LTE	1	2,6126
24	3,2	75	8	UMTS	5	3,5529
25	3,7	49	8	GSM	5	3,0801
26	3,3	51	8	LTE	1	2,5653
27	3,3	88	9	UMTS	5	4,4267
28	3	51	9	GSM	5	2,1326
29	2,6	53	9	LTE	2	1,6799
30	3,6	91	10	UMTS	1	5,4219
31	3,8	52	10	GSM	5	3,4431
32	3,1	50	10	LTE	2	2,2267
33	2,1	83	11	UMTS	1	1,7444
34	2,3	53	11	GSM	1	1,3256
35	2	46	11	LTE	3	0,8805
36	3,1	88	12	UMTS	2	3,9198
37	2,7	51	12	GSM	1	1,7385
38	2,8	50	12	LTE	3	1,8278
39	3,4	75	13	UMTS	2	3,9988
40	3,1	48	13	GSM	1	2,1375
41	3,4	50	13	LTE	4	2,6658
42	2,7	87	14	UMTS	2	2,9660
43	2,5	50	14	GSM	2	1,4692
44	2,1	50	14	LTE	4	1,0510
45	2,8	86	15	UMTS	3	3,1456
46	3,2	49	15	GSM	2	2,3222
47	2,9	50	15	LTE	6	1,9563
48	3,2	90	16	UMTS	3	4,2635
49	3,8	49	16	GSM	2	3,2437
50	2,9	50	16	LTE	6	1,9563
51	3,1	86	17	UMTS	3	3,8306
52	3,3	53	17	GSM	3	2,6666
53	2,8	50	17	LTE	7	1,8278
54	3,5	84	18	UMTS	5	4,7370
55	2,8	52	18	GSM	4	1,9014
56	2,6	50	18	LTE	7	1,5843

**Πίνακας 15: Περίπτωση 6.2.1.c – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών**

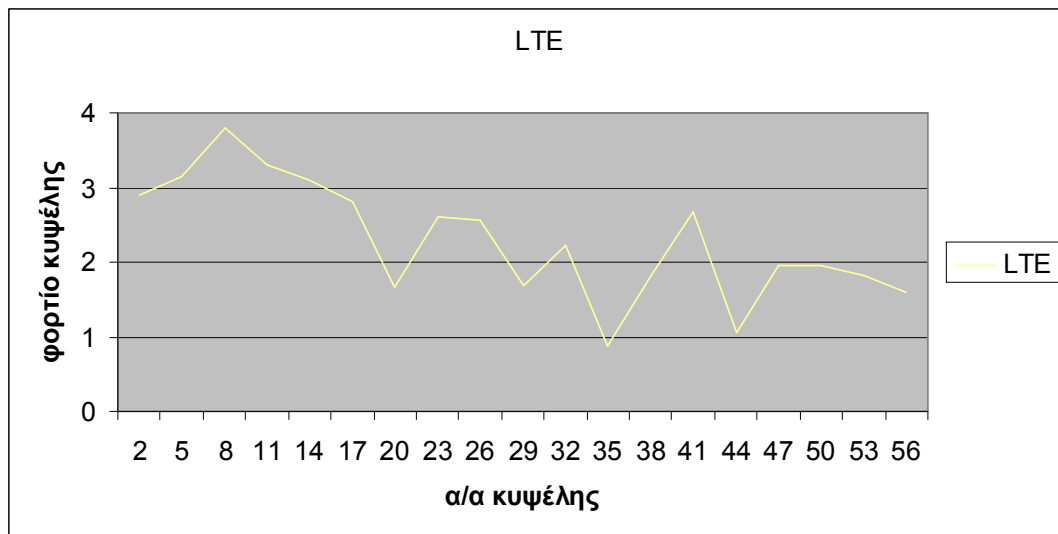


Εικόνα 19α: Περίπτωση 6.2.1.ε – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS



Εικόνα 19β: Περίπτωση 6.2.1.ε – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM

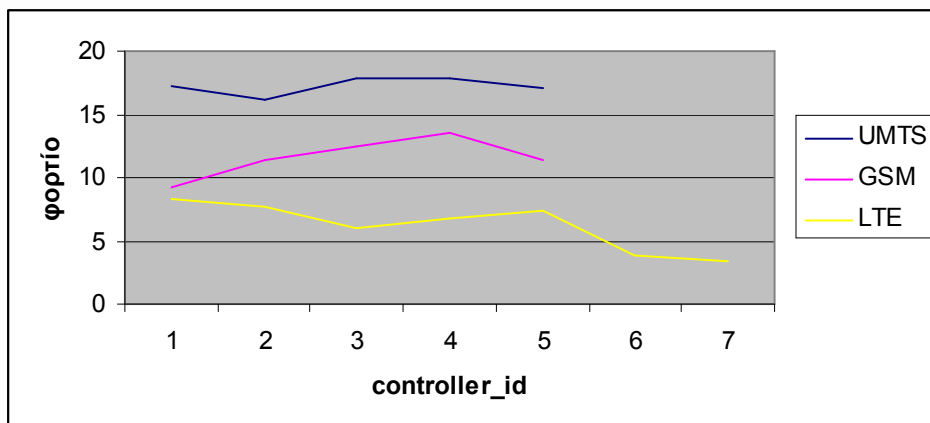




Εικόνα 19γ: Περίπτωση 6.2.1.c – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE

RAT	controller_id	φορτίο
UMTS	1	17,2541
UMTS	2	16,1081
UMTS	3	17,7941
UMTS	4	17,8774
UMTS	5	17,1151
GSM	1	9,2633
GSM	2	11,4240
GSM	3	12,4126
GSM	4	13,5495
GSM	5	11,4343
LTE	1	8,3235
LTE	2	7,6963
LTE	3	6,0054
LTE	4	6,8089
LTE	5	7,3784
LTE	6	3,9126
LTE	7	3,4121

Πίνακας 16: Περίπτωση 6.2.1.c – Αποτελέσματα για τους controllers



Εικόνα 20: Περίπτωση 6.2.1.c – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers

### 6.2.2 Αλλαγή στην πυκνότητα χρηστών (density) με υπερφόρτωση σε μια RAT.

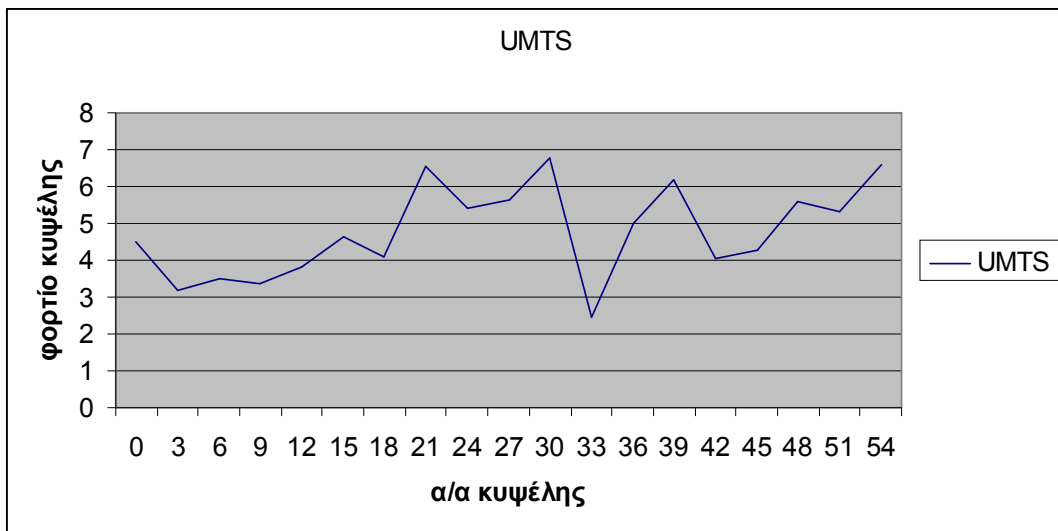
Τώρα θα δούμε ένα σενάριο παρόμοιο με το 6.2.1, μόνο που εδώ θα παρατηρηθεί κίνηση προς το κέντρο με ιδιαίτερα μεγάλη κίνηση στα εσωτερικά sites του UMTS.

a) Μεγάλη πυκνότητα χρηστών στα εξωτερικά sites (site\_ids 7 με 18)

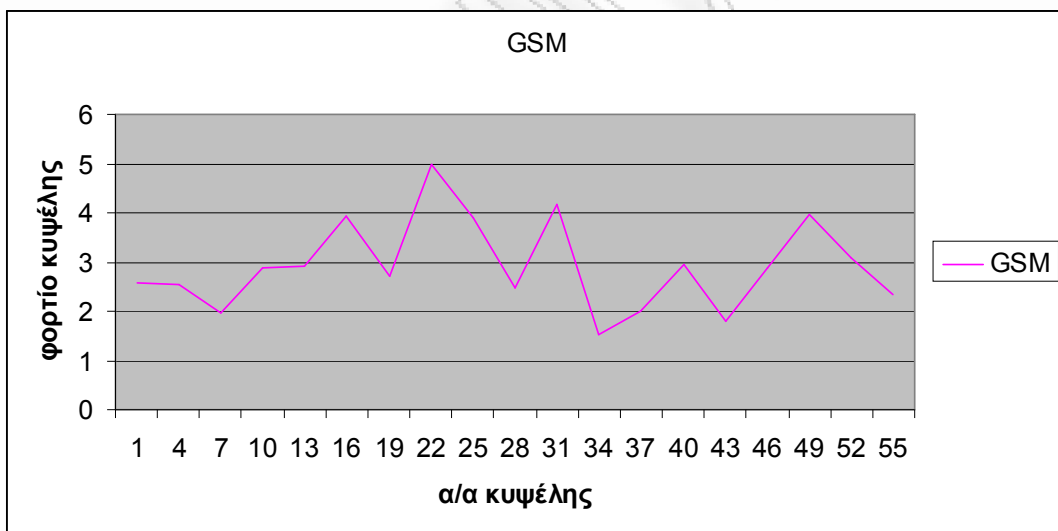
α/α κυψέλης	radius	density	site_id	RAT	controller_id	φορτίο κυψέλης
0	3,8	68	0	UMTS	4	4,5020
1	3,6	43	0	GSM	3	2,5623
2	2,5	61	0	LTE	5	1,7931
3	3,2	67	1	UMTS	4	3,1736
4	3,5	45	1	GSM	4	2,5377
5	2,8	65	1	LTE	1	2,3771
6	3,5	62	2	UMTS	1	3,4965
7	2,9	50	2	GSM	5	1,9563
8	3,2	59	2	LTE	2	2,7959
9	3,3	67	3	UMTS	1	3,3707
10	3,5	51	3	GSM	1	2,8762
11	3,1	53	3	LTE	3	2,3605
12	3,4	72	4	UMTS	2	3,8373
13	3,9	42	4	GSM	2	2,9259
14	2,9	58	4	LTE	4	2,2698
15	3,8	70	5	UMTS	3	4,6344
16	4,2	49	5	GSM	3	3,9453
17	2,8	56	5	LTE	5	2,0485
18	3,6	69	6	UMTS	4	4,1107
19	3,5	48	6	GSM	4	2,7078

20	2,2	51	6	LTE	5	1,1713
21	3,5	116	7	UMTS	5	6,5427
22	4,1	65	7	GSM	4	4,9924
23	3,4	57	7	LTE	1	3,0386
24	3,2	114	8	UMTS	5	5,4014
25	3,7	62	8	GSM	5	3,8965
26	3,3	59	8	LTE	1	2,9672
27	3,3	112	9	UMTS	5	5,6338
28	3	59	9	GSM	5	2,4669
29	2,6	61	9	LTE	2	1,9325
30	3,6	114	10	UMTS	1	6,7933
31	3,8	63	10	GSM	5	4,1719
32	3,1	58	10	LTE	2	2,5835
33	2,1	116	11	UMTS	1	2,4377
34	2,3	61	11	GSM	1	1,5258
35	2	58	11	LTE	3	1,1107
36	3,1	112	12	UMTS	2	4,9886
37	2,7	59	12	GSM	1	2,0104
38	2,8	58	12	LTE	3	2,1205
39	3,4	116	13	UMTS	2	6,1837
40	3,1	66	13	GSM	1	2,9403
41	3,4	58	13	LTE	4	3,0918
42	2,7	119	14	UMTS	2	4,0566
43	2,5	61	14	GSM	2	1,7931
44	2,1	58	14	LTE	4	1,2197
45	2,8	117	15	UMTS	3	4,2785
46	3,2	61	15	GSM	2	2,8904
47	2,9	58	15	LTE	6	2,2698
48	3,2	118	16	UMTS	3	5,5902
49	3,8	60	16	GSM	2	3,9725
50	2,9	58	16	LTE	6	2,2698
51	3,1	119	17	UMTS	3	5,3008
52	3,3	61	17	GSM	3	3,0685
53	2,8	58	17	LTE	7	2,1205
54	3,5	117	18	UMTS	5	6,5994
55	2,8	64	18	GSM	4	2,3412
56	2,6	58	18	LTE	7	1,8386

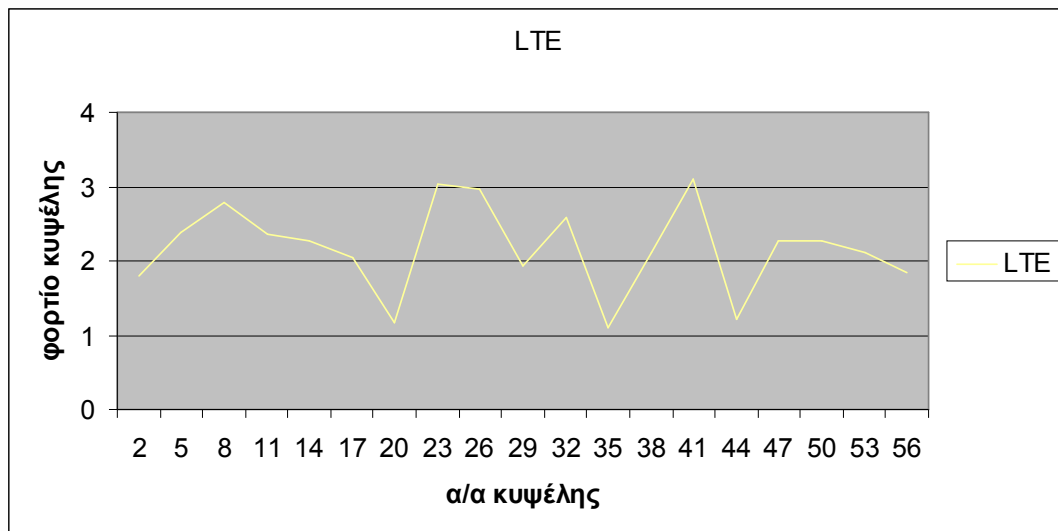
**Πίνακας 17: Περίπτωση 6.2.2.a – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών**



Εικόνα 21α: Περίπτωση 6.2.2.α – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS



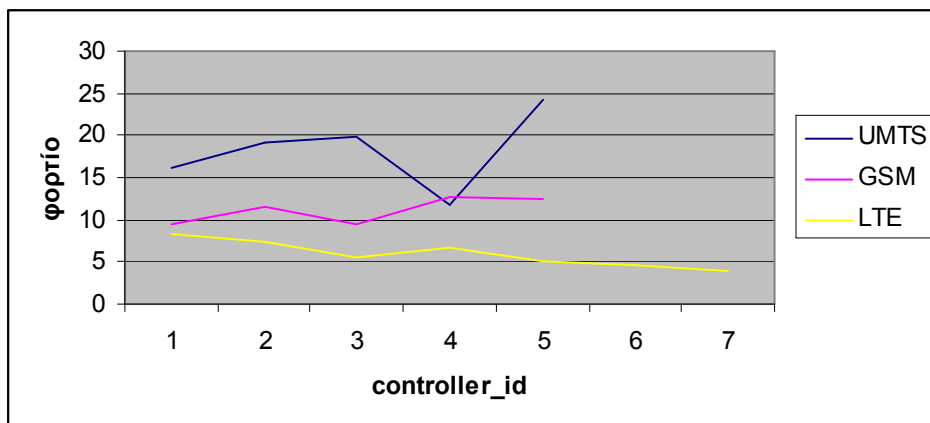
Εικόνα 21β: Περίπτωση 6.2.2.α – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM



Εικόνα 21γ: Περίπτωση 6.2.2.α – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE

RAT	controller_id	φορτίο
UMTS	1	16,0981
UMTS	2	19,0662
UMTS	3	19,8039
UMTS	4	11,7863
UMTS	5	24,1774
GSM	1	9,3527
GSM	2	11,5818
GSM	3	9,5761
GSM	4	12,5791
GSM	5	12,4916
LTE	1	8,3829
LTE	2	7,3120
LTE	3	5,5916
LTE	4	6,5813
LTE	5	5,0129
LTE	6	4,5395
LTE	7	3,9591

Πίνακας 18: Περίπτωση 6.2.2.α – Αποτελέσματα για τους controllers



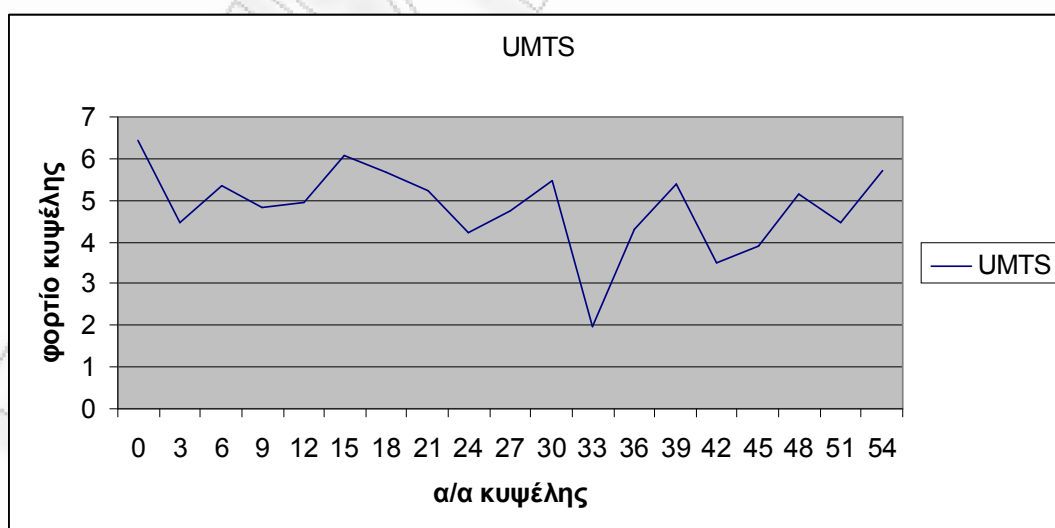
**Εικόνα 22: Περίπτωση 6.2.2.a – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers**

b) Κίνηση προς το κέντρο, δηλαδή μείωση της πυκνότητας στα εξωτερικά sites και αύξηση στα εσωτερικά (site\_ids 0 με 6).

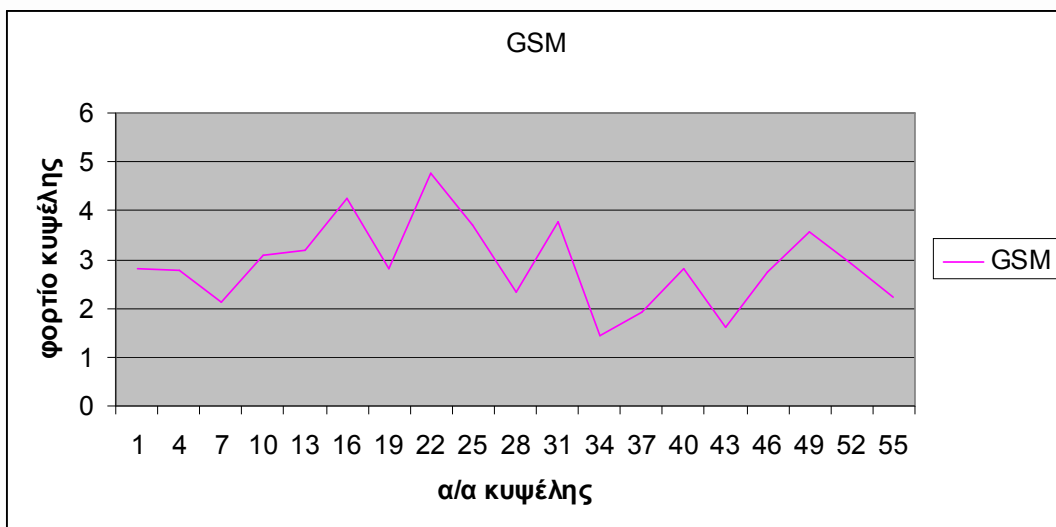
α/α κυψέλης	radius	density	site_id	RAT	controller_id	φορτίο κυψέλης
0	3,8	97	0	UMTS	4	6,4221
1	3,6	47	0	GSM	3	2,8012
2	2,5	65	0	LTE	5	1,9090
3	3,2	94	1	UMTS	4	4,4540
4	3,5	49	1	GSM	4	2,7628
5	2,8	69	1	LTE	1	2,5226
6	3,5	95	2	UMTS	1	5,3589
7	2,9	54	2	GSM	5	2,1139
8	3,2	63	2	LTE	2	2,9848
9	3,3	96	3	UMTS	1	4,8285
10	3,5	55	3	GSM	1	3,1013
11	3,1	57	3	LTE	3	2,5389
12	3,4	93	4	UMTS	2	4,9573
13	3,9	46	4	GSM	2	3,2044
14	2,9	62	4	LTE	4	2,4273
15	3,8	92	5	UMTS	3	6,0903
16	4,2	53	5	GSM	3	4,2668
17	2,8	60	5	LTE	5	2,1940
18	3,6	95	6	UMTS	4	5,6608
19	3,5	50	6	GSM	4	2,8195
20	2,2	55	6	LTE	5	1,2644
21	3,5	93	7	UMTS	5	5,2455
22	4,1	62	7	GSM	4	4,7620
23	3,4	54	7	LTE	1	2,8788
24	3,2	89	8	UMTS	5	4,2171
25	3,7	59	8	GSM	5	3,7074
26	3,3	56	8	LTE	1	2,8161
27	3,3	94	9	UMTS	5	4,7289
28	3	56	9	GSM	5	2,3401

29	2,6	58	9	LTE	2	1,8386
30	3,6	92	10	UMTS	1	5,4821
31	3,8	57	10	GSM	5	3,7732
32	3,1	55	10	LTE	2	2,4497
33	2,1	94	11	UMTS	1	1,9755
34	2,3	58	11	GSM	1	1,4512
35	2	55	11	LTE	3	1,0536
36	3,1	97	12	UMTS	2	4,3212
37	2,7	56	12	GSM	1	1,9095
38	2,8	55	12	LTE	3	2,0109
39	3,4	101	13	UMTS	2	5,3833
40	3,1	63	13	GSM	1	2,8065
41	3,4	55	13	LTE	4	2,9321
42	2,7	103	14	UMTS	2	3,5113
43	2,5	55	14	GSM	2	1,6158
44	2,1	55	14	LTE	4	1,1556
45	2,8	107	15	UMTS	3	3,9123
46	3,2	58	15	GSM	2	2,7479
47	2,9	55	15	LTE	6	2,1533
48	3,2	109	16	UMTS	3	5,1645
49	3,8	54	16	GSM	2	3,5755
50	2,9	55	16	LTE	6	2,1533
51	3,1	100	17	UMTS	3	4,4550
52	3,3	58	17	GSM	3	2,9174
53	2,8	55	17	LTE	7	2,0109
54	3,5	101	18	UMTS	5	5,6957
55	2,8	61	18	GSM	4	2,2317
56	2,6	55	18	LTE	7	1,7430

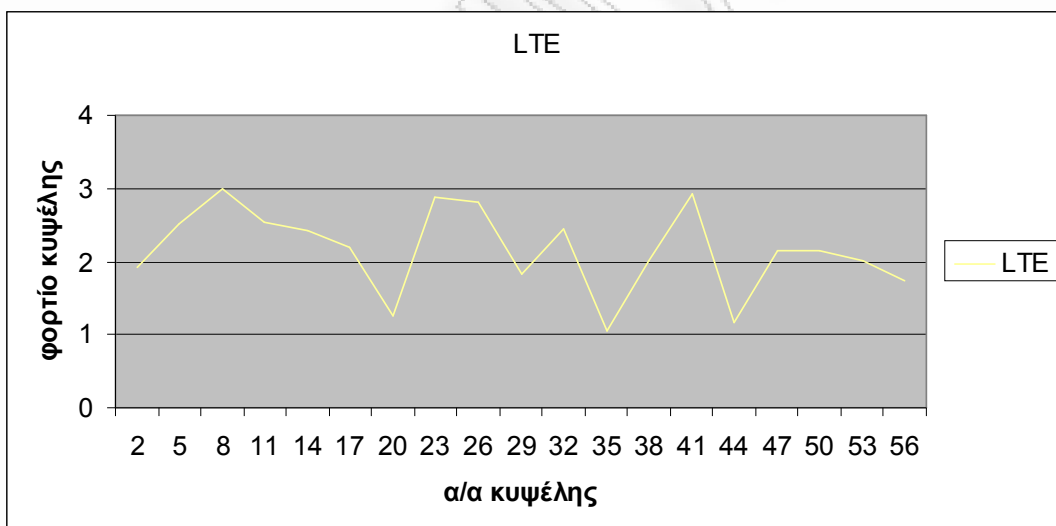
Πίνακας 19: Περίπτωση 6.2.2.b – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών



Εικόνα 23α: Περίπτωση 6.2.2.b – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS



Εικόνα 23β: Περίπτωση 6.2.2.b – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM



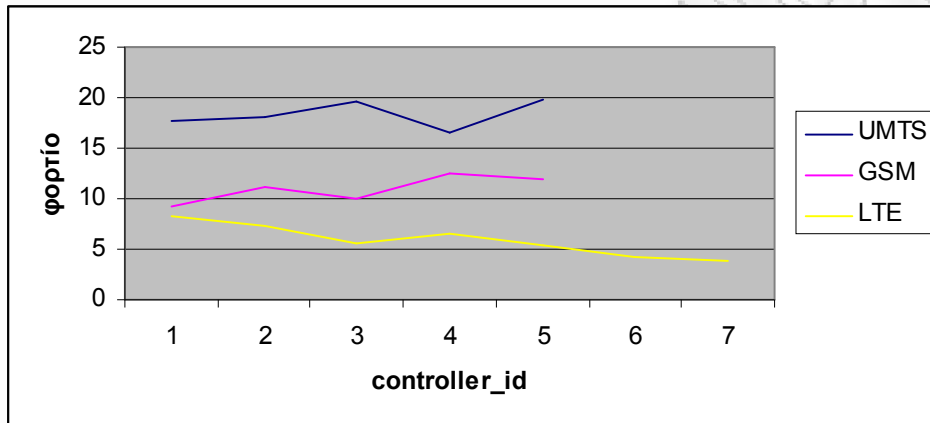
Εικόνα 23γ: Περίπτωση 6.2.2.b – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE

RAT	controller_id	φορτίο
UMTS	1	17,6450
UMTS	2	18,1730
UMTS	3	19,6222
UMTS	4	16,5368
UMTS	5	19,8872
GSM	1	9,2684
GSM	2	11,1435
GSM	3	9,9854
GSM	4	12,5760
GSM	5	11,9346



LTE	1	8,2175
LTE	2	7,2731
LTE	3	5,6034
LTE	4	6,5150
LTE	5	5,3674
LTE	6	4,3065
LTE	7	3,7540

**Πίνακας 20: Περίπτωση 6.2.2.b – Αποτελέσματα για τους controllers**



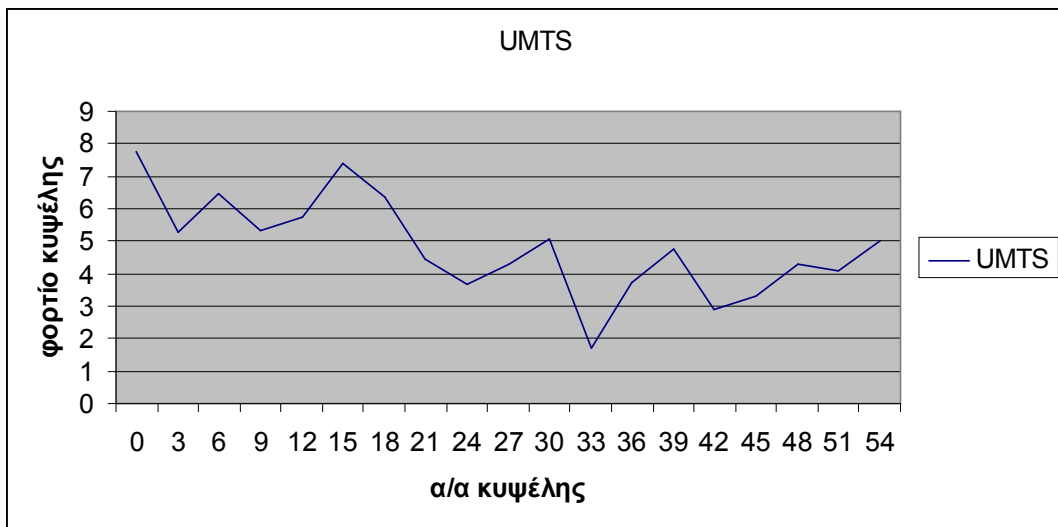
**Εικόνα 24: Περίπτωση 6.2.2.b – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers**

c) Μεγάλη πυκνότητα χρηστών στο κεντρικό site (site\_id 0), αρκετά υψηλή στα site\_ids 1 με 6 και μειωμένη στα εξωτερικά sites.

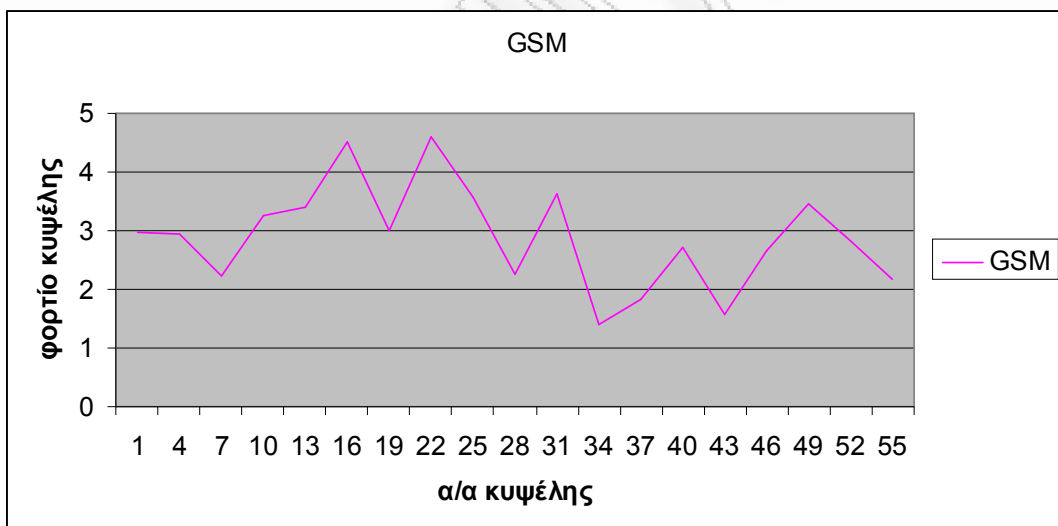
α/α κυψέλης	radius	density	site_id	RAT	controller_id	φορτίο κυψέλης
0	3,8	117	0	UMTS	4	7,7457
1	3,6	50	0	GSM	3	2,9799
2	2,5	68	0	LTE	5	1,9976
3	3,2	111	1	UMTS	4	5,2589
4	3,5	52	1	GSM	4	2,9329
5	2,8	72	1	LTE	1	2,6338
6	3,5	115	2	UMTS	1	6,4861
7	2,9	57	2	GSM	5	2,2304
8	3,2	66	2	LTE	2	3,1272
9	3,3	106	3	UMTS	1	5,3316
10	3,5	58	3	GSM	1	3,2714
11	3,1	60	3	LTE	3	2,6727
12	3,4	108	4	UMTS	2	5,7577
13	3,9	49	4	GSM	2	3,4124
14	2,9	65	4	LTE	4	2,5438
15	3,8	112	5	UMTS	3	7,4156
16	4,2	56	5	GSM	3	4,5075
17	2,8	63	5	LTE	5	2,3036
18	3,6	107	6	UMTS	4	6,3757
19	3,5	53	6	GSM	4	2,9896

20	2,2	58	6	LTE	5	1,3321
21	3,5	79	7	UMTS	5	4,4552
22	4,1	60	7	GSM	4	4,6073
23	3,4	52	7	LTE	1	2,7723
24	3,2	78	8	UMTS	5	3,6953
25	3,7	57	8	GSM	5	3,5820
26	3,3	54	8	LTE	1	2,7164
27	3,3	85	9	UMTS	5	4,2756
28	3	54	9	GSM	5	2,2578
29	2,6	56	9	LTE	2	1,7755
30	3,6	85	10	UMTS	1	5,0645
31	3,8	55	10	GSM	5	3,6408
32	3,1	53	10	LTE	2	2,3605
33	2,1	80	11	UMTS	1	1,6819
34	2,3	56	11	GSM	1	1,4019
35	2	53	11	LTE	3	1,0149
36	3,1	84	12	UMTS	2	3,7414
37	2,7	54	12	GSM	1	1,8411
38	2,8	53	12	LTE	3	1,9390
39	3,4	89	13	UMTS	2	4,7443
40	3,1	61	13	GSM	1	2,7173
41	3,4	53	13	LTE	4	2,8256
42	2,7	85	14	UMTS	2	2,8976
43	2,5	53	14	GSM	2	1,5578
44	2,1	53	14	LTE	4	1,1134
45	2,8	90	15	UMTS	3	3,2911
46	3,2	56	15	GSM	2	2,6535
47	2,9	53	15	LTE	6	2,0745
48	3,2	91	16	UMTS	3	4,3115
49	3,8	52	16	GSM	2	3,4431
50	2,9	53	16	LTE	6	2,0745
51	3,1	92	17	UMTS	3	4,0982
52	3,3	56	17	GSM	3	2,8161
53	2,8	53	17	LTE	7	1,9390
54	3,5	89	18	UMTS	5	5,0204
55	2,8	59	18	GSM	4	2,1581
56	2,6	53	18	LTE	7	1,6799

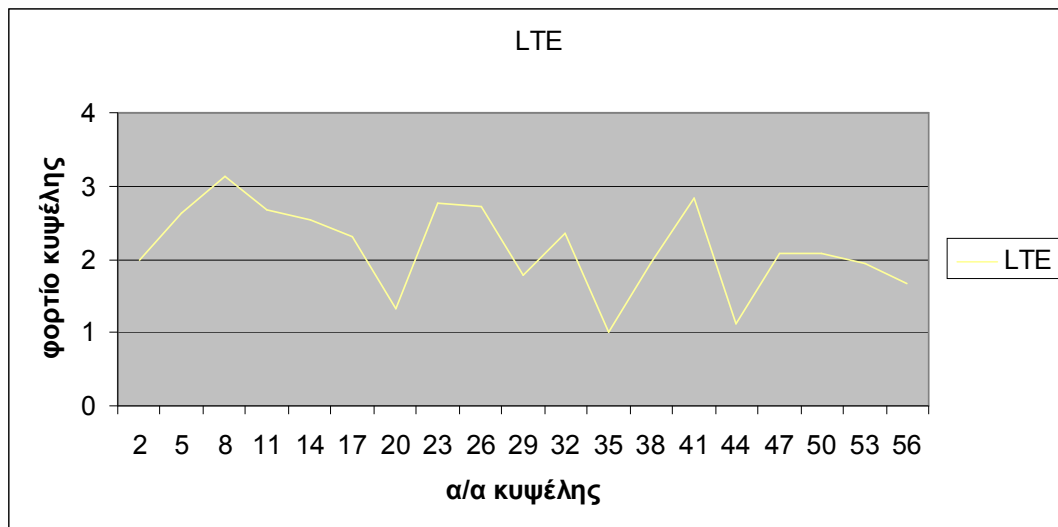
**Πίνακας 21: Περίπτωση 6.2.2.c – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών**



Εικόνα 25α: Περίπτωση 6.2.2.c – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS



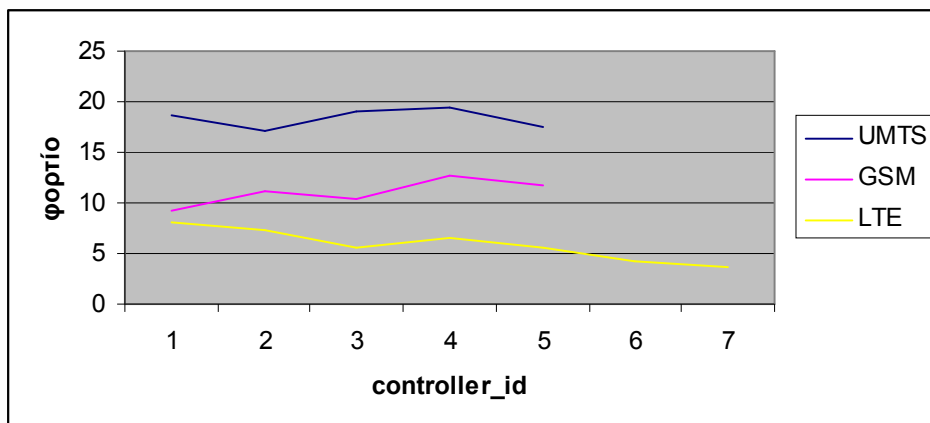
Εικόνα 25β: Περίπτωση 6.2.2.c – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM



Εικόνα 25γ: Περίπτωση 6.2.2.c – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE

RAT	controller_id	φορτίο
UMTS	1	18,5641
UMTS	2	17,1410
UMTS	3	19,1164
UMTS	4	19,3803
UMTS	5	17,4466
GSM	1	9,2317
GSM	2	11,0668
GSM	3	10,3035
GSM	4	12,6879
GSM	5	11,7109
LTE	1	8,1226
LTE	2	7,2631
LTE	3	5,6266
LTE	4	6,4829
LTE	5	5,6332
LTE	6	4,1489
LTE	7	3,6189

Πίνακας 22: Περίπτωση 6.2.2.c – Αποτελέσματα για τους controllers



**Εικόνα 26: Περίπτωση 6.2.2.c – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers**

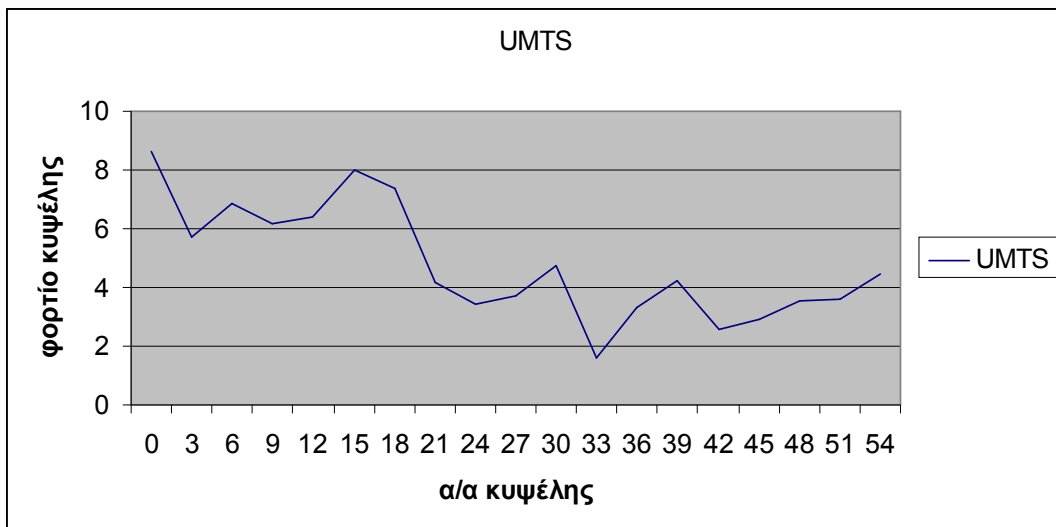
Εδώ θα προσθέσουμε άλλες δύο περιπτώσεις. Η περίπτωση d παρουσιάζει ιδιαίτερα μεγάλη αύξηση στις κυψέλες με UMTS και  $site\_id \leq 6$  και ειδικότερα στην κεντρική κυψέλη ( $site\_id=0$ ,  $cell\_id=0$ ).

d) Ιδιαίτερα μεγάλη πυκνότητα χρηστών στις εσωτερικές κυψέλες με UMTS ( $site\_ids$  0 με 6)

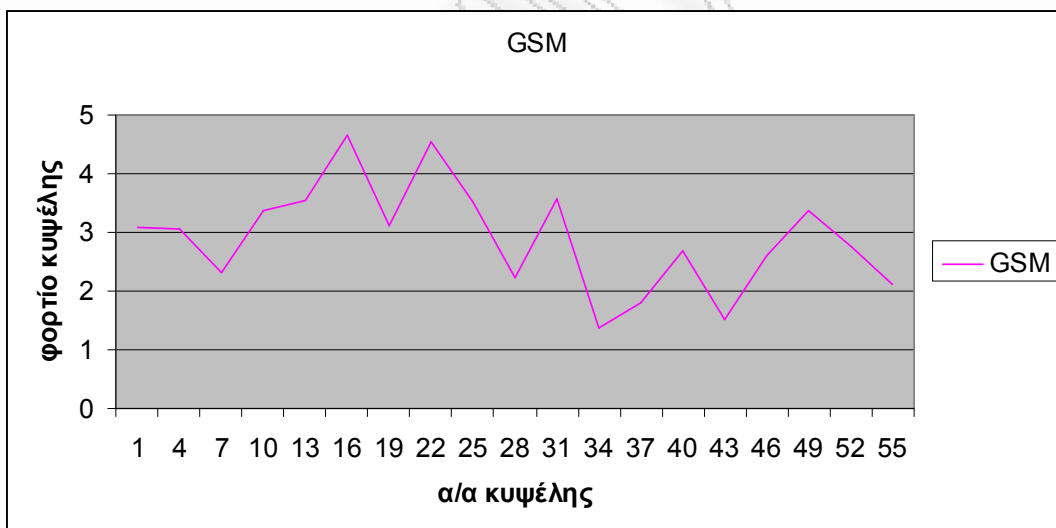
α/α κυψέλης	radius	density	site_id	RAT	controller_id	φορτίο κυψέλης
0	3,8	130	0	UMTS	4	8,6069
1	3,6	52	0	GSM	3	3,0985
2	2,5	70	0	LTE	5	2,0572
3	3,2	121	1	UMTS	4	5,7327
4	3,5	54	1	GSM	4	3,0463
5	2,8	74	1	LTE	1	2,7058
6	3,5	122	2	UMTS	1	6,8812
7	2,9	59	2	GSM	5	2,3092
8	3,2	68	2	LTE	2	3,2216
9	3,3	123	3	UMTS	1	6,1867
10	3,5	60	3	GSM	1	3,3848
11	3,1	62	3	LTE	3	2,7619
12	3,4	120	4	UMTS	2	6,3967
13	3,9	51	4	GSM	2	3,5517
14	2,9	67	4	LTE	4	2,6226
15	3,8	121	5	UMTS	3	8,0104
16	4,2	58	5	GSM	3	4,6691
17	2,8	65	5	LTE	5	2,3771
18	3,6	124	6	UMTS	4	7,3879
19	3,5	55	6	GSM	4	3,1013
20	2,2	60	6	LTE	5	1,3778
21	3,5	74	7	UMTS	5	4,1734
22	4,1	59	7	GSM	4	4,5317
23	3,4	51	7	LTE	1	2,7191
24	3,2	72	8	UMTS	5	3,4121

25	3,7	56	8	GSM	5	3,5201
26	3,3	53	8	LTE	1	2,6666
27	3,3	74	9	UMTS	5	3,7227
28	3	53	9	GSM	5	2,2150
29	2,6	55	9	LTE	2	1,7430
30	3,6	80	10	UMTS	1	4,7672
31	3,8	54	10	GSM	5	3,5755
32	3,1	52	10	LTE	2	2,3159
33	2,1	77	11	UMTS	1	1,6178
34	2,3	55	11	GSM	1	1,3765
35	2	52	11	LTE	3	0,9947
36	3,1	75	12	UMTS	2	3,3417
37	2,7	53	12	GSM	1	1,8069
38	2,8	52	12	LTE	3	1,9014
39	3,4	79	13	UMTS	2	4,2118
40	3,1	60	13	GSM	1	2,6727
41	3,4	52	13	LTE	4	2,7723
42	2,7	76	14	UMTS	2	2,5899
43	2,5	52	14	GSM	2	1,5272
44	2,1	52	14	LTE	4	1,0932
45	2,8	79	15	UMTS	3	2,8889
46	3,2	55	15	GSM	2	2,6054
47	2,9	52	15	LTE	6	2,0351
48	3,2	75	16	UMTS	3	3,5529
49	3,8	51	16	GSM	2	3,3761
50	2,9	52	16	LTE	6	2,0351
51	3,1	81	17	UMTS	3	3,6076
52	3,3	55	17	GSM	3	2,7663
53	2,8	52	17	LTE	7	1,9014
54	3,5	79	18	UMTS	5	4,4552
55	2,8	58	18	GSM	4	2,1205
56	2,6	52	18	LTE	7	1,6474

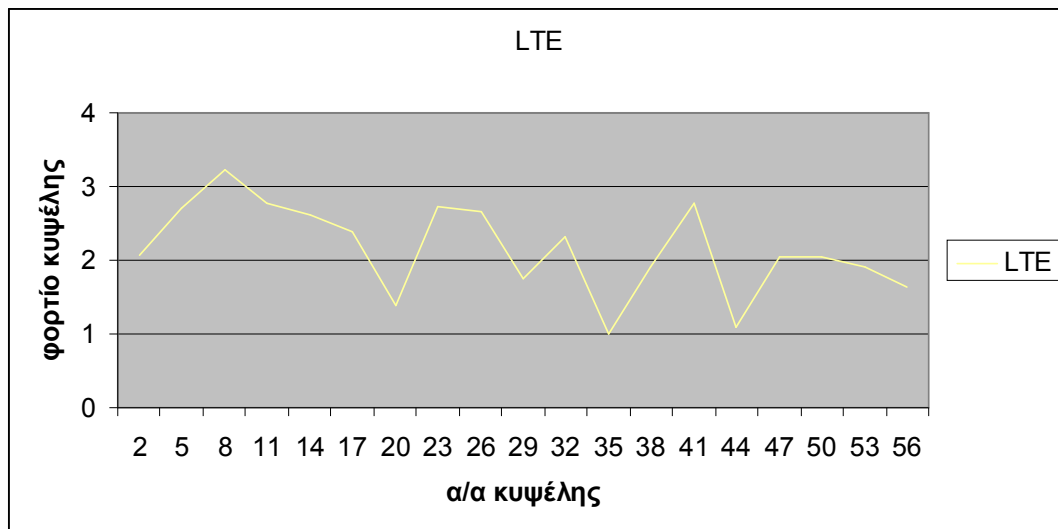
**Πίνακας 23: Περίπτωση 6.2.2.d – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών**



Εικόνα 27α: Περίπτωση 6.2.2.d – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS



Εικόνα 27β: Περίπτωση 6.2.2.d – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM

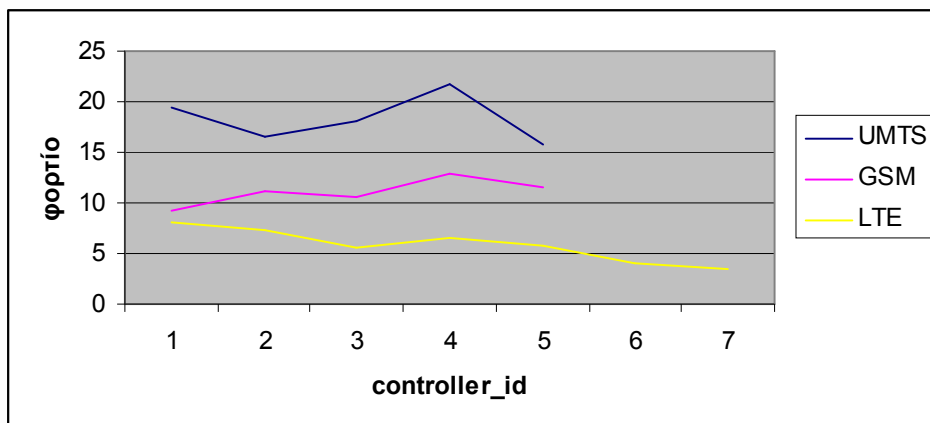


**Εικόνα 27γ:** Περίπτωση 6.2.2.d – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE

RAT	controller_id	φορτίο
UMTS	1	19,4529
UMTS	2	16,5400
UMTS	3	18,0598
UMTS	4	21,7275
UMTS	5	15,7634
GSM	1	9,2408
GSM	2	11,0604
GSM	3	10,5339
GSM	4	12,7997
GSM	5	11,6196
LTE	1	8,0915
LTE	2	7,2805
LTE	3	5,6580
LTE	4	6,4882
LTE	5	5,8122
LTE	6	4,0701
LTE	7	3,5488

**Πίνακας 24:** Περίπτωση 6.2.2.d – Αποτελέσματα για τους controllers





**Εικόνα 28: Περίπτωση 6.2.2.d – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers**

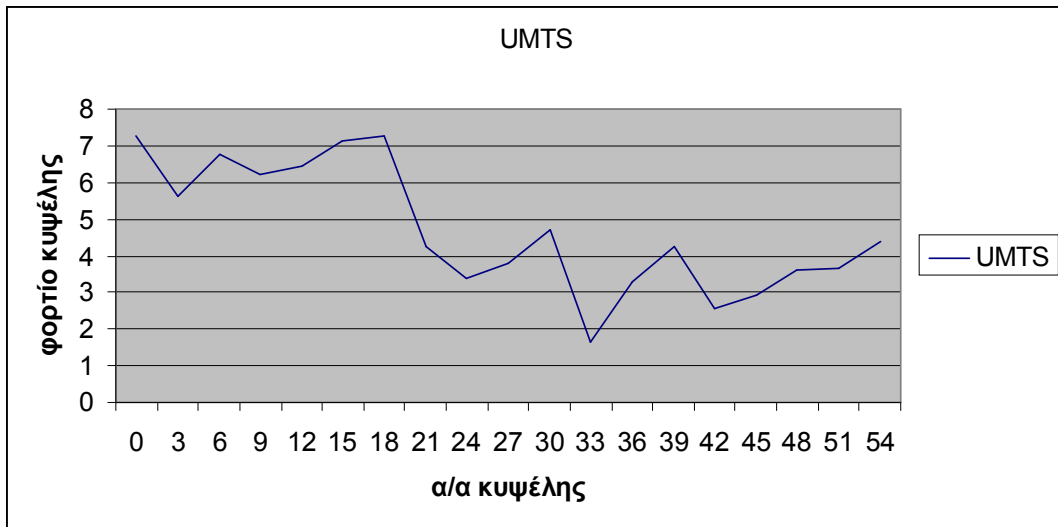
Αυτό το στιγμιότυπο θεωρούμε ότι φτάνει στους DSNPM των controllers καθώς και στον DSNPM του Management. Έστω ότι κάθε FBS μπορεί να αντέξει φορτίο μέχρι 10 Erlangs. Ο DSNPM του Management κρίνει, σύμφωνα με την μέχρι τώρα πορεία του δικτύου, ότι οι FBSs 0 και 15 πολύ σύντομα θα υπερφορτωθούν. Θεωρεί ότι δεδομένων των συνθηκών, μπορεί να στείλει κάποιο από το φορτίο των FBSs 0 και 15 στις αντίστοιχες κυψέλες με RAT GSM και LTE, για να αποφύγει περαιτέρω υπερφόρτωση των κυψελών 0 και 15. Επομένως προκύπτει η παρακάτω περίπτωση:

e) Εξομάλυνση του φορτίου στις υπερφορτωμένες κυψέλες.

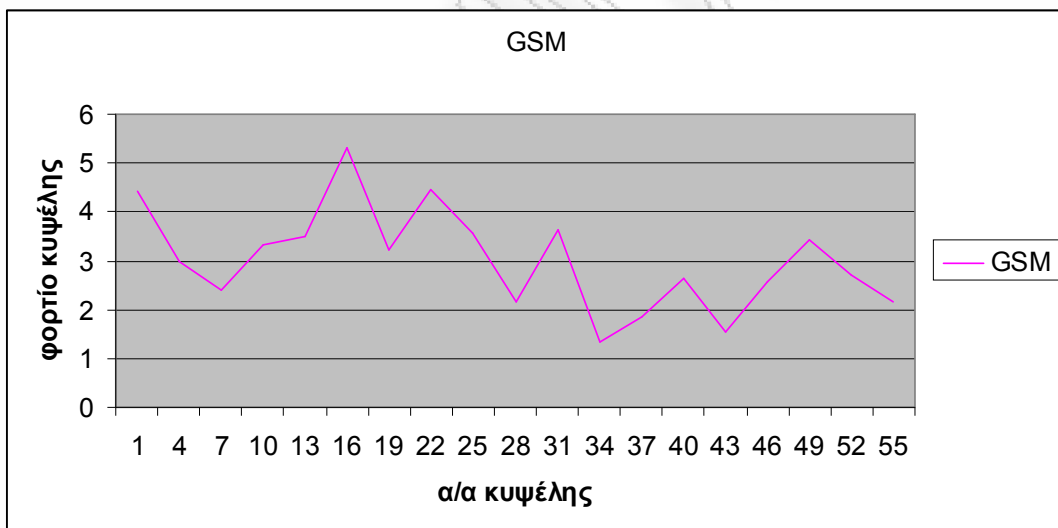
α/α κυψέλης	radius	density	site_id	RAT	controller_id	φορτίο κυψέλης
0	3,8	110	0	UMTS	4	7,2833
1	3,6	74	0	GSM	3	4,4097
2	2,5	72	0	LTE	5	2,1152
3	3,2	119	1	UMTS	4	5,6383
4	3,5	53	1	GSM	4	2,9896
5	2,8	74	1	LTE	1	2,7058
6	3,5	120	2	UMTS	1	6,7678
7	2,9	61	2	GSM	5	2,3879
8	3,2	70	2	LTE	2	3,3160
9	3,3	124	3	UMTS	1	6,2365
10	3,5	59	3	GSM	1	3,3281
11	3,1	61	3	LTE	3	2,7173
12	3,4	121	4	UMTS	2	6,4499
13	3,9	50	4	GSM	2	3,4829
14	2,9	68	4	LTE	4	2,6620
15	3,8	108	5	UMTS	3	7,1509
16	4,2	66	5	GSM	3	5,3138
17	2,8	70	5	LTE	5	2,5603
18	3,6	122	6	UMTS	4	7,2693
19	3,5	57	6	GSM	4	3,2147
20	2,2	61	6	LTE	5	1,4015
21	3,5	75	7	UMTS	5	4,2301

22	4,1	58	7	GSM	4	4,4543
23	3,4	52	7	LTE	1	2,7723
24	3,2	71	8	UMTS	5	3,3641
25	3,7	57	8	GSM	5	3,5820
26	3,3	52	8	LTE	1	2,6152
27	3,3	75	9	UMTS	5	3,7725
28	3	52	9	GSM	5	2,1738
29	2,6	56	9	LTE	2	1,7755
30	3,6	79	10	UMTS	1	4,7070
31	3,8	55	10	GSM	5	3,6408
32	3,1	51	10	LTE	2	2,2713
33	2,1	78	11	UMTS	1	1,6398
34	2,3	54	11	GSM	1	1,3510
35	2	53	11	LTE	3	1,0149
36	3,1	74	12	UMTS	2	3,2971
37	2,7	54	12	GSM	1	1,8411
38	2,8	51	12	LTE	3	1,8654
39	3,4	80	13	UMTS	2	4,2650
40	3,1	59	13	GSM	1	2,6281
41	3,4	53	13	LTE	4	2,8256
42	2,7	75	14	UMTS	2	2,5557
43	2,5	53	14	GSM	2	1,5578
44	2,1	51	14	LTE	4	1,0712
45	2,8	80	15	UMTS	3	2,9265
46	3,2	54	15	GSM	2	2,5591
47	2,9	53	15	LTE	6	2,0745
48	3,2	76	16	UMTS	3	3,6009
49	3,8	52	16	GSM	2	3,4431
50	2,9	51	16	LTE	6	1,9957
51	3,1	82	17	UMTS	3	3,6522
52	3,3	54	17	GSM	3	2,7164
53	2,8	53	17	LTE	7	1,9390
54	3,5	78	18	UMTS	5	4,3985
55	2,8	59	18	GSM	4	2,1581
56	2,6	51	18	LTE	7	1,6167

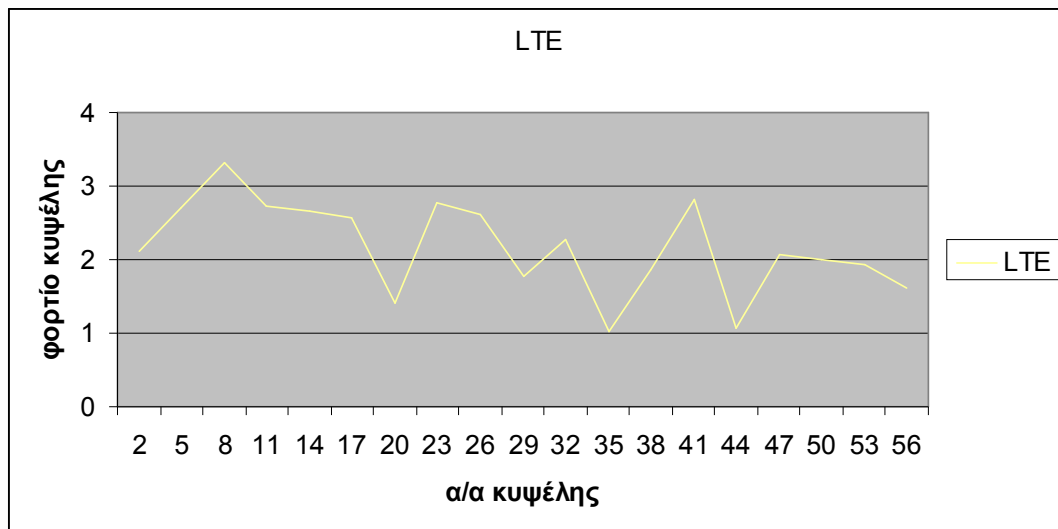
**Πίνακας 25: Περίπτωση 6.2.2.e – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών**



Εικόνα 29α: Περίπτωση 6.2.2.e – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS



Εικόνα 29β: Περίπτωση 6.2.2.e – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM

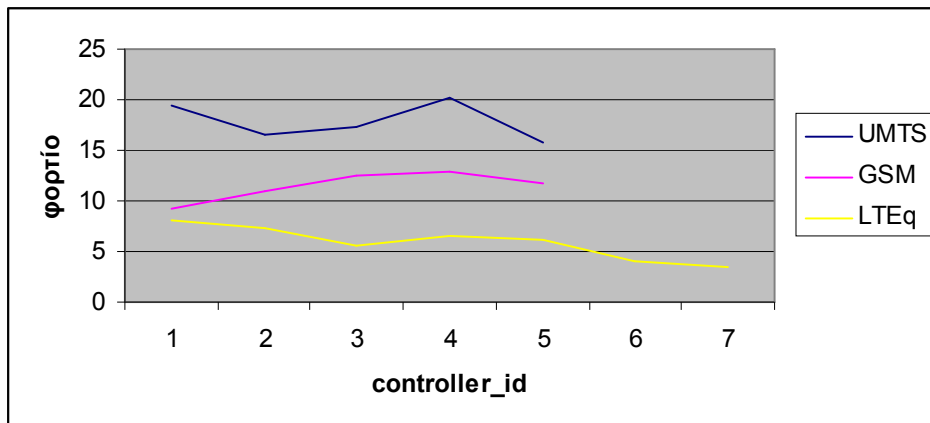


**Εικόνα 29γ: Περίπτωση 6.2.2.e – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE**

Παρατηρούμε, συγκρίνοντας κυρίως τις εικόνες 27α και 29α, τη μείωση που υπέστη το φορτίο στις εσωτερικές κυψέλες με UMTS, ενώ στα διαγράμματα του GSM και του LTE η αύξηση είναι τέτοια, που να μη δημιουργεί πρόβλημα υπερφόρτωσης.

RAT	controller_id	φορτίο
UMTS	1	19,3512
UMTS	2	16,5678
UMTS	3	17,3306
UMTS	4	20,1909
UMTS	5	15,7652
GSM	1	9,1483
GSM	2	11,0429
GSM	3	12,4399
GSM	4	12,8167
GSM	5	11,7845
LTE	1	8,0933
LTE	2	7,3628
LTE	3	5,5976
LTE	4	6,5589
LTE	5	6,0769
LTE	6	4,0701
LTE	7	3,5557

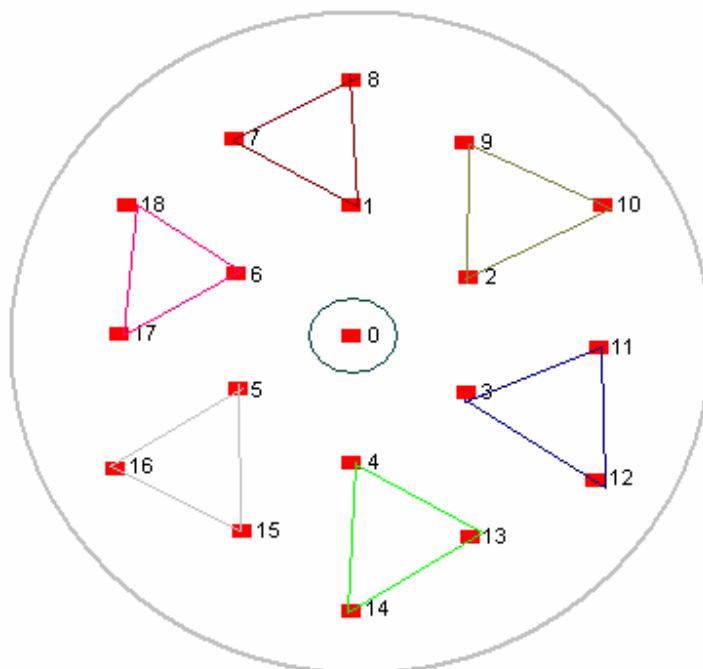
**Πίνακας 26: Περίπτωση 6.2.2.e – Αποτελέσματα για τους controllers**



Εικόνα 30: Περίπτωση 6.2.2.e – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers

### 6.2.3 Αλλαγή στην πυκνότητα χρηστών με υπερφόρτωση σε κάποιον controller

Σε αυτό το σενάριο υποθέτουμε ότι έχει γίνει ανάθεση ανά 3 FBS σε έναν controller σε κάθε RAT, εκτός από το site\_id 0, όπου αναμένεται και το μεγαλύτερο φορτίο και εξυπηρετείται μόνο του από έναν controller. Η ανάθεση φαίνεται στην εικόνα 31.



### Εικόνα 31: Ανάθεση των sites ανά 3 σε έναν controller

Θεωρούμε τώρα ότι πρόκειται για μέρα Κυριακή και στα sites 3, 11 και 12 υπάρχει ένα συγκρότημα με αθλητικές εγκαταστάσεις, όπου θα λάβει χώρα ένα μεγάλο αθλητικό γεγονός. Έτσι, θα παρατηρηθεί ιδιαίτερη αύξηση φορτίου στις αντίστοιχες κυψέλες, καθώς οι κάτοικοι μεταβαίνουν στην περιοχή για να παρακολουθήσουν τους αγώνες.

Η κίνηση έχει δοθεί σε 3 φάσεις:

- μεγάλη πυκνότητα χρηστών στα εξωτερικά sites (site\_ids 7 με 18)
- κίνηση προς τα sites 3, 11 και 12
- εξομάλυνση του φορτίου.

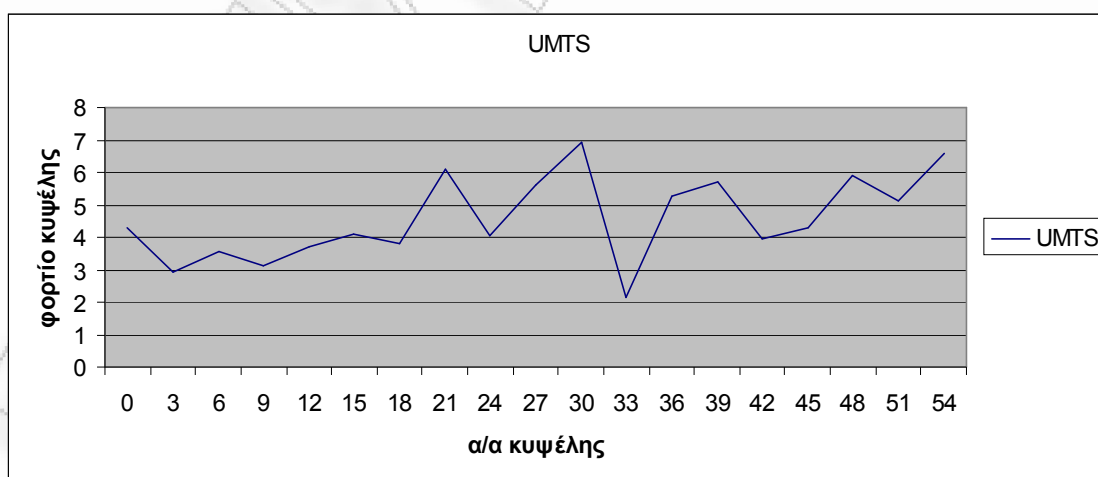
Ο συνολικός αριθμός χρηστών στο σύστημα έχει κρατηθεί σταθερός στις 105.500 περίπου, με μια μικρή απόκλιση σε κάθε περίπτωση.

- Μεγάλη πυκνότητα χρηστών στα εξωτερικά sites (site\_ids 7 με 18)

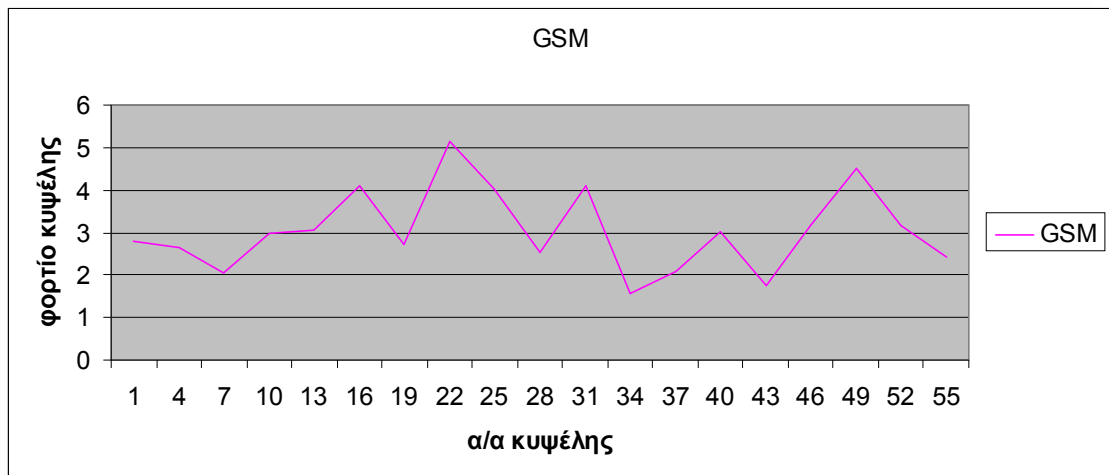
α/α κυψέλης	radius	density	site_id	RAT	controller_id	φορτίο κυψέλης
0	3.8	65	0	UMTS	1	4.3043
1	3.6	47	0	GSM	1	2.8012
2	2.5	63	0	LTE	1	1.8510
3	3.2	62	1	UMTS	6	2.9367
4	3.5	47	1	GSM	6	2.6511
5	2.8	67	1	LTE	6	2.4507
6	3.5	63	2	UMTS	7	3.5532
7	2.9	52	2	GSM	7	2.0351
8	3.2	61	2	LTE	7	2.8904
9	3.3	62	3	UMTS	2	3.1183
10	3.5	53	3	GSM	2	2.9896
11	3.1	55	3	LTE	2	2.4497
12	3.4	70	4	UMTS	3	3.7308
13	3.9	44	4	GSM	3	3.0651
14	2.9	60	4	LTE	3	2.3485
15	3.8	62	5	UMTS	4	4.1049
16	4.2	51	5	GSM	4	4.1053
17	2.8	58	5	LTE	4	2.1205
18	3.6	64	6	UMTS	5	3.8134
19	3.5	48	6	GSM	5	2.7078
20	2.2	53	6	LTE	5	1.2170
21	3.5	108	7	UMTS	6	6.0909
22	4.1	67	7	GSM	6	5.1454
23	3.4	59	7	LTE	6	3.1451
24	3.2	85	8	UMTS	6	4.0266
25	3.7	64	8	GSM	6	4.0220
26	3.3	61	8	LTE	6	3.0685
27	3.3	112	9	UMTS	7	5.6338
28	3	61	9	GSM	7	2.5493

29	2.6	63	9	LTE	7	1.9957
30	3.6	116	10	UMTS	7	6.9119
31	3.8	62	10	GSM	7	4.1049
32	3.1	60	10	LTE	7	2.6727
33	2.1	103	11	UMTS	2	2.1644
34	2.3	63	11	GSM	2	1.5767
35	2	60	11	LTE	2	1.1493
36	3.1	118	12	UMTS	2	5.2562
37	2.7	61	12	GSM	2	2.0787
38	2.8	60	12	LTE	2	2.1940
39	3.4	107	13	UMTS	3	5.7044
40	3.1	68	13	GSM	3	3.0295
41	3.4	60	13	LTE	3	3.1983
42	2.7	116	14	UMTS	3	3.9540
43	2.5	60	14	GSM	3	1.7624
44	2.1	60	14	LTE	3	1.2602
45	2.8	117	15	UMTS	4	4.2785
46	3.2	67	15	GSM	4	3.1736
47	2.9	60	15	LTE	4	2.3485
48	3.2	125	16	UMTS	4	5.9232
49	3.8	68	16	GSM	4	4.5020
50	2.9	60	16	LTE	4	2.3485
51	3.1	115	17	UMTS	5	5.1224
52	3.3	63	17	GSM	5	3.1681
53	2.8	60	17	LTE	5	2.1940
54	3.5	117	18	UMTS	5	6.5994
55	2.8	66	18	GSM	5	2.4131
56	2.6	60	18	LTE	5	1.9018

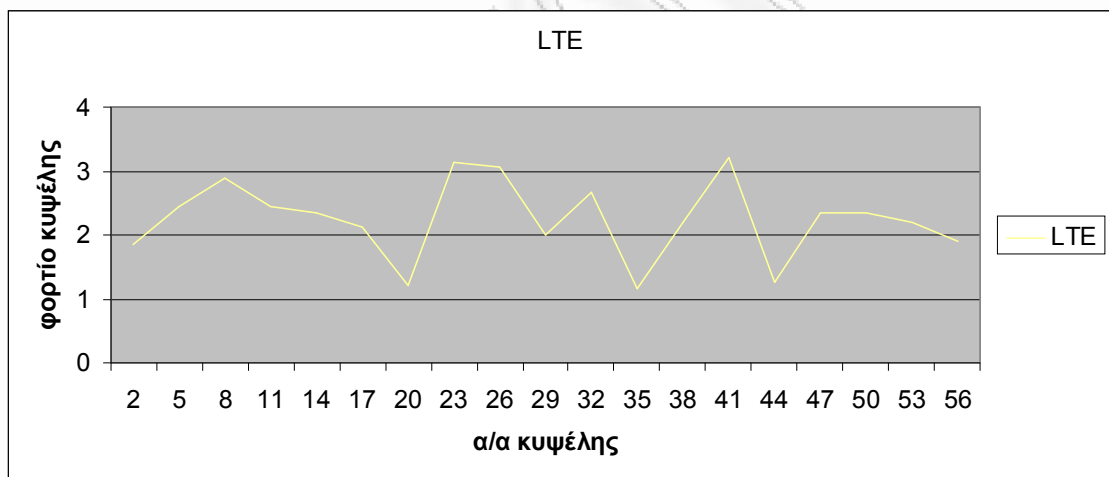
**Πίνακας 27: Περίπτωση 6.2.3.a – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών**



**Εικόνα 32α: Περίπτωση 6.2.3.a – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS**



Εικόνα 32β: Περίπτωση 6.2.3.α – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM



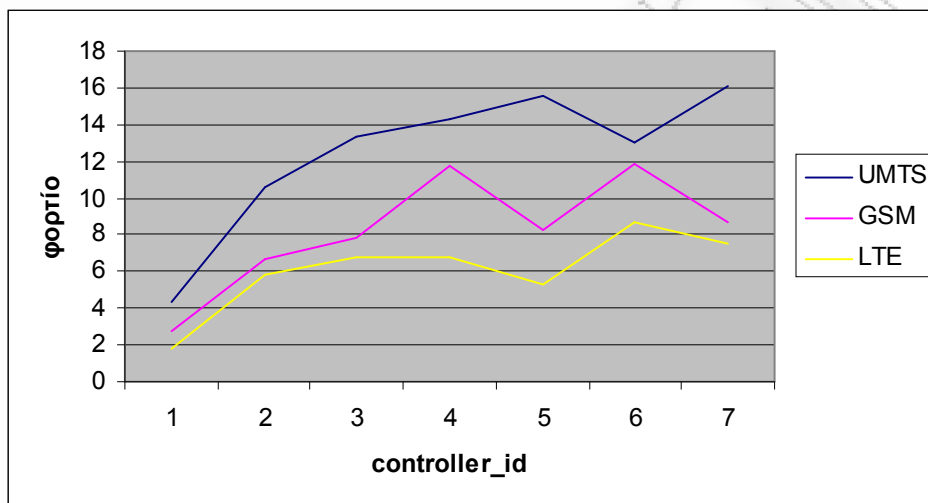
Εικόνα 32γ: Περίπτωση 6.2.3.α – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE

RAT	controller_id	φορτίο
UMTS	1	4.3043
UMTS	2	10.5389
UMTS	3	13.3893
UMTS	4	14.3066
UMTS	5	15.5352
UMTS	6	13.0542
UMTS	7	16.0988
GSM	1	2.8012
GSM	2	6.6451
GSM	3	7.8570
GSM	4	11.7808
GSM	5	8.2890



GSM	6	11.8185
GSM	7	8.6892
LTE	1	1.8510
LTE	2	5.7930
LTE	3	6.8071
LTE	4	6.8175
LTE	5	5.3128
LTE	6	8.6643
LTE	7	7.5587

**Πίνακας 28: Περίπτωση 6.2.3.a – Αποτελέσματα για τους controllers**



**Εικόνα 33: Περίπτωση 6.2.3.a – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers**

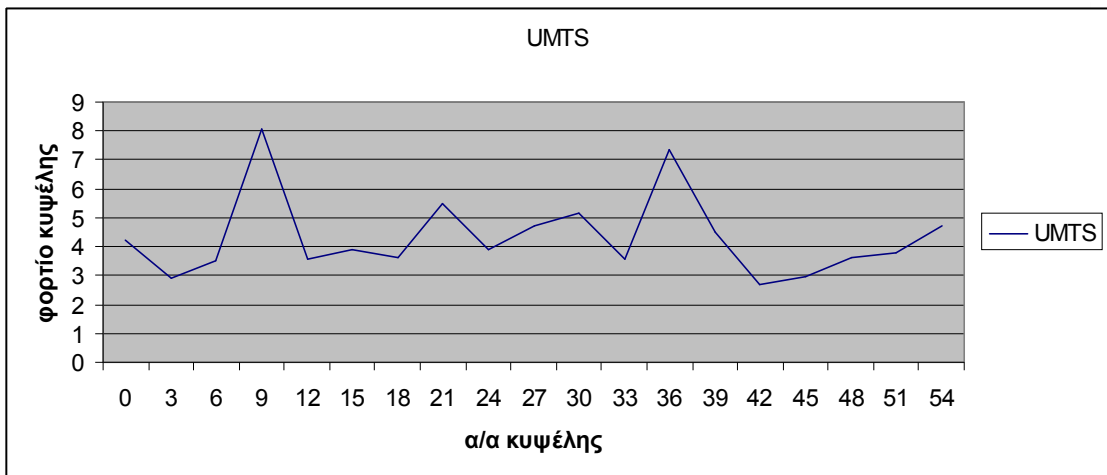
Μετά από αρκετά στιγμιότυπα, το σύστημα θα φτάσει στην ακόλουθη περίπτωση.

b) Κίνηση προς τα sites 3, 11 και 12

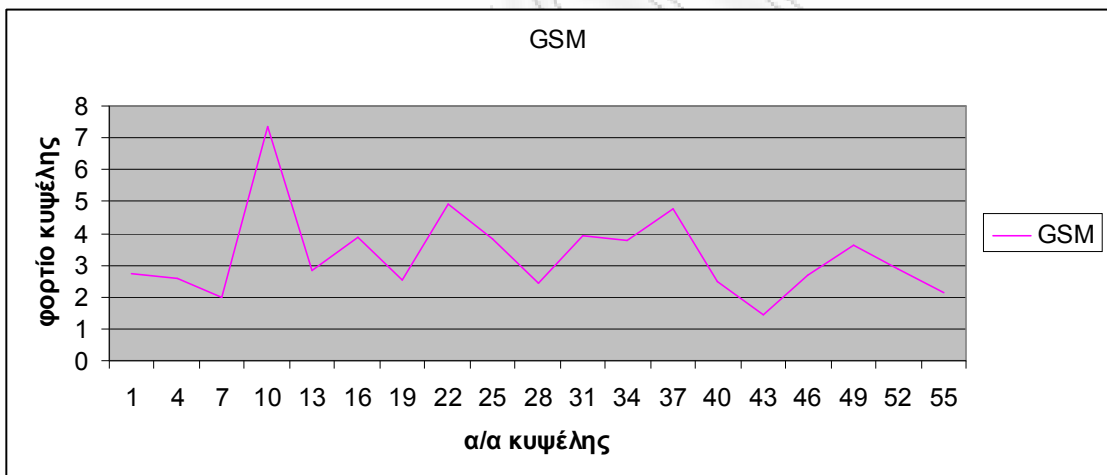
α/α κυψέλης	radius	density	site_id	RAT	controller_id	φορτίο κυψέλης
0	3.8	64	0	UMTS	1	4.2373
1	3.6	46	0	GSM	1	2.7410
2	2.5	62	0	LTE	1	1.8220
3	3.2	61	1	UMTS	6	2.8904
4	3.5	46	1	GSM	6	2.5944
5	2.8	66	1	LTE	6	2.4131
6	3.5	62	2	UMTS	7	3.4965
7	2.9	51	2	GSM	7	1.9957
8	3.2	60	2	LTE	7	2.8423
9	3.3	160	3	UMTS	2	8.0480
10	3.5	130	3	GSM	2	7.3314
11	3.1	90	3	LTE	2	4.0090
12	3.4	67	4	UMTS	3	3.5711

13	3.9	41	4	GSM	3	2.8554
14	2.9	57	4	LTE	3	2.2304
15	3.8	59	5	UMTS	4	3.9055
16	4.2	48	5	GSM	4	3.8646
17	2.8	55	5	LTE	4	2.0109
18	3.6	61	6	UMTS	5	3.6347
19	3.5	45	6	GSM	5	2.5377
20	2.2	50	6	LTE	5	1.1493
21	3.5	97	7	UMTS	6	5.4706
22	4.1	64	7	GSM	6	4.9151
23	3.4	56	7	LTE	6	2.9853
24	3.2	82	8	UMTS	6	3.8858
25	3.7	61	8	GSM	6	3.8346
26	3.3	62	8	LTE	6	3.1183
27	3.3	94	9	UMTS	7	4.7289
28	3	58	9	GSM	7	2.4241
29	2.6	60	9	LTE	7	1.9018
30	3.6	87	10	UMTS	7	5.1831
31	3.8	59	10	GSM	7	3.9055
32	3.1	58	10	LTE	7	2.5835
33	2.1	170	11	UMTS	2	3.5731
34	2.3	150	11	GSM	2	3.7543
35	2	90	11	LTE	2	1.7223
36	3.1	165	12	UMTS	2	7.3507
37	2.7	140	12	GSM	2	4.7729
38	2.8	85	12	LTE	2	3.1079
39	3.4	84	13	UMTS	3	4.4780
40	3.1	56	13	GSM	3	2.4943
41	3.4	52	13	LTE	3	2.7723
42	2.7	79	14	UMTS	3	2.6924
43	2.5	49	14	GSM	3	1.4402
44	2.1	48	14	LTE	3	1.0088
45	2.8	81	15	UMTS	4	2.9624
46	3.2	57	15	GSM	4	2.6999
47	2.9	46	15	LTE	4	1.8004
48	3.2	76	16	UMTS	4	3.6009
49	3.8	55	16	GSM	4	3.6408
50	2.9	50	16	LTE	4	1.9563
51	3.1	85	17	UMTS	5	3.7860
52	3.3	57	17	GSM	5	2.8675
53	2.8	53	17	LTE	5	1.9390
54	3.5	84	18	UMTS	5	4.7370
55	2.8	58	18	GSM	5	2.1205
56	2.6	51	18	LTE	5	1.6167

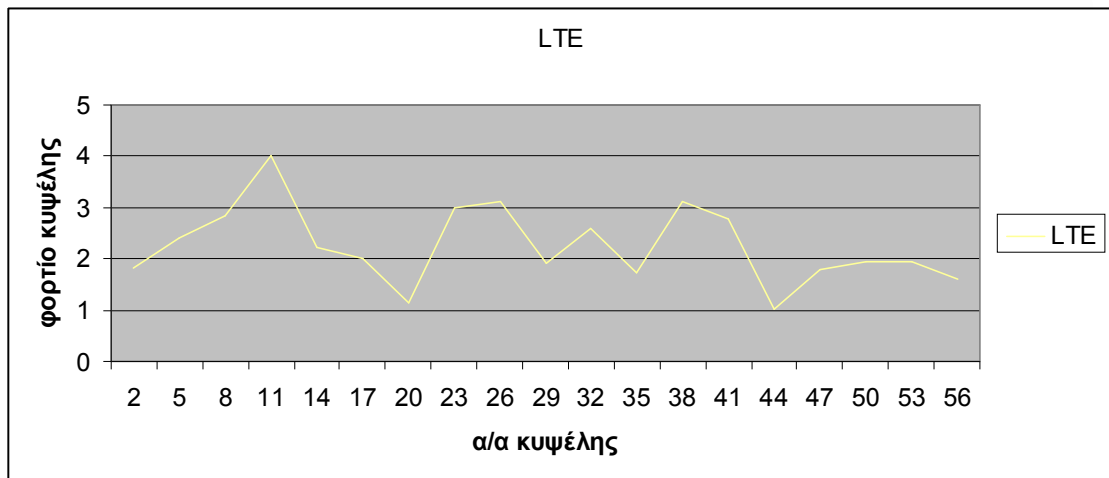
**Πίνακας 29: Περίπτωση 6.2.3.b – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών**



Εικόνα 34α: Περίπτωση 6.2.3.b – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS



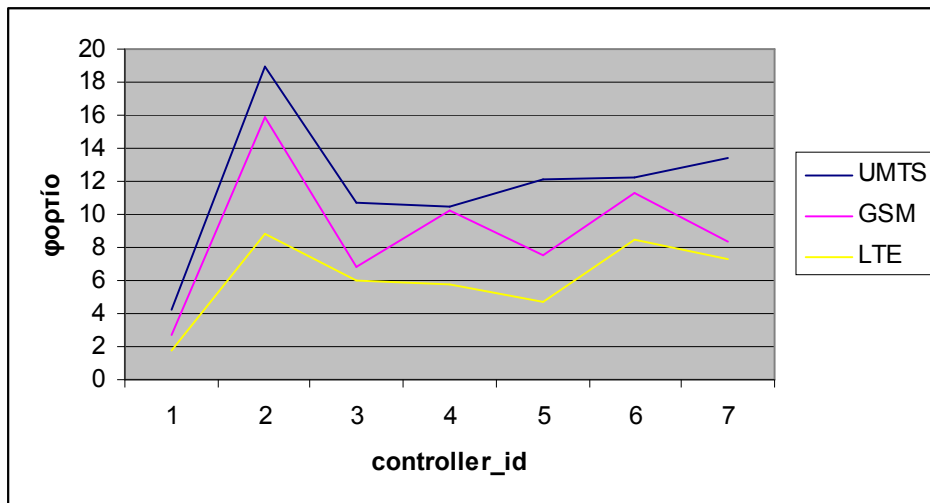
Εικόνα 34β: Περίπτωση 6.2.3.b – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM



Εικόνα 34γ: Περίπτωση 6.2.3.b – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE

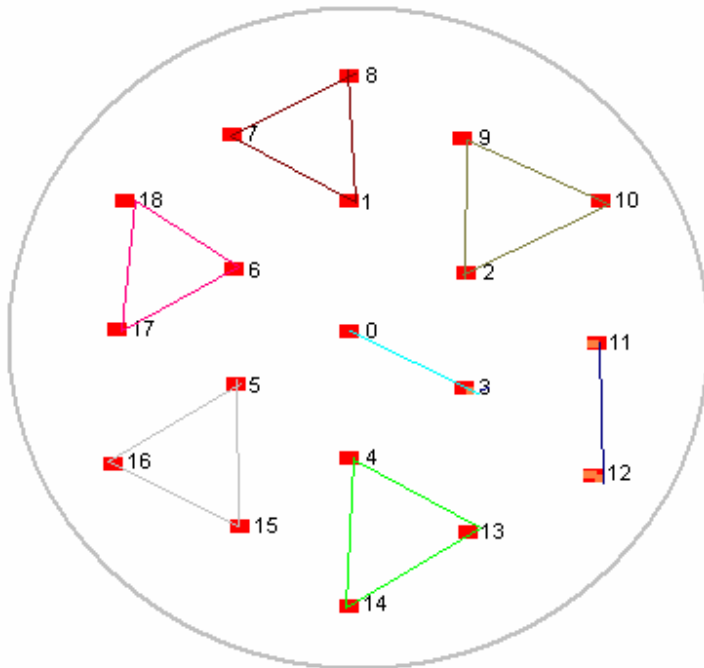
RAT	controller_id	φορτίο
UMTS	1	4.2373
UMTS	2	18.9718
UMTS	3	10.7416
UMTS	4	10.4689
UMTS	5	12.1577
UMTS	6	12.2468
UMTS	7	13.4084
GSM	1	2.7410
GSM	2	15.8586
GSM	3	6.7899
GSM	4	10.2052
GSM	5	7.5257
GSM	6	11.3441
GSM	7	8.3253
LTE	1	1.8220
LTE	2	8.8393
LTE	3	6.0115
LTE	4	5.7676
LTE	5	4.7050
LTE	6	8.5167
LTE	7	7.3276

Πίνακας 30: Περίπτωση 6.2.3.b – Αποτελέσματα για τους controllers



**Εικόνα 35: Περίπτωση 6.2.3.b – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers**

Θεωρούμε σε αυτό το σενάριο, ότι ο RNC μπορεί να εξυπηρετήσει φορτίο μέχρι 20 Erlangs και ο BSC μέχρι 17. Ο DSNPM, που παραλαμβάνει αυτό το στιγμιότυπο, κρίνει ότι το φορτίο στους controllers 2 του UMTS και του GSM έχει αυξηθεί επικίνδυνα. Θεωρεί ότι δεδομένων των συνθηκών σύντομα ο RNC 2 δε θα μπορεί να υποστηρίξει το φορτίο των κυψελών 9, 33 και 36 και ο BSC 2 δε θα μπορεί να υποστηρίξει το φορτίο των κυψελών 10, 34 και 37. Επομένως, αποφασίζεται το φορτίο από τις κυψέλες 9 και 10 να προωθείται στον controller που εξυπηρετεί το site\_id 0, θεωρώντας ότι γεωγραφικά αυτό είναι εφικτό και δεδομένου ότι οι συγκεκριμένοι controllers έχουν ακόμα περιθώριο. Επομένως, η ανάθεση των FBS σε controllers για το GSM και το UMTS είναι πλέον η εξής:



**Εικόνα 36: Νέα ανάθεση των FBS σε controllers**

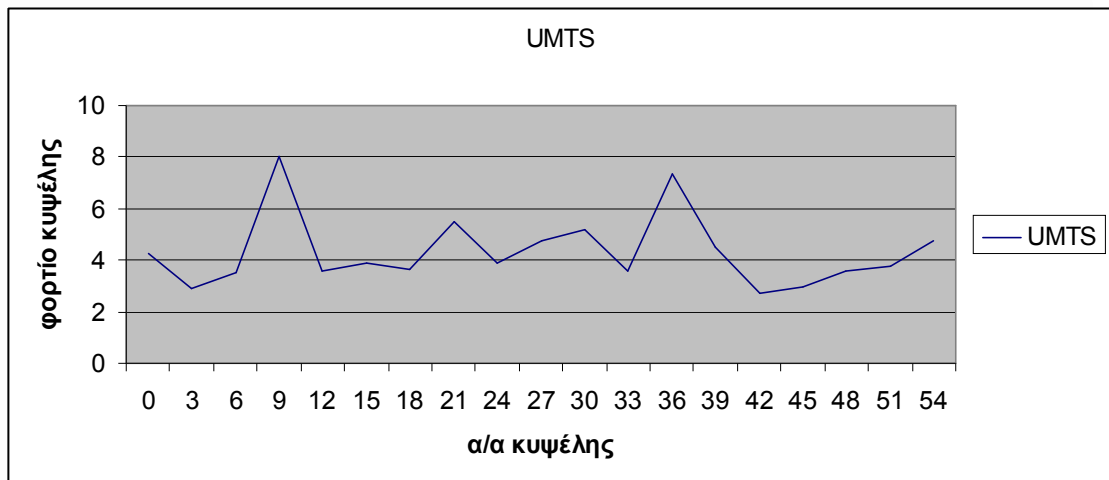
Για το LTE δε χρειάζεται να γίνει κάποια αλλαγή και παραμένει όπως στην εικόνα 31. Επομένως, υπολογίζουμε τις νέες τιμές των φορτίων:

c) εξομάλυνση του φορτίου

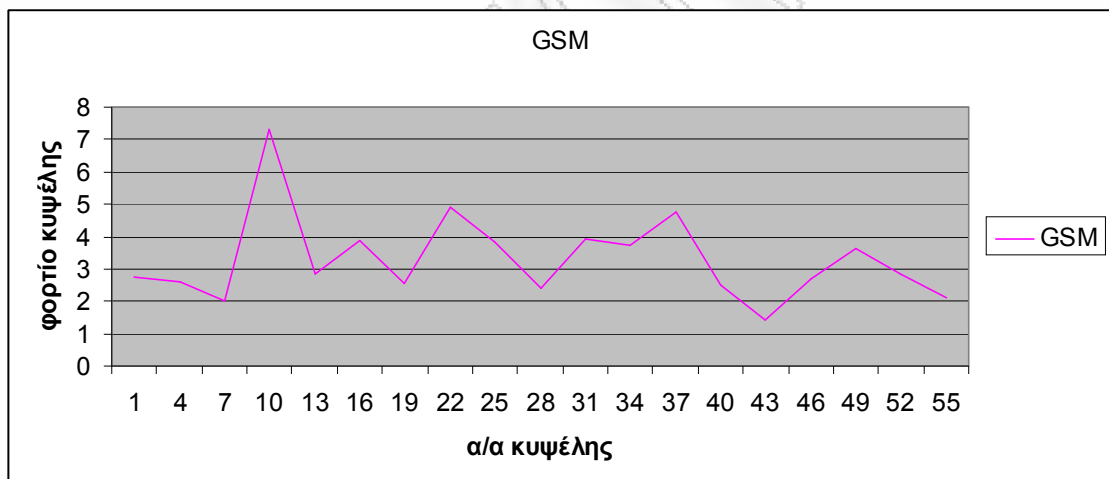
α/α κυψέλης	radius	density	site_id	RAT	controller_id	φορτίο κυψέλης
0	3.8	64	0	UMTS	1	4.2373
1	3.6	46	0	GSM	1	2.7410
2	2.5	62	0	LTE	1	1.8220
3	3.2	61	1	UMTS	6	2.8904
4	3.5	46	1	GSM	6	2.5944
5	2.8	66	1	LTE	6	2.4131
6	3.5	62	2	UMTS	7	3.4965
7	2.9	51	2	GSM	7	1.9957
8	3.2	60	2	LTE	7	2.8423
9	3.3	160	3	UMTS	1	8.0480
10	3.5	130	3	GSM	1	7.3314
11	3.1	90	3	LTE	2	4.0090
12	3.4	67	4	UMTS	3	3.5711
13	3.9	41	4	GSM	3	2.8554
14	2.9	57	4	LTE	3	2.2304
15	3.8	59	5	UMTS	4	3.9055
16	4.2	48	5	GSM	4	3.8646
17	2.8	55	5	LTE	4	2.0109

18	3.6	61	6	UMTS	5	3.6347
19	3.5	45	6	GSM	5	2.5377
20	2.2	50	6	LTE	5	1.1493
21	3.5	97	7	UMTS	6	5.4706
22	4.1	64	7	GSM	6	4.9151
23	3.4	56	7	LTE	6	2.9853
24	3.2	82	8	UMTS	6	3.8858
25	3.7	61	8	GSM	6	3.8346
26	3.3	62	8	LTE	6	3.1183
27	3.3	94	9	UMTS	7	4.7289
28	3	58	9	GSM	7	2.4241
29	2.6	60	9	LTE	7	1.9018
30	3.6	87	10	UMTS	7	5.1831
31	3.8	59	10	GSM	7	3.9055
32	3.1	58	10	LTE	7	2.5835
33	2.1	170	11	UMTS	2	3.5731
34	2.3	150	11	GSM	2	3.7543
35	2	90	11	LTE	2	1.7223
36	3.1	165	12	UMTS	2	7.3507
37	2.7	140	12	GSM	2	4.7729
38	2.8	85	12	LTE	2	3.1079
39	3.4	84	13	UMTS	3	4.4780
40	3.1	56	13	GSM	3	2.4943
41	3.4	52	13	LTE	3	2.7723
42	2.7	79	14	UMTS	3	2.6924
43	2.5	49	14	GSM	3	1.4402
44	2.1	48	14	LTE	3	1.0088
45	2.8	81	15	UMTS	4	2.9624
46	3.2	57	15	GSM	4	2.6999
47	2.9	46	15	LTE	4	1.8004
48	3.2	76	16	UMTS	4	3.6009
49	3.8	55	16	GSM	4	3.6408
50	2.9	50	16	LTE	4	1.9563
51	3.1	85	17	UMTS	5	3.7860
52	3.3	57	17	GSM	5	2.8675
53	2.8	53	17	LTE	5	1.9390
54	3.5	84	18	UMTS	5	4.7370
55	2.8	58	18	GSM	5	2.1205
56	2.6	51	18	LTE	5	1.6167

**Πίνακας 31: Περίπτωση 6.2.3.c – Δεδομένα και αποτελέσματα κυψελών**

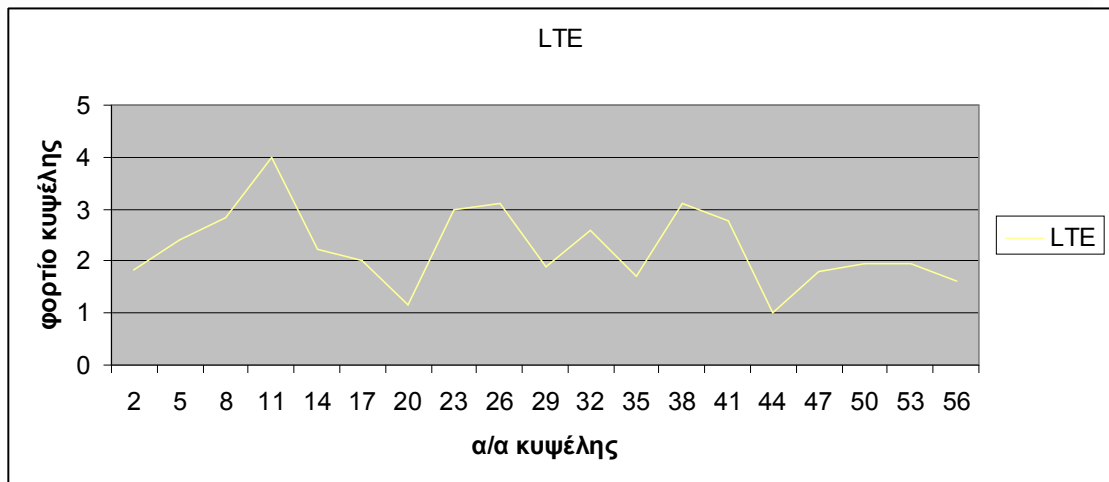


Εικόνα 37α: Περίπτωση 6.2.3.ε – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με UMTS



Εικόνα 37β: Περίπτωση 6.2.3.ε – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με GSM

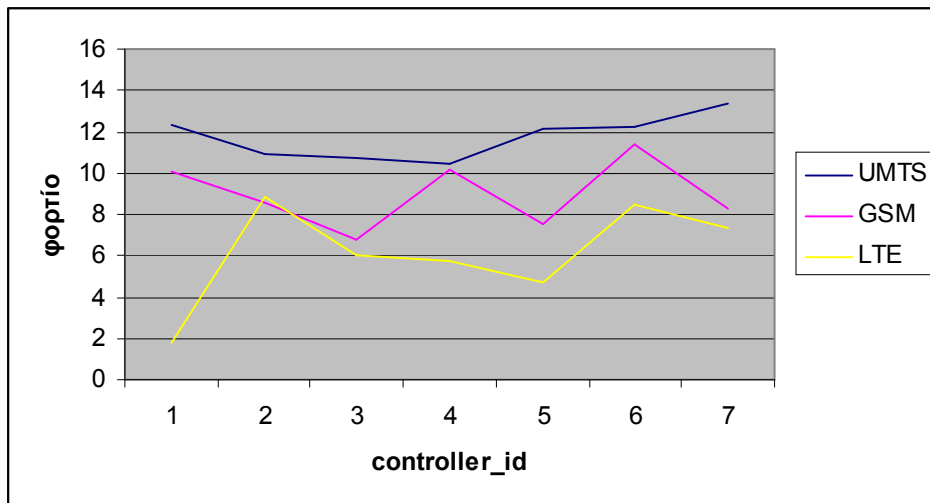




Εικόνα 37γ: Περίπτωση 6.2.3.c – Γραφική παράσταση του φορτίου των κυψελών με LTE

RAT	controller_id	φορτίο
UMTS	1	12.2853
UMTS	2	10.9238
UMTS	3	10.7416
UMTS	4	10.4689
UMTS	5	12.1577
UMTS	6	12.2468
UMTS	7	13.4084
GSM	1	10.0724
GSM	2	8.5272
GSM	3	6.7899
GSM	4	10.2052
GSM	5	7.5257
GSM	6	11.3441
GSM	7	8.3253
LTE	1	1.8220
LTE	2	8.8393
LTE	3	6.0115
LTE	4	5.7676
LTE	5	4.7050
LTE	6	8.5167
LTE	7	7.3276

Πίνακας 32: Περίπτωση 6.2.3.c – Αποτελέσματα για τους controllers



**Εικόνα 38: Περίπτωση 6.2.3.c – Συγκεντρωτική γραφική για το φορτίο στους controllers**

Συγκρίνοντας τις γραφικές των εικόνων 35 και 38, διαπιστώνουμε πόσο πολύ μειώθηκε το φορτίο των BSC 2 και RNC 2, χωρίς να προκαλέσει πρόβλημα στους αντίστοιχους controllers 1.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- L. Godard, C. Moy, J. Palicot, *“From a Configuration Management to a Cognitive Radio Management of SDR Systems”*, CrownCom'06 – First International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, CrownCom 2006
- P. Demestichas and V. Stavroulaki, D. Bosovic, A. Lee, J. Strassner, *“m@ANGEL - Autonomic Management Platform for Seamless Cognitive Connectivity to the Mobile Internet”*, IEEE Communications Magazine, June 2006
- “Long-Term Evolution (LTE)- The vision beyond 3G”, Nortel Networks, 2008
- D. Cavalcanti, N. Nandiraju, D. Nandiraju, D. P. Agrawal, A. Kumar, *“Connectivity Opportunity Selection in Heterogeneous Wireless Multi-Hop Networks”*, Pervasive and Mobile Computing 4, 2008, p.390-420
- A. Jamalipour et al, *“A Tutorial on Multiple Access Technologies for Beyond 3G Mobile Networks”*, IEEE Communications Magazine, February 2005
- G. Dimitrakopoulos, K. Tsagkaris, K. Demestichas, E. Adamopoulou, P. Demestichas, *“A Management Scheme for Distributed Cross-Layer Reconfigurations in the Context of Cognitive B3G Infrastructures”*, Computer Communications 30, 2007, p.3807-3822
- C. Fortuna, M. Mohorcic, *“Trends in the Development of Communication Networks: Cognitive Networks”*, Computer Networks, 2009
- G. Dimitrakopoulos, P. Demestichas, D. Grandblaise, K. Moessner, J. Hoffmeyer, J. Luo *“Cognitive Radio, Spectrum and Radio Resource Management”*, Wireless World Research Forum, Working Group 6 White Paper, 2004
- Dr. M. Siebert, *“Self-X Control in (future) Mobile Radio Networks”*, European – Chinese Cognitive Radio Systems (CRS) Week – CRS Workshop Beijing China 26-27.05.08
- P. Demestichas, G. Dimitrakopoulos, J. Strassner, D. Bourse, *“Introducing Reconfigurability and Cognitive Networks Concepts in the Wireless World”*, IEEE Vehicular Technology Magazine, June 2006
- “System Scenarios, Use Cases, Assessment”*, E<sup>3</sup> Deliverable D2.1, 30.06.2008
- “System Requirements and Functional Entities Specification, Modelling Languages”*, E<sup>3</sup> Deliverable D2.2, 31.12.2008

*“Architecture, Information Model and Reference Points, Assessment Framework, Platform Independent Programmable Interfaces”*, E<sup>3</sup> Deliverable D2.3, 30.09.2009

M. Daoui, A. M’zoughi, M. Lalam, M. Belkadi, R. Aoudji, *“Mobility Prediction based on an Ant System”*, Computer Communications 31, 2008, p. 3090–3097

J. Capka, R. Boutaba, *“Mobility Prediction in Wireless Networks Using Neural Networks”*, MMNS 2004, LNCS 3271, International Federation for Information Processing 2004, p. 320–333

W. Ma, Y. Fang, P. Lin, *“Mobility Management Strategy Based on User Mobility Patterns in Wireless Networks”*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 56, No. 1, January 2007, p.322-330

D. Lam, D.C. Cox, J. Widom, *“Teletraffic Modelling for Personal Communications Services”*. IEEE Commun. Mag., Vol. 35, No. 2, Feb. 1997, p. 79-87

M. Hadziali, A. Huremovi, A. Sarajli, E. Ademovi, *“An Analytical Approach for Traffic Modeling in Mixed Service Architectures”*, 50th International Symposium ELMAR-2008, 10-12 September 2008, Zadar, Croatia, p. 293-297

B. P. Tsankov, P. H. Koleva, *“ON-OFF-2ON Traffic Model for Packetized Voice over Wireless Both-Way Transmission Media”*, The Third International Conference on Digital Telecommunications, 2008, p. 157-161

P. V. Orlik, S. S. Rappaport, *“Traffic Performance and Mobility Modeling of Cellular Communications with Mixed Platforms and Highly Variable Mobilities”*, 1997 IEEE, p. 587-591

Yi-Bing Lin, *“Modeling Techniques for Large-Scale PCS Networks”*, IEEE Communications Magazine, February 1997

P.P.Demestichas, M.D.Louta, E.C.Tzifa, V.P.Demesticha, M.E.Theologou, *“Design of the ATM-based Interconnecting Network of the Access Segment of Future Cellular Systems”*, International Journal of Communication Systems 2001; 14

<http://en.wikipedia.org/>

<https://ict-e3.eu/>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

Η εργασία συνοδεύεται από CD, το οποίο περιλαμβάνει το παρόν report, το πρόγραμμα calculateLoad.java, ένα αρχείο inputs.txt για να τρέξει το πρόγραμμα και ένα φάκελο περιπτώσεις. Στο φάκελο αυτό, περιλαμβάνονται τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των περιπτώσεων που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 6.