

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.

Πτυχιακή Εργασία
Παπούλιας Αλέξανδρος Α.Μ 9367

«Σύγκριση δικτύων 3^{ης} και 4^{ης} γενιάς.
Προσομοίωση στο Opnet.»



Επιβλέπων καθηγητής: Ρίζος Γεώργιος

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κο. Ρίζο Γεώργιο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, καθώς επίσης και για την υπομονή που έκανε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής μου εργασίας. Η πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του, με βοήθησαν αποτελεσματικά στην περάτωση της πτυχιακή μου εργασίας. Θα ήθελα επίσης να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στους γονείς μου, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μου με διάφορους τρόπους, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωση μου. Τους ευχαριστώ για όλα όσα μου έχουν προσφέρει κατά τα μαθητικά και στην συνέχεια φοιτητικά μου χρόνια καθώς και για την υποστήριξή τους σε κάθε μου επιλογή. Η πτυχιακή αυτή εργασία είναι αφιερωμένη στον πολυαγαπημένο μου πατέρα.

Περίληψη

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να μελετήσει θεωρητικά τα δίκτυα 3^{ης} και 4^{ης} γενιάς, ώστε να αποτελέσει ένα εγχειρίδιο εντοπίζοντας τις βασικές αλλαγές στην αρχιτεκτονική, σύμφωνα με τους τεχνικούς των δικτύων, που χρειάζεται να συμβούν ώστε να είναι ομαλή και όσο γίνεται πιο οικονομική η μετάβαση από τα δίκτυα 3^{ης} στα δίκτυα 4^{ης} γενιάς. Αυτή η σύγκριση μας ενδιαφέρει αφού με την 4^η γενιά θεωρητικά, υποστηρίζονται υπηρεσίες με υψηλότερες ταχύτητες.

Στη συνέχεια και κάνοντας χρήση του προγράμματος *ornet*, το οποίο αποτελεί εργαλείο προσομοίωσης δικτύων, υλοποιούμε και τα δύο δίκτυα και στη συνέχεια θα γίνει σύγκριση κάποιων χαρακτηριστικών τους. Στην πράξη θα ελέγξουμε για ποιες υπηρεσίες το *Wimax* είναι ταχύτερο και για ποιες υπηρεσίες είναι πιο γρήγορο το *UMTS*. Για τις ανάγκες της πτυχιακής εργασίας θα χρησιμοποιηθεί το *ornet modeler 14.5 Academic Guru*, το οποίο είναι διαθέσιμο δωρεάν στο διαδίκτυο.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά και έννοιες των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο κάνουμε μία παρουσίαση της εξέλιξης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας και πως έχουμε φτάσει σήμερα στα δίκτυα 4^{ης} γενιάς. Συνεχίζουμε στο τρίτο κεφάλαιο με παρουσίαση των δικτύων 3^{ης} γενιάς και της *UMTS* τεχνολογίας την οποία θα δούμε και στην προσομοίωση, ενώ στο επόμενο κεφάλαιο περιγράφουμε τα δίκτυα που ονομάστηκαν 3.5^{ης} γενιάς καθώς αποτέλεσαν το μεταβατικό στάδιο για τα σύγχρονα δίκτυα 4^{ης}, τα οποία παρουσιάζονται στο πέμπτο κεφάλαιο. Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τα δίκτυα που προσομοιώθηκαν και τέλος στο 7^ο κεφάλαιο αναλύουμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη.

Περιεχόμενα	
Λίστα Εικόνων	6
Λίστα Πινάκων	7
1. Εισαγωγή	8
1.1 Βασικές Έννοιες	9
1.2 Αύξηση χωρητικότητας	10
1.3 Τεχνικές κατανομής καναλιών	12
1.4 Μεταπομπή (Handover)	13
1.5 Περιαγωγή (Roaming)	14
1.6 Τεχνική Spread Spectrum	14
2. Εξέλιξη των δικτύων κινητών επικοινωνιών	18
2.1 Πρώτη γενιά (1G) κινητής τηλεφωνίας	18
2.2 Δεύτερη γενιά (2G) κινητής τηλεφωνίας	19
2.3 Δίκτυα κινητής 2.5G	21
2.4 Τρίτη γενιά κυψελωτών δικτύων	23
2.5 Τέταρτη γενιά κυψελωτών δικτύων	25
3. Αρχιτεκτονική δικτύων 3 ^{ης} γενιάς	27
3.1 UMTS δίκτυα	27
3.1.1 GPRS : η βελτιωμένη μορφή του GSM	30
3.1.2 Wideband CDMA	31
3.1.3 Έλεγχος ισχύος	33
3.1.4 Τεχνικές εντοπισμού των κινητών σταθμών στο UMTS	36
3.1.5 Η ασφάλεια στο UMTS	36
3.2 UTRAN	37
3.2.1 Το δίκτυο πυρήνα - Core network	39
3.3 Εξέλιξη του συστήματος UMTS	41
3.4 Ποιότητα υπηρεσιών UMTS (QoS)	42
4. Μεταβατική γενιά (3.5 G)	43
4.1 HSPA : High Speed Packet Access	43
4.2 HSDPA : High Speed Downlink Packet Access	45
4.3 HSUPA : High Speed Uplink Packet Access	46
4.4 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας HSPA	47

4.5 Υπηρεσίες που παρέχει η HSPA τεχνολογία	48
4.6 HSPA +: ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	50
5. Αρχιτεκτονική δικτύων 4 ^{ης} γενιάς	52
5.1 Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων 4ης γενιάς	54
5.2 Διαχείριση Κινητικότητας - Mobility Management	56
5.3 Υπηρεσίες 4G	57
5.4 Εξελίξεις για τα 4G δίκτυα	58
5.5 Ελληνικές εταιρείες και 4G	60
6. Ornet- Προσομοίωση	63
6.1 Τι είναι το ornet;	63
6.2 WiMax	65
6.3 UMTS	72
7. Συμπεράσματα	77
Βιβλιογραφία.....	79

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1 Συστάδα κυψελών	9
Εικόνα 2 Επαναχρησιμοποίηση συχνότητας.....	10
Εικόνα 3 Τρόποι αύξησης χωρητικότητας.....	12
Εικόνα 4 Μεταπομπή κλήσης.....	14
Εικόνα 5 Τεχνική spread spectrum.....	15
Εικόνα 6 Ο Μάρτιν Κούπερ με το πρώτο κινητό τηλέφωνο της Motorola.....	19
Εικόνα 7 κινητά τηλέφωνα 2ης γενιάς.....	21
Εικόνα 8 Τα κινητά 3ης γενιάς έχουν δυνατότητες παρόμοιες με των υπολογιστών.....	25
Εικόνα 9 Εξέλιξη δικτύων κινητής	26
Εικόνα 10 Χαρακτηριστικά κάθε γενιάς.....	26
Εικόνα 11 UMTS release 99.....	29
Εικόνα 12 Αρχιτεκτονική GPRS.....	30
Εικόνα 13 Ανάθεση εύρους ζώνης στο WCDMA.....	33
Εικόνα 14 Έλεγχος ισχύος.....	35
Εικόνα 15 Δομή UTRAN	37
Εικόνα 16 UMTS έκδοση 4	41
Εικόνα 17 Θεωρητικοί ρυθμοί του HSPA	44
Εικόνα 18 Εξέλιξη HSPA.....	50
Εικόνα 19 Δίκτυα ασύρματης πρόσβασης	56
Εικόνα 20 αρχική εικόνα Ornet	64
Εικόνα 21 Επιλογή τεχνολογίας Wimax	65
Εικόνα 22 Υλοποίηση WiMAX δικτύου	66
Εικόνα 23 Καθυστέρηση στο δίκτυο	66
Εικόνα 24 Φορτίο στο δίκτυο.....	67
Εικόνα 25 ρυθμαπόδοση δικτύου.....	67
Εικόνα 26 nodeB με υπηρεσία VoIP.....	68
Εικόνα 27 Στοιχεία σταθμού βάσης προς χρήση.....	69
Εικόνα 28 nodeB με υπηρεσία VoIP.....	70
Εικόνα 29 στοιχεία σταθμού βάσης.....	71
Εικόνα 30 Υλοποίηση UMTS δικτύου.....	72
Εικόνα 31 καθυστέρηση UMTS δικτύου	73
Εικόνα 32 φορτίο στο UMTS	73
Εικόνα 33 ρυθμαπόδοση στο UMTS	74
Εικόνα 34 UE1 με υπηρεσία VoIP.....	75
Εικόνα 35 UE2 με υπηρεσία http	75

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 Βασικές παράμετροι WCDMA.....	33
Πίνακας 2 UMTS QoS	42
Πίνακας 3 3G vs 4G.....	77

1. Εισαγωγή

Από τη στιγμή που εφευρέθηκε η κινητή τηλεφωνία έχει μπει με δυναμικό τρόπο στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων και εξελίσσεται με γρήγορους ρυθμούς. Αυτούς τους ρυθμούς οι περισσότεροι χρήστες κινητών τηλεφώνων τους ακολουθούν με ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Δεν θα ήταν υπερβολή εάν λέγαμε ότι από τη στιγμή που κάποιος θα ξυπνήσει μέχρι τη στιγμή που θα κοιμηθεί ξανά θα έχει μαζί του το κινητό τηλέφωνο. Μάλιστα έχει αποδειχθεί ότι το κινητό τηλέφωνο αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία της ζωής μας, αφού πλέον και με τη χρήση των έξυπνων τηλεφώνων δεν χρησιμοποιούνται μόνο για κλήσεις και αποστολή γραπτών μηνυμάτων αλλά και ένα σωρό εφαρμογές, τόσο που κάποιες φορές μπορούν να αντικαταστήσουν και τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

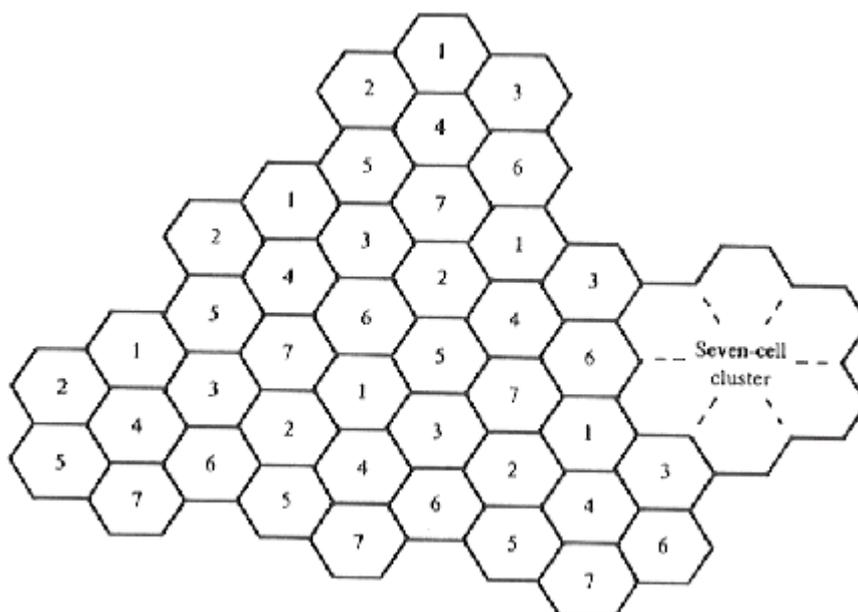
Η κινητή τηλεφωνία, τόσο από άποψη συσκευών όσο και από πλευράς παροχής υπηρεσιών, κατέχει ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό στην παγκόσμια αγορά. Η μετάβαση από τα αναλογικά στα ψηφιακά δίκτυα, έπειτα η εμφάνιση των δικτύων 3ης γενιάς και τώρα πια τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς, σηματοδοτούν μια νέα εποχή αρκετά φιλόδοξη.

Στα τρίτης γενιάς κυβελωτά δίκτυα, όπως αλλιώς ονομάζονται τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, οι κινητές επικοινωνίες ενισχύονται με υψηλές ταχύτητες μετάδοσης εικόνων και βίντεο και γενική πρόσβαση σε δημόσια ή ιδιωτικά δίκτυα πραγματοποιείται με πραγματικά γρήγορους ρυθμούς μετάδοσης. Οι πάροχοι υπηρεσιών αλλά και οι κατασκευαστές εκμεταλλεύονται προς όφελός τους αυτή τη συνεχή εξέλιξη της τρίτης γενιάς, η οποία δημιουργεί νέες ευκαιρίες. Οι απαιτήσεις του ανθρώπου από την τεχνολογία και πιο συγκεκριμένα από την κινητή τηλεφωνία δεν ικανοποιούνται παρά τη συνεχή και γρήγορη εξέλιξη των δικτύων κινητής και των εφαρμογών τους.

Αυτές οι συνεχόμενες απαιτήσεις έχουν σαν αποτέλεσμα τη συνεχή βελτίωση και την ανάπτυξη νέων συστημάτων ώστε έχουμε καταλήξει σήμερα να βρισκόμαστε στην τέταρτη γενιά κινητής τηλεφωνίας, με σκοπό αυτά τα νέα δίκτυα να είναι πιο αποδοτικά και αποτελεσματικά.

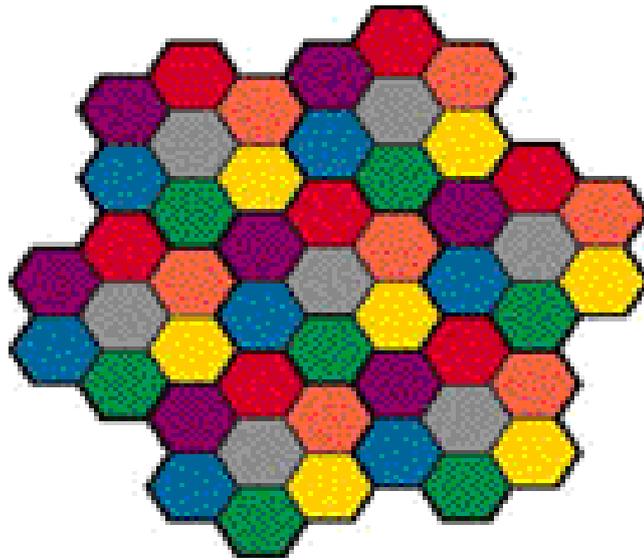
1.1 Βασικές Έννοιες

Ένα από τα πιο βασικά χαρακτηριστικά στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, είναι ο διαχωρισμός της περιοχής, που χρειάζεται να εξυπηρετήσουν οι πάροχοι, σε μικρές περιοχές που ονομάζονται κυψέλες. Από αυτό προέρχεται και η ονομασία κυψελωτά δίκτυα. Η μορφή αυτών των κυψελών, εξαρτάται κυρίως από τη μορφολογία του εδάφους, ωστόσο έχει υιοθετηθεί η αναπαράσταση μιας κυψέλης με εξάγωνο για διευκόλυνση των υπολογισμών. Οι χρήστες που βρίσκονται μέσα σε μια κυψέλη εξυπηρετούνται από ένα σταθμό βάσης (Base Station). Μια ομάδα από γειτονικές κυψέλες λέγεται συστάδα (cluster). (Θεολόγου, 2007)



Εικόνα 1 Συστάδα κυψελών

Εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό της κυψελωτής τεχνολογίας είναι ότι δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες που χρησιμοποιούν διαφορετική κυψέλη και μάλιστα βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους, να χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα. Αυτό το χαρακτηριστικό λέγεται επαναχρησιμοποίηση συχνότητας. Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2) αναπαριστάνεται αυτή η ιδιότητα. Η κάθε κυψέλη αναπαρίσταται από ένα διαφορετικό χρώμα, όπου δηλώνεται η συχνότητα της. Οι κυψέλες που έχουν ίδιο χρώμα, αλλά πρέπει να ανήκουν σε διαφορετικές συστάδες (συνδυασμός 6 γειτονικών κυψελών), χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα. Μέσα στην συστάδα καμία κυψέλη δεν χρησιμοποιεί την ίδια συχνότητα. (Θεολόγου, 2007)



Εικόνα 2 Επαναχρησιμοποίηση συχνότητας

1.2 Αύξηση χωρητικότητας

Πλέον σχεδόν όλοι χρησιμοποιούν καθημερινά τις κινητές επικοινωνίες και συχνά υπάρχουν προβλήματα, όπως να μη μπορεί να πραγματοποιηθεί μία κλήση τις ώρες αιχμής (σαν ώρα αιχμής στην θεωρία της τηλεπικοινωνιακής κίνησης ορίζονται οι ώρες που είναι ανοιχτά τα γραφεία και τα καταστήματα). Επομένως αυτά τα ζητήματα οδήγησαν τους παρόχους υπηρεσιών να βρουν τρόπους για να μπορούν να ικανοποιήσουν τη συνεχόμενη αύξηση της ζήτησης. Δηλαδή να βρουν μεθόδους ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα του κυψελωτού συστήματος με σκοπό την εξυπηρέτηση μεγαλύτερου αριθμού χρηστών. (Θεολόγου, 2007)

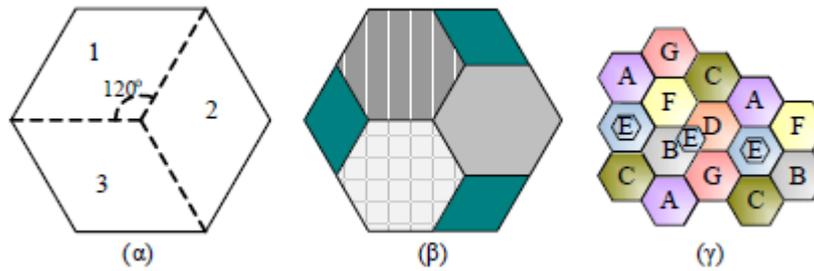
Για να επιτευχθεί αυτή η επέκταση του δικτύου υπάρχουν τέσσερις τρόποι: (Θεολόγου, 2007)

- Ο πρώτος, και όπως θεωρείται ως πιο απλός, τρόπος είναι η αγορά επιπλέον ραδιοφωνικού φάσματος, δηλαδή επιπλέον κανάλια για τους νέους συνδρομητές. Ωστόσο αυτή η λύση δεν ενδείκνυται καθώς είναι ιδιαίτερα ακριβή, αφού υπάρχει περιορισμένο φάσμα συχνοτήτων που είναι ελεύθερες προς χρήση.
- Δεύτερος τρόπος είναι η υλοποίηση αλλαγών στην αρχιτεκτονική του δικτύου. Αυτό μπορεί να συμβεί με τους εξής τρόπους: α) η τομεοποίηση των κυψελών (cell sectoring) και στη συνέχεια χρήση κατευθυντικών κεραιών, αντί των ομοιοκατευθυντικών κεραιών που χρησιμοποιούνται

συνήθως. Με τον όρο κατευθυντικές κεραίες, εννοούνται οι κεραίες οι οποίες ακτινοβολούν προς συγκεκριμένη κατεύθυνση, ενώ με τον όρο ομοιοκατευθυντικές λέμε αυτές που θεωρητικά ακτινοβολούν την ίδια ισχύ προς όλες τις κατευθύνσεις. Όπως φαίνεται στην εικόνα 3α, δημιουργούνται τρεις τομείς των 120° ο κάθε ένας, όταν γίνεται χρήση κατευθυντικών κεραιών. β) Η διαίρεση των κυψελών αποτελεί έναν άλλο τρόπο αλλαγής της αρχιτεκτονικής του δικτύου, με τον οποίο το δίκτυο υποδιαιρείται σε μικρότερα επιμέρους και απεικονίζεται στην εικόνα 3β. Μάλιστα σύμφωνα με μελέτες, αν μειωθεί η ακτίνα της κυψέλης στο μισό τότε η χωρητικότητα μπορεί να αυξηθεί μέχρι και τέσσερις φορές.

- Η τρίτη λύση είναι η χρήση διαφορετικών παραγόντων επαναχρησιμοποίησης συχνότητας. Η τεχνική αυτή ονομάζεται διαμέριση επαναχρησιμοποίησης (reuse partitioning). Σε αυτή την τεχνική μπορεί μία συχνότητα να χρησιμοποιηθεί σε μικρότερη απόσταση από αυτή που έχει ορισθεί αρχικά ως απόσταση επαναχρησιμοποίησης.
- Τέταρτη λύση δίνεται από την επικάλυψη των κυψελών (cell overlay), όπου σε αυτή την περίπτωση οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται από μία κυψέλη μπορούν να διαιρεθούν σε αυτές που χρησιμοποιούνται εσωτερικά της κυψέλης και στις υπόλοιπες που χρησιμοποιούνται στις νέες επικαλυπτόμενες κυψέλες.
- Άλλη λύση είναι η αλλαγή στην μεθοδολογία της κατανομής συχνοτήτων. Εδώ, γίνεται άνιση κατανομή των ζωνών συχνοτήτων στις διάφορες κυψέλες ανάλογα με την κίνηση που αυτές παρουσιάζουν.
- Μία τελευταία λύση που προτείνεται είναι η επέκταση των δυνατοτήτων ενός κυψελωτού δικτύου με την βελτίωση στα modems και στην τεχνολογία πρόσβασης, εφόσον η ψηφιακή τεχνολογία αυξάνει τη χωρητικότητα του δικτύου.

Με αυτές τις τεχνικές επιτυγχάνεται αλλαγή του μεγέθους και του σχήματος κάλυψης των κυψελών είτε με την πρόσθεση μικρότερων κυψελών είτε με ανάλογη διαμόρφωση των κεραιών εκπομπής των σταθμών βάσης. Γενικά προτιμώνται λύσεις που δεν έχουν να κάνουν με την αγορά επιπλέον φάσματος καθώς όπως είπαμε είναι μία αρκετά δαπανηρή λύση. (Θεολόγου, 2007)



Εικόνα 3 Τρόποι αύξησης χωρητικότητας

1.3 Τεχνικές κατανομής καναλιών

Με τον όρο δίαυλο εννοούμε ένα ευρύ ή ένα σταθερό εύρος ζώνης συχνοτήτων σε συστήματα πολλαπλής πρόσβασης (multiple access) που χρησιμοποιούν τεχνική με διαίρεση συχνότητας (FDMA), ή μια συγκεκριμένη χρονοθυρίδα σε ένα πλαίσιο (frame) σε συστήματα πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση χρόνου (TDMA), ή σε συστήματα που χρησιμοποιούν πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα (CDMA) ένα συγκεκριμένο κώδικα. (Θεολόγου, 2007)

Για να μπορούν να ικανοποιηθούν οι αιτήσεις χρηστών, θα ήταν ιδανικό να μπορεί να τους διατεθεί κανάλι μόλις το ζητήσουν, για να πραγματοποιήσουν για παράδειγμα μία κλήση. Τα κανάλια μπορούν να προσφέρονται με τρεις διαφορετικούς τρόπους: (Θεολόγου, 2007)

- Ο πρώτος είναι η στατική διάθεση καναλιών (Fixed channel allocation - FCA). Σε αυτή την τεχνική θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας τις παρεμβολές που μπορεί να εμφανιστούν από γειτονικές κυψέλες (ACI-Adjacent Channel Interference), αλλά όπως αναφέραμε προηγουμένως φροντίζουμε κανάλια με ίδια συχνότητα να βρίσκονται σε διαφορετική συστάδα. Η FCA αποτελεί τη βέλτιστη μέθοδο κατανομής καναλιών για ομοιόμορφη κίνηση σε όλες τις κυψέλες. Μια μη ομοιόμορφη FCA στρατηγική, μπορεί να είναι ακόμα πιο αποδοτική με την προϋπόθεση να διαπιστωθεί ο βαθμός εξυπηρέτησης (GOS - Grade of Service) σε πραγματικό χρόνο και να ρυθμιστεί η διάθεση των καναλιών σύμφωνα μ' αυτόν.
- Ο δεύτερος τρόπος είναι με δυναμική διάθεση καναλιών (Dynamic channel allocation - DCA), όπου συμβαίνει προσωρινός δανεισμός συχνοτήτων από κυψέλες που έχουν χαμηλή κίνηση σε κυψέλες υψηλής

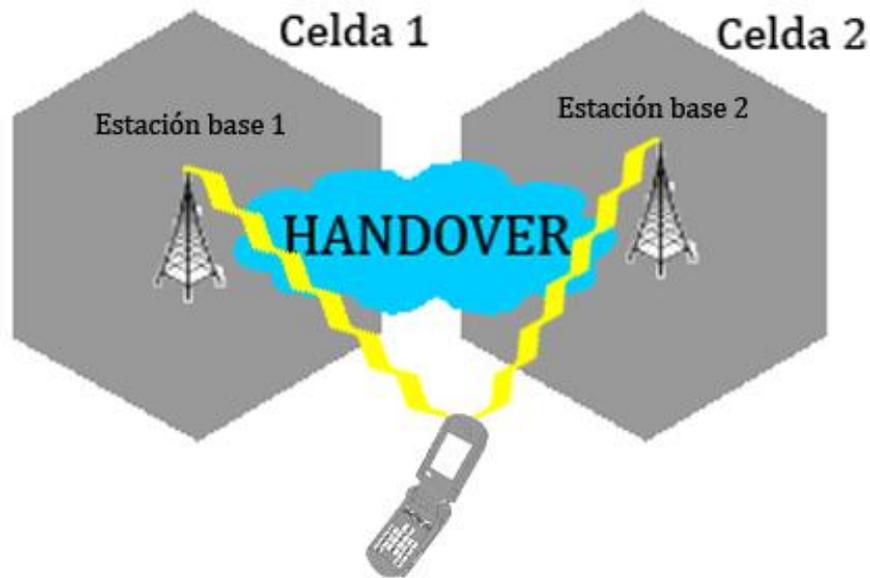
κίνησης. Με τον όρο προσωρινός δανεισμός εννοείται ότι το κανάλι επιστρέφεται στην αρχική κυψέλη όταν πάψει να χρησιμοποιείται.

- Τέλος, ο δανεισμός καναλιών (Channel borrowing) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάθεση καναλιών στους συνδρομητές. Σε αυτή τη μέθοδο όλα τα κανάλια μπαίνουν σε μια κοινή δεξαμενή, και διατίθενται στις νέες κλήσεις σύμφωνα με έναν αλγόριθμο επαναχρησιμοποίησης. Το κανάλι επιστρέφεται στην δεξαμενή μόλις τελειώσει η χρήση του.

1.4 Μεταπομπή (Handover)

Μια πολύ σημαντική παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό ενός δικτύου εταιρίας κινητών επικοινωνιών είναι αρχικά η εξασφάλιση ποιότητας της κλήσης και μετά η ποιότητα της μεταπομπής που λαμβάνει χώρα κατά μήκος του δικτύου της. Με τον όρο μεταπομπή ονομάζεται η διαδικασία μεταφοράς του ελέγχου, της εκπομπής και λήψης της μεταδιδόμενης πληροφορίας από τη δικαιοδοσία ενός σταθμού βάσης στη δικαιοδοσία ενός αλλού. Η μεταπομπή ξεκινά όταν η ισχύς του λαμβανόμενου σήματος φτάσει σε μια προκαθορισμένη τιμή πάνω από το ελάχιστο εκμεταλλεύσιμο σήμα λήψης και δίνεται προτεραιότητα στις νέες κλήσεις. (Θεολόγου, 2007)

Η διαχείριση της μεταπομπής (hand-off management) έχει να κάνει με ένα ευρύ φάσμα θεμάτων και ενεργειών, τα οποία είναι αναγκαία για να μπορεί να πραγματοποιηθεί μια εισερχόμενη κλήση, όταν ο κινητός σταθμός, δηλαδή ο χρήστης με τη συσκευή του, μετακινείται από την περιοχή κάλυψης ενός σημείου πρόσβασης στην περιοχή κάλυψης κάποιου άλλου. Ένας χρήστης για παράδειγμα, που βρίσκεται σε κλήση, ορισμένες φορές μπορεί να καταλάβει την μεταπομπή σαν μια πολύ μικρή διακοπή κατά την διάρκεια της συνομιλίας, ενώ σε περίπτωση που ο χρήστης χρησιμοποιεί υπηρεσίες δεδομένων, τότε η μεταπομπή μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα να χαθούν κάποια πακέτα δεδομένων. Κάτι τέτοιο μπορεί να δημιουργήσει συμφόρηση στο δίκτυο και επομένως υποβάθμιση της απόδοσης του δικτύου. Για να αποφευχθούν τέτοιες δυσάρεστες περιπτώσεις, πρέπει να περιοριστούν και να κατασταλούν φαινόμενα σαν την μεταπομπή και για να πραγματοποιηθεί αυτό θα πρέπει να εκτελείται όσο το δυνατόν πιο σπάνια. Όπως είναι αναμενόμενο έχουν αναπτυχθεί διάφοροι μηχανισμοί ελέγχου των επιπέδων συμφόρησης του δικτύου. (Θεολόγου, 2007)



Εικόνα 4 Μεταπομπή κλήσης

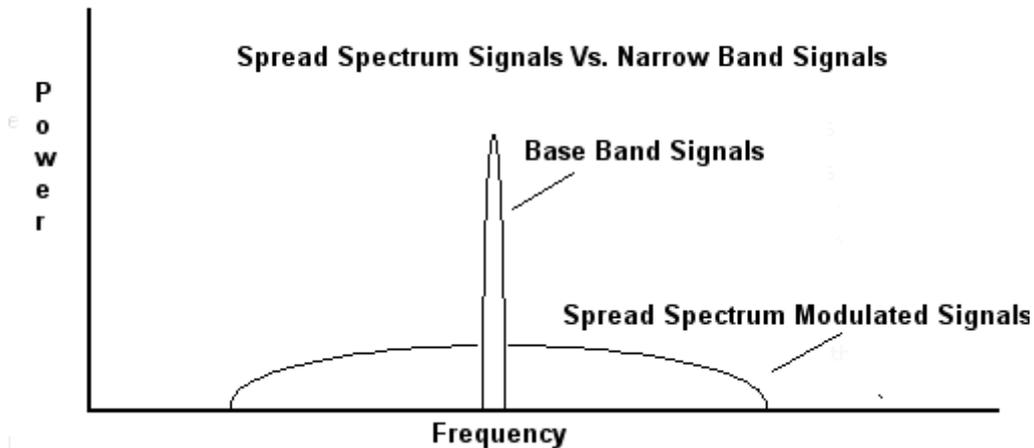
1.5 Περιαγωγή (Roaming)

Τα θέματα περιαγωγής και συμβατότητας στο δίκτυο προκύπτουν όταν κάποιος χρήστης ταξιδέψει στο εξωτερικό και θέλει να συνεχίσει να χρησιμοποιεί το κινητό του. Επίσης μπορεί να συμβεί όταν ο κινούμενος χρήστης μετακινείται μεταξύ κυψελωτών συστημάτων του ίδιου παρόχου (π.χ. από GPRS σε UMTS δίκτυο). Αυτή η διαδικασία είναι περισσότερο πολύπλοκη και χρονοβόρα, σε σχέση με αυτήν της μεταπομπής, σε οτιδήποτε έχει να κάνει με την πρόσβαση στο δίκτυο και στην κατανάλωση περισσότερου χρόνου για να περιλάβει και να προσαρμόσει τις αλλαγές στα διαφορετικά χαρακτηριστικά του δικτύου. (Θεολόγου, 2007)

1.6 Τεχνική Spread Spectrum

Τα κυψελωτά συστήματα απλωμένου φάσματος έχουν τη δυνατότητα να εξυπηρετούν μεγάλο αριθμό χρηστών σε συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων. Αυτή η τεχνική του απλωμένου φάσματος (spread spectrum), μπορεί να παράγει πολλούς κώδικες σε μία μεγάλη ζώνη συχνοτήτων και τα κανάλια πληροφορίας διακρίνονται μεταξύ τους, λόγω του διαφορετικού κώδικα που χρησιμοποιείται σε κάθε κανάλι. Οι

τεχνικές απλωμένου φάσματος προϋποθέτουν τη μετάδοση ενός σήματος σε περιοχή συχνοτήτων σημαντικά μεγαλύτερη από το εύρος ζώνης του σήματος πληροφορίας, ώστε να επιτευχθούν συγκεκριμένα λειτουργικά πλεονεκτήματα. (Θεολόγου, 2007)



Εικόνα 5 Τεχνική spread spectrum

Το σήμα απλωμένου φάσματος επιλέγεται έτσι να μπορεί να γίνεται όσο το δυνατόν ευκολότερα η αποδιαμόρφωσή του από τον κατάλληλο δέκτη και να αντίστοιχα να καθιστούν όσο το δυνατόν δυσκολότερη την αποδιαμόρφωσή του από μη αποδεκτό δέκτη. Αυτές οι ιδιότητες είναι υπεύθυνες και για την διάκριση του επιθυμητού σήματος από την παρεμβολή. Αν το εύρος ζώνης του απλωμένου φάσματος είναι μεγάλο συγκριτικά με εκείνο του σήματος δεδομένων, τότε το απλωμένο σήμα επικρατεί σε όλο το εύρος ζώνης απλωμένου φάσματος και είναι ανεξάρτητο από το αρχικό σήμα δεδομένων. (Θεολόγου, 2007)

Αυτές οι τεχνικές απλωμένου φάσματος βρήκαν αρχικά εφαρμογή σε στρατιωτικές επιχειρήσεις και στη συνέχεια υιοθετήθηκαν και για εμπορικές εφαρμογές. Λόγω της κωδικοποίησης και του μεγάλου φάσματος που προκύπτει, τα σήματα απλωμένου φάσματος έχουν μερικές ιδιότητες διαφορετικές από εκείνες των σημάτων στενής ζώνης: (Θεολόγου, 2007)

- Δυνατότητα πολλαπλής πρόσβασης: Αυτό σημαίνει ότι όταν πολλοί χρήστες μεταδίδουν ταυτόχρονα σήματα απλωμένου φάσματος, ο δέκτης μπορεί να διακρίνει τους χρήστες με την προϋπόθεση ότι κάθε χρήστης χρησιμοποιεί έναν μοναδικό κώδικα ο οποίος όμως έχει πολύ μικρή συσχέτιση με τους κώδικες των άλλων χρηστών. Η συσχέτιση του

λαμβανόμενου σήματος με την ακολουθία κώδικα ενός χρήστη επανασυμπιέζει μόνο το σήμα του υπόψη χρήστη, ενώ τα υπόλοιπα σήματα του απλωμένου φάσματος παραμένουν απλωμένα στο μεγάλο εύρος ζώνης. Συνεπώς στο εύρος ζώνης του σήματος πληροφορίας, η ισχύς του επιθυμητού σήματος θα είναι μεγαλύτερη από την ισχύ παρεμβολής και το επιθυμητό σήμα μπορεί να εξαχθεί, με την προϋπόθεση βέβαια ότι δεν υπάρχουν πολλοί χρήστες που παρεμβάλλουν.

- Προστασία από παρεμβολές λόγω πολλαπλών διαδρομών: η διαμόρφωση απλωμένου φάσματος μπορεί να περιορίζει την παρεμβολή λόγω πολλαπλών διαδρομών. Ωστόσο ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτό εξαρτάται από τον τύπο της διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται. Στα συστήματα απλωμένου φάσματος, οι ρυθμοί μετάδοσης στους διαύλους είναι πολύ υψηλοί και κατά συνέπεια η διάρκεια των συμβόλων είναι πολύ μικρή και συνήθως πολύ μικρότερη από την εξάπλωση καθυστέρησης του διαύλου. Επειδή οι ψευδοτυχαίες ακολουθίες έχουν μικρή συσχέτιση, μία εκδοχή του επιθυμητού σήματος που προέρχεται από πολλαπλή διαδρομή και καθυστερεί περισσότερο από ένα σύμβολο, εμφανίζεται σαν θόρυβος.
- Προστασία πληροφορίας: Το μεταδιδόμενο σήμα μπορεί να επανασυμπιεστεί και να ληφθεί μόνο αν είναι γνωστός ο κώδικας στον δέκτη.
- Απόρριψη παρεμβολών: Η συσχέτιση της ακολουθίας κώδικα με ένα σήμα στενής ζώνης απλώνει την ισχύ του σήματος στενής ζώνης και συνεπώς, μειώνει την ισχύ παρεμβολής στο εύρος ζώνης του σήματος πληροφορίας. Στον δέκτη το σήμα απλωμένου φάσματος επανασυμπιέζεται, ενώ το σήμα παρεμβολής απλώνεται και εκλαμβάνεται ως βασικός θόρυβος σε σχέση με το σήμα που επανασυμπιέστηκε.
- Προστασία έναντι κακόβουλων παρεμβολών: Η ιδιότητα αυτή είναι ίδια με εκείνη του περιορισμού της παρεμβολής, με τη μόνη διαφορά ότι ο παρεμβολέας επιτίθεται τώρα συνειδητά στο σύστημα.

- Μικρή πιθανότητα υποκλοπών: Λόγω της μικρής πυκνότητας ισχύος τα σήματα απλωμένου φάσματος είναι δύσκολο να αποδιαμορφωθούν και να ληφθούν από έναν ανεπιθύμητο παρεμβολέα.

2. Εξέλιξη των δικτύων κινητών επικοινωνιών

Ανάλογα τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στις ραδιοζεύξεις μεταξύ των σταθμών βάσης και των κινούμενων χρηστών και ανάλογα την μεταφορά των δεδομένων, ορίζονται τρεις γενιές κινητών κυψελωτών δικτύων. Σε αυτό το κεφάλαιο θα κάνουμε μία σύντομη αλλά περιεκτική αναφορά στην ιστορία των κυψελωτών δικτύων έτσι ώστε να γίνει ως ένα βαθμό κατανοητή η εξέλιξη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας και να καταλήξουμε στις τεχνολογίες που πλέον χρησιμοποιούνται.

Στις πρώτες ενότητες θα αναφερθούμε στα συστήματα της πρώτης και δεύτερης γενιάς, και στη συνέχεια τα βήματα που μεσολάβησαν ώστε να έχουμε την τρίτη γενιά κινητής τηλεφωνίας στην οποία υποστηρίζονται υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης και υψηλή ποιότητα υπηρεσιών. Προχωρώντας προς τη νέα γενιά δικτύων, τα 4G, η βασική ιδέα είναι τα all-IP δίκτυα, δηλαδή οποτεδήποτε και οπουδήποτε βρίσκεται ένας κινητός χρήστης να έχει κάλυψη από οποιοδήποτε IP δίκτυο, είτε πρόκειται για κυψελωτό, είτε για WLAN, είτε δορυφορικό. Όπως είναι λογικό γίνονται συνεχώς προσπάθειες βελτίωσης των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών των δικτύων για σύγκλιση τους προς τα all-IP δίκτυα και την διασφάλιση της κινητικότητας του χρήστη.

2.1 Πρώτη γενιά (1G) κινητής τηλεφωνίας

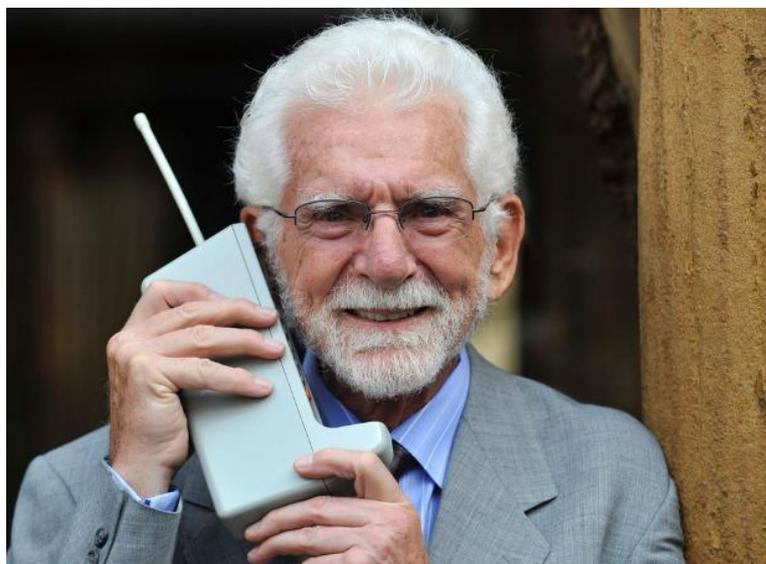
Στη δεκαετία του 1980 έκαναν την εμφάνισή τους τα δίκτυα της πρώτης γενιάς τα οποία ήταν αναλογικά. Ωστόσο δεν αποτέλεσαν την αρχή των κινητών επικοινωνιών, αφού προϋπήρχαν δίκτυα κινητών επικοινωνιών, με τη διαφορά ότι δεν ήταν κυψελωτά. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνταν από τα δίκτυα της πρώτης γενιάς ήταν αναλογικής μετάδοσης και αφορούσε αποκλειστικά κίνηση φωνής και όσον αφορά την υποστήριξη της κινητικότητας των χρηστών, αυτή ήταν υποτυπώδης και προβληματική. Αυτή η πρώτη γενιά κινητής τηλεφωνίας, χρησιμοποίησε ως τεχνική πολυπλεξίας την πολλαπλή προσπέλαση με διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Multiply Access - FDMA). (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

Σε αυτή την γενιά δεν επικράτησε κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο, υπήρξαν διάφορα ανταγωνιστικά συστήματα. Τα κυριότερα και πιο πετυχημένα συστήματα που αναπτύχθηκαν ήταν: (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

- TACS (Total Access Communication System)
- NMT (Nordic Mobile Telephone)
- AMPS (Advanced Mobile Phone Service)

Το TACS αναπτύχθηκε στην Μεγάλη Βρετανία και αργότερα υιοθετήθηκε και από άλλες χώρες της κεντρικής, ανατολικής και νότιας Ευρώπης. Το σύστημα NMT αρχικά χρησιμοποιήθηκε στην Σκανδιναβία και έπειτα υιοθετήθηκε από κάποιες χώρες της κεντρικής και νότιας Ευρώπης. Βασίζεται στο σύστημα AMPS, αλλά χρησιμοποιεί την μπάντα των 900 MHz. Το σύστημα AMPS αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ και χρησιμοποιεί την μπάντα των 800 MHz. Εκτός από τη Βόρεια Αμερική, το AMPS χρησιμοποιήθηκε και από χώρες της Νότιας Αμερικής, της Μέσης Ανατολής καθώς και στη Νέα Ζηλανδία και την Αυστραλία. Το NTT's MCS ήταν το πρώτο εμπορικό κυβελωτό δίκτυο στην Ιαπωνία. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

Η Ελλάδα είναι η μόνη χώρα της Δυτικής Ευρώπης, η οποία δεν υιοθέτησε κανένα σύστημα αναλογικών κινητών δικτύων.



Εικόνα 6 Ο Μάρτιν Κούπερ με το πρώτο κινητό τηλέφωνο της Motorola

2.2 Δεύτερη γενιά (2G) κινητής τηλεφωνίας

Στη δεύτερη γενιά κυψελωτών συστημάτων, κινητής τηλεφωνίας, χρησιμοποιείται ψηφιακή μετάδοση, σε αντίθεση με ότι συμβαίνει με την πρώτη γενιά. Η πρώτη ιδέα ήταν να εξυπηρετεί τη μεταφορά κλήσεων και να λειτουργεί σαν σύστημα μεταγωγής κυκλωμάτων (circuit switched system) και στη συνέχεια το σύστημα βελτιστοποιήθηκε για κίνηση φωνής. Όπως είναι λογικό αυτή η γενιά δικτύων παρουσιάζει μεγαλύτερη χωρητικότητα και σαφώς περισσότερες δυνατότητες σε σχέση με τα δίκτυα της πρώτης γενιάς. Για την εξυπηρέτηση μεγάλου αριθμού χρηστών διαιρείται το κανάλι των συχνοτήτων και επομένως υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί από πολλούς διαφορετικούς χρήστες, είτε με διαίρεση χρόνου, είτε με διαίρεση κώδικα. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

Επίσης η περιοχή κάλυψης διαιρείται σε μακροκύτταρα (macrocells), μικροκύτταρα (microcells) και πικοκύτταρα (picocells), με σκοπό την περαιτέρω αύξηση των δυνατοτήτων των δικτύων, χρησιμοποιώντας ιεραρχικές δομές κυψελών. Υπάρχουν τέσσερα κύρια πρότυπα για τα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς: (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

- Global System for Mobile (GSM) communications και τα παράγωγα του
- Digital AMPS (D-AMPS)
- Code Division Multiple Access (CDMA) IS-95
- Personal Digital Cellular (PDC)

Το GSM είναι με σημαντική διαφορά το πιο πετυχημένο και διαδεδομένο σύστημα δεύτερης γενιάς. Ξεκίνησε ως Ευρωπαϊκό πρότυπο από την ευρωπαϊκή επιτροπή CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations), αλλά γρήγορα υιοθετήθηκε παγκοσμίως, με εξαίρεση την Αμερική όπου δεν γνώρισε ιδιαίτερη άνθηση. Στη Βόρεια Αμερική υιοθετήθηκε το Personal Communication System-1900 (PCS-1900, παράγωγο του GSM, ονομάζεται και GSM-1900) ενώ στην Νότια Αμερική το GSM είχε ευρεία διάδοση. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

Ωστόσο το 2001 η βορειοαμερικανική κοινότητα για την Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση χρόνου (Time Division Multiple Access - TDMA) αποφάσισε να υιοθετήσει το σύστημα Wideband CDMA (WCDMA) το οποίο ορίστηκε από το Third Generation Partnership Project (3GPP). Συνεπώς για να μπορέσουν να προετοιμαστούν για το WCDMA πολλές αμερικάνικες εταιρίες που χρησιμοποιούσαν

το D-AMPS υιοθέτησαν το σύστημα GSM/GPRS. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

Στο βασικό σύστημα GSM χρησιμοποιείται η ζώνη συχνοτήτων των 900 MHz. Όμως υπάρχουν και αρκετά παράγωγα τα οποία χρησιμοποιούν τις ζώνες των 1800 ή 1900 MHz. Ο κυριότερος λόγος που συνέβη αυτό ήταν η έλλειψη χωρητικότητας στη ζώνη των 900 MHz, ενώ οι ζώνες των 1800 ή 1900 MHz μπορούν να εξυπηρετήσουν αρκετά μεγαλύτερο αριθμό χρηστών, ιδιαίτερα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, με μειονέκτημα ότι η περιοχή κάλυψης μειώνεται συγκριτικά με τα συστήματα των 900 MHz. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)



Εικόνα 7 κινητά τηλέφωνα 2ης γενιάς

Το ίδρυμα European Telecommunications Standards Institute (ETSI) ανέπτυξε τα πρότυπα GSM-400 και GSM-800, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν συμπληρωματικά επί των δικτύων GSM με υψηλότερες συχνότητες. Παρόλο που το σύστημα αυτό ήταν αρκετά αποδοτικό σε αραιοκατοικημένες περιοχές, το πρότυπο GSM-400 δε χρησιμοποιείται πλέον. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

Μέχρι και το 2005 η τεχνολογία GSM κατείχε το 70% της παγκόσμιας αγοράς στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας 2ης γενιάς. Στην Ελλάδα το 1992 δόθηκαν άδειες για δίκτυα GSM στις εταιρίες Panafon και STET Hellas. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

2.3 Δίκτυα κινητής 2.5G

Ο όρος «γενιά 2,5» αναφέρεται συνολικά σε όλες τις αναβαθμίσεις που έγιναν στα κινητά δίκτυα της δεύτερης γενιάς. Πολλές από αυτές τις αναβαθμίσεις προσφέρουν στους χρήστες σχεδόν τις ίδιες δυνατότητες με αυτές των κινητών δικτύων της τρίτης γενιάς. Παρόλο που η διαχωριστική γραμμή μεταξύ των κινητών δικτύων δεύτερης και 2,5 γενιάς είναι λεπτή, υπάρχουν ορισμένες τεχνολογίες οι οποίες χαρακτηρίζουν τη γενιά ως ενδιάμεση (2,5): (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

- High- Speed Circuit-Switched Data (HSCSD)
- General Packet Radio Services (GPRS)
- Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE)

Στην αρχή το GSM προσέφερε οι χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης οι οποίοι συγκεκριμένα περιορίζονταν στα 9,6 Kbps, κάτι το οποίο αποτελούσε σημαντικό μειονέκτημα. Στη συνέχεια τέθηκαν οι προδιαγραφές για τα 14,4 Kbps τα οποία ωστόσο δε χρησιμοποιήθηκαν ευρέως. Η λύση που προτάθηκε ήταν η τεχνολογία HSCSD. Με αυτή την τεχνολογία ένας χρήστης έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί περισσότερες χρονοσχισμές (time-slots) αντί για μία, με σκοπό την επιτυχή ολοκλήρωση μίας σύνδεσης μεταφοράς δεδομένων. Η υλοποίηση της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι σχετικά απλή και φθηνή και για να υλοποιηθεί απαιτεί πρόσθετο λογισμικό στα κέντρα, καθώς και καινούριες φορητές συσκευές που θα υποστηρίζουν την τεχνολογία HSCSD. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

Το βασικότερο μειονέκτημα ήταν η χρήση μεταγωγής κυκλώματος. Αυτός ο τρόπος μεταγωγής είχε σπαταλούσε πόρους του δικτύου, αφού οι χρονοσχισμές δεσμεύονταν ακόμα και όταν δεν χρησιμοποιούνταν. Αυτό το χαρακτηριστικό είχε σαν αποτέλεσμα η τεχνολογία HSCSD να αποτελεί καλύτερη επιλογή για εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real time), όπου επιτρέπονται μόνο πολύ μικρές καθυστερήσεις. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

Η επόμενη λύση που προτάθηκε ήταν η τεχνολογία GPRS. Με αυτήν την τεχνολογία είναι δυνατόν να επιτευχθούν ρυθμοί μετάδοσης των 115 Kbps ή και ακόμα μεγαλύτεροι στην κάτω ζεύξη (downlink - δηλαδή στη μετάδοση από τον σταθμό βάσης προς το τερματικό), αν αγνοηθεί η διαδικασία διόρθωσης σφαλμάτων. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι ότι η τεχνολογία GPRS χρησιμοποιεί τεχνολογία μεταγωγής πακέτου, δηλαδή επιτρέπει την κίνηση με την μορφή πακέτων (συνήθως

IPv4 ή IPv6 πακέτα). Αυτό σημαίνει ότι δεσμεύονται πόροι του δικτύου μόνο όταν υπάρχει ανάγκη να αποσταλούν δεδομένα. Ουσιαστικά αυτό που συνέβη ήταν να προστεθεί δίκτυο μεταγωγής πακέτων στο ήδη υπάρχον δίκτυο μεταγωγής κυκλωμάτων του GSM. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

Η υλοποίηση του GPRS κοστίζει περισσότερο σε σύγκριση με αυτή του HSCSD. Παρόλα αυτά η τεχνολογία GPRS προσφέρει περισσότερες δυνατότητες για την αποστολή δεδομένων μέσω των κινητών δικτύων. Είναι σίγουρο πλέον πως η αύξηση της κίνησης δεδομένων στα κινητά δίκτυα, καθιστά την GPRS τεχνολογία αναπόσπαστο στοιχείο ενός συστήματος κινητής τηλεφωνίας. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

Τέλος, η τρίτη και τελευταία βελτίωση του GSM προκειμένου να εξελιχθεί σε ένα δίκτυο γενιάς 2,5 είναι η τεχνολογία EDGE. Αυτή στηρίζεται σε μία τεχνική διαμόρφωσης που ονομάζεται Eight-Phase Shift Keying (8PSK). Αυτή η τεχνική επηρεάζει μόνο το λογισμικό των σταθμών βάσης, ενώ μπορεί να παρέχει έως και τριπλάσιο ρυθμό μετάδοσης από το βασικό ρυθμό μετάδοσης του GSM. Επίσης, δεν αντικαθιστά, αλλά μπορεί να συνυπάρξει με την τεχνική διαμόρφωσης Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK), η οποία χρησιμοποιείται στη βασική μορφή του GSM. Ο συνδυασμός του EDGE με το GPRS λέγεται EGPRS (enhanced GPRS) και με αυτόν επιτυγχάνονται ρυθμοί μετάδοσης έως και 384 Kbps. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

2.4 Τρίτη γενιά κυψελωτών δικτύων

Μέσα στη δεκαετία του 1990 οι κινητές τηλεπικοινωνίες γνώρισαν πολύ μεγάλη και γρήγορη εξέλιξη. Το Δεκέμβρη του 2002 υπήρχαν παγκοσμίως 780 εκατομμύρια συνδρομητές σε δίκτυα GSM, οι οποίοι συνιστούσαν το 71% του συνολικού αριθμού των χρηστών κινητής τηλεφωνίας. Το πρώτο εμπορικό δίκτυο GSM λειτούργησε στη Φινλανδία το 1991. Την ίδια χρονιά, το ίδρυμα ETSI ξεκινούσε την προτυποποίηση της επόμενης γενιάς δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών. Το σύστημα που προέκυψε ονομάστηκε Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

Ωστόσο υπήρξαν πολλοί οργανισμοί και ερευνητικά ιδρύματα, σε παγκόσμιο επίπεδο, που προσπάθησαν να αναπτύξουν συστήματα τρίτης γενιάς. Κυρίαρχο πρότυπο στα 3G δίκτυα θεωρείται το UMTS και έπεται το πρότυπο US CDMA2000.

Στην Ιαπωνία, που όσον αφορά την την 3G τεχνολογία θεωρείται ότι είναι πιο εξελιγμένη, η μετάβαση από τα 2G στα 3G δίκτυα ολοκληρώθηκε το 2006 και χρησιμοποιούνταν δύο συστήματα, το W-CDMA, το οποίο είναι συμβατό με το σύστημα UMTS, και το CDMA2000. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

Ο βασικός στόχος που πρέπει να επιτύχουν τα κινητά δίκτυα της τρίτης γενιάς είναι να μπορούν να προσφέρουν τις κινητές υπηρεσίες, σε οποιοδήποτε σημείο και οποιαδήποτε στιγμή. Αυτό σημαίνει ότι ένας χρήστης κινητών δικτύων τρίτης γενιάς έχει τη δυνατότητα να μετακινείται όμως να συνεχίζει να εξυπηρετείται ακόμα και σε περιοχές όπου δεν υπάρχει κάλυψη από συστήματα τρίτης γενιάς, αλλά υπάρχουν άλλου είδους ασύρματα δίκτυα. Πιο συγκεκριμένα αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης θα μπορεί να εξυπηρετείται από άλλα είδη ασύρματων συστημάτων, από άλλα κυψελωτά κινητά δίκτυα καθώς και από δορυφορικά δίκτυα. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

Επιπλέον, οι παρεχόμενες υπηρεσίες επεκτείνονται σε υπηρεσίες διαδικτύου και σε υπηρεσίες πολυμέσων οι οποίες μπορούν να υποστηρίξουν αρκετά υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται σχηματικά η εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών σχετικά με τις ταχύτητες που μπορούν να επιτευχθούν από τα συστήματα που χρησιμοποιεί η κάθε γενιά. Παρατηρούνται ρυθμοί που ξεκινούν από τα 144 Kbps και φτάνουν ακόμα και σε ρυθμούς που αγγίζουν τα Mbps. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

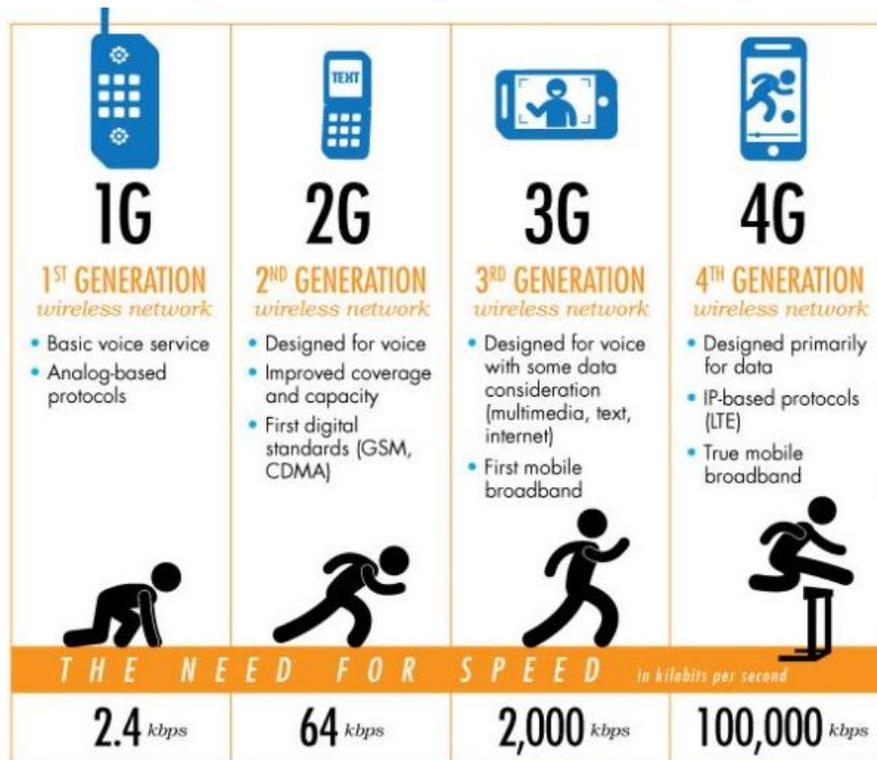


Εικόνα 8 Τα κινητά 3ης γενιάς έχουν δυνατότητες παρόμοιες με των υπολογιστών

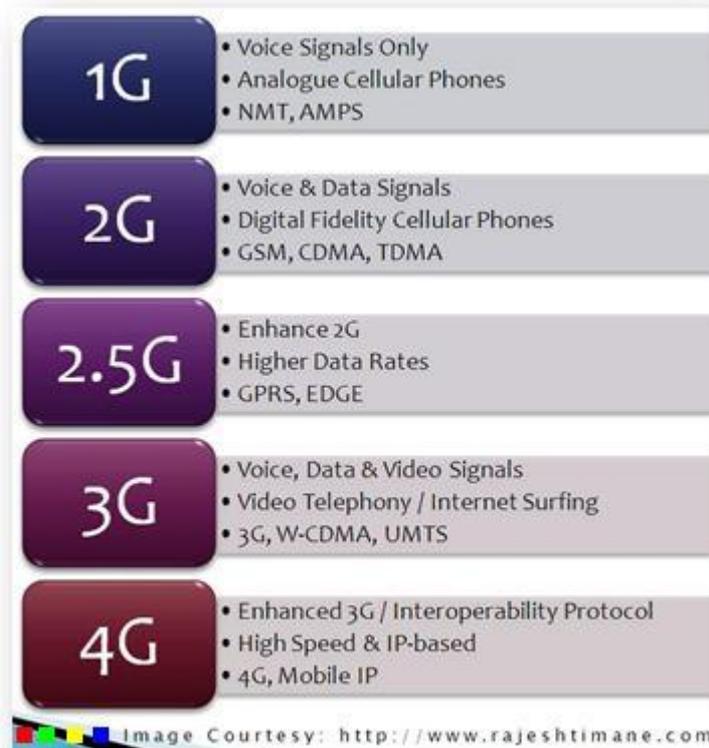
2.5 Τέταρτη γενιά κυβελωτών δικτύων

Η επόμενη γενιά μετά την 3G είναι αυτή την οποία πια ακούμε συχνά 4G. Τα πλεονεκτήματα αυτής της γενιάς είναι πόσο καλά αποδίδεται το φάσμα του συστήματος, η υψηλή χωρητικότητα του δικτύου, η υψηλή ποιότητα υπηρεσιών για την υποστήριξη των πολυμέσων της επόμενης γενιάς, η τεχνολογία για το packet switched network και το global roaming. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

Στόχος της είναι η ανάπτυξη συστημάτων πλήρως βασισμένα στην τεχνολογία IP. Αυτό πρόκειται να επιτευχθεί με την σύγκλιση ενσύρματων και ασύρματων τεχνολογιών και θα είναι δυνατόν να παρέχουν ταχύτητες μετάδοσης από 100 Mbit/s έως και 1 Gbit/s, με εξαιρετική ποιότητα και υψηλό επίπεδο ασφαλείας. Κυρίαρχη είναι η τεχνολογία OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) και OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) για την καλύτερη τοποθέτηση πολλαπλών χρηστών, αξιοποιώντας όσο το δυνατόν καλύτερα το φάσμα. Τέλος η 4G τεχνολογία βασίζεται μόνο σε μεταγωγή πακέτων, σε αντίθεση με τη 3G που υποστήριζε μετάδοση και με μεταγωγή κυκλωμάτων. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)



Εικόνα 9 Εξέλιξη δικτύων κινητής



Εικόνα 10 Χαρακτηριστικά κάθε γενιάς

3. Αρχιτεκτονική δικτύων 3^{ης} γενιάς

Η εξέλιξη των δικτύων τρίτης γενιάς, που επιτρέπει τη μετάδοση είτε φωνής είτε βίντεο οδήγησε σε αύξηση της ζήτησης νέων υπηρεσιών που δεν υποστηρίζονταν μέχρι πρόσφατα [5]. Οι προδιαγραφές του UMTS ορίζονται από διάφορες εκδόσεις (Releases). Για τις εκδόσεις αυτές υπεύθυνος είναι ο οργανισμός 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Το πρώτο ήταν το Release 99 (R99) και αργότερα ακολούθησαν τα Release 4, Release 5, Release 6, Release 7. Η τεχνολογία που είναι πρωτοπόρος αυτής της εξέλιξης είναι η IP (Internet Protocol). (Ευρυζωνικότητα)

Ο όρος UMTS προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων "Universal Mobile Telecommunications System" (Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Τηλεπικοινωνιών). Πρόκειται για την εξέλιξη και βελτίωση παραμέτρων όπως η χωρητικότητα, η ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων και υποστηρίζονται νέες υπηρεσίες των κινητών δικτύων δεύτερης γενιάς. Σήμερα, λειτουργούν περισσότερα από εξήντα 3G/UMTS δίκτυα που χρησιμοποιούν την WCDMA τεχνολογία σε 25 χώρες. Για την οργάνωση του εγχειρήματος δημιουργήθηκε μη κερδοσκοπικός οργανισμός με την ονομασία Third Generation Partnership Project (3GPP) που ασχολείται με την παρακολούθηση και την καθοδήγηση των εξελίξεων στο συγκεκριμένο τεχνολογικό πεδίο. (Ευρυζωνικότητα)

3.1 UMTS δίκτυα

Τα UMTS δίκτυα παρουσιάζουν αυξημένους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων με ταυτόχρονη υποστήριξη μεγαλύτερου όγκου δεδομένων και φωνής. Αρχικά το UMTS δίκτυο θεωρητικά προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως και 384 kbps σε περιπτώσεις όπου παρατηρείται αυξημένη κινητικότητα του χρήστη. Αντίθετα, όταν ο χρήστης παραμένει ακίνητος οι ρυθμοί μετάδοσης αυξάνουν κατά πολύ φθάνοντας την τιμή των 2 Mbps. (Ευρυζωνικότητα)

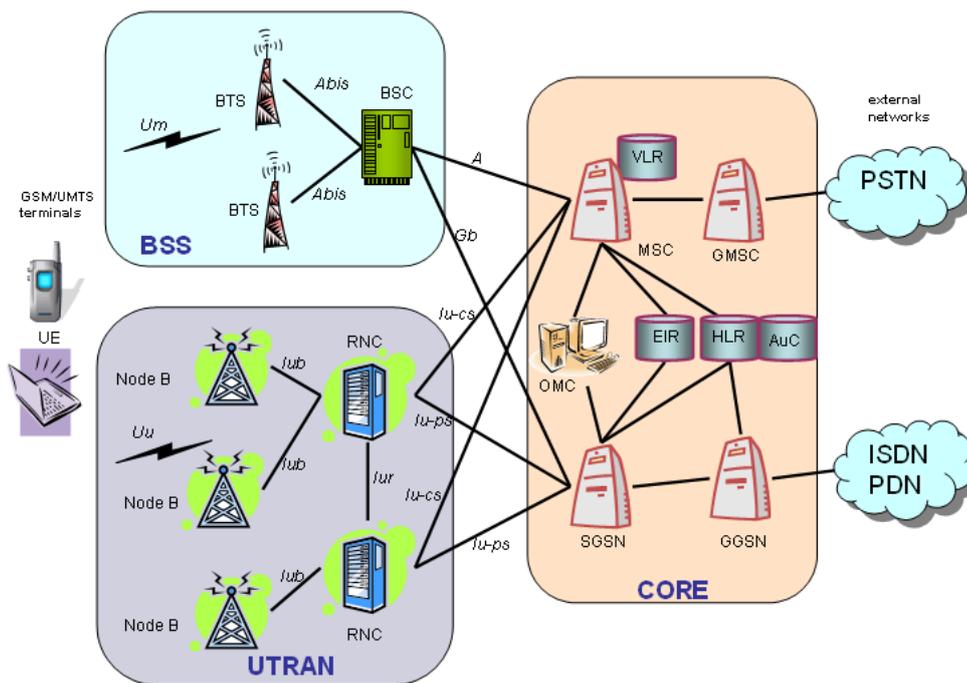
Σε σύγκριση με το GSM η βασική αλλαγή που συνέβη στο UMTS είναι η ότι σχεδιάστηκε από την αρχή το Radio Access Network (RAN), το οποίο πλέον λέγεται UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN). Αντί για την μέθοδο της πολυπλεξίας χρόνου και συχνότητας του air interface του GSM, εισάγεται μια νέα τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα (Code Division Multiple

Access CDMA) για το air interface που ονομάζεται Wideband CDMA (WCDMA) και χρησιμοποιεί την τεχνολογία ATM σαν κύριο μηχανισμό μεταφοράς δεδομένων στο UTRAN. (Ευρυζωνικότητα)

Στο WCDMA σε κάθε χρήστη δίνεται ένας μοναδικός κωδικός ενώ το εύρος ζώνης ενός απλού φέροντος σήματος αυξήθηκε σημαντικά σε σύγκριση με το GSM, με αποτέλεσμα υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης. Επιτρέπει ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 384 kbps ανά χρήστη στην κατεύθυνση από τον σταθμό βάσης προς τον κινητό χρήστη (downlink) και 64-128 kbps στην κατεύθυνση από τον κινητό χρήστη προς τον σταθμό βάσης (uplink). (Ευρυζωνικότητα)

Το UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) αποτελεί το βασικότερο κομμάτι της αρχιτεκτονικής του UMTS και αναλυτικότερη περιγραφή του θα γίνει παρακάτω. Το Core Network (το δίκτυο πυρήνα) που αποτελεί το τελευταίο μέρος της αρχιτεκτονικής του δικτύου, παρέχει τις συνδέσεις μεταγωγής πακέτων και κυκλωμάτων. (Ευρυζωνικότητα)

Στην αρχική φάση του UMTS (Release 99) η αρχιτεκτονική του δικτύου είναι αυτή που φαίνεται στην εικόνα 7. Οι αλλαγές που έγιναν στο δίκτυο της δεύτερης γενιάς GPRS (εικόνα 8), έγιναν για την υποστήριξη υπηρεσιών φωνής, βίντεο και δεδομένων από το ίδιο δίκτυο. Το CN παρέμεινε αμετάβλητο, με μικρές αναβαθμίσεις στο software και έτσι είναι δυνατόν να συνδεθεί το νέο UTRAN με το ήδη υπάρχον GSM και GPRS δίκτυο. (Ευρυζωνικότητα)



Εικόνα 11 UMTS release 99

Το UMTS επίσης δίνει την δυνατότητα στον πάροχο του δικτύου κινητής τηλεφωνίας για προσφορά υπηρεσιών όπως MMS, βίντεο και μουσική, mobile television και εφαρμογές για ψυχαγωγία όπως είναι τα mobile Java παιχνίδια, τα οποία μπορεί να τα κατεβάσει και να τα παίξει στο κινητό του. (Ευρυζωνικότητα)

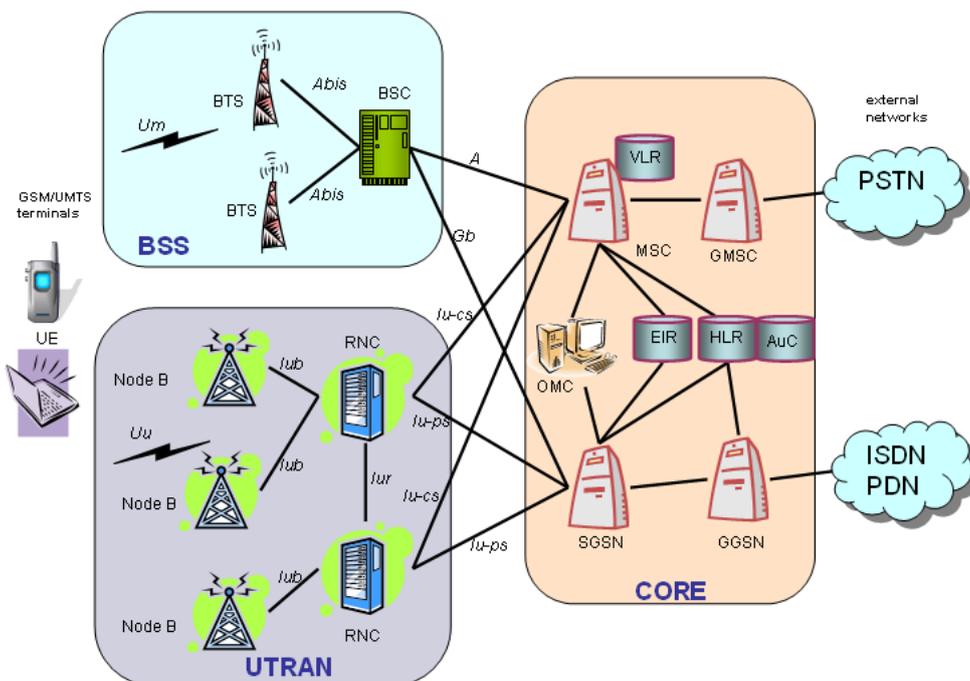
Ο κινητός σταθμός - MS (Mobile Station) αποτελείται από τον κινητό εξοπλισμό (Mobile Equipment ME) και από την κάρτα SIM (Subscriber Identity Module), μια έξυπνη κάρτα. Η κάρτα SIM μπορεί να αφαιρεθεί από μια κινητή συσκευή και να τοποθετηθεί σε άλλη, χωρίς να υπάρξει ενημέρωση του διαχειριστή του δικτύου. Επίσης, περιέχει ένα μοναδικό αριθμό αναγνώρισης τον IMSI (International Mobile Subscriber Identity), όπως και ένα secret key το οποίο χρησιμοποιείται για πιστοποίηση και άλλες διαδικασίες ασφαλείας. Ο αριθμός IMSI (ή μια παραλλαγή του για λόγους ασφαλείας) χρησιμοποιείται ως ταυτότητα του συνδρομητή σε όλη την έκταση του δικτύου. Ο κινητός εξοπλισμός μπορεί επίσης να αναγνωριστεί μοναδικά από τον αριθμό IMEI (International Mobile Equipment Identity). Οι αριθμοί IMEI και IMSI είναι ανεξάρτητοι και με αυτόν τον τρόπο παρέχεται στον χρήστη ευελιξία, διαχωρίζοντας τον συνδρομητή από την συσκευή. (Ευρυζωνικότητα)

Ο εξοπλισμός χρήστη - UE (User Equipment) αποτελείται από δυο μέρη: τον κινητό εξοπλισμό - ME (Mobile Equipment), και μια έξυπνη κάρτα USIM (UMTS

Subscriber Identity Module). Ο κινητός εξοπλισμός ME αποτελεί το τερματικό για τη σύνδεση με το UTRAN ενώ στην έξυπνη κάρτα USIM εντοπίζεται η ταυτότητα του χρήστη και πληροφορίες του συνδρομητή απαραίτητες για τη λειτουργία του τερματικού. Εκεί, επίσης, πραγματοποιούνται διαδικασίες πιστοποίησης και αποθήκευσης κλειδιών κρυπτογράφησης. (Ευρυζωνικότητα)

3.1.1 GPRS : η βελτιωμένη μορφή του GSM

Το GSM αρχικά, παρείχε δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων με ρυθμούς 9,6Kbps με συμμετρία στην ευθεία και την αντίστροφη ζεύξη, σύμφωνα με την τεχνολογία μεταγωγής κυκλώματος. Ωστόσο έγιναν κάποιες τροποποιήσεις καθώς υπήρχε απαίτηση για μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων και αύξηση του ρυθμού μετάδοσης. Μια μικρή βελτίωση της κωδικοποίησης οδήγησε σε αύξηση του ρυθμού στα 14Kbps. Κατόπιν, για τη μεταφορά δεδομένων έγινε δυνατή η χρησιμοποίηση πολλών διαύλων ταυτόχρονα, γεγονός που οδήγησε στο High Speed Circuit Switched Data (HSCSD) και σε ρυθμούς θεωρητικά ως 40-50Kbps. Η Συμμετρία όμως της κίνησης στην ευθεία και την αντίστροφη ζεύξη είναι ένα δεδομένο που δεν αντιμετωπίζεται από το HSCSD με αποτέλεσμα να μην είναι καθόλου φασματικά αποδοτική τεχνική. (Αντωνάκος, Καραλιώτας, 2011)



Εικόνα 12 Αρχιτεκτονική GPRS

Έτσι το GSM «αναβαθμίστηκε» υποστηρίζοντας πλέον και υπηρεσίες δεδομένων με τεχνολογία μεταγωγής πακέτων και οδήγησε στο GPRS. Το βασικό πλεονέκτημα του GPRS είναι ότι μπορεί να εκμεταλλευτεί περισσότερο τους ήδη υπάρχοντες ραδιοπόρους ενός λειτουργούντος συστήματος GSM. Θεωρητικά μπορούν να υποστηριχθούν ρυθμοί μέχρι και 112Kbps. Έχουν προβλεφθεί τέσσερις διαφορετικοί τύποι κωδικοποίησης προσφέροντας από καλή έως καθόλου αναγνώριση και διόρθωση σφαλμάτων, οι οποίοι υποστηρίζουν ρυθμούς για το χρήστη μέχρι και 21.4Kbps για μία χρονοσχιμή. Αν και η έννοια της ποιότητας υπηρεσίας (QoS) υπάρχει στο GPRS, εντούτοις στην πράξη δεν υποστηρίζεται. Ο λόγος είναι ότι οι υπηρεσίες του GSM έχουν μεγαλύτερη προτεραιότητα από την τηλεπικοινωνιακή κίνηση του GPRS καθώς χρησιμοποιεί του ραδιοπόρους που δεν χρησιμοποιούνται από το GSM. Δεν μπορεί να προσδιοριστεί συγκεκριμένος ρυθμός μετάδοσης καθώς δεν είναι γνωστή η ακριβής διαθεσιμότητα των πόρων. Για να λειτουργήσει το GPRS σε συνεργασία με υπάρχοντα GSM δίκτυα, η δομή του δικτύου θα πρέπει να τροποποιηθεί, με απαραίτητη προϋπόθεση την προσθήκη δύο επιπλέον κόμβων, οι οποίοι ονομάζονται GGSN (Gateway GPRS Support Node), και SGSN (Serving GPRS Support Node). (Αντωνάκος, Καραλιώτας, 2011)

3.1.2 Wideband CDMA

Παρακάτω παρουσιάζονται οι κύριες σχεδιαστικές παράμετροι του WCDMA κατά το πρότυπο της 3GPP. (Μακρής, 2011)

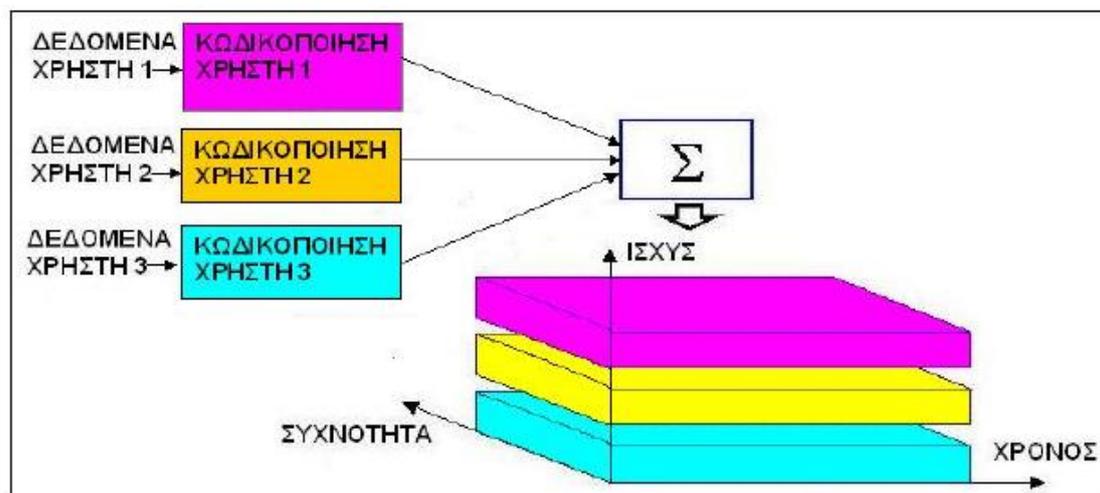
- Η τεχνολογία WCDMA αποτελεί ένα ευρυζωνικό σύστημα πολλαπλής προσπέλασης κώδικα. Τα ψηφία πληροφορίας του χρήστη εξαπλώνονται σε ένα μεγαλύτερο εύρος ζώνης με πολλαπλασιασμό των δεδομένων του με μια ψευδοτυχαία ακολουθία. Για την επίτευξη πολύ υψηλών ρυθμών μετάδοσης γίνεται χρήση μεταβλητών παραγόντων εξάπλωσης και πολλαπλών συνδέσεων.
- Ο ρυθμός ψευδοτυχαίας ακολουθίας που χρησιμοποιείται στο πρότυπο της 3GPP είναι 3.84 Mcps (Mega chips/ per second) και οδηγεί σε ένα εύρος ζώνης κοντά στα 5MHz. Συστήματα DS-CDMA με εύρος ζώνης κοντά στο 1MHz όπως το IS-95 αναφέρονται συχνά ως συστήματα

CDMA στενής ζώνης. Λόγω του αυξημένου εύρους ζώνης, το WCDMA υποστηρίζει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης ενώ προσφέρει και μεγαλύτερη ευελιξία πολλαπλών διαδρομών (multipath diversity).

- Υποστηρίζεται η λειτουργία μη συγχρονισμένων σταθμών βάσης, οπότε με εξαίρεση το IS-95 σύστημα, δεν υπάρχει ανάγκη για σύστημα χρονισμού όπως ένα GPS.
- Το WCDMA υποστηρίζει μεταβλητούς ρυθμούς δεδομένων για τον κάθε χρήστη, (Bandwidth on Demand, BoD). Το WCDMA υποστηρίζει δυο βασικούς τύπους λειτουργίας: Διαχωρισμό Συχνότητας (Frequency Division Duplex, FDD) και Διαχωρισμό Χρόνου (Time Division Duplex, TDD). Στην λειτουργία FDD, ξεχωριστά φέροντα εύρους 5MHz χρησιμοποιούνται για την άνω και κάτω ζεύξη αντίστοιχα, ενώ στην TDD λειτουργία χρησιμοποιείται μονάχα ένα φέρον των 5MHz στην άνω και κάτω ζεύξη σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Η άνω ζεύξη είναι η σύνδεση από το κινητό στον σταθμό βάσης, και η κάτω ζεύξη η σύνδεση από τον σταθμό βάσης στο κινητό.
- Η διεπαφή WCDMA εννοεί την ενσωμάτωση προηγμένων τεχνικών επεξεργασίας στον δέκτη, όπως ανίχνευση πολλαπλών χρηστών και εισαγωγή προσαρμοστικών κεραιών. Στα περισσότερα συστήματα δεύτερης γενιάς, δεν μπορούν να εφαρμοστούν τέτοιου είδους τεχνικές είτε εφαρμόζονται περιορισμένα με αποτέλεσμα μειωμένη απόδοση στην χωρητικότητα.
- Το WCDMA έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να λειτουργεί σε συνδυασμό με το υπάρχον σύστημα δεύτερης γενιάς GSM, υποστηρίζοντας έτσι διαπομπές μεταξύ των δυο αυτών συστημάτων.

Μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης	Direct Sequence-CDMA
Απαιτούμενο εύρος ζώνης ανά ζεύξη	5 MHz
Κωδικοποίηση καναλιού	Συνελικτικοί ή Turbo κώδικες
Ρυθμός μετάδοσης chip	3.84 Mcps
Μέγεθος Frame	10 ms
Ρυθμοί δεδομένων χρήστη	Μέχρι και 2 Mbps
Συντελεστές φασματικής εξάπλωσης άνω/ κάτω ζεύξης	4-256/ 4-512
Ρυθμός εντολής ελέγχου ισχύος	1500Hz
Πολυπλεξία υπηρεσιών	Υπηρεσίες με διαφορετικές απαιτήσεις ως προς την ποιότητα πολυπλέκονται σε μία σύνδεση
Συγχρονισμός σταθμών βάσης	Ασύγχρονος τρόπος λειτουργίας
Φόραση σημάτων	Σύμφωνη φόραση, με χρήση πιλοτικού καναλιού
Είδη διαμομπών	Ήπια και ηπιότερη διαμομπή. Για διαμομπές μεταξύ WCDMA και GSM υποστηρίζεται και η σκληρή διαμομπή.
Ανίχνευση θέσης χρηστών, τεχνικές έξυπνων κεραιών	Υποστηρίζονται από το πρότυπο, αλλά είναι προαιρετικές στην υλοποίησή τους από τον πάροχο

Πίνακας 1 Βασικές παράμετροι WCDMA



Εικόνα 13 Ανάθεση εύρους ζώνης στο WCDMA

3.1.3 Έλεγχος ισχύος

Οι υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης συνεπάγονται και μεγαλύτερη ισχύ μετάδοσης. Το συνολικό εύρος του WCDMA δεν μεταβάλλεται από τους υψηλούς ρυθμούς, αλλά μειώνεται ο παράγοντας επεξεργασίας. Για να υπάρχει προστασία από τις

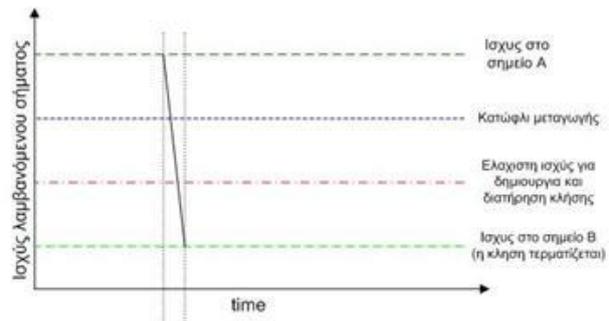
παρεμβολές απαιτούνται χαμηλότερα κέρδη επεξεργασίας και υψηλότερη ισχύ. (Γκόνης, 2009)

Στα κυψελωτά συστήματα WCDMA, ο έλεγχος ισχύος πραγματοποιείται μέσω του συστήματος κλειστού βρόχου. Σε αυτό τον τύπο ελέγχου στην άνω ζεύξη ο σταθμός βάσης πραγματοποιεί συχνές μετρήσεις της παραμέτρου SINR και την συγκρίνει με ένα κατώφλι. Όταν ο μετρούμενος λόγος είναι μικρότερος από το κατώφλι δίνεται εντολή στο κινητό να εκπέμψει μεγαλύτερη ισχύ. Εάν βρεθεί μεγαλύτερος από το κατώφλι, τότε δίνεται εντολή για εκπομπή μικρότερης ισχύος. Ο παραπάνω κύκλος μέτρησης – εντολής - αντίδρασης πραγματοποιείται με ρυθμό 1500 φορές το δευτερόλεπτο (1.5 KHz) για κάθε κινητό τερματικό του συστήματος. Ο έλεγχος ισχύος γίνεται με 1dB και τα κινητά τερματικά μεταβάλλουν την ισχύ τους σύμφωνα με αυτό το βήμα. (Γκόνης, 2009)

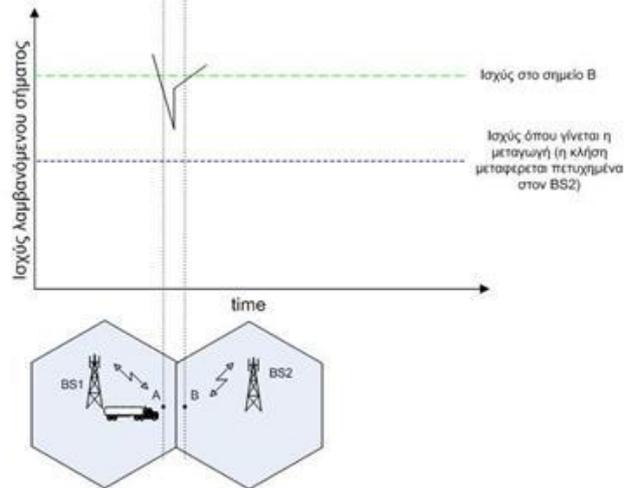
Για την εξασφάλιση του κατάλληλου σηματοθορυβικού λόγου κατά την αποδιαμόρφωση γίνεται έλεγχος ισχύος στα κινητά τερματικά και στην κάτω ζεύξη. Δίνεται εντολή στο κινητό για αύξηση της ισχύος του κατά το αντίστροφο της λαμβανόμενης ισχύος (ή SINR) από το σταθμό βάσης. Δεδομένου ότι το κινητό μπορεί να αυξήσει σημαντικά την ισχύ του η επίδραση των διαλείψεων σχεδόν εξαφανίζεται. Εκτός από τον έλεγχο ισχύος κλειστού βρόχου, υπάρχει και ο εξωτερικός έλεγχος ισχύος ανοικτού βρόχου με στόχο την προσαρμογή του επιθυμητού SINR στον σταθμό βάσης για να διατηρείται σταθερός ο ρυθμός λαθών. (Γκόνης, 2009)

Ο επιθυμητός SINR εξαρτάται άμεσα από την ταχύτητα του κινητού τερματικού και την πολύοδη διάδοση. Επίσης πρέπει να προσαρμόζεται δυναμικά στις μεταβαλλόμενες ταχύτητες των κινητών και του περιβάλλοντος διάδοσης. Ο εξωτερικός έλεγχος ισχύος γίνεται χάρη στον ελεγκτή δικτύου (RNC - Radio Network Controller) όπου ελέγχονται τα λάθη στα δεδομένα του κάθε χρήστη. Το επιθυμητό SINR αυξάνεται από το σταθμό αν η ποιότητα υπηρεσίας βρίσκεται χαμηλότερα από την επιθυμητή τιμή, διαφορετικά εάν η ποιότητα υπηρεσίας είναι υψηλότερα από την επιθυμητή τιμή δίνεται εντολή για μείωση του επιθυμητού SINR. Στα ταχέως κινούμενα κινητά τερματικά ο έλεγχος ισχύος κλειστού βρόχου μπορεί να καταφέρει να αντιμετωπίσει τις επιπτώσεις των διαλείψεων. (Γκόνης, 2009)

(α) Λανθασμένη κατάσταση μεταγωγής



(β) Ορθή κατάσταση μεταγωγής



Εικόνα 14 Έλεγχος ισχύος

3.1.4 Τεχνικές εντοπισμού των κινητών σταθμών στο UMTS

Στα 3^{ης} γενιάς δίκτυα υπάρχουν υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας που χρησιμοποιούν την πληροφορία της θέσης. Αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το δίκτυο για εσωτερικούς σκοπούς διαχείρισης από τον ίδιο τον συνδρομητή ή και από κάποιον πάροχο υπηρεσιών. Η πληροφορία που μεταδίδεται περιλαμβάνει τη θέση του τερματικού, τη χρονική στιγμή της εκτίμησης, καθώς και ένα σφάλμα εκτίμησης. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

Στο UMTS χρησιμοποιούνται οι παρακάτω βασικές μέθοδοι για την εκτίμηση της θέσης του τερματικού: (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

1. Εντοπισμός βασισμένος στην ταυτότητα κυψέλης
2. Εντοπισμός βασισμένος στη συσχέτιση των προφίλ καθυστέρησης ισχύος
3. Εντοπισμός βασισμένος στην παρατηρούμενη χρονική διαφορά της άφιξης
4. Εντοπισμός υποβοηθούμενος από το Global Positioning System
5. Εντοπισμός βασισμένος στη συσχέτιση πιλότων.

3. 1.5 Η ασφάλεια στο UMTS

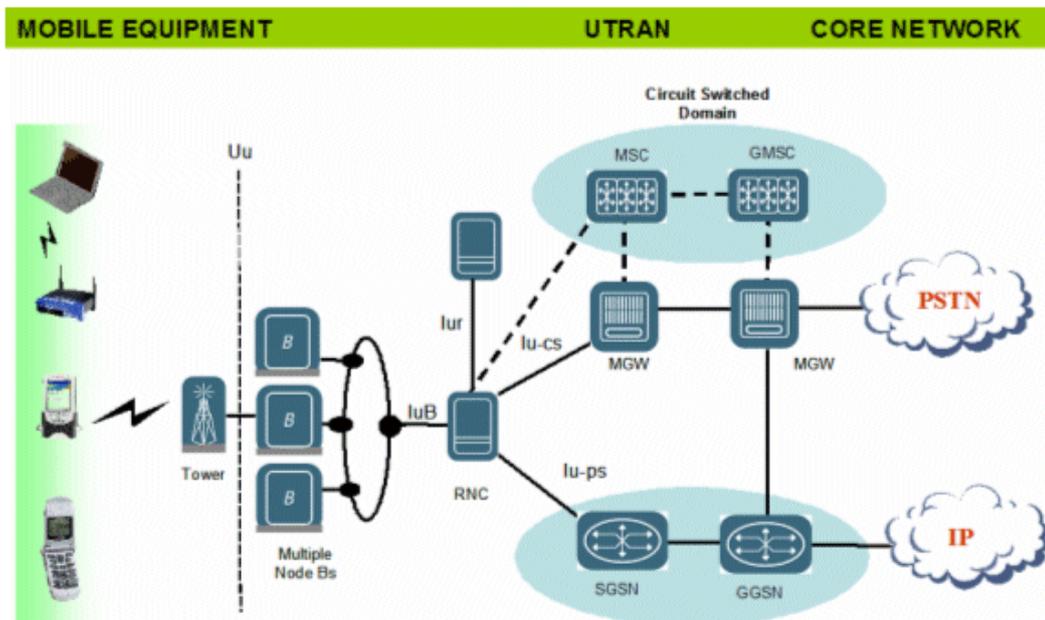
Τα συστήματα 2^{ης} γενιάς και ιδιαίτερα το GSM αντιμετώπισε σημαντικά προβλήματα ασφαλείας των συστημάτων, και γι' αυτό στο UMTS έγινε προσπάθεια αντιμετώπισης των προβλημάτων τόσο σε επίπεδο πρόσβασης των χρηστών στην ραδιοεπαφή, όσο και σε επίπεδο σύνδεσης εντός του δικτύου κορμού και διασύνδεσης με άλλα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούμε στις μεθόδους για την αντιμετώπιση των προβλημάτων πρόσβασης των χρηστών στη ραδιοεπαφή. Η ασφάλεια πρόσβασης στο UMTS έχει τα εξής χαρακτηριστικά: (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

- Αμοιβαίος έλεγχος πιστοποίησης τόσο του χρήστη όσο και του δικτύου
- Κρυπτογράφηση στο δίκτυο ραδιοπρόσβασης
- Χρήση προσωρινών ταυτοτήτων
- Προστασία της ακεραιότητας των μηνυμάτων σηματοδοσίας μέσα στο UTRAN

Για την κρυπτογράφηση και την προστασία της ακεραιότητας χρησιμοποιούνται δημόσια διαθέσιμοι αλγόριθμοι, ενώ για την αμοιβαία πιστοποίηση χρησιμοποιούνται οι ειδικοί αλγόριθμοι του κάθε παρόχου. (Κανάτας, Κωνσταντίνου, Πάντος, 2008)

3.2 UTRAN

Το UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) αποτελεί ένα ειδικά σχεδιασμένο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης για το σύστημα UMTS. Διαχωρίζεται από το UE μέσω της διεπαφής Uu και από το Core Network (CN) μέσω της διεπαφής Iu. Η βασικότερη λειτουργία του είναι η εποπτεία και η διαχείριση των ασύρματων πόρων του δικτύου, συμπεριλαμβανομένου και της ευθύνης για τον έλεγχο της ισχύος και της υποστήριξης και διαχείρισης των μεταπομπών. Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει τη δομή του UTRAN. (Κωστάκη, 2008)



Εικόνα 15 Δομή UTRAN

Το UTRAN περιλαμβάνει το υποσύστημα σταθμού βάσης - BSS, όπως ήταν και στα δίκτυα GPRS και το δίκτυο πρόσβασης RAN.

Το υποσύστημα σταθμού βάσης αποτελείται από τον σταθμό πομποδέκτη βάσης (Base Transceiver Station BTS) και τον ελεγκτή του σταθμού βάσης (Base Station Controller BSC), ο οποίος ελέγχει τους BTSs. Ο σταθμός πομποδέκτη βάσης - BTS στεγάζει τους ραδιοφωνικούς πομποδέκτες (radio transceivers TRXs) που καθορίζουν

ένα κελί και διαχειρίζεται το radio link (ραδιοζεύξη) με τον κινητό σταθμό. Ο αριθμός των χρηστών που μπορούν να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα εξαρτάται από τον αριθμό των TRXs, έτσι με αύξηση του αριθμού των TRXs αυξάνεται και ο αριθμός των χρηστών που μπορούν να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα. Κάθε στιγμή μια συσκευή μπορεί να είναι συνδεδεμένη με ένα μόνο BTS και κατά τη μετακίνηση από ένα κελί σε ένα άλλο αλλάζει BTS. Είναι επίσης υπεύθυνος για την κρυπτογράφηση της ραδιοζεύξης με τον κινητό σταθμό, βασισμένο σε πληροφορίες ασφαλείας που λαμβάνει από το core network. Ο ελεγκτής σταθμού βάσης - BSC (Base Station Controller) διαχειρίζεται τους πόρους του ραδιοφωνικού φάσματος για έναν ή περισσότερους BTSs, την εγκατάσταση των ραδιοφωνικών καναλιών, την μετατόπιση συχνότητας και τις διαδικασίες μεταπομπής, όταν ο χρήστης μετακινείται από ένα κελί σε ένα άλλο. Όταν λαμβάνει χώρα μια μεταπομπή, ο BSC μπορεί να αλλάξει. (Κωστάκη, 2008)

Το δίκτυο πρόσβασης (Radio access network) RAN περιλαμβάνει δύο σημαντικά στοιχεία, τον WCDMA σταθμό βάσης ή κόμβο B (WCDMA Base Station - WBTS ή Node B) και τον ελεγκτή δικτύου - RNC (Radio Network Controller). Οι προδιαγραφές της 3GPP αναφέρονται στο σταθμό βάσης ως Node B, αλλά πιο κοινά λέγεται WBTS. Αντιστοιχεί στο σταθμό πομποδέκτη βάσης - BTS (Base Transceiver Station) του GSM. Είναι υπεύθυνος για την κρυπτογράφηση στο radio link με τον κινητό σταθμό και βασίζεται σε πληροφορίες ασφαλείας που λαμβάνει από το core network. Επιπλέον, πρέπει να παρέχει τις απαραίτητες λειτουργίες για τη διαδικασία της σηματοδότησης για την υποστήριξη του WCDMA air interface και αυτό δημιουργεί περισσότερη πολυπλοκότητα. (Κωστάκη, 2008)

Η άλλη προσθήκη που έγινε ήταν ο ελεγκτής δικτύου - RNC (Radio Network Controller). Ο RNC είναι η καρδιά του νέου δικτύου πρόσβασης (access network) και υπεύθυνος για τον έλεγχο των ασύρματων - ραδιοφωνικών πόρων του UTRAN. (Κωστάκη, 2008)

Αντιστοιχεί στο BSC του GSM όπου λαμβάνονται οι αποφάσεις για την λειτουργία του δικτύου. Ακόμα, συντηρεί το link του PCN (packet core network) και του CCN (circuit core network) και πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει την διασύνδεση και με άλλους RNCs. Οι περισσότερες διαδικασίες για τη λήψη αποφάσεων βασίζονται στο software (software-based). Ένας RNC που ελέγχει ένα Node B λέγεται Controlling RNC (CRNC) του Node B. Ο CRNC είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο του φόρτου και της συμμόρφωσης των κυττάρων του. Επίσης, εκτελεί τον έλεγχο

πρόσβασης (admission control) και την εκχώρηση κωδικών για της νέες ραδιοζεύξεις που εγκαθίστανται σε αυτά τα κύτταρα. (Κωστάκη, 2008)

3.2.1 Το δίκτυο πυρήνα - Core network

Το δίκτυο πυρήνα (Core network) CN περιλαμβάνει το Packet Core Network, για την παροχή συνδέσεων μεταγωγής πακέτων δεδομένων, όπως είναι το διαδίκτυο, και το Circuit Core, το οποίο παρέχει συνδέσεις μεταγωγής κυκλωμάτων, όπως η τηλεφωνία. Τα κύρια συστατικά του GSM CN, τα οποία παραμένουν και στο σύστημα UMTS με κάποιες μικρές τροποποιήσεις είναι τα εξής: (<http://hdl.handle.net/10889/2588>)

1. Η βάση δεδομένων Home Location Register (HLR). Όταν ένας χρήστης γίνει συνδρομητής σε ένα πάροχο δικτύου κινητής τηλεφωνίας, εισάγεται σε ένα Service Level Agreement³ (SLA). Αυτός ο διαχειριστής δικτύου λέγεται home network ή Home Public Land Mobile Network (H-PLMN). Η HLR είναι μια μεγάλη βάση δεδομένων σε αυτό το οικιακό δίκτυο που αποθηκεύει πληροφορίες του συνδρομητή για το διαχειριστή όπως το IMSI του χρήστη, πληροφορίες συνδρομής σε υπηρεσίες, περιορισμούς σε υπηρεσίες και συμπληρωματικές υπηρεσίες. Η κάθε HLR επίσης γνωρίζει την θέση των κινητών σταθμών που έχουν ενεργοποιηθεί και έχουν καταχωρηθεί σε κάποιο δίκτυο.
2. Η βάση δεδομένων Equipment Identity Register (EIR). Περιέχει όλους τους έγκυρους κινητούς σταθμούς που βρίσκονται στο δίκτυο υπό μορφή λίστας. Εάν δηλωθεί η κλοπή ενός τερματικού ή ο εξοπλισμός δεν είναι ο εγκεκριμένος, τότε δεν του επιτρέπεται η λειτουργία του στο δίκτυο.
3. Το κέντρο πιστοποίησης Authentication Center (AuC), μια βάση δεδομένων που περιέχει ένα αντίγραφο του secret key κάθε κάρτας USIM. Αυτό χρησιμοποιείται για την πιστοποίηση και την κρυπτογράφηση στην ασύρματο σύνδεση (radio link). Το AuC χρησιμοποιεί ένα μηχανισμό πρόσκληση - απάντηση (challenge - response), ο οποίος στέλνει τυχαίους αριθμούς στους κινητούς σταθμούς. Ο κινητός σταθμός κρυπτογραφεί αυτό τον αριθμό και τον στέλνει πάλι πίσω. Τέλος το AuC αποκρυπτογραφεί τον αριθμό που έλαβε και αν τον αποκρυπτογραφήσει επιτυχώς και ανακτήσει τον αρχικό τυχαίο αριθμό, τότε ο κινητός σταθμός πιστοποιείται και του επιτρέπεται η είσοδος στο δίκτυο.

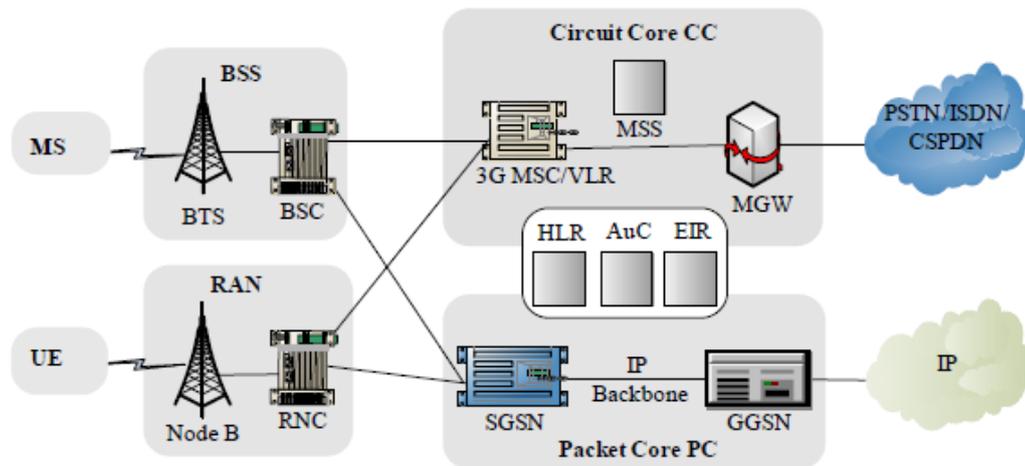
4. Ο Serving GPRS Support Node (SGSN) δρομολογεί τη μεταφορά πακέτων και παρέχει πιστοποίηση και διαχείριση της κινητικότητας. Έχει μια δυναμική βάση δεδομένων, όπου αποθηκεύονται δεδομένα για την κινητή συσκευή που εξυπηρετείται τη δεδομένη στιγμή. Αυτή η βάση δεδομένων περιέχει τη θέση της συσκευής, πληροφορίες ασφαλείας, όπως το ciphering key, πληροφορίες χρέωσης, τρέχουσες συνδέσεις, την QoS που χρησιμοποιείται κ.α. Όταν ένα κινητό είναι packet switch attached, ο SGSN λέμε ότι παρέχει ένα mobility management context και κρατάει το ίχνος της κινητής συσκευής. Ο SGSN μπορεί να συνδέεται με GGSNs αλλά και με άλλους SGSNs με IP δίκτυο. Όταν μια συσκευή έχει εφοδιαστεί με το session management context, εγκαθίσταται μια σύνδεση μεταξύ του SGSN και του αντίστοιχου GGSN ώστε το κινητό να μπορεί να μεταφέρει δεδομένα από και προς ένα εξωτερικό δίκτυο.
5. Ο Gateway GPRS Support Node (GGSN) παρέχει την διεπαφή μεταξύ του κινητού και του εξωτερικού δικτύου μεταγωγής πακέτων. Ο GGSN δεν χρειάζεται να γνωρίζει την τοποθεσία που βρίσκεται το κινητό, παρά μόνο από ποιο SGSN εξυπηρετείται.
6. Το 3G κινητό κέντρο μεταγωγής / βάση VLR - 3G MSC/VLR (3G Mobile Switching Center / Visitor Location Register) είναι ένα στοιχείο το οποίο τροποποιήθηκε αρκετά. Αποτελεί την κεντρική μονάδα του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και δρα σαν ένας κανονικός κόμβος μεταγωγής κυκλωμάτων. Φροντίζει για όλες τις επιπλέον λειτουργίες για την υποστήριξη ενός κινητού συνδρομητή. Έχει διπλό ρόλο, και αυτόν της μεταγωγής και αυτόν της διαχείρισης. Όταν μια συσκευή ενεργοποιηθεί και ζητήσει να συνδεθεί με το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, το MSC κινεί τη διαδικασία, ενώ το BSS παρέχει μερικώς την πρόσβαση για την διευκόλυνση του χρήστη. Μετά την επιτυχία της διαδικασίας το MSC καταχωρεί την κινητή συσκευή στην αντίστοιχη VLR. Ακολουθεί η ενημέρωση της HLR από τη VLR για την τοποθεσία του κινητού σταθμού. Ακόμα το MSC ασχολείται με την καταγραφή, την ενημέρωση της τοποθεσίας που βρίσκεται ο κινητός σταθμός και δρομολόγηση των κλήσεων από και προς τον χρήστη. Ένα MSC το οποίο παρέχει την διασύνδεση του δικτύου κινητής τηλεφωνίας με σταθερά δίκτυα, όπως PSTN ή ISDN, λέγεται Gateway-MSC (GMSC). Επίσης το MSC καθώς ελέγχει όλες τις συνδέσεις, είναι υπεύθυνο και για το billing. Έτσι δημιουργείται μια billing εγγραφή (billing record) για κάθε κλήση, η οποία αργότερα μεταφέρεται σε ένα billing server. Η VLR κρατάει

μόνο προσωρινές πληροφορίες για τους συνδρομητές που βρίσκονται μέσα στην περιοχή της VLR. Αυτή η περιοχή καλύπτει τους συνδρομητές στην περιοχή εξυπηρέτησης του αντίστοιχου MSC. Όταν ένα κινητό είναι συνδεδεμένο με ένα δίκτυο ενώ βρίσκεται σε περιαγωγή, δηλαδή δεν βρίσκεται στο δικό του H-PLMN, λέμε ότι βρίσκεται στο Visited PLMN (V-PLMN). (<http://hdl.handle.net/10889/2588>)

3.3 Εξέλιξη του συστήματος UMTS

Το επόμενο βήμα στην εξέλιξη του UMTS ήταν η έκδοση 4 (Release 4). Σε αυτήν την έκδοση εγκαθίστανται υποδομές IP, το υποδίκτυο μεταγωγής κυκλωμάτων τροποποιήθηκε σημαντικά, ενώ τα υπόλοιπα τμήματα του δικτύου παραμένει το ίδιο με ελάχιστες τροποποιήσεις.

Ο MSC χωρίζεται σε δύο ανεξάρτητα μέρη: στην MGW (Media Gateway) και στον MSS (MSC server) και έτσι αποκόπτεται η διαδικασία της μεταγωγής από την διαδικασία ελέγχου της σύνδεσης. Ένας MSS μπορεί και διαχειρίζεται πολλές MGWs, με αποτέλεσμα το δίκτυο να γίνεται πιο ευέλικτο παρά την αύξηση της κίνησης. Από την έκδοση 4 του UMTS και μετά η χρήση του Voice over IP (VoIP) καθιερώνεται και παρέχει πολλά πλεονεκτήματα όπως η ενσωμάτωση των υπηρεσιών φωνής και δεδομένων, η βέλτιστη χρήση του εύρους ζώνης και η δυνατότητα κλήσεων μεταξύ των κινητών χρηστών χωρίς κωδικοποίηση. (Κούσουλας, 2008)



Εικόνα 16 UMTS έκδοση 4

Η 5η έκδοση στηρίχθηκε στην μερική υλοποίηση του πρωτοκόλλου IP στο δίκτυο πυρήνα και προχώρησε στην All-IP αρχιτεκτονική δικτύου. Σε αυτή την έκδοση τα πακέτα μπορούν να μετακινηθούν από άκρη σε άκρη (end-to-end) κατά μήκος του δικτύου με ένα εμπλουτισμένο GPRS δίκτυο συνδεδεμένο με ένα υποσύστημα IP πολυμέσων - IMS (IP Multimedia Subsystem). (Κούσουλας, 2008)

Από το 2006 σε πολλές χώρες το δίκτυο UMTS αναβαθμίσθηκε στο HSDPA (High Speed Packet Access). Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο κινητής τηλεφωνίας μεταφέρει δεδομένα ταχύτητα ορίζοντας ένα νέο κανάλι W-CDMA του HS-DSCH. (Κούσουλας, 2008)

3.4 Ποιότητα υπηρεσιών UMTS (QoS)

Το σύστημα UMTS χαρακτηρίζεται από υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που επιτυγχάνονται από την πλευρά του χρήστη. Για συνδέσεις μεταγωγής κυκλωμάτων οι ταχύτητες μπορούν να φτάσουν τα 384Kbps, ενώ για συνδέσεις μεταγωγής πακέτων μέχρι και 2Mbps. Οι υψηλές ταχύτητες διευκολύνουν υπηρεσίες όπως είναι η βίντεο-κλήση και το γρήγορο «κατέβασμα» δεδομένων (data download). Στο UMTS υπάρχουν τέσσερις τάξεις κίνησης, όπως φαίνονται και στην εικόνα. (Κούσουλας, 2008)

Τάξεις	Conversational	Streaming	Interactive	Background
Βασικά χαρακτηριστικά	-Διασφάλιση της χρονικής συσχέτισης μεταξύ των οντοτήτων μιας ροής (stream) -Βασισμένο στην αντίληψη του χρήστη -Σε πραγματικό χρόνο	-Διασφάλιση της χρονικής συσχέτισης μεταξύ των οντοτήτων μιας ροής (stream) -Σε πραγματικό χρόνο	-Καθορισμένα χρονικά όρια απόκρισης -Διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων	-Μη καθορισμένα χρονικά όρια απόκρισης -Διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων
Παραδείγματα εφαρμογών	φωνή, video-κλήση, video παιχνίδια	multimedia streaming	web browsing, network games	background download of e-mails
Σχετικές απαιτήσεις QoS	Χαμηλό jitter, χαμηλή καθυστέρηση	Χαμηλό jitter	Χαμηλή καθυστέρηση, χαμηλό BER	Χαμηλό BER

Πίνακας 2 UMTS QoS

4. Μεταβατική γενιά (3.5 G)

4.1 HSPA : High Speed Packet Access

Η παροχή πολλών νέων, ελκυστικών και αλληλεπιδραστικών υπηρεσιών προς τους χρήστες αποτελεί τη σημαντικότερη πρόκληση σήμερα στην παγκόσμια αγορά κινητών τηλεπικοινωνιών. Φυσιολογική εξέλιξη του WCDMA προς αυτή την κατεύθυνση αποτελεί η τεχνολογία High Speed Packet Access (HSPA), η οποία πολλές φορές συναντάται και ως 3.5G ή 3G+, προκειμένου να δηλώσει την αναβάθμιση του 3G (UMTS) και ήδη έχει υιοθετηθεί από πολλά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ανά τον κόσμο.

Η εισαγωγή του HSPA κρίθηκε απαραίτητη καθώς ακόμη και οι μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης των UMTS δικτύων δεν επαρκούσαν για εφαρμογές πολυμέσων συνεπώς ήταν αναγκαία η αναβάθμιση τους. Ο όρος HSPA αναφέρεται σε μία γενικότερη έννοια που υιοθετήθηκε προκειμένου να δοθεί έμφαση στις αναβαθμίσεις της ασύρματης διεπαφής του UMTS στις εκδόσεις 5 και 6 του 3GPP standard. Παρέχει από τη μια, μεγαλύτερο εύρος ζώνης στους κινητούς χρήστες και από την άλλη αυξημένη χωρητικότητα για τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους για την παροχή υπηρεσιών και εφαρμογών αυξημένης αλληλεπίδρασης. Η συμβολή της HSPA τεχνολογίας, προσεγγίζει μόνο το δίκτυο πρόσβασης, δηλαδή το UTRAN, χωρίς να επεμβαίνει καθόλου στη δομή και τη λειτουργικότητα του CN του UMTS. (<http://hdl.handle.net/10889/2588>)

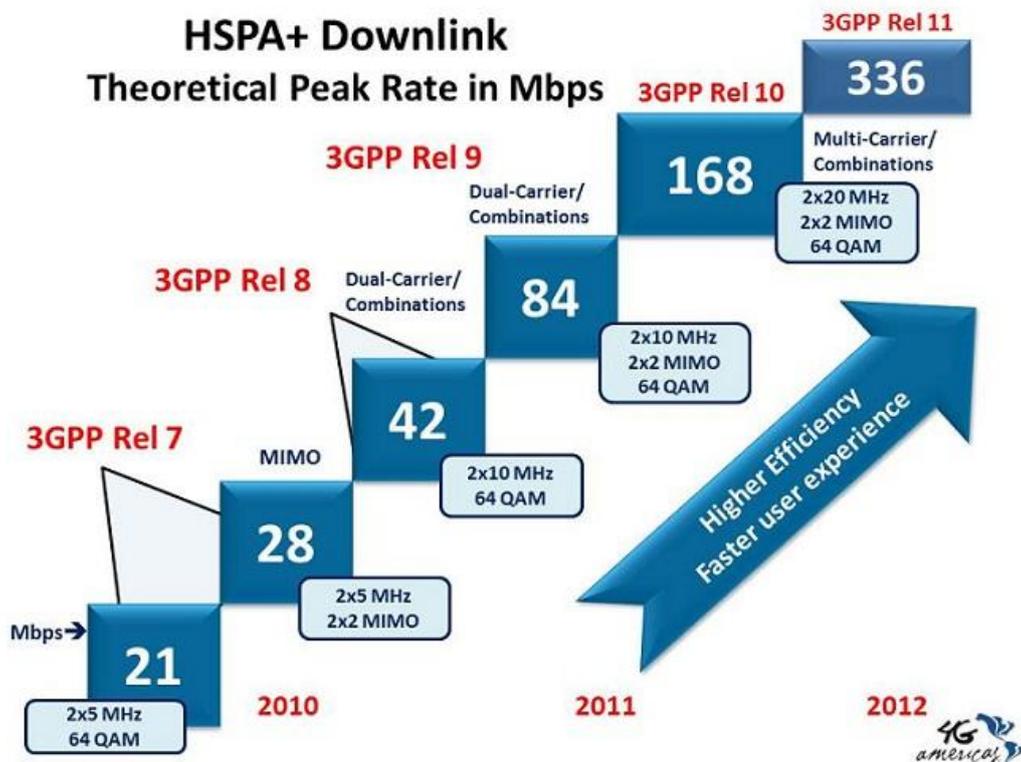
Πιο συγκεκριμένα, το HSPA αναφέρεται σε βελτιώσεις που πραγματοποιήθηκαν τόσο στον κατερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο, μέσω του HSDPA όσο και στον ανερχόμενο, μέσω του HSUPA. Αξίζει να αναφερθεί ότι τόσο το HSDPA όσο και το HSUPA μπορούν να υλοποιηθούν στο ίδιο εύρος ζώνης με το UMTS (των 5 MHz), γεγονός που επιτρέπει την παράλληλη λειτουργία τόσο του HSPA όσο και του κλασσικού UMTS. (<http://hdl.handle.net/10889/2588>)

Όπως προαναφέρθηκε, το HSPA αποτελείται από δύο διακριτές, επιμέρους τεχνολογίες, τις HSDPA για τον κατερχόμενο και HSUPA για τον ανερχόμενο σύνδεσμο. Η τεχνολογία HSDPA, προτάθηκε στην έκδοση 5 του προτύπου 3GPP, το Μάρτιο του 2002 ενώ η τεχνολογία HSUPA προτυποποιήθηκε αρχικά στην έκδοση 6 του 3GPP standard, το Δεκέμβριο του 2004. Η πρώτη εμπορική διάθεση του HSDPA

πραγματοποιήθηκε προς το τέλος του 2005, ενώ του HSUPA το κατά τη διάρκεια του 2007. Η Εικόνα 13 απεικονίζει την πορεία προτυποποίησης και εμπορικής διάθεσης των HSDPA και HSUPA τεχνολογιών. (<http://hdl.handle.net/10889/2588>)

Η τεχνολογία HSPA παρέχει σημαντική αναβάθμιση κυρίως στον κατερχόμενο σύνδεσμο καθώς μέσω του HSDPA υποστηρίζονται ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων θεωρητικά έως και 14.4Mbps ανά χρήστη. Ωστόσο στην πραγματικότητα τα πράγματα ήταν λίγο διαφορετικά καθώς αρχικά ο ρυθμός μετάδοσης έφθανε τα 1.8 Mbps, ενώ το 2006 και 2007 οι ρυθμοί αυτοί αυξήθηκαν σταδιακά στα 3.6 Mbps και 7.2 Mbps. (<http://hdl.handle.net/10889/2588>)

Όσον αφορά στον ανερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο, το HSUPA παρέχει τη δυνατότητα υποστήριξης μέχρι και 5.8 Mbps μέσω ενός αποκλειστικού ανερχόμενου καναλιού. Όμως και εδώ η κατάσταση ήταν λίγο διαφορετική από την αναμενόμενη καθώς οι ταχύτητες φθάνουν αρχικά τα 1-2 Mbps ενώ σε μεταγενέστερη φάση προβλέπεται η επίτευξη ταχύτητας της τάξης των 3-4 Mbps. (<http://hdl.handle.net/10889/2588>)



Εικόνα 17 Θεωρητικοί ρυθμοί του HSPA

4.2 HSDPA : High Speed Downlink Packet Access

Η τεχνολογία HSDPA αναπτύχθηκε για την αποδοτικότερη χρήση των πόρων του συστήματος UMTS, με στόχο την εξυπηρέτηση υπηρεσιών διαδικτύου και μεταφοράς δεδομένων, και την αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες.

Η τεχνολογία HSDPA βασίζεται στο σχήμα πρόσβασης WCDMA. Χρησιμοποιεί τον αμφίδρομο μηχανισμό FDD και λειτουργεί στη ζώνη IMT-2000 (1.9-2.1 GHz) με εύρος ζώνης 5 MHz. Η χωρητικότητα ενός δικτύου HSDPA εξαρτάται από πολλούς παράγοντες - παραμέτρους τεχνικής υλοποίησης όπως, η αποκλειστική χρήση ενός δεύτερου φορέα των 5 MHz ή από κοινού με την υφιστάμενη τεχνολογία UMTS, και η επιλογή συγκεκριμένης υλοποίησης από τις προτυποποιημένες εναλλακτικές (δηλαδή η υλοποίηση HSDPA με 5, 10 ή 15 κώδικες).
(<http://hdl.handle.net/10889/2588>)

Μέσω του HSDPA, το UMTS δίκτυο επεκτείνεται με μία σειρά νέων, αναβαθμισμένων καναλιών μεταφοράς και ελέγχου με σημαντικότερο το διαμοιραζόμενο κανάλι μεταφοράς HS-DSCH. Η χρήση του (shared channel), συνίσταται στο ότι οι κώδικες καναλιού και η ισχύς εκπομπής σε μια κυψέλη θεωρούνται μια κοινή πηγή που μοιράζεται δυναμικά μεταξύ των χρηστών στο πεδίο του χρόνου και του κώδικα. Οι διαθέσιμοι κώδικες για το HS-DSCH είναι 15, ενώ η κατανομή των διαμοιραζόμενων πόρων πραγματοποιείται κάθε 2 ms.
(<http://hdl.handle.net/10889/2588>)

Η χωρητικότητα μιας κυψέλης διαμοιράζεται ανάλογα με τη διαχείριση στους χρήστες, το προφίλ της ζεύξης τους (HSDPA ή Release '99 χρήστες), τις δυνατότητες κάθε κινητής συσκευής, τις συνθήκες της ασύρματης ζεύξης κάθε χρήστη καθώς και άλλους παράγοντες. (<http://hdl.handle.net/10889/2588>)

Οι ρυθμοί μετάδοσης που μπορούν να επιτευχθούν μέσω του HS-DSCH είναι της τάξης των 1.8 Mbps, 3.6 Mbps, 7.2 Mbps μέχρι και 14.4 Mbps για τον κατερχόμενο σύνδεσμο. Στην πραγματικότητα, το HSDPA παρέχει σχεδόν δεκαπλάσιους ρυθμούς μετάδοσης και διπλασιάζει τη χωρητικότητα της ασύρματης διεπαφής σε σχέση με το UMTS. (<http://hdl.handle.net/10889/2588>)

Η αυξημένη απόδοση του HS-DSCH βασίζεται κατά κύριο λόγο σε τεχνικές όπως το Adaptive Modulation and Coding (AMC), στη χρήση μικρότερου Transmission

Time Interval (TTI) ίσο με 2 ms (σε αντίθεση με τα 10-80 ms του UMTS), στην υποστήριξη Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) καθώς και στη χρήση γρήγορης δρομολόγησης (Fast Scheduling). Οι παραπάνω τεχνικές περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια. (<http://hdl.handle.net/10889/2588>)

4.3 HSUPA : High Speed Uplink Packet Access

Η τεχνολογία HSUPA παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά: (Κωνσταντινιάδης, 2006)

- Νέο σύστημα προγραμματισμού στο Node B.
- Υψηλότεροι ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων, μικρότερες χρονικές καθυστερήσεις, πιο αποδοτική χρήση του φάσματος.
- Κανάλια παρόμοια με το HSDPA που χρησιμοποιούν ένα ειδικό, μη διαμοιραζόμενο κανάλι.
- HSUPA τερματικά που υποστηρίζουν HSDPA.
- Δεν χρησιμοποιείται το AMC.
- Έξι κατηγορίες για το HSUPA σε αντίθεση με τις δώδεκα για το HSDPA.

Προκειμένου να επιτευχθούν τα παραπάνω πραγματοποιήθηκαν αρκετές βελτιώσεις. Επίσης δημιουργήθηκε και ένα ειδικό ανερχόμενο κανάλι μεταφοράς Enhanced-DCH (E-DCH), που λειτουργεί σε συνδυασμό με ένα νέο μηχανισμό προγραμματισμού που βρίσκεται στο Node B. (Κωνσταντινιάδης, 2006)

Οι ιδιότητες του E-DCH καναλιού μεταφοράς είναι: (Κωνσταντινιάδης, 2006)

- Νέα φυσικά κανάλια: E-DPDCH και Enhanced Dedicated Physical Control Channel (E-DPCCH). Πιλοτικά σύμβολα που ανακτώνται από το E-DPCCH χρησιμοποιούνται από το δέκτη για να βοηθήσουν την αποκωδικοποίηση του EDPDCH, το οποίο μεταφέρει το E-DCH κανάλι μεταφοράς δεδομένων.
- Το E-DPCCH επίσης μεταφέρει το E-TFCI (E-DCH πρότυπο μεταφοράς με συνδυασμό δείκτη), τον Retransmission Sequence Number (RSN) και ένα «χαρούμενο» bit, το οποίο χρησιμοποιείται για να δηλώσει αν ο UE είναι ικανοποιημένος με τους πόρους που του χορηγούνται.
- Με διαφοροποίηση του Spreading Factor και του αριθμού των κωδικών που χρησιμοποιούνται στα κανάλια μπορούν να υπάρξουν και ταχύτητες δεδομένων έως και 5.76 Mbps.

- Τόσο 2 ms όσο και 10 ms TTI είναι διαθέσιμα σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Ένα 2 ms TTI επιτρέπει αποδοτικότερο έλεγχο και μεταφορά ενός προσαρμοσμένου μεγέθους block.
- Ανά TTI αποστέλλεται ένα block μεταφοράς.

Σημειώνεται ότι υπάρχει μόνο ένα E-DCH ανά UE, και ότι το DCH περιορίζεται σε 64 Kbps όποτε το E-DCH εκκινεί. Σε αντίθεση με το HSDPA, το HSUPA δεν κάνει χρήση της κωδικοποίησης AMC. Εισάγονται τρία νέα κατερχόμενα κανάλια σηματοδότησης για την υποστήριξη του ενισχυμένου ανερχόμενου καναλιού: (Κωνσταντινιάδης, 2006)

- E-HICH - E-DCH HARQ κανάλι δεικτοδότησης. Αυτό το κατερχόμενο κανάλι φυσικού επιπέδου χρησιμοποιείται από το HARQ για να βεβαιώνει τις E-DCH μεταδόσεις από τον UE.
- E-AGCH - E-DCH Absolute Grant Channel. Αυτό το διαμοιραζόμενο κατερχόμενο κανάλι φυσικού επιπέδου χρησιμοποιείται για να υποδείξει στο UE πόσα δεδομένα μπορούν να σταλούν στο ανερχόμενο κανάλι επιτρέποντας να προσδιορίσει το E-DCH TFC (Traffic Format Combination) και τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ.
- E-RGCH - E-DCH Relative Grant Channel. Αυτό το διαμοιραζόμενο κατερχόμενο κανάλι φυσικού επιπέδου αυξάνει ή μειώνει τους πόρους του ανερχόμενου καναλιού σε σύγκριση με όσους έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν.

Είναι πιθανό να ζητηθεί από τον κόμβο Node B αναμετάδοση ελαττωματικών πακέτων μέσω του πρωτοκόλλου HARQ ώστε το ανερχόμενο κανάλι να γίνει ανθεκτικό σε ενδεχόμενα λάθη σήματος. Πρόκειται για ένα μηχανισμό «stop and wait» που στηρίζεται σε βεβαιώσεις / αρνητικές βεβαιώσεις, που ανατροφοδοτούν το UE σχετικά με το νέο E-HICH κανάλι. Το πρωτόκολλο αυτό, που βρίσκεται στο Node B και όχι στον κόμβο RNC, μπορεί να εξασφαλίσει ταχεία ανάκτηση των χαμένων ή κατεστραμμένων πακέτων. (Κωνσταντινιάδης, 2006)

4.4 Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας HSPA

Ανάμεσα στα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας HSPA συγκαταλέγονται τα ακόλουθα: (Κωνσταντινιάδης, 2006)

- **Αύξηση της ταχύτητας για τους τελικούς χρήστες:** Με τη χρήση του HSDPA στον κατερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο, οι χρήστες μπορούν να λαμβάνουν υπηρεσίες με ρυθμό μετάδοσης θεωρητικά έως και 14.4 Mbps. Οι εφικτοί ρυθμοί μετάδοσης φτάνουν τα 3.6 Mbps γιατί για την επίτευξη της θεωρητικά αναμενόμενης ταχύτητας χρειάζονται ευνοϊκές συνθήκες. Πρόκειται για μια υψηλή ταχύτητα σε σύγκριση με τα 384 Kbps που παρέχει το παραδοσιακό UMTS. Έτσι επιτυγχάνεται αύξηση σχεδόν 10-πλάσια στο συνολικό throughput. Για περαιτέρω αύξηση του ρυθμού μετάδοσης στο HSDPA μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές όπως το MIMO.
- **Αυξημένη αλληλεπίδραση των υπηρεσιών:** Ο περιορισμός των καθυστερήσεων και ο μικρός χρόνος Round Trip Time (RTT) της τάξης των 60 ms οδηγούν σε υψηλή αλληλεπίδραση των υπηρεσιών που παρέχονται μέσω του HSPA. Έτσι είναι δυνατό να υποστηριχθούν υπηρεσίες video ή και multiuser gaming με αυξημένη απόδοση σε πραγματικό χρόνο.
- **Υψηλή χωρητικότητα του δικτύου προς όφελος κυρίως των παρόχων:** Με τη χρήση της τεχνολογίας HSPA γίνεται πιο αποδοτική εκμετάλλευση του φάσματος στο δίκτυο πρόσβασης. Συγκεκριμένα μελέτες αποδεικνύουν ότι η χωρητικότητα στο εύρος ζώνης των 5 MHz του UMTS γίνεται 5 φορές μεγαλύτερη με την αναβάθμιση στην HSDPA τεχνολογία.

Η μείωση των καθυστερήσεων μετάδοσης σε συνδυασμό με τις αυξημένες πλέον ταχύτητες μετάδοσης στο ασύρματο μέσο δίνει τη δυνατότητα παροχής ποικιλίας πολυμεσικών εφαρμογών.

4.5 Υπηρεσίες που παρέχει η HSPA τεχνολογία

Οι δύο τεχνολογίες HSDPA και HSUPA λειτουργούν συμπληρωματικά για να βελτιώσουν την ποιότητα της προσφερόμενης υπηρεσίας για εφαρμογές με απαιτήσεις σε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης τόσο στην κατερχόμενη όσο και στην ανερχόμενη ζεύξη.

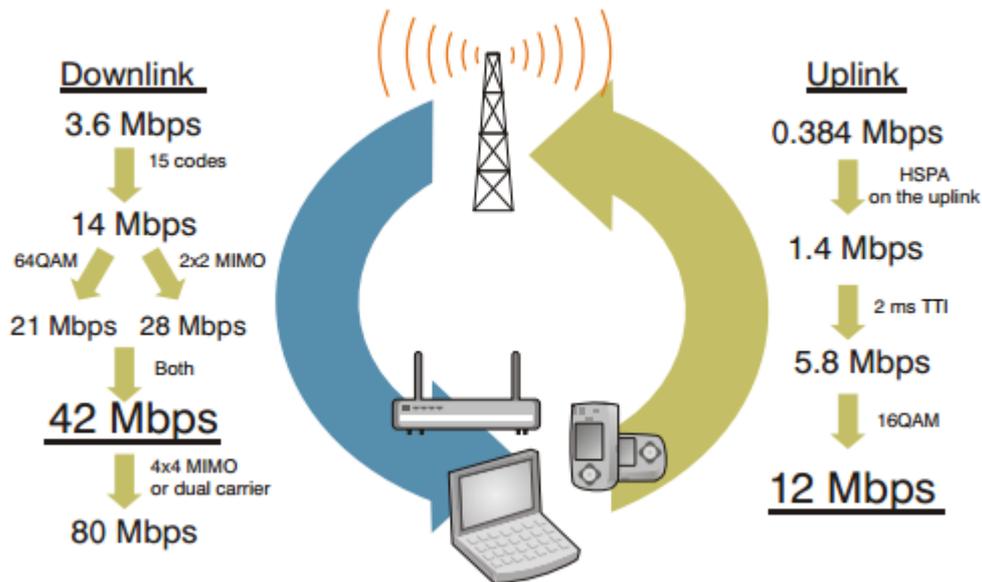
Πλέον οι κινητοί χρήστες έχουν τη δυνατότητα να απολαμβάνουν υπηρεσίες που μέχρι τώρα παρέχονταν μόνο σε χρήστες με ενσύρματη ευρυζωνική σύνδεση. Ειδικότερα, μετά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης των τεχνολογιών HSDPA και HSUPA, οι δύο τεχνολογίες θα αποτελέσουν το σύστημα HSPA. Το σύστημα αυτό θα

επιτρέπει την ευρυζωνική πρόσβαση σε κινητούς χρήστες με ταχύτητες της τάξης των 14,4Mbps στην κατερχόμενη και 5,76Mbps στην ανερχόμενη ζεύξη και σημαντικά μικρότερο latency συγκριτικά με το UMTS. Υποστηρίζονται οι παρακάτω κατηγορίες υπηρεσιών: (Στεφανίδης, Τσιλιγκίρη)

- Διαδραστικές (Interactive)
- Βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort)
- Ροοθήκευσης (Streaming).
- Παρασκηνίου (Background)

Η υπηρεσία HSDPA βελτιώνει τις υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας (Best Effort), και παρασκηνίου (Background), ενώ μέσω της τεχνολογίας HSUPA βελτιώνονται οι διαδραστικές υπηρεσίες που απαιτούν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και χαμηλό latency τόσο στην ανερχόμενη όσο και στην κατερχόμενη ζεύξη. Παραδείγματα ψηφιακών εφαρμογών και ψηφιακού περιεχομένου που μπορούν να υποστηριχθούν μέσω της τεχνολογίας HSDPA/HSUPA είναι: (Στεφανίδης, Τσιλιγκίρη)

- Περιήγηση στο ψηφιακό περιεχόμενο του διαδικτύου (Internet, downloads) και δυνατότητα τοπικής αποθήκευσής του (download), ανεξάρτητα από τον τύπο - θέαση και αποθήκευση αρχείων κειμένου, πολυμεσικού περιεχομένου (multimedia downloads, video clips) κοκ.
- Υπηρεσίες μεταφοράς/διαμοιρασμού αρχείων οποιουδήποτε ψηφιακού τύπου περιεχομένου (file sharing/ftp, P2P, remote surveillance, βίντεο κατ' απαίτηση (VoD), video/MP3 streaming).
- Υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (κατάλληλο για αποστολή (HSUPA)/λήψη (HSDPA) μεγάλων επισυναπτόμενων αρχείων).
- Υπηρεσίες τοπικών δικτύων (Intranet).
 - Video telephony και video conferencing για κινητούς χρήστες.
 - Αποστολή/Λήψη απλών και πολυμεσικών μηνυμάτων (instant messaging, SMS, MMS, video /audio MMS).
 - Διαδραστικές εφαρμογές (π.χ. online /interactive gaming, televoting).



Εικόνα 18 Εξέλιξη HSPA

4.6 HSPA +: ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Στη συνέχεια μελετήθηκαν οι περαιτέρω δυνατότητες αναβάθμισης της ίδιας της HSPA τεχνολογίας από το 3GPP, με σκοπό τη βελτιστοποίηση του ασύρματου μέσου μετάδοσης. Με τον όρο HSPA+ ορίζονται όλες αυτές οι προσπάθειες αναβάθμισης.

Η τεχνολογία HSPA+ αποτελεί μέρος της έκδοσης 7 (Release 7) της 3GPP και πρόκειται ουσιαστικά για μια εξέλιξη του συστήματος HSPA. Αναπτύχθηκε με σκοπό την αποδοτικότερη χρήση των πόρων του συστήματος HSPA μέσω της πλήρους διανομής υπηρεσιών μέσω του packet switched (PS) τομέα με ταυτόχρονη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών διαδικτύου και μεταφοράς δεδομένων, την περαιτέρω αύξηση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων στους κινητούς χρήστες και την αποτελεσματική μείωση του latency. (Στεφανίδης, Τσιλιγκίρη)

Προκειμένου να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι χρησιμοποιήθηκαν η τεχνολογία MIMO και η κωδικοποίηση 64 QAM. Για την τεχνική MIMO απαιτούνται επιπρόσθετες κεραίες λήψης (συστοιχία κεραιών) καθώς και επιπλέον κεραίες μετάδοσης στους σταθμούς βάσης. Παράλληλα, η εφαρμογή 64 QAM κωδικοποίησης θα αυξήσει σημαντικά τους ρυθμούς μετάδοσης εφ' όσον επικρατούν πολύ καλές συνθήκες μετάδοσης. (Στεφανίδης, Τσιλιγκίρη)

Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία αυτή αναμένεται να προσφέρει μέγιστους ρυθμούς μετάδοσης της τάξης των 28Mbps για την κατερχόμενη ζεύξη και των 11,5Mbps για την ανερχόμενη ζεύξη στα 5MHz εύρους ζώνης (χρησιμοποιώντας 2x2 MIMO σχήμα και διαμόρφωση 16QAM). Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης για την κάτω ζεύξη μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 42Mbps ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της υλοποίησης (χρήση υψηλότερης τάξης διαμόρφωση 64QAM). (Στεφανίδης, Τσιλιγκίρη)

Η τεχνολογία HSPA+ δεν εισάγει κάποια καινούργια «Killer Application», αλλά ουσιαστικά παρέχει βελτιωμένη ποιότητα (υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, μικρότερο latency) των υπηρεσιών που υποστηρίζονται από την τεχνολογία HSPA. Επίσης εκτός από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω μπορεί να υποστηρίξει: (Στεφανίδης, Τσιλιγκίρη)

- Διαδραστικές υπηρεσίες, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι υπηρεσίες διαδικτυακών αγορών (on-line shopping (π.χ., αγορών CD ή καταφόρτωσης ήχων κλήσης κατά τη διάρκεια ευρυεκπομπής ενός μουσικού video clip)), τηλεψηφοφορίες, αποστολή μηνυμάτων, φωνητικών κλήσεων, κ.α.
- Διαδραστικά παιχνίδια (multiplayer interactive/ online gaming)
- Προσωποποιημένες υπηρεσίες/εφαρμογές βασισμένα στο προφίλ του κάθε χρήστη, όπως για παράδειγμα η διαμόρφωση προγραμμάτων με εμπλουτισμένο ψηφιακό περιεχόμενο –καιρός, νέα, σαπουνόπερες, μουσική, κοκ.–

Η τεχνολογία HSPA+ μέσω της αξιοποίησης της τεχνολογίας MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Services) έχει την δυνατότητα να εξυπηρετεί και υπηρεσίες πολυεκπομπής.

5. Αρχιτεκτονική δικτύων 4^{ης} γενιάς

Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των ασύρματων δικτύων τέταρτης γενιάς. Αρχικά, γίνεται αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά τους και στις υπηρεσίες που προσφέρονται από αυτά. Στη συνέχεια, ακολουθεί σύγκριση των δικτύων 4ης γενιάς με αυτά της 3ης γενιάς. Επίσης, παρατίθενται όλα τα τελευταία νέα σχετικά με την τεχνολογική ανάπτυξη των δικτύων 4ης γενιάς και τα τεχνολογικά επιτεύγματα μέχρι σήμερα. Τέλος, γίνεται λόγος για τον τρόπο επιλογής δικτύου μέσα στο ετερογενές 4G περιβάλλον και για την ανάγκη ύπαρξης μιας πλατφόρμας διαχείρισης. (Εργά , Κανταρού, 2005)

Η τέταρτη γενιά ασύρματων δικτύων, γνωστή ως 4G, πρόκειται να δημιουργήσει ένα ετερογενές δίκτυο καθώς περιλαμβάνει πολλά διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης και τερματικά τελικών χρηστών. Το ετερογενές αυτό δίκτυο θα επιτρέψει την εισαγωγή και παροχή πρόσβασης σε πολυάριθμες και πλούσιες σε χαρακτηριστικά υπηρεσίες, ενσωματώνοντας στο ίδιο περιβάλλον τα 2ης και 3ης γενιάς δίκτυα. Βασικό χαρακτηριστικό των ετερογενών δικτύων θα είναι η χωρίς ασυνέχεια μετάβαση από το ένα σύστημα στο άλλο. Από το έτος 2010, που ξεκίνησε η εισαγωγή τους, υπάρχει βέλτιστη πρόσβαση σε ψηφιακές υπηρεσίες οποτεδήποτε και οπουδήποτε, ανεξαρτήτως δικτύου ή τερματικού και ανάλογα με τις προτιμήσεις κάθε χρήστη. (Εργά , Κανταρού, 2005)

Χαρακτηριστικό της τρέχουσας τεχνολογικής κατάστασης είναι η ύπαρξη μόνο των ειδικών υπηρεσιών δικτύων, όπως είναι τα σταθερά και ασύρματα δίκτυα τηλεφωνίας, τα σταθερά και ασύρματα δίκτυα δεδομένων και τα καλωδιακά δίκτυα για την εκπομπή των μέσων ενημέρωσης (media broadcasting). Σε αυτά τα δίκτυα, η διάρθρωση και ανταλλαγή πληροφορίας γίνεται στον τομέα του κάθε δικτύου και όχι ανάμεσα στα δίκτυα γι' αυτό και οι χρήστες δε μπορούν να περιάγονται ανάμεσα στα διαφορετικά υπάρχοντα δίκτυα. Για παράδειγμα, εάν ένας χρήστης πραγματοποιεί μια κλήση από το κινητό του τηλέφωνο και ενώ η κλήση αυτή είναι σε εξέλιξη ο χρήστης φτάσει σπίτι του, δε θα υπάρξει αυτόματη μετάβαση της συνόδου στο σταθερό δίκτυο τηλεφωνίας. (Εργά , Κανταρού, 2005)

Οι πάροχοι των δικτύων τρίτης γενιάς διαχειρίζονται έναν αυξανόμενο αριθμό τύπων ραδιοσταθμών βάσης που διαφέρουν ως προς το πρωτόκολλο διεπαφής ραδιοεπικοινωνίας, το μέγεθος κυψέλης και τη ζώνη συχνοτήτων. Στα τέταρτης γενιάς δίκτυα οι τύποι αυτοί επεκτείνονται ώστε να υποστηρίξουν τα παραπάνω δίκτυα δεύτερης και τρίτης γενιάς αλλά και τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN), την τεχνολογία εκπομπής ψηφιακού video (DVB), τα δίκτυα ευρείας ζώνης, καθώς και δορυφορικά και ασύρματα τοπικού βρόχου δίκτυα. (Εργά , Κανταρού, 2005)

Η επόμενη γενιά ασύρματων δικτύων είναι υπό σχεδιασμό από ποικίλους οργανισμούς. Τα δίκτυα 4ης γενιάς θα αναπτυχθούν σε ένα περιβάλλον όπου η ενσύρματη και ασύρματη υποδομή έχει ήδη εγκατασταθεί και έτσι αυτά θα συμπληρώσουν και θα επαυξήσουν τα υπάρχοντα συστήματα. Στο ξεκίνημα της ανάπτυξης των 4G δικτύων υπάρχουν ήδη πολλά τεχνικά θέματα, όπως είναι η πρόσβαση, η μεταγωγή, η υποστήριξη ποιότητας υπηρεσιών, αλλά και οικονομικά θέματα, όπως η τιμολόγηση και χρέωση, που πρέπει να μελετηθούν διεξοδικά και να λυθούν. (Εργά , Κανταρού, 2005)

Ένας από τους πρωταρχικούς στόχους θα είναι η παροχή συμβατότητας και ενδολειτουργίας με τα διαφορετικά νέα και παλαιά κινητά και ασύρματα δίκτυα. Ο συνδυασμός διαφορετικών ασύρματων δικτύων θα παρέχει ένα σύνολο από, πιθανά επικαλυπτόμενα, επίπεδα με διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης που θα συμπληρώνει η μία την άλλη. Ανάλογα με τη γεωγραφική θέση, οι χρήστες θα εξυπηρετούνται από διαφορετικά επίπεδα και θα απολαμβάνουν διαφορετική ποιότητα ασύρματης πρόσβασης ως προς το εύρος. Τα πιθανά επίπεδα θα είναι : (Εργά , Κανταρού, 2005)

Επίπεδο διανομής : Θα υποστηρίζει ψηφιακό video και εκπομπή υπηρεσιών σε μέτριες ταχύτητες πάνω σε σχετικά μεγάλου μεγέθους κυψέλες όπως και πλήρη κάλυψη και κινητότητα και θα καλύπτει αραιοκατοικημένες αγροτικές περιοχές.

Επίπεδο κυψέλης : Θα περιλαμβάνει τα δεύτερης και τρίτης γενιάς συστήματα, παρέχοντας υψηλές χωρητικότητες ως προς τον αριθμό των χρηστών και τους ρυθμούς δεδομένων σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Το μέγεθος της κυψέλης θα είναι μικρότερο από αυτό του επιπέδου διανομής. Θα υποστηρίζει, επίσης, πλήρης κάλυψη και κινητότητα.

Επίπεδο hot – spot : Θα υποστηρίζει υψηλών ρυθμών υπηρεσίες σε μικρή κλίμακα, όπως σε γραφεία και κτίρια. Θα περιλαμβάνει συστήματα WLAN, όπως το 802.11

και το HIPERLAN. Το επίπεδο αυτό δεν αναμένεται να παρέχει πλήρη κάλυψη, λόγω της μικρής κλίμακας, αν και θα παρέχει περιαγωγή.

Επίπεδο προσωπικού δικτύου : Θα περιλαμβάνει πολύ μικρής κλίμακας ασύρματες συνδέσεις, όπως αυτές που παρέχει το Bluetooth. Εξαιτίας της πολύ μικρής κλίμακας, η κινητικότητα θα είναι περιορισμένη, ωστόσο, θα παρέχεται και σε αυτό το επίπεδο.

Σταθερό επίπεδο : Το επίπεδο αυτό θα περιλαμβάνει τα σταθερά συστήματα πρόσβασης, τα οποία θα είναι επίσης μέρος των μελλοντικών δικτύων τέταρτης γενιάς.

5.1 Γενικά χαρακτηριστικά δικτύων 4ης γενιάς

Τα μελλοντικά ασύρματα δίκτυα αναμένεται να παρέχουν στο χρήστη υψηλής απόδοσης επικοινωνία χωρίς ασυνέχειες, όμοια της αντίστοιχης προσφερόμενης από τα ενσύρματα δίκτυα. Τα 4^{ης} γενιάς δίκτυα πρόκειται να υποστηρίζουν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, τουλάχιστον κατά μια τάξη μεγέθους, και επαρκή ποιότητα υπηρεσιών (QoS) σε σχέση με τα τρέχοντα 3^{ης} γενιάς δίκτυα. Η κατανομή φάσματος θα είναι τέτοια ώστε να υποστηρίζονται οι υψηλοί αυτοί ρυθμοί πάνω σε κυψέλες μεσαίου μεγέθους. Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων θα είναι 100Mbps και άνω και θα παρέχουν υπηρεσίες πολυμέσων με χαμηλότερο κόστος. Τα δίκτυα που θα χρησιμοποιούνται, πρόκειται να αποτελούνται εξ' ολοκλήρου από κυκλώματα μεταγωγής πακέτων, ενώ όλα τα στοιχεία του δικτύου θα είναι ψηφιακά. Τέλος, σημαντικό χαρακτηριστικό των δικτύων 4^{ης} γενιάς θα είναι η χαμηλή ιεραρχία στην αρχιτεκτονική, με σημεία πρόσβασης και τερματικά να υποστηρίζουν πολλαπλούς τρόπους πρόσβασης. (Γιαννακός, κ.α.)

Για την επίτευξη της υψηλής απόδοσης, τα 4ης γενιάς δίκτυα θα έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: (Γιαννακός, κ.α.)

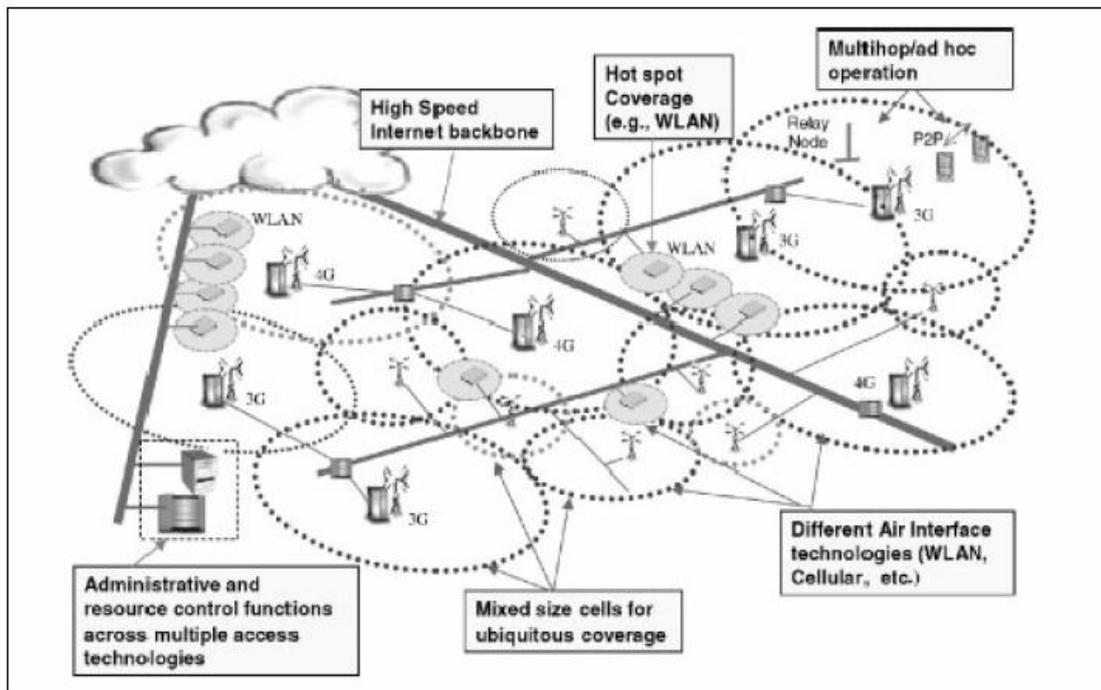
- **Πανταχού κάλυψη υπηρεσιών :** ο χρήστης θα είναι σε θέση να απολαμβάνει οποιαδήποτε υπηρεσία επιθυμεί οπουδήποτε και οποτεδήποτε, χωρίς τους περιορισμούς του ασύρματου δικτύου.
- **Βελτιωμένη συνδεσιμότητα :** ο χρήστης θα είναι συνέχεια συνδεδεμένος στα πιο επαρκή δίκτυα πρόσβασης, όσον αφορά στη χρησιμοποίηση πόρων του δικτύου, ώστε να εξασφαλίζονται κάθε φορά η ζητούμενη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) και οι απαιτήσεις κινητικότητας.

• **Συνεχής σύνδεση** : ο χρήστης θα είναι συνδεδεμένος πάντα στο ετερογενές δίκτυο., Θα μπορεί να συνδέεται στο δίκτυο και να τυγχάνει πολύ μικρής καθυστέρησης στην πρόσβαση για όσο διάστημα το τερματικό του θα είναι σε λειτουργία.

Η κάλυψη μιας υπηρεσίας μπορεί να μετρηθεί από τη διαθεσιμότητα της σε μια περιοχή για έναν ελάχιστο αριθμό χρηστών. Το σύστημα, προσφέρει στον πάροχο τη δυνατότητα να μεγιστοποιεί τη χωρητικότητα με το να απαγορεύει σε μερικούς χρήστες την πρόσβαση σε ειδικές υπηρεσίες. Έτσι, ο πάροχος μπορεί να προσαρμόζει τις δυνατότητες του συστήματος στις προσφερόμενες υπηρεσίες χωρίς να διακινδυνεύεται η κάλυψη της υπηρεσίας. (Γιαννακός, κ.α.)

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά θα είναι διαθέσιμα σε ένα πολύ μεγαλύτερο αριθμό χρηστών από τον ήδη υπάρχοντα που εξυπηρετείται από τα τρέχοντα δίκτυα 3^{ης} γενιάς. Τα 3^{ης} γενιάς δίκτυα, αντιμετωπίζουν πρόβλημα κορεσμού, καθώς οι υπηρεσίες που προσφέρουν δεν είναι για πολλούς πελάτες ταυτόχρονα. Αντίθετα, τα 4^{ης} γενιάς δίκτυα μπορούν να υποστηρίξουν μεγάλο αριθμό χρηστών και να καλύπτουν υπηρεσίες οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Αυτό οφείλεται στην υψηλότερη επάρκεια φάσματος που επιτυγχάνεται με τη χρήση καινοτόμων τεχνικών στις διεπαφές και τον εμπλουτισμό των τεχνικών κάλυψης.

Στο μέλλον τα ολοκληρωμένα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης θα αποτελούνται από πολλές διαφορετικές ασύρματες διεπαφές ραδιοεπικοινωνίας (WLAN, 3G κυψελωτά συστήματα, 2G κυψελωτά συστήματα, peer-to-peer, κ.α) με διάφορα μεγέθη κυψελών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου δικτύου ασύρματης πρόσβασης. Βασικό χαρακτηριστικό της αρχιτεκτονικής αυτής είναι η βέλτιστη συνδεσιμότητα. Η τάση της ενδολειτουργίας δικτύων έχει ήδη ξεκινήσει με τα 3^{ης} γενιάς δίκτυα να λειτουργούν χωρίς ασυνέχειες με τα ασύρματα LANs, παρέχοντας παντού πρόσβαση.



Εικόνα 19 Δίκτυα ασύρματης πρόσβασης

Το βασικό κριτήριο για να συνδεθεί ένας χρήστης σε οποιοδήποτε από τα παραπάνω δίκτυα πρόσβασης θα είναι η μεγιστοποίηση της εμπειρίας του ίδιου του χρήστη αλλά και η εξασφάλιση της πιο οικονομικής χρήσης των πόρων από τη μεριά του πάροχου.

5.2 Διαχείριση Κινητικότητας - Mobility Management

Βασικό χαρακτηριστικό της τεχνολογίας των ετερογενών δικτύων είναι το Mobility Management – Διαχείριση Κινητότητας. Στο ετερογενές περιβάλλον της 4ης γενιάς δικτύων οι χρήστες θα έχουν πρόσβαση σε ένα μεγάλο αριθμό δικτύων, από τα παραδοσιακά δίκτυα GSM, GPRS ως τα τρέχοντα δίκτυα Wi-Fi και UMTS. Για να διευκολυνθεί η συνέχιση των υπηρεσιών σε όλα αυτά τα δίκτυα, θα πρέπει οι χρήστες να είναι ικανοί να περιάγονται από το ένα δίκτυο στο άλλο. (Παντελής, 2011)

Η Διαχείριση Κινητότητας είναι το τεχνικό προαπαιτούμενο για μια τέτοια συμπεριφορά περιαγωγής. Η Διαχείριση Κινητότητας περιλαμβάνει : (Παντελής, 2011)

- τον έλεγχο του δικτύου όπου βρίσκεται συνδεδεμένο το τερματικό του χρήστη
- τη διαδικασία ανακάλυψης νέων δικτύων πρόσβασης και
- το πέρασμα από το ένα δίκτυο στο άλλο.

Οι υπηρεσίες που μπορούν να υποστηριχθούν από το κάθε το δίκτυο εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του, μπορεί για παράδειγμα να υπάρχουν περιορισμοί λόγω χωρητικότητας. Επίσης, δεν υποστηρίζονται όλες οι υπηρεσίες από όλα τα δίκτυα. Επομένως, κάποιες φορές είναι απαραίτητο να προσαρμόζονται κάποιες υπηρεσίες στο περιβάλλον του νέου δικτύου. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι υπάρχουν δυο τεχνολογίες για Διαχείριση Κινητότητας : το MIP και το SIP. Το Mobile Internet Protocol (MIP) αποτελεί μια διαυγή λύση Διαχείρισης Κινητότητας στο επίπεδο δικτύου για εφαρμογές βασισμένες στο IP. Το Session Initiation Protocol (SIP) είναι ένα πρωτόκολλο στο επίπεδο εφαρμογής που ξεκινάει, διατηρεί και τερματίζει ενότητες. Για TCP συνδέσεις και για τις πιο κοινές εφαρμογές Ίντερνετ (για παράδειγμα, http και chat) το MIP είναι επαρκές. Ωστόσο, για εφαρμογές πραγματικού χρόνου, στις οποίες υπάρχουν αυστηρές απαιτήσεις χρόνου, συνίσταται το SIP. (Παντελής, 2011)

5.3 Υπηρεσίες 4G

Όταν εισάγεται μια νέα τεχνολογία δημιουργούνται ερωτήματα για τις υπηρεσίες που θα είναι σε θέση να προσφέρει. Η τεχνολογία από μόνη της δεν είναι ο στόχος αλλά το μέσο για την επίτευξη κάποιου στόχου. Στόχος είναι η ανάπτυξη εφαρμογών για την πραγματοποίηση υπηρεσιών που θα γίνουν καθημερινή συνήθεια για τους χρήστες και είναι πραγματικά πολύ σημαντικές έως και απαραίτητες γι' αυτούς. (Σουουτλής, 2010)

Τα ερωτήματα, λοιπόν που δημιουργούνται είναι ποιες θα είναι οι προσφερόμενες υπηρεσίες, αν θα υπάρχουν νέες 4G υπηρεσίες, και τι εντέλει είναι μια 4G υπηρεσία. Έχουν γίνει ήδη αρκετές έρευνες και υπάρχουν εκθέσεις στη διάθεση κάθε ενδιαφερομένου γύρω από το ποιες υπηρεσίες αναμένεται να προσφέρονται. Βέβαια είναι αδύνατο να προβλεφθούν τα τεχνολογικά επιτεύγματα, η εξέλιξη του πολιτισμού και οι ανάγκες των πελατών στο μέλλον. (Σουουτλής, 2010)

Τα κινητά τηλέφωνα 4^{ης} γενιάς τείνουν να έχουν ρυθμοαπόδοση 100 Mbps, ισοδύναμη της ταχύτητας στις επικοινωνίες των οπτικών ινών. Έτσι για παράδειγμα θα παρέχεται στους χρήστες η δυνατότητα να παρακολουθούν μεγάλης ευκρίνειας τηλεόραση στα κινητά τους ακόμη και όταν θα βρίσκονται επιβιβασμένοι σε ταχεία τρένα. Οι υπηρεσίες που προσφέρονται ήδη από τα 3^{ης} γενιάς δίκτυα συνεχίζουν να

προσφέρονται και από την 4η γενιά δικτύων με σημαντικές αλλαγές, ωστόσο, στην ποιότητα και την ταχύτητα. (Σουουλής, 2010)

Υπηρεσίες που μέχρι σήμερα δεν έχουν διαδοθεί ευρέως, όπως η τηλεσυνδιάσκεψη, αναμένεται να γνωρίσουν μεγάλη αναγνώριση καθώς πλέον θα προσφέρονται με καλύτερη ποιότητα. Η μουσική που αποτελεί ήδη μια ευρέως χρησιμοποιούμενη υπηρεσία θα αποκτήσει ακόμη μεγαλύτερη απήχηση στο κοινό. Με τα τωρινά δίκτυα, μόνο μικρά μουσικά clips μπορούν να κατεβούν. Τα 4G θα βοηθήσουν στο κατέβασμα ολόκληρων τραγουδιών ή μουσικών κομματιών, αλλάζοντας την ανταπόκριση της αγοράς σημαντικά. (Σουουλής, 2010)

Τα 4G δίκτυα επιτρέπουν τη μετάδοση υψηλής ποιότητας video χωρίς διακοπές. Ένα από τα κύρια οφέλη των 4G είναι η δυνατότητα παροχής video και άλλων δεδομένων με υψηλή ταχύτητα χωρίς διακοπές. Υπάρχουν ήδη δίκτυα 3^{ης} γενιάς που προσφέρουν αυτές τις υπηρεσίες και το WiMAX υπόσχεται να κάνει το ίδιο. Επομένως, είναι απαραίτητη και αναπόφευκτη η ανάγκη για τα 4G δίκτυα; (Σουουλής, 2010)

Για να δοθεί απάντηση στο ερώτημα αυτό θα πρέπει να προσδιοριστεί ο αριθμός των εγγεγραμμένων συνδρομητών και η γενικότερη ζήτηση για υπηρεσίες αυτού του είδους. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η νέα γενιά ασύρματων επικοινωνιών επιτρέπει την πανταχού κάλυψη υπηρεσιών. Η 4η γενιά δικτύων θα είναι ικανή να προσφέρει τέτοιου είδους υπηρεσίες με μεγαλύτερη ποικιλία σε πολύ περισσότερους πελάτες, σε σύγκριση με τα τρέχοντα δίκτυα. Κάποιοι χρήστες ίσως επιλέξουν υπηρεσίες video, ορισμένοι ίσως θέλουν να μεταφέρουν εικόνες υψηλής ανάλυσης και ακόμη κάποιοι άλλοι πιθανότατα να βρίσκουν πιο χρήσιμες τις εταιρικές εφαρμογές ή άλλες εκλεπτυσμένες υπηρεσίες. Σε κάθε περίπτωση, όσο η ζήτηση των πελατών θα αυξάνεται σε ποσότητα αλλά και ποιότητα, τόσο η αξία των 4G θα αποκαλύπτεται. (Σουουλής, 2010)

5.4 Εξελιξίσεις για τα 4G δίκτυα

Όταν χρησιμοποιούμε τη λέξη '4G' δεν εννοούμε απλά ένα πρότυπο, αλλά ένα περιβάλλον όπου τα δίκτυα λειτουργούν με σκοπό την επικοινωνία των χρηστών χωρίς ασυνέχειες ανάμεσά τους. Συγκριτικά με τις προηγούμενες τεχνολογίες στην κινητή τηλεφωνία, η 4^η γενιά αναμένεται να έχει σημαντική επιρροή σε ολόκληρο το ασύρματο τοπίο και στη συνολική αλυσίδα της κινητής τηλεφωνίας. Το μέλλον

πρόκειται να είναι ευοίωνο, αλλά είναι στα χέρια των πελατών, όχι στους πάροχους υπηρεσιών και σίγουρα όχι στους πάροχους δικτύου. (Εργά, Κανταρού, 2005)

Μια έντονη δραστηριότητα, είχε ξεκινήσει, στο R&D Center (Research and Development Center – Κέντρο Έρευνας και Ανάπτυξης) και την Εταιρεία Πνευματικών Δικαιωμάτων (IRP). Σύμφωνα με το Συνέδριο 4G (Mobile Forum), υπήρχαν μόνο οκτώ οργανισμοί που αναμείχθηκαν με την τεχνολογία των 4G στο R&D το 2000. Μέχρι το 2003, ο αριθμός αυτός αυξήθηκε σε πάνω από 2500 οργανισμούς, εταιρείες και κυβερνήσεις που έχουν ενεργό ρόλο στην ανάπτυξη των 4G σε όλο τον κόσμο. (Εργά, Κανταρού, 2005)

Ωστόσο οι πρώτες έρευνες που έγιναν για τα 4G ήταν πριν αρκετά χρόνια. Μάλιστα η πρώτη έρευνα συνέβη στην Ευρώπη στις αρχές της δεκαετίας του '90 με σκοπό να ερευνηθεί τεχνολογίες πολύ υψηλών ρυθμών οι οποίες θα κάλυπταν τις ανάγκες για επικοινωνία μέχρι το 2020. Το πιο προχωρημένο σχέδιο ήταν το Mobile Broadband System (MBS), το οποίο στην ουσία αποτελεί την συνεργασία πολλών εταιριών και πανεπιστημίων υπό την επίβλεψη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στόχος τους ήταν να δημιουργηθεί ένα κυψελωτό σύστημα το οποίο θα έχει μεγάλη ποιότητα υπηρεσιών, μικρό χρόνο καθυστέρησης και θα υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης περίπου στα 155 Mbps. Το 1995, το πρωτότυπο MBS είχε ρυθμό μετάδοσης 34 Mbps, ο οποίος αν και μικρότερος από το αναμενόμενο ήταν αρκετά υψηλότερος από το προηγούμενα δίκτυα και βασιζόνταν στην TDMA τεχνική. Οι σχεδιαστές του υπολόγιζαν ότι γύρω στο 2020, 15 χρόνια μετά την προτυποποίησή του, θα μπορούσε να γίνει ένα λειτουργικό δίκτυο με ορισμένες αλλαγές στην τεχνολογία. (Εργά, Κανταρού, 2005)

Στα επόμενα χρόνια έγιναν αρκετές έρευνες για την τεχνολογία και τις προσφερόμενες υπηρεσίες των 4G, και έχουμε φτάσει σήμερα όπου τα δίκτυα 4th γενιάς είναι γεγονός ακόμα και στη χώρα μας, και με τον μεγαλύτερο πάροχο υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας να υποστηρίζει 4G κάλυψη στο 60% της πληθυσμιακής κάλυψης. Στις 13 Δεκεμβρίου του 2004, ένα παγκόσμιο ρεκόρ σημειώθηκε στα εργαστήρια ερευνών της εταιρείας Siemens Communications. Για πρώτη φορά, δεδομένα μεταφέρθηκαν σε πραγματικό χρόνο μέσω κινητής επικοινωνίας με ταχύτητα 1 Gbps, ενώ η ταχύτερη ασύρματη μετάδοση δεδομένων που επιτυγχάνεται με τα δίκτυα WLAN είναι περίπου 70 Mbps. Για την επίτευξη αυτού του ρυθμού μετάδοσης, η Siemens συνδύασε ένα σύστημα έξυπνων κεραιών που αποτελούνταν από τρεις κεραίες εκπομπής και τέσσερις κεραίες λήψης με χρήση

τεχνικής OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – Ορθογωνική Διαμόρφωση Πολυπλεξίας Συχνότητας). Οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι αυτή η τεχνολογία, η οποία χρησιμοποιεί επαρκώς το φάσμα συχνοτήτων, είναι πολλά υποσχόμενη για την επόμενη γενιά επικοινωνιών πέρα από το πρότυπο W-CDMA. (Εργά, Κανταρού, 2005)

Όπως είναι αναμενόμενο έχουν αυξηθεί οι ανάγκες για αύξηση της χωρητικότητας για μετάδοση φωνής, δεδομένων, εικόνας και πολυμέσων. Τα σημερινά και μελλοντικά συστήματα θα πρέπει να χρησιμοποιούν το φάσμα συχνοτήτων όσο πιο επαρκώς γίνεται και με τη χαμηλότερη δυνατή ισχύ εκπομπής. Με τη χρήση των έξυπνων κεραιών σε συνδυασμό και με την OFDM τεχνική, η Siemens Communications δημιούργησε ένα πρότυπο που μπορεί να ικανοποιήσει τις νέες ανάγκες. (Εργά, Κανταρού, 2005)

Αργότερα, μία άλλη εταιρεία η NTT DoCoMo ανακοίνωσε ότι πέτυχε ρυθμό 1 Gbps σε πραγματικού χρόνου μετάδοση πακέτου στην κάτω ζεύξη και ενώ κινούνταν με ταχύτητα 20 km/h. Το πείραμα έλαβε χώρα στην Yokosuka, Νομαρχία Kanagawa, στις 9 Μαΐου του έτους 2005. Ο ρυθμός μετάδοσης 1 Gbps πραγματοποιήθηκε μέσω της τεχνικής ραδιοπρόσβασης VSF-Spread OFDM (Variable Spreading Factor-Spread Orthogonal Frequency Division Multiplexing) και της πολυπλεξίας 4κεραίες εισόδου και 4 κεραίες εξόδου MIMO (Multiple- Input-Multiple-Output – Πολλαπλών Εισόδων και Εξόδων). Η ίδια εταιρεία, κατάφερε τη μείωση της υπολογιστικής πολυπλοκότητας της αρχικής μεθόδου, διατηρώντας όμως σταθερή τη ρυθμοαπόδοση (throughput). Η απόδοση φάσματος συχνοτήτων (frequency spectrum efficiency), η οποία εκφράζεται ως πληροφορία bits ανά second ανά Hertz, είναι 10 bits per second per Hertz, περίπου 20 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των 3G ασύρματων δικτύων. (Εργά, Κανταρού, 2005)

Μεγάλες αλλαγές φυσικά έχουν συμβεί και στα μελλοντικά κινητά τηλέφωνα, με τους χρήστες να έχουν πλέον δυνατότητα επιλογής μέσα από ένα ευρύ φάσμα συσκευών. Οι φορητές συσκευές που υποστηρίζουν 4G βρίσκονται στα καταστήματα και εμφανίστηκαν στην αγορά περίπου το 2010.

5.5 Ελληνικές εταιρείες και 4G

Η Vodafone αποτελεί μια εταιρεία προσηλωμένη στην παροχή υπηρεσιών δεδομένων υψηλού επιπέδου στην επίτευξη για την ικανοποίηση των αναγκών των

πελατών της που συμβαδίζουν με την τρέχουσα τεχνολογική εξέλιξη. Πρωταρχικό της σκοπό προς το παρόν αποτελεί η ανάπτυξη ενός εκτενούς δικτύου 4ης γενιάς (4G τεχνολογίας LTE) σε όλη την Ευρώπη. Μέσα από το ποιοτικό και αξιόπιστο δίκτυό της θα παρέχει τη δυνατότητα επικοινωνίας στους συνδρομητές της καθώς και πλήθος άλλων υπηρεσιών που μέχρι πρότινος φάνταζαν σενάριο επιστημονικής φαντασίας. (Η Vodafone επενδύει στην ανάπτυξη δικτύου 4^{ης} γενιάς)

Για να ανταποκριθεί στις προκλήσεις του μέλλοντος, η Vodafone το 2010 ξεκίνησε την ανάπτυξη του δικτύου 4G σε ευρωπαϊκό επίπεδο και σήμερα, είναι ήδη σε εμπορική χρήση δίκτυα 4G στη Γερμανία και την Πορτογαλία, ενώ παράλληλα σε άλλες χώρες συνεχίζονται οι πιλοτικές δοκιμές. Είναι αξιοσημείωτο ότι η Διεύθυνση Τεχνολογίας της Vodafone Ελλάδας, συμμετέχει ενεργά στις δοκιμές στην Ευρώπη, για την ανάπτυξη τεχνολογίας που θα ανταποκρίνεται στις προσδοκίες των πελατών της εκμεταλλευόμενη τη διεθνή εμπειρία, την τεχνογνωσία και την ηγετική θέση του Ομίλου Vodafone. (Η Vodafone επενδύει στην ανάπτυξη δικτύου 4^{ης} γενιάς)

Στην Ελλάδα η Vodafone σχεδιάζει την ανάπτυξη κινητού ευρυζωνικού δικτύου 4G σε επιλεγμένα σημεία μέσα στο τρέχον έτος. Έτσι οι συνδρομητές της Vodafone στην Ελλάδα θα είναι σε θέση να απολαμβάνουν υπηρεσίες data με πραγματικές ταχύτητες, πολλαπλάσιες των σημερινών, και ακόμα μεγαλύτερη χωρητικότητα για αποστολή και λήψη μεγάλων αρχείων. Παράλληλα, μέσω του δικτύου νέας γενιάς οι συνδρομητές θα έχουν τη δυνατότητα χρήσης multimedia εφαρμογών όπως HD Streaming και HD Video-Conferencing. (Η Vodafone επενδύει στην ανάπτυξη δικτύου 4^{ης} γενιάς)

Η Vodafone Ελλάδας πραγματοποίησε πρόσφατα μια από τις μεγαλύτερες επενδύσεις που έχουν γίνει σήμερα στη χώρα μας, ύψους 168,5 εκατομμυρίων ευρώ, για την τεχνολογική εξέλιξη του δικτύου της και την ανάπτυξη των νέων καινοτόμων υπηρεσιών 4G. Η επένδυση αυτή έδωσε τη δυνατότητα στη Vodafone, όχι μόνο να ανανεώσει την άδεια χρήσης του φάσματος συχνοτήτων, αλλά και να το επεκτείνει με την αγορά πρόσθετου φάσματος, έτσι ώστε να παρέχει την πλέον αξιόπιστη κινητή επικοινωνία, φωνής και δεδομένων. Οι συνολικές επενδύσεις της Vodafone σε έργα υποδομής δικτύου, ξεπερνούν το μισό δισ. ευρώ την τελευταία τριετία. Οι επενδύσεις αυτές στοχεύουν από τη μια στην παροχή ποιοτικά άρτιων υπηρεσιών στους και από την άλλη συμβάλουν συμβάλει στη διαρκή βελτίωση των τηλεπικοινωνιακών υποδομών ολόκληρης της χώρας. (Η Vodafone επενδύει στην ανάπτυξη δικτύου 4^{ης} γενιάς)

Η Cosmote, πρώτη στην Ελλάδα, προχωράει στην εμπορική διάθεση του κινητού ευρυζωνικού δικτύου της 4G τεχνολογίας LTE (Long Term Evolution) σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη. Το νέο δίκτυο 4ης γενιάς παρέχει πολλαπλάσιες ταχύτητες πλοήγησης στο διαδίκτυο, χρήση προηγμένων multimedia εφαρμογών όπως HD Streaming και HD Video-Conferencing, αλλά και αποστολή και λήψη μεγάλων αρχείων. Οι ταχύτητες είναι τέτοιες, που κατά μέσο όρο, οι χρήστες μπορούν να κατεβάσουν μια ταινία HD μόλις σε 2-3 λεπτά. (Cosmote: Διαθέτει πρώτη στην Ελλάδα εμπορικά το δίκτυο 4G μέσω κινητού)

«Σημειώνοντας άλλη μια πρωτιά στο ενεργητικό της, η Cosmote διαθέτει και εμπορικά πλέον τη μοναδική εμπειρία υπερυψηλών ταχυτήτων, με το δίκτυο της 4ης γενιάς να προσφέρει πολλαπλάσιες ταχύτητες από τα δίκτυα 3G», δήλωσε ο Γενικός Τεχνικός Διευθυντής της Cosmote, κ. Γιώργος Τσώνης, συμπληρώνοντας: *«Το δίκτυο 4G της Cosmote καλύπτει ήδη την πλειονότητα των δήμων στα Λεκανοπέδια Αττικής και Θεσσαλονίκης, ενώ η σταδιακή ανάπτυξη του δικτύου συνεχίζεται. Σύντομα το Cosmote 4G θα είναι διαθέσιμο και σε άλλες μεγάλες πόλεις της Ελλάδας.»* (Cosmote: Διαθέτει πρώτη στην Ελλάδα εμπορικά το δίκτυο 4G μέσω κινητού)

Το νέο δίκτυο Cosmote 4G διατίθεται για αποστολή και λήψη δεδομένων αρχικά μέσω 4G Tablets και USB Sticks σε συνδρομητές συμβολαίου στο νέο οικονομικό πρόγραμμα Cosmote Internet On The Go 20GB, ενώ θα προσφέρεται ως διαθέσιμη επιλογή και στα υφιστάμενα οικονομικά προγράμματα Cosmote Internet On The Go 5GB, 10GB, Student και Cosmote Internet Any Way 5GB. (Cosmote: Διαθέτει πρώτη στην Ελλάδα εμπορικά το δίκτυο 4G μέσω κινητού)

Επιπλέον, οι συνδρομητές καρτοκινητής θα μπορούν να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο 4ης γενιάς μέσω της νέας συσκευασίας Cosmote Internet On The Go με κάρτα-4G Full Pack, όπως επίσης και οι υφιστάμενοι συνδρομητές πακέτων Cosmote Internet On The Go με κάρτα με την αγορά του κατάλληλου 4G Tablet ή USB Stick, με την ισχύουσα τιμολογιακή πολιτική. (Cosmote: Διαθέτει πρώτη στην Ελλάδα εμπορικά το δίκτυο 4G μέσω κινητού)

6. Opnet- Προσομοίωση

6.1 Τι είναι το opnet;

Η προσομοίωση των δικτύων θα πραγματοποιηθεί με το πρόγραμμα OPNET. Πρόκειται για μια ιδιαίτερα γνωστή εμπορική εφαρμογή, με κύρια χρήση της την προσομοίωση δικτύων. Για τις ανάγκες της παρούσας πτυχιακής θα χρησιμοποιήσουμε την έκδοση IT GURU Academic Edition, ένα εξειδικευμένο ακαδημαϊκό εργαλείο στο χώρο των επικοινωνιών, που προσφέρει τη δυνατότητα μοντελοποίησης και προσομοίωσης διαφόρων ειδών δικτύων με τη βοήθεια ενός γραφικού περιβάλλοντος.

Το OPNET παρέχει δυνατότητες για δημιουργία και σχεδιασμό μεγάλων δικτύων μέχρι την παραμικρή λεπτομέρεια. Τα δίκτυα αυτά μπορούν να υλοποιηθούν σχετικά εύκολα, να δοκιμαστούν με χρήση πολλών σύγχρονων τεχνολογιών και γενικότερα βελτιστοποιηθούν.

Η κύρια πλατφόρμα εργασίας για την κατασκευή και προσομοίωση ενός δικτύου είναι ο Project Editor. Σε αυτό το περιβάλλον δημιουργούμε ένα οποιοδήποτε μοντέλο δικτύου, χρησιμοποιώντας τα έτοιμα μοντέλα (π.χ. ένα Τοπικό Δίκτυο (LAN), ένα Μητροπολιτικό Δίκτυο (MAN) ή ένα δίκτυο με δύο υπολογιστές κ.τ.λ.) που υπάρχουν στη βιβλιοθήκη του OPNET, στη συνέχεια επιλέγουμε κάποια στατιστικά στοιχεία για το δίκτυο, εκτελούμε την προσομοίωση και προκύπτουν κάποια αποτελέσματα.

Το περιβάλλον εργασίας του OPNET αποτελείται από πολλά παράθυρα. Το παράθυρο που βλέπουμε παρακάτω είναι το πρώτο που συναντάμε όταν ξεκινήσουμε το OPNET.

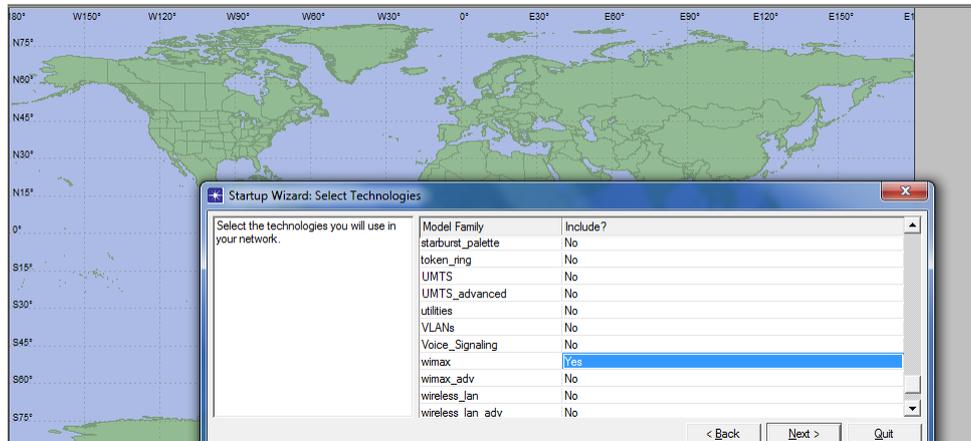


Εικόνα 20 αρχική εικόνα Opnet

Έπειτα επιλέγοντας File-New-Project βρισκόμαστε στο βασικό παράθυρο του OPNET όπου γίνεται και η σχεδίαση του δικτύου. Πρέπει να επιλέξουμε Project Name και Scenario Name. Το scenario είναι ένα ξεχωριστό σενάριο μέσα στο project που αναπαριστά μια συγκεκριμένη κατάσταση. Ένα project μπορεί να περιέχει πολλά σενάρια. Π.χ. αν ένα Project περιέχει ένα δίκτυο Wimax, το πρώτο σενάριο μπορεί να είναι το συγκεκριμένο δίκτυο για 10 χρήστες και ένα δεύτερο σενάριο για 100 χρήστες. Έτσι έχουμε 2 περιπτώσεις με διαφορετικές ρυθμίσεις και τιμές. Αφού δώσουμε τις ονομασίες που θέλουμε και πατήσουμε OK, στο επόμενο μενού που συναντάμε επιλέγουμε «Empty Scenario» και πατάμε Next. (Εξοικείωση με το OPNET)

Το επόμενου μενού περιέχει τους χάρτες που θέλουμε να έχουμε ως background της προσομοίωσης, χρησιμοποιώντας διάφορα δεδομένα όπως στοιχεία για την μορφολογία του εδάφους, σε πόση απόσταση θα τοποθετήσουμε τους σταθμούς βάσης κ.λπ.. Αν επιλέξουμε «world» και πατήσουμε Next, εμφανίζεται μια λίστα χωρών. Αν θέλουμε να φτιάξουμε το δίκτυο μας με Background μια συγκεκριμένη χώρα στο περιβάλλον εργασίας, την επιλέγουμε και πατάμε Next. Στο μενού που βρισκόμαστε πλέον (Startup Wizard : Select Technologies) μπορούμε να επιλέξουμε εκ των προτέρων κάποιες τεχνολογίες που είμαστε βέβαιοι ότι θα χρησιμοποιήσουμε στο project μας. Αυτό σημαίνει και κάποιες αυτόματες ρυθμίσεις σε μερικά μενού του OPNET. Αν για παράδειγμα χρησιμοποιήσουμε την τεχνολογία Wimax, τη βρίσκουμε από τη στήλη Model Family, αλλάζουμε το «no» του Include (δεύτερη στήλη)

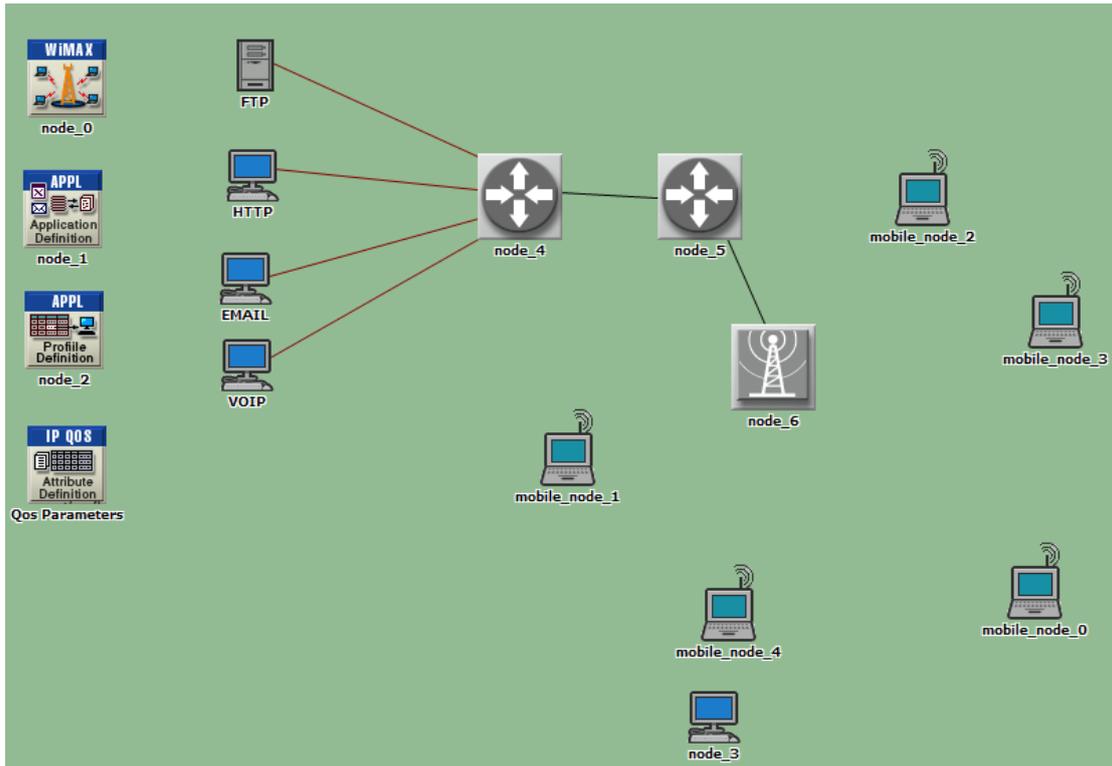
σε «yes» και πατάμε Next. Το τελευταίο αυτό παράθυρο απλά μας επιβεβαιώνει το χάρτη και τη τεχνολογία που έχουμε επιλέξει και πλέον πατώντας OK, είμαστε στο κύριο menu του OPNET. (Εξοικείωση με το OPNET)



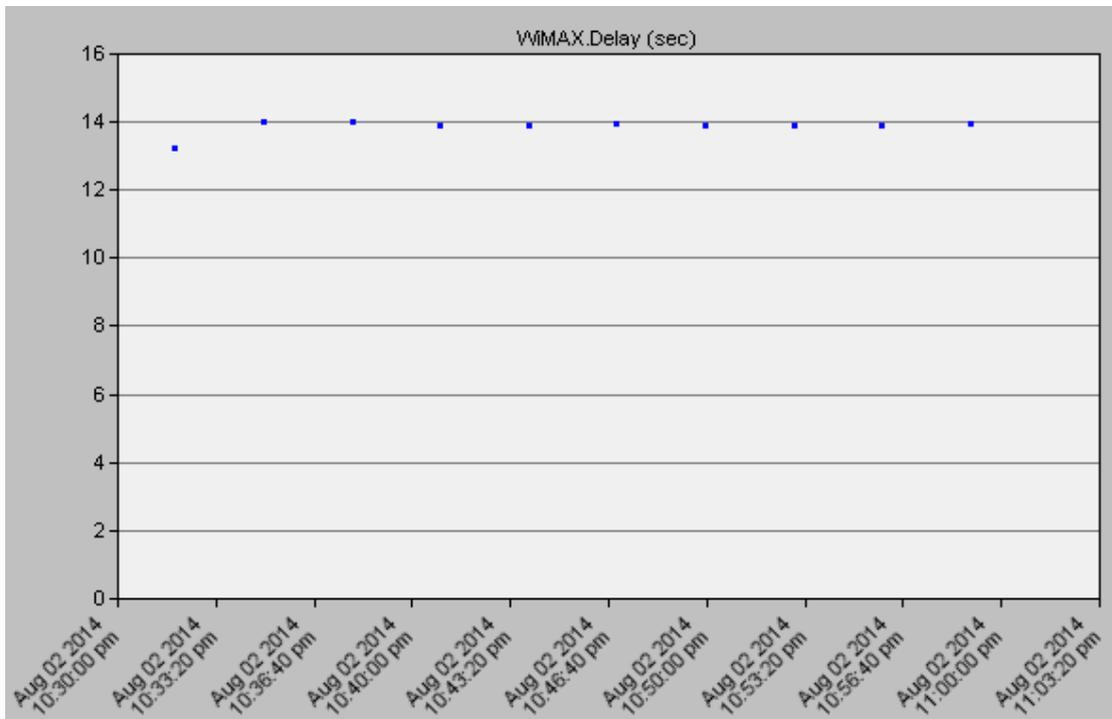
Εικόνα 21 Επιλογή τεχνολογίας Wimax

6.2 WiMax

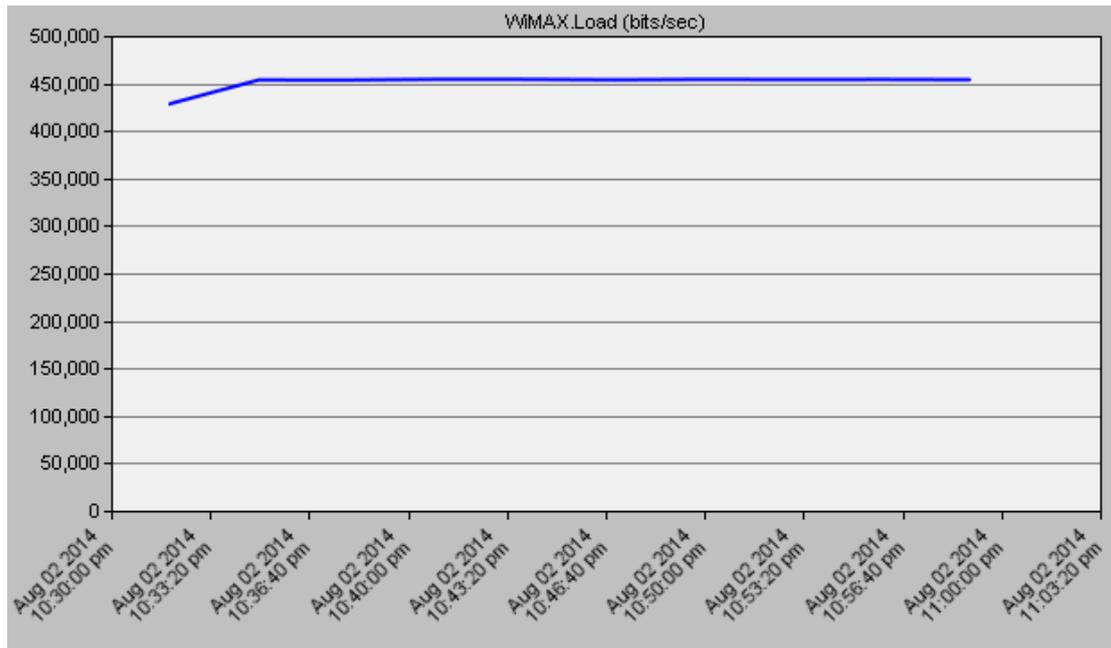
Αρχικά έγινε υλοποίηση του WiMAX δικτύου στο περιβάλλον προσομοίωσης Opnet. Έχουμε βάλει μικρό αριθμό χρηστών οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιήσουν υπηρεσίες όπως VoIP, email, web browsing (http). Επίσης υπάρχει μία κεραία εξυπηρέτησης και το δίκτυο κορμού, ενώ για να ρυθμιστούν σωστά οι εφαρμογές πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι βαθμίδες Application config και Profile config. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται το δίκτυο που υλοποιήσαμε. Αφού ρυθμίσαμε προσεκτικά όλες τις παραμέτρους, στη συνέχεια επιλέγουμε πια στατιστικά μας ενδιαφέρουν και έπειτα μπορούμε να ξεκινήσουμε την προσομοίωση.



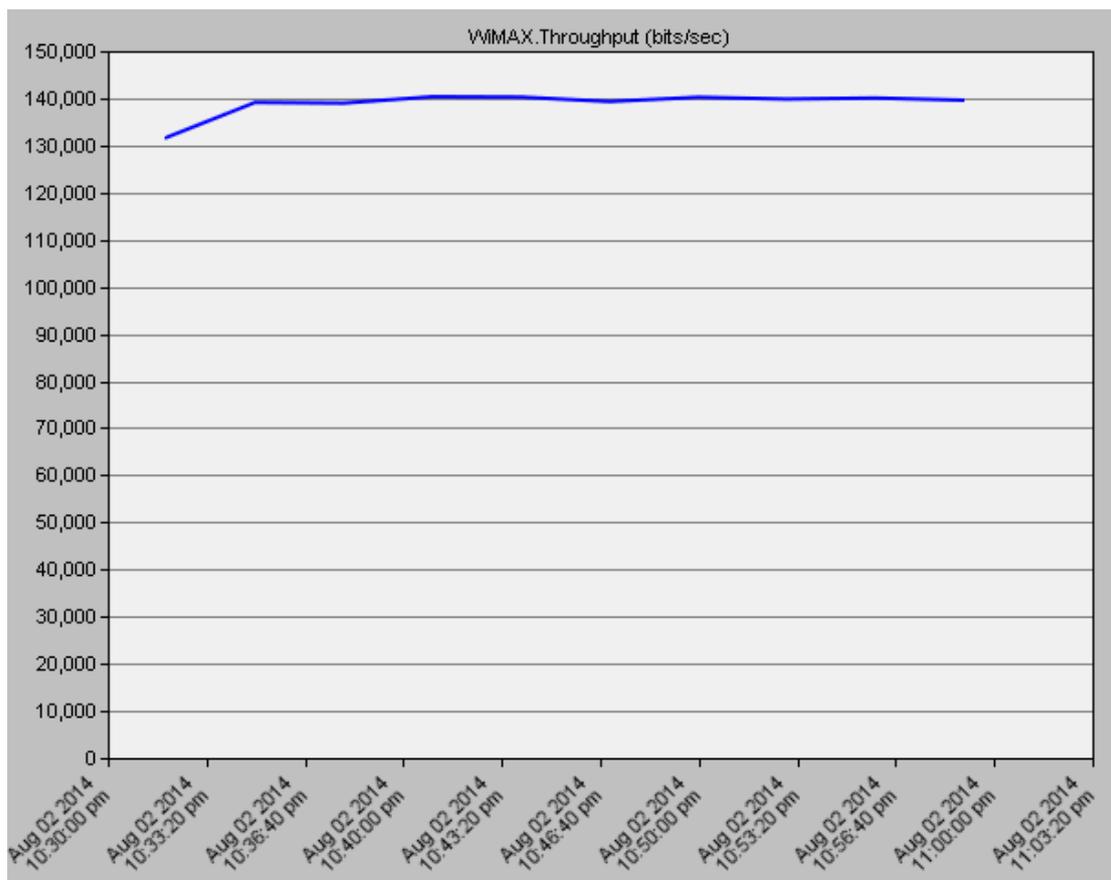
Εικόνα 22 Υλοποίηση WiMAX δικτύου



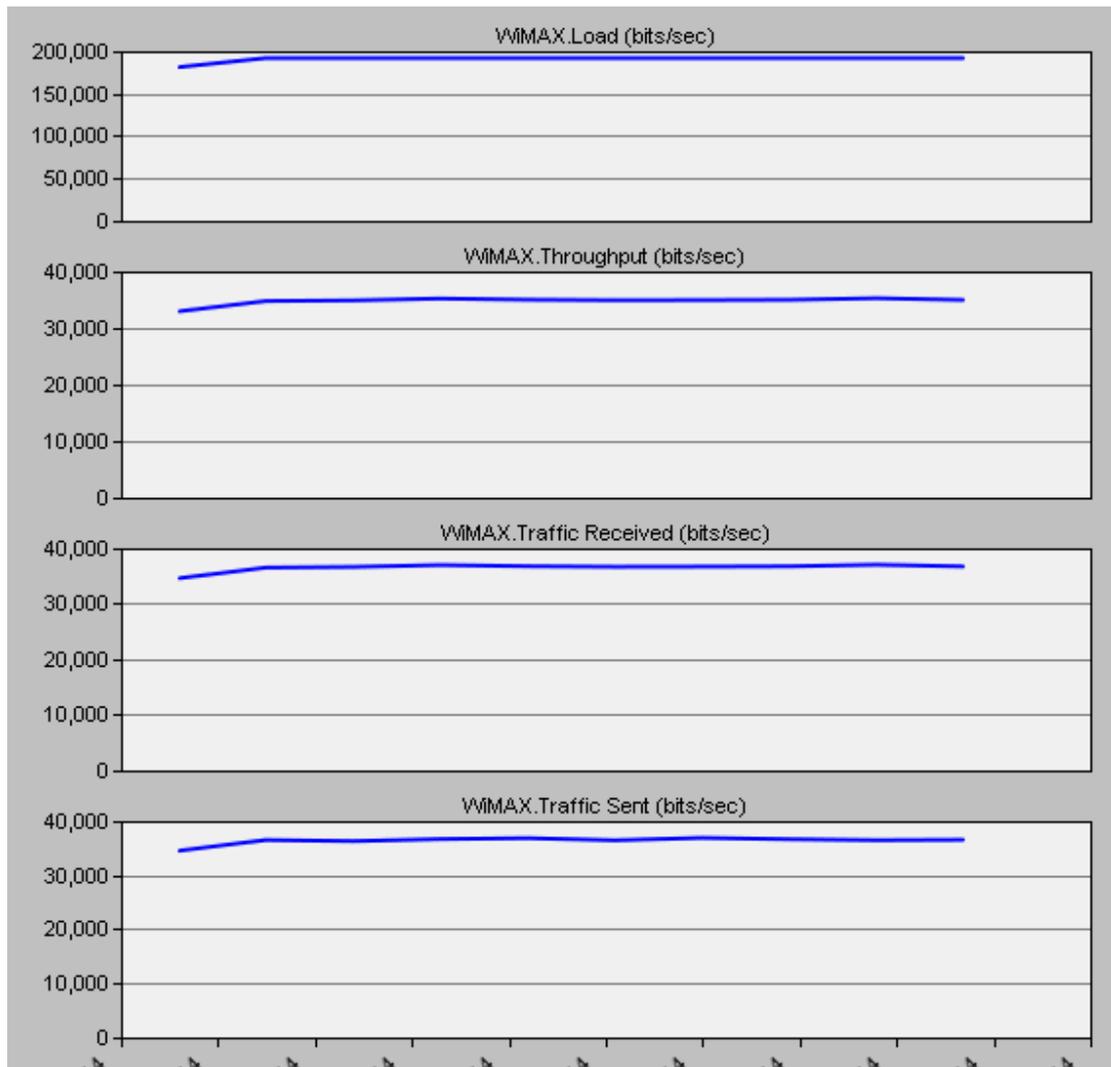
Εικόνα 23 Καθυστέρηση στο δίκτυο



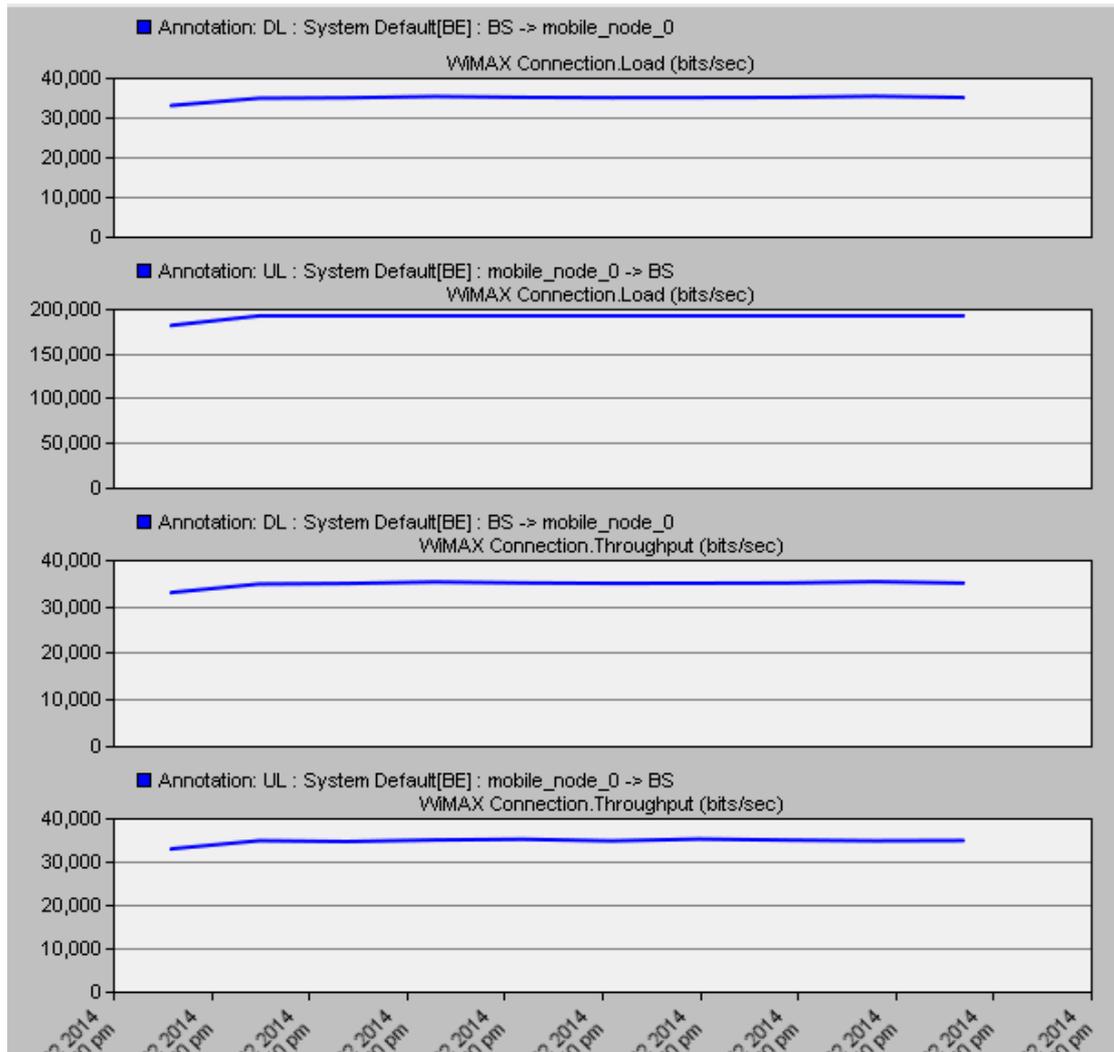
Εικόνα 24 Φορτίο στο δίκτυο



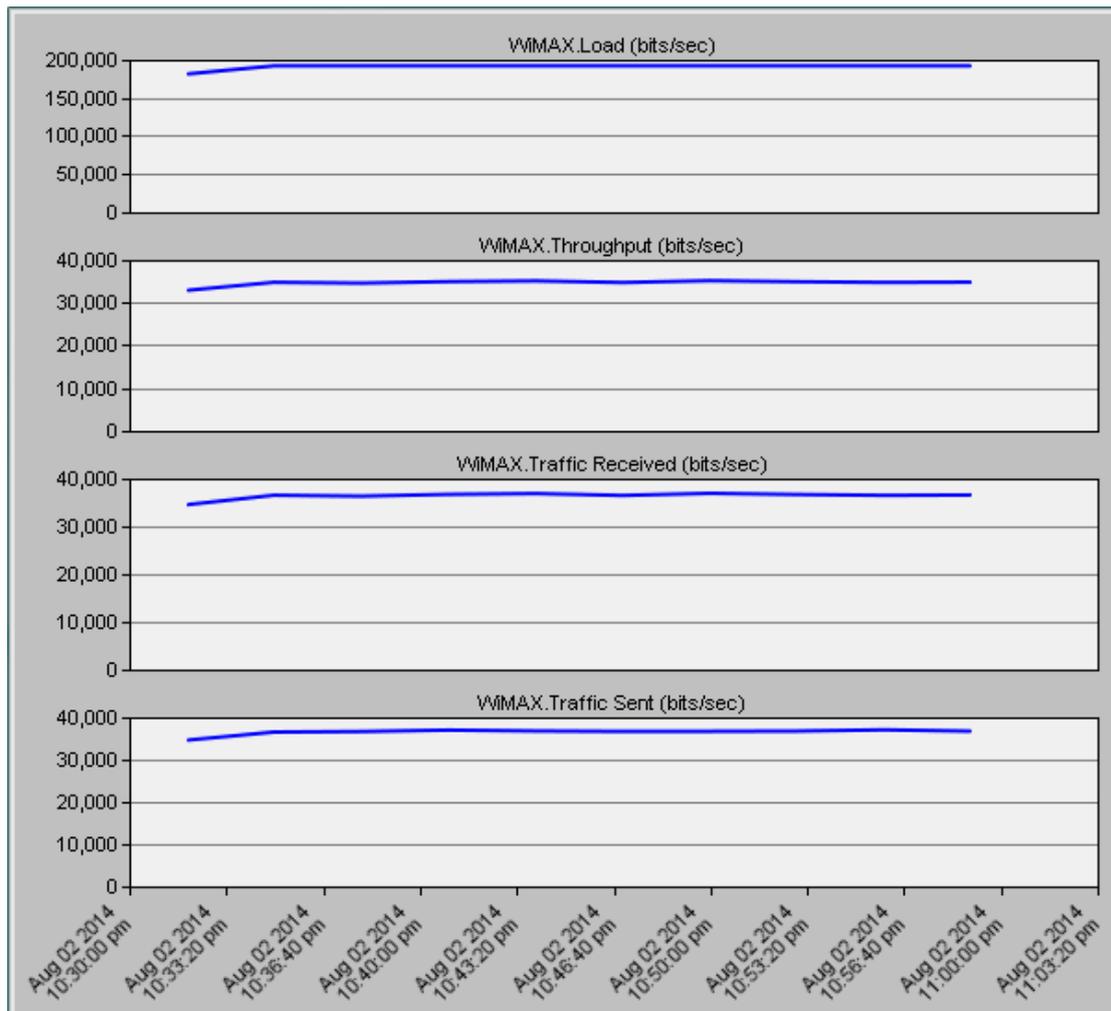
Εικόνα 25 ρυθμαπόδοση δικτύου



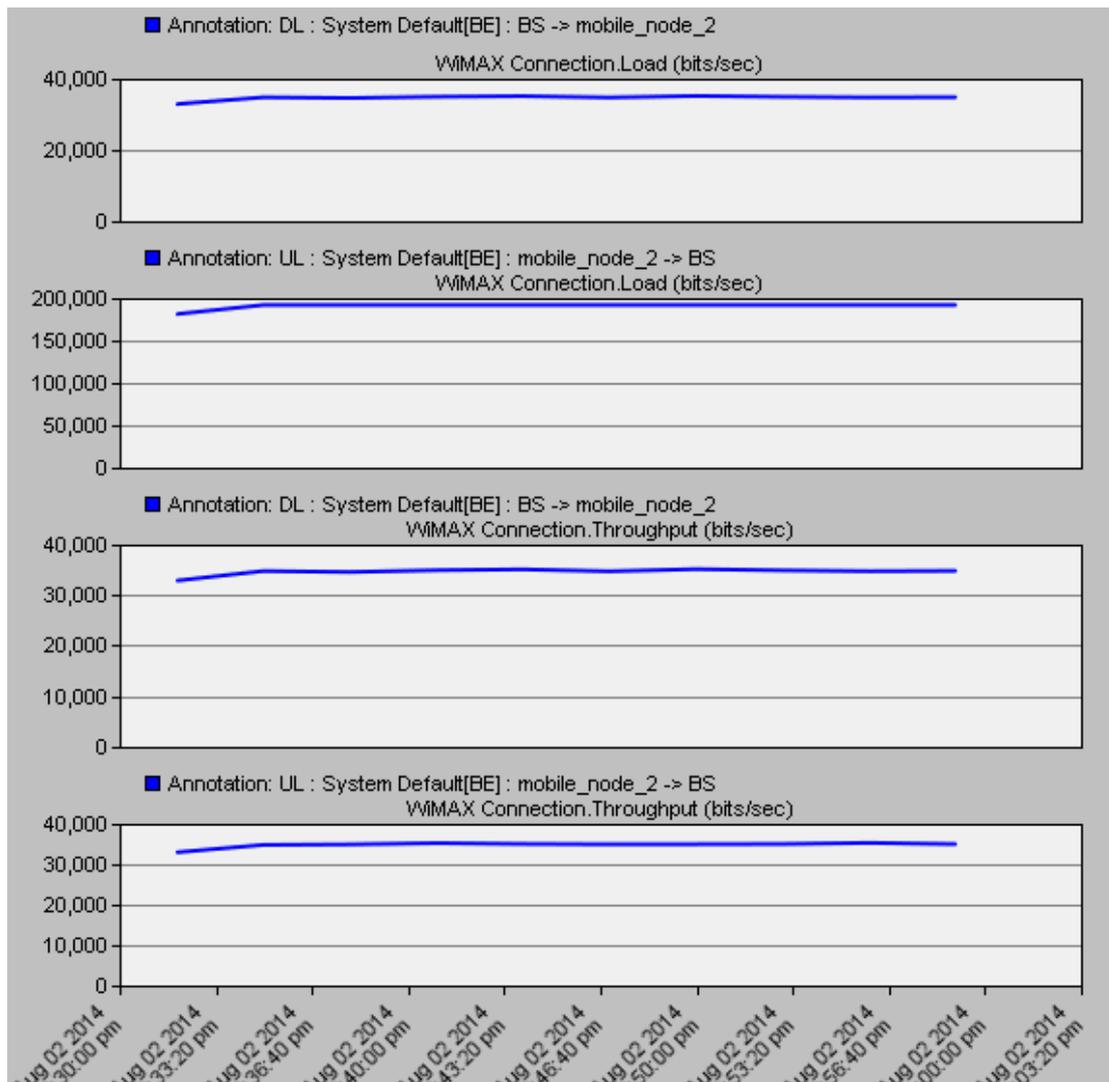
Εικόνα 26 node0 με υπηρεσία Voip



Εικόνα 27 Στοιχεία σταθμού βάσης προς χρήστη



Εικόνα 28 node2 με υπηρεσία Voip

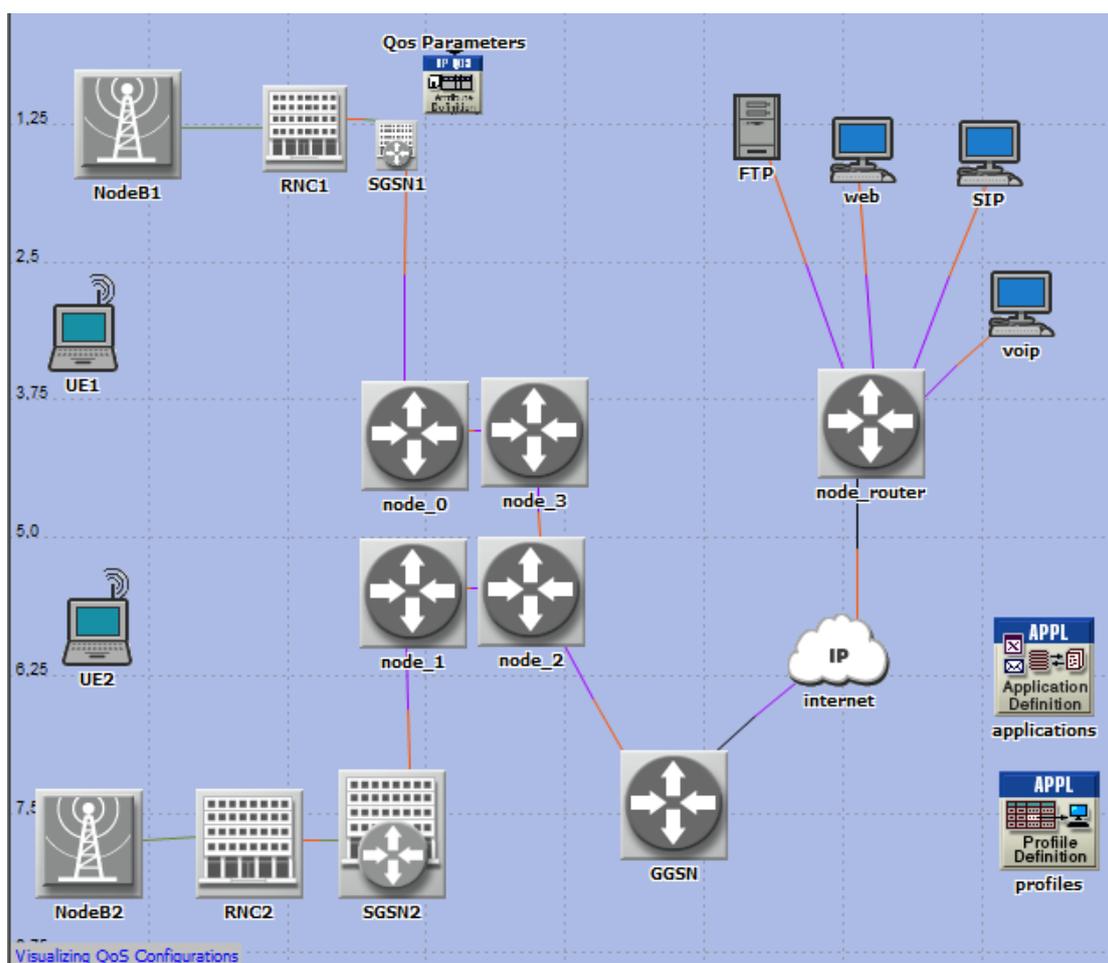


Εικόνα 29 στοιχεία σταθμού βάσης

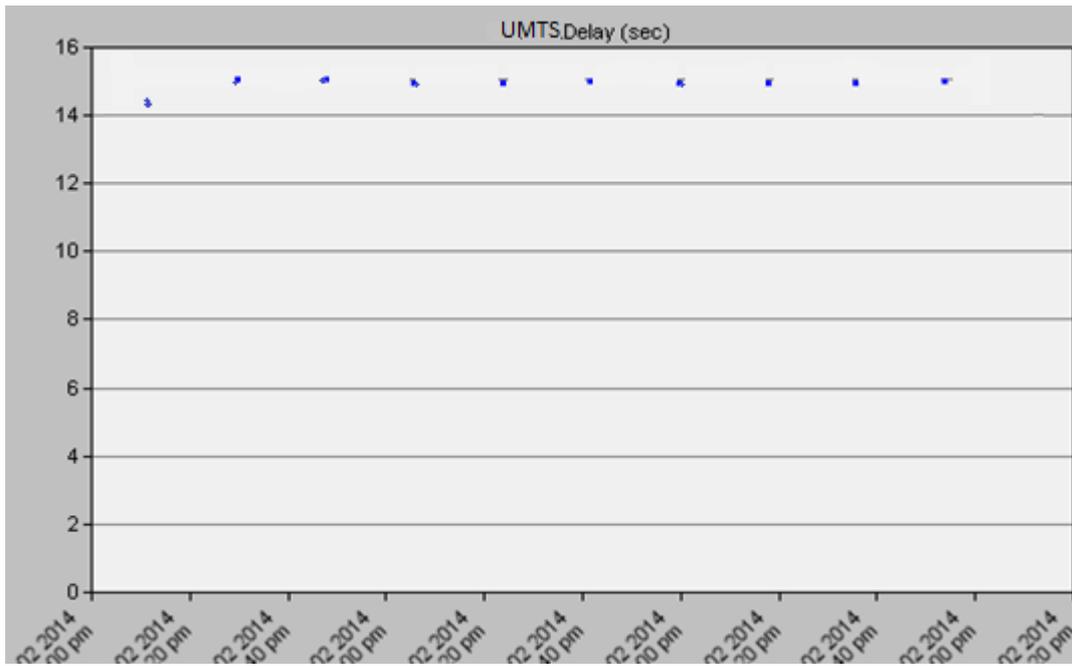
Όπως μπορούμε να δούμε από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στα δίκτυα Wimax επιτυγχάνονται αρκετά υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης όταν χρησιμοποιούνται υπηρεσίες που χρησιμοποιούν το διαδίκτυο μέσω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Τέτοια υπηρεσία που εφαρμόσαμε στην προσομοίωση ήταν η Voip – Voice over Internet Protocol, όπου πλέον σε συνδυασμό με τα «έξυπνα» τηλεφώνά υπάρχουν αρκετές εφαρμογές που χρησιμοποιούν αυτή την υπηρεσία. Επομένως με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μπορεί να γίνει κατανοητό ότι θα είναι αρκετά καλή η επικοινωνία σε υπηρεσίες Voip σε δίκτυα Wimax τεχνολογίας.

6.3 UMTS

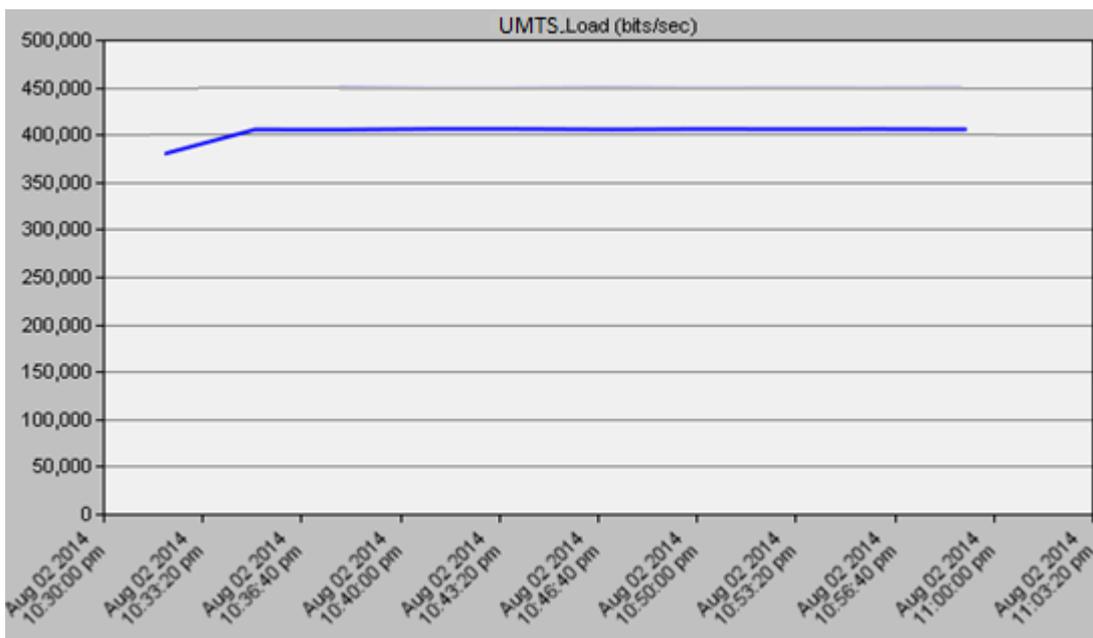
Στη συνέχεια προχωράμε στην υλοποίηση του δικτύου 3^{ης} γενιάς, την τεχνολογία UMTS. Με παρόμοια τεχνική τοποθετούμε τους χρήστες, τους σταθμούς βάσης καθώς και τις μονάδες που χρειάζονται για να στήσουμε το δίκτυο κορμού του δικτύου. Επίσης θα πρέπει να επιλέξουμε ποιες εφαρμογές θα υλοποιηθούν και να χρησιμοποιήσουμε ξανά τις βαθμίδες Application config και Profile config.



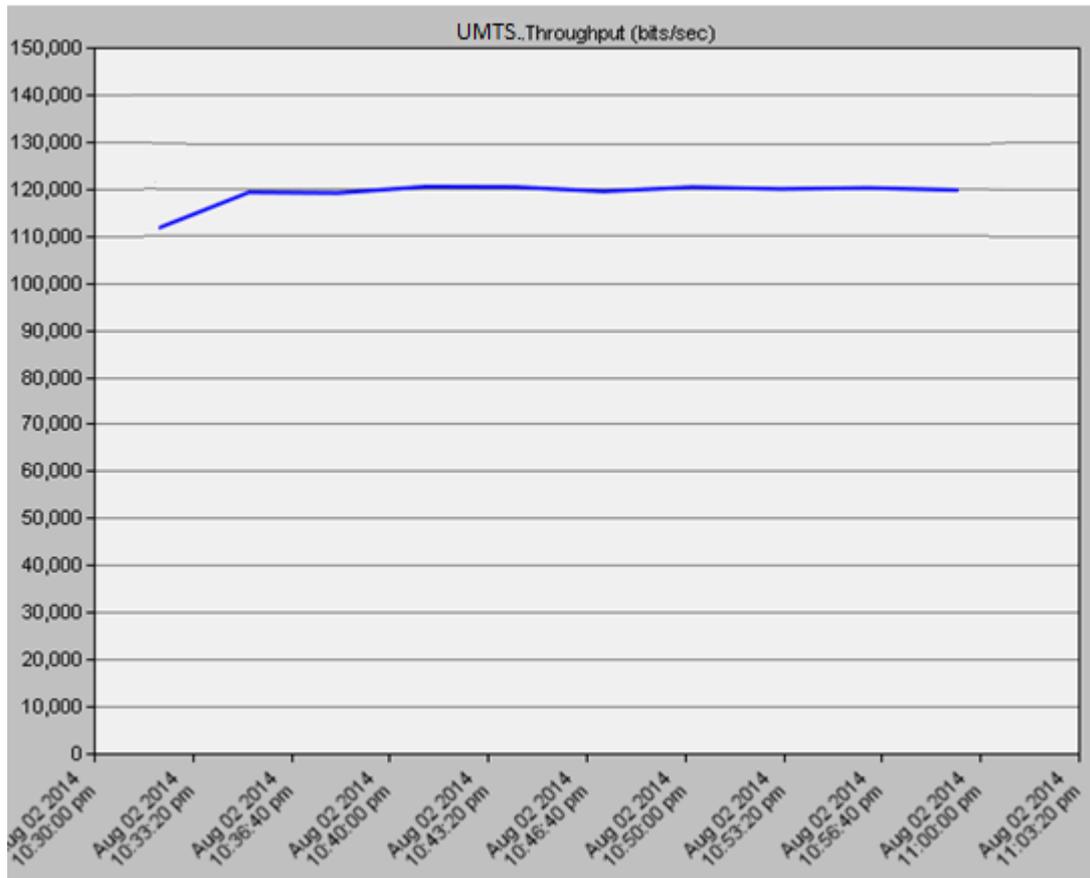
Εικόνα 30 Υλοποίηση UMTS δικτύου



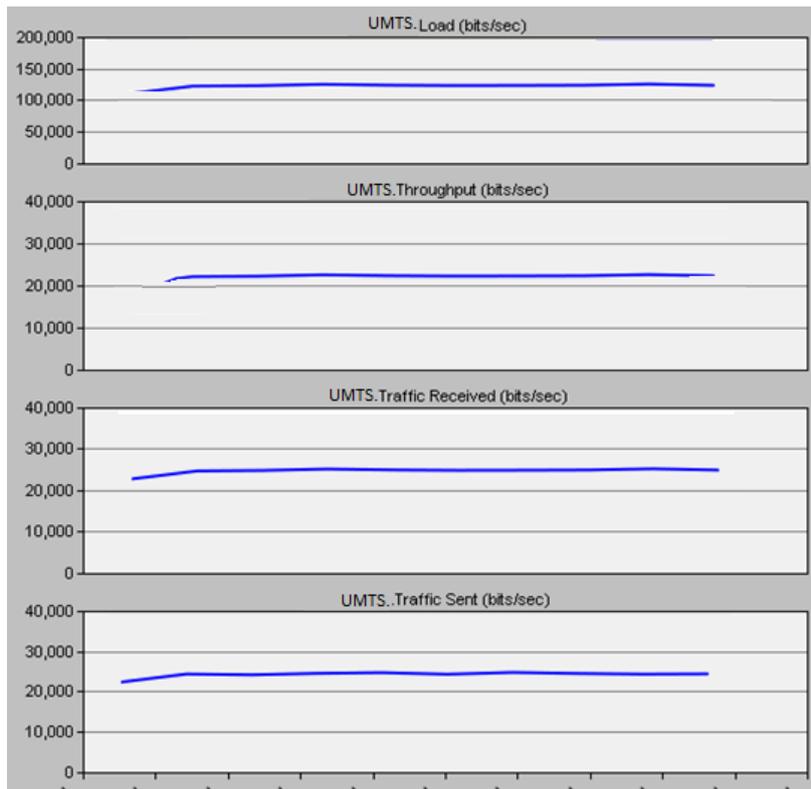
Εικόνα 31 καθυστέρηση UMTS δικτύου



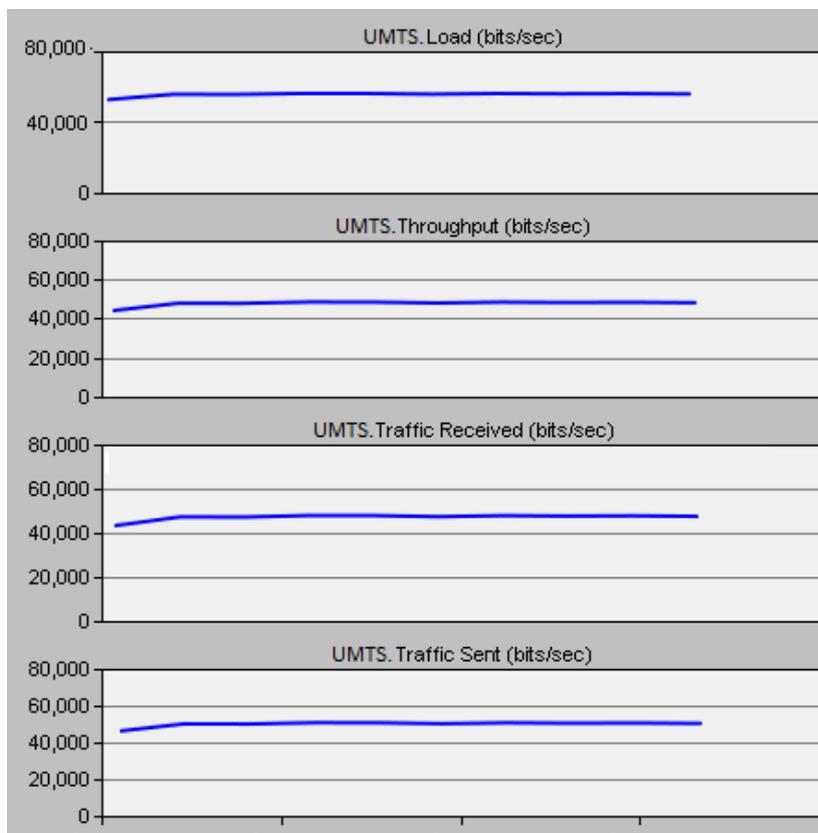
Εικόνα 32 φορτίο στο UMTS



Εικόνα 33 ρυθμαπόδοση στο UMTS



Εικόνα 34 UE1 με υπηρεσία Voip



Εικόνα 35 UE2 με υπηρεσία http

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το UMTS δίκτυο, οι ρυθμοί μετάδοσης που επιτυγχάνονται είναι χαμηλότεροι από το WiMAX, κάτι το οποίο και σύμφωνα με την θεωρία της παρούσας εργασίας, ήταν αναμενόμενο. Ωστόσο γενικά επιτυγχάνονται ικανοποιητικοί ρυθμοί μετάδοσης. Ωστόσο είναι δύσκολο να πραγματοποιηθούν με μεγάλη επιτυχία εφαρμογές που απαιτούν τη χρήση του διαδικτύου, όπως η υπηρεσία Voip. Ενδεχομένως θα υπάρχει αρκετή καθυστέρηση μέχρι να ακούσει ο πομπός τον δέκτη, λόγω των χαμηλότερων ταχυτήτων.

7. Συμπεράσματα, 3G vs 4G

Η 3η γενιά δικτύων, παρά τις αρχικές αισιόδοξες προβλέψεις, αποδείχτηκε αρκετά απογοητευτική. Αντί να υπάρχει ένα παγκόσμιο πρότυπο δικτύου, μόνο στην Αμερική αναπτύχθηκαν τρία ασύμβατα συστήματα. Η φωνή μεταφέρεται με κυκλώματα μεταγωγής – χαρακτηριστικό που κληρονομήθηκε από τα δίκτυα 2ης γενιάς – και όχι με το υποσχόμενο IP, ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων δεν είναι αυτοί που είχαν προβλεφθεί. Τα μειονεκτήματα αυτά οφείλονται στην τεχνολογική ανωριμότητα των 3G δικτύων.

Στην πραγματικότητα, τα τρέχοντα δίκτυα 3^{ης} γενιάς δεν προσφέρουν την αληθινή 3G εμπειρία στους χρήστες αλλά αποτελούν μία αρχική-δοκιμαστική εκδοχή τους, ενώ η αληθινή εκδοχή τους αναμένεται στο μέλλον. Ωστόσο, ποτέ δεν θα φανούν αντάξια των υποσχέσεων των κατασκευαστών τους.

Αντίθετα, τα 4ης γενιάς δίκτυα στοχεύουν να προσφέρουν στους χρήστες όλα όσα δεν κατάφεραν να δώσουν τα προηγούμενα δίκτυα. Τα 4G μπορούν να προσφέρουν αλληλεπιδρούσες υπηρεσίες πολυμέσων, όπως τηλεσυνδιάσκεψη, ασύρματο διαδίκτυο, υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης (100Mbps), παγκόσμια κινητικότητα και φορητότητα υπηρεσιών σε χαμηλό κόστος.

Πλέον, όλη η τεχνολογία θα στηρίζεται σε μεταγωγή πακέτων και όχι σε μεταγωγή κυκλωμάτων όπως συνέβαινε στα 3G δίκτυα, με όλα τα στοιχεία του δικτύου να είναι ψηφιακά. Τα παραπάνω φαίνονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα. Βέβαια, εξαιτίας των δειγμάτων που έχουμε σήμερα από την πορεία των 3G είναι δύσκολο να εμπιστευτούμε τις πολύ αισιόδοξες προβλέψεις. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν εξίσου καλοί λόγοι να πιστέψουμε ότι κάποιοι στόχοι των 4G θα πραγματοποιηθούν.

3 ^η γενιά	4 ^η γενιά
Συμβατότητα με 2 ^η γενιά	Επέκταση χωρητικότητας της 3 ^{ης} γενιάς κατά μία τάξη μεγέθους
Circuit & packet switched δίκτυα	Μόνο packet switched δίκτυα
Συνδυασμός του υπάρχοντος και του νέου εξοπλισμού	Όλα ψηφιακά
Ρυθμοί μετάδοσης ως 2Mbps	Ρυθμοί μετάδοσης 100Mbps και άνω

Πίνακας 3 3G vs 4G

Επίσης όπως προέκυψε από τις προσομοιώσεις στο Opnet των δύο τεχνολογιών, στα δίκτυα Wimax, επιτυγχάνονται πολύ υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης για υπηρεσίες διαδικτύου μέσω των δικτύων κυψελωτών επικοινωνιών, κάτι το οποίο δεν συμβαίνει με τα δίκτυα UMTS τεχνολογίας. Αυτό είναι εύκολο να το παρατηρήσουμε κάνοντας λήψη ενός αρχείου με μία φορητή συσκευή, χρησιμοποιώντας και τα δύο δίκτυα και να διαπιστώσουμε και στην πραγματικότητα τη διαφορά των ταχυτήτων.

Βιβλιογραφία

- Cosmote: Διαθέτει πρώτη στην Ελλάδα εμπορικά το δίκτυο 4G μέσω κινητού, Ανάκτηση στις 30/06/2014 από <http://www.anetos.gr/tech/13759-cosmote-diathetei-proti-stin-ellada-emporika-to-diktuo-4g-meso-kinitou>
- Αντωνάκος Π., Καραλιώτας Ν., Πτυχιακή εργασία «ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ LTE ΜΕ ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΓΚΕΦΑΛΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ & ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ (WCDMA) ΣΤΑ ΕΓΚΕΦΑΛΙΚΑ ΠΡΟΚΛΗΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ», Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα Οκτώβριος 2011, ανάκτηση στις 12/04/2014 από <http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/handle/123456789/5659>
- Γιαννακός Ν., Κοσσιφίδης Ν., Πανουσίου Σ., Πεικίδης Ι., «Το αλφαβητάρι της ασύρματης δικτύωσης», ανάκτηση στις 20/06/2014 από <http://www.ebusinessforum.gr/old/content/downloads/Wi-Fi-Guide-final.part1.pdf>
- Γκόνης Π., Διδακτορική διατριβή «Επίδοση πολυκυψελωτών συστημάτων WCDMA με χρήση πολλαπλών κεραιών στον σταθμό βάσης και της συσκευή χρήστη», Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα Απρίλιος 2009, Ανάκτηση στις 20/05/2014 από <http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/6014/1/PD2009-0047.pdf>
- Εργά Φ., Κανταρού Β., Διπλωματική εργασία «Αξιοποίηση της αρχιτεκτονικής υπηρεσιών ιστού σε ασύρματα τηλεπικοινωνιακά περιβάλλοντα τέταρτης γενιάς», Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2005, Ανάκτηση στις 20/06/2014 από <http://artemis-new.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/3961/2/DT2005-0226.pdf>
- Εξοικείωση με το OPNET, ανάκτηση στις 30/06/2014 από files.ieknepolis-terp.webnode.gr%2F200000029-f1bb2f2b66%2FOpnet
- Ευρυζωνικότητα, ανάκτηση στις 10/04/2014 από <http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/umts.php>

- Η Vodafone επενδύει στην ανάπτυξη δικτύου 4^{ης} γενιάς, Ανάκτηση στις 30/06/2014 από <http://www.vodafone.gr/portal/client/news/pressReleaseClient!pressReleaseDetails.action?pressReleaseId=39974&dateFrom=&dateUntil=>
- Θεολόγου Μ. Ε., Δίκτυα κινητών και προσωπικών επικοινωνιών, Εκδόσεις Τζιόλα 2007
- Κανάτας Α., Κωνσταντίνου Φ., Πάντος Γ., Συστήματα κινητών επικοινωνιών, Εκδόσεις Παπασωτηρίου Αθήνα 2008
- Κούσουλας Α., Διπλωματική εργασία «Σχεδιασμός και υλοποίηση περιβάλλοντος προσομοίωσης των λειτουργικών παραμέτρων σύγχρονων ασύρματων δικτύων», Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή, Πάτρα 2008, Ανάκτηση στις 15/05/2014 από <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/1806/1/Sxediasmos%20kai%20ulopoihsh%20periballontos%20prosomoiwshs%20%28testbed%29%20tw%20leitourgikwn%20parametrwn%20sygxronwn%20asyr.pdf>
- Κωστάκη Θ., Πτυχιακή εργασία «Σχήματα χρέωσης για υπηρεσίες από κυβελωτά δίκτυα τρίτης γενιάς», Ανώτατο τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα Κρήτης, Ηράκλειο Μάρτιος 2008, Ανάκτηση στις 21/05/2014 από <http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/epp/2008/KostakiTheoni/attached-document/Kostaki.pdf>
- Κωνσταντινιάδης Μ., HSDPA: High Speed downlink packet Access, δημοσίευση 19/03/2006, Ανάκτηση στις 20/06/2014 από <http://www.myphone.gr/library/article-42.html>
- Μακρής Σ., Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία «Μελέτη συστήματος πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα σε ασύρματο κανάλι επικοινωνίας», Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Πειραιάς 2011, Ανάκτηση στις 20/05/2014 από <http://digilib.lib.unipi.gr/dspace/bitstream/unipi/5001/1/Makris,%20Savvas%20N..pdf>
- Μποχρίνη Σ., Διπλωματική εργασία «Ανάλυση και αξιολόγηση των δικτύων προς το Long Term Evolution», Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή, Πάτρα 2009, ανάκτηση στις 21/05/2014 από <http://hdl.handle.net/10889/2588>

- Παντελής Ι., Διπλωματική εργασία «Μελέτη δικτύων επόμενης γενιάς και μοντελοποίησή τους στο περιβάλλον του Ornet», Πανεπιστήμιο Πατρών Πολυτεχνική σχολή, Πάτρα Ιούνιος 2011, Ανάκτηση στις 27/06/2014 από <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/4675/1/%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1.pdf>
- Στεφανίδης Β., Τσιλιγκίρη Α., HSPA+: High speed packet access plus release 7 for enhanced mobile broadband, Ανάκτηση στις 12/04/2014 από <http://www.meducator3.net/melinaplus/sites/default/files/HSPA%20ver%203.ppt>
- Σουουτλής Κ., Διπλωματική εργασία «Ποιότητα υπηρεσιών και ασφάλεια σε ασύρματα δίκτυα 4^{ης} γενιάς», Τμήμα Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη Μάιος 2010, Ανάκτηση στις 27/06/2014 από
- https://dspace.lib.uom.gr/bitstream/2159/13913/1/Sooutlis_Msc2010.pdf