



Ανώτατο Τεχνολογικό Ίδρυμα Καλαμάτας  
Παράρτημα Σπάρτης  
Σχολή: Τμήμα Τεχνολογίας Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

**Πτυχιακή Εργασία**

**Τεχνολογίες Συστημάτων Επικοινωνίας 4<sup>ης</sup> Γενιάς**



**Ξιφάρης Νικόλαος**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: Κάραλη Ευαγγελία**

**Αθήνα 2011**

## *Περίληψη*

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζονται οι τεχνολογίες 4<sup>ης</sup> γενιάς. Η τέταρτη γενιά 4G είναι η επόμενη γενιά ασύρματης επικοινωνίας που θα αντικαταστήσει τα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς 3G και θα προσφέρει στον χρήστη όσα δεν κατάφεραν οι προηγούμενες γενιές. Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τεχνολογίες επικοινωνίας από την αρχή μέχρι και την τρίτη γενιά. Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της 4<sup>ης</sup> γενιάς ασύρματης επικοινωνίας καθώς και οι εφαρμογές τους. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στις τεχνικές πολλαπλής προσπέλασης που θα χρησιμοποιηθούν στα δίκτυα καθώς και στην αρχιτεκτονική τους. Κατόπιν αναλύουμε τις τεχνολογίες ξεχωριστά παραθέτοντας πως δημιουργήθηκαν, τα βασικά χαρακτηριστικά τους, υπηρεσίες και εφαρμογές και τέλος η εξέλιξη τους σήμερα. Τέλος γίνεται σύγκριση μεταξύ των τεχνολογιών με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1. Τεχνολογία 1 <sup>ης</sup> – 3 <sup>ης</sup> Γενιάς	
1.1 Εισαγωγή.....	4
1.2 Σύντομη Ιστορική Αναδρομή.....	4
1.3 Γενιές Κινητής Τηλεφωνίας.....	5
1.3.1 Τεχνολογίες Συστημάτων Επικοινωνίας Πρώτης Γενιάς (1G).....	5
1.3.2 Τεχνολογίες Συστημάτων Επικοινωνίας Δεύτερης Γενιάς (2G).....	6
1.3.3 Τεχνολογίες Συστημάτων Επικοινωνίας Δεύτερης Γενιάς (2,5-2,7G).....	15
1.3.4 Τεχνολογίες Συστημάτων Επικοινωνίας Τρίτης Γενιάς (3G).....	19
Βιβλιογραφία.....	27
Κεφάλαιο 2. Τεχνολογίες 4 <sup>ης</sup> Γενιάς.	
2.1 Εισαγωγή.....	29
2.2 Απαιτήσεις – Χαρακτηριστικά Συστημάτων 4 <sup>ης</sup> Γενιάς.....	30
2.3 Μελλοντικές Εφαρμογές.....	32
2.4 Σύγκριση 3G με 4G.....	34
2.5 Αρχιτεκτονική Δικτύων 4G.....	35
2.5.1 Επιλογή Δικτύου.....	38
2.6 Καινοτομίες 4 <sup>ης</sup> Γενιάς.....	39
2.6.1 OFDMA (Orthological Frequency Division Multiplexing).....	39
2.6.2 Τεχνικές κεραιών.....	40
2.6.3 ALL – IP.....	42
2.6.4 Έξυπνες Κεραίες (Smart Antennas).....	44
2.7 Τεχνολογίες Συστημάτων Επικοινωνίας 4 <sup>ης</sup> Γενιάς.....	51
2.7.1 Ultra Mobile Broadband.....	51
2.7.2 Long Term Evolution.....	64
2.7.3 IEEE 802. 16e Mobile WiMAX.....	78
2.8 Συγκρίσεις Τεχνολογιών WiMAX, LTE, UMB.....	90
Βιβλιογραφία.....	94
Επίλογος.....	98
Ακρωνύμια.....	99

## *Κεφάλαιο 1. Τεχνολογίες 1<sup>ης</sup>-3<sup>ης</sup> Γενιάς*

### *1.1 Εισαγωγή*

Η μεγάλη ζήτηση για υπηρεσίες internet οποιαδήποτε στιγμή όπου και αν βρισκόμαστε, καθώς και η ανάγκη για πρόσβαση στην τεχνολογία της πληροφορίας καθιστούν επιτακτική την ανάγκη ανάπτυξης ασύρματων κινητών συστημάτων ευρείας ζώνης.

### *1.2 Σύντομη Ιστορική Αναδρομή*

Η ιστορία της κινητής τηλεφωνίας ξεκίνησε στο τέλος του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, με τις πρώτες προσπάθειες των Σουηδών, Φιλανδών και Αμερικανών. Η ημερομηνία γέννησής της θεωρείται η 3η Απριλίου 1973. Το πρώτο αυτοματοποιημένο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας λειτούργησε στις αρχές της δεκαετίας του 80 στη Σκανδιναβία. Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 80 τα κινητά τηλέφωνα ήταν ογκώδη για να μεταφέρονται στην τσέπη κι έτσι ήταν εγκατεστημένα κυρίως σε αυτοκίνητα. Το πρώτο κινητό ήταν το μοντέλο της Μοτορόλα DynaTAC8000X. Υπήρξε η ναυαρχίδα κινητών πρώτης γενιάς (1G). Στην αρχή της δεκαετίας του 90 άρχισε η απογείωση των

κινητών τηλεφώνων, με την ψηφιοποίηση δικτύων (GSM). Περάσαμε στα κινητά της δεύτερης γενιάς (2G) που παρείχαν ευκολίες, όπως την αποστολή σύντομων γραπτών μηνυμάτων (SMS) και τη λήψη φωτογραφιών. Στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα ήρθαν τα κινητά τρίτης γενιάς (3G), με απεριόριστες δυνατότητες πολυμέσων. Σήμερα η χρήση του κινητού τηλεφώνου στον πλανήτη και αυξάνεται με αλματώδη άνοδο στις φτωχές χώρες του πλανήτη και κυρίως στην Αφρική. Στην Ελλάδα η κινητή τηλεφωνία έκανε την εμφάνισή της το 1992. Η WIND(tim-telestet) ξεκίνησε την εμπορική εκμετάλλευση στις 29 Ιουνίου 1993 και η VODAFONE (panafone) την 1<sup>η</sup> Ιουλίου του ίδιου χρόνου. Τέλος η COSMOTE ξεκίνησε τον Ιανουάριο 1998 [1].

### *1.3 Γενιές κινητής τηλεφωνίας*

#### *1.3.1 Τεχνολογίες συστημάτων επικοινωνίας πρώτης γενιάς (1G)*

Τα 1<sup>ης</sup> γενιάς δίκτυα (1G) είναι τα πρώτα αναλογικά κυψελωτά συστήματα που ξεκίνησαν στις αρχές της δεκαετίας του '80. Χρησιμοποιούταν από αρκετές χώρες της Ευρώπης και της Αμερικής. Χαρακτηριστικό αυτής της τεχνολογίας ήταν η αναλογική και χαμηλή ποιότητα μετάδοσης της φωνής με πολλά προβλήματα σύνδεσης και με χαμηλό επίπεδο ασφάλειας. Ποιο συγκεκριμένα υπήρχαν οι εξής τεχνολογίες [2].

Το AMPS (Advanced Mobile Phone System) ήταν μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ από τα εργαστήρια της Bell στα μέσα του 1970 λειτουργώντας σε συχνότητες των 800MHz (824-894MHz) βασισμένο στην τεχνολογία FDMA. Στο AMPS είναι δυνατή η ανάθεση καναλιών με βάση την ισχύ του σήματος, επιτρέποντας έτσι την επαναχρησιμοποίηση της συχνότητας χωρίς παρεμβολές. Μια πιο εξελιγμένη έκδοση του AMPS αποτέλεσε αργότερα το NAMPS (Narrowband AMPS), το οποίο μπορούσε να αυξήσει τη χωρητικότητά του έως και 3 φορές περισσότερο από το αρχικό AMPS. Το NAMPS μπορεί να έκανε χρήση ψηφιακής τεχνολογίας, αλλά κατά βάση ήταν αναλογικό [2].

Το TACS (Total Access Communication System) ήταν μια αντίστοιχη τεχνολογία του AMPS που αναπτύχθηκε στην Ευρώπη την δεκαετία του '80. Λειτουργούσε σε συχνότητες των 900MHz και υποστήριζε διάφορες υπηρεσίες, όπως πληροφορίες χρέωσης [2].

### ***1.3.2 Τεχνολογίες συστημάτων επικοινωνίας δεύτερης γενιάς (2G)***

Τα 2<sup>ης</sup> γενιάς δίκτυα (2G) είναι τα πρώτα ψηφιακά κυψελωτά συστήματα που πρωτοεμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του '90. Στα συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς σημειώθηκε σημαντική βελτίωση στην ποιότητα φωνής, καθώς η ψηφιακά

κωδικοποιημένη πληροφορία υπόκειται σε ασθενέστερη παραμόρφωση σε σχέση με την αναλογική πληροφορία, ενώ παράλληλα έγινε δυνατή η χρήση πολυπλεξίας με περισσότερο αποτελεσματικό τρόπο, με αποτέλεσμα την αύξηση της χωρητικότητας, ποιο συγκεκριμένα υπάρχουν οι εξής τεχνολογίες. [2]

### ***GSM (Global System for Mobile communications)***



***Σχήμα 1. Σταθμός Βάσης GSM***

Το GSM είναι το κυψελοειδές ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G). Το Ευρωπαϊκό Τηλεπικοινωνιακό Συμβούλιο (European Telecommunications Standards Institute) το 1982, άρχισε την μελέτη για την δημιουργία

ενός κοινού Ευρωπαϊκού ψηφιακού συστήματος κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G). Το πρότυπο GSM δεν είναι μόνο Ευρωπαϊκό αφού υιοθετήθηκε και από άλλες χώρες των άλλων Ηπείρων έτσι είναι το πιο δημοφιλές πρότυπο κινητής τηλεφωνίας και το χρησιμοποιούν πάνω από 3 δισεκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο. Το 1991 άρχισε η εμπορική του διάθεση στην Ευρώπη, ενώ στην Ελλάδα το σύστημα χρησιμοποιήθηκε το 1993 από την WIND Hellas [2]. Το 1982 η Ευρωπαϊκή Διάσκεψη Διοικήσεων Ταχυδρομείων και Τηλεπικοινωνιών (CEPT) διαμόρφωσε μια ομάδα μελέτης, αποκαλούμενη Groupe Special Mobile (GSM), με στόχο την ανάπτυξη ενός πανευρωπαϊκού συστήματος κινητών επικοινωνιών, το οποίο έπρεπε να πληρεί ορισμένα κριτήρια :

- Υψηλή λεκτική ποιότητα
- Χαμηλό κόστος τερματικών και υπηρεσιών
- Υποστήριξη της διεθνούς περιαγωγής
- Δυνατότητα να υποστηριχθούν φορητά τερματικά
- Υποστήριξη μιας νέας σειράς υπηρεσιών και εγκαταστάσεων
- Φασματική αποδοτικότητα
- Συμβατότητα με το σύστημα ISDN

Το GSM διαφέρει σημαντικά από τους προκάτοχούς του, κυρίως επειδή τα κανάλια σηματοδότησης και ομιλίας που χρησιμοποιεί είναι ψηφιακά.



Το σχήμα 2 δείχνει συνοπτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας GSM.

SPECIFICATION SUMMARY FOR GSM CELLULAR SYSTEM	
Multiple access technology	FDMA / TDMA
Duplex technique	FDD
Uplink frequency band	933 -960 MHz (basic 900 MHz band only)
Downlink frequency band	890 - 915 MHz (basic 900 MHz band only)
Channel spacing	200 kHz
Modulation	GMSK
Speech coding	Various - original was RPE-LTP/13
Speech channels per RF channel	8
Channel data rate	270.833 kbps
Frame duration	4.615 ms

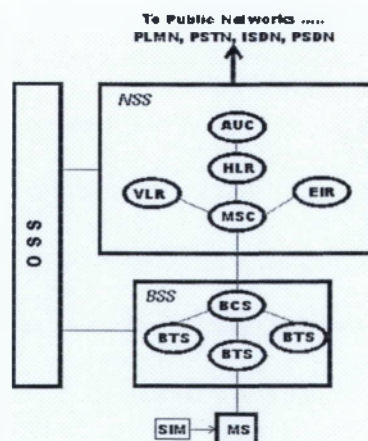
*Σχήμα 2. Χαρακτηριστικά GSM*

Τα δίκτυα GSM καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα ραδιοσυχνοτήτων. Τα περισσότερα από αυτά λειτουργούν στα 900 MHz και στα 1800 MHz. Εξαιρέση αποτελούν τα GSM δίκτυα σε ΗΠΑ και Καναδά που λειτουργούν στα 850 MHz και στα 1800 MHz. Το σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται είναι το GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying – Χειρισμός Ελάχιστης Μετατόπισης Gauss). Σε αυτή την μέθοδο, το σήμα περνάει μέσα από ένα βαθυπερατό φίλτρο Gauss προτού να σταλεί στο διαμορφωτή συχνότητας, με αποτέλεσμα τη μείωση των παρεμβολών σε γειτονικά κανάλια. Η μέθοδος πολλαπλής προσπέλασης που χρησιμοποιείται από το GSM είναι ένας συνδυασμός TDMA/FDMA (Time Division Multiple Access - Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Χρόνου / Frequency Division Multiple Access - Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Συχνότητας). Η τεχνική πολλαπλής προσπέλασης με διαίρεση συχνότητας

(FDMA) χωρίζει το φάσμα των 25 MHz σε 124 φέρουσες συχνότητες με 200 kHz απόσταση μεταξύ τους (μέγεθος καναλιού). Μία ή περισσότερες φέρουσες συχνότητες αποδίδονται σε κάθε σταθμό βάσης.

Η κοινή χρήση του καναλιού επιτυγχάνεται με την τεχνική πολλαπλής προσπέλασης με διαίρεση χρόνου (TDMA). Επιτρέπει έτσι σε διαφορετικούς χρήστες να χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα, διαιρώντας την σε διαφορετικές χρονοθυρίδες (timeslots). Κάθε διαθέσιμη φέρουσα συχνότητα μεταφέρει οχτώ διαφορετικά GSM κανάλια με τα δεδομένα τους να εκπέμπονται και να λαμβάνονται με χρονική σειρά. Κάθε χρονοθυρίδα αποδίδεται σε ένα χρήστη στη διάρκεια της οποίας μπορεί να εκπέμψει τα δεδομένα του. Ο χρήστης εκπέμπει για μία στιγμή (χρονοθυρίδα) και σιγεί για τις υπόλοιπες επτά χρονοθυρίδες, τα δεδομένα δηλαδή μεταδίδονται σε ριπές μέσα σε συγκεκριμένες αποδιδόμενες χρονοθυρίδες με συνολικό ρυθμό μετάδοσης 271 kbs [12].

Το σχήμα 3 μας δείχνει την αρχιτεκτονική δικτύου GSM



Σχήμα 3. Αρχιτεκτονική δικτύου GSM

Η αρχιτεκτονική αποτελείται από:

- **MS (Mobile station)**. Είναι ο φυσικός εξοπλισμός που χρησιμοποιεί ο χρήστης για να έχει πρόσβαση σε τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες. Η SIM (Subscriber Identity Module) παρέχει πληροφορίες για την ταυτότητα του χρήστη στο δίκτυο.
- **Base Station Subsystems (BSS)**. Το υποσύστημα είναι υπεύθυνο για την ραδιοκάλυψη και την σύνδεση των συσκευών στο δίκτυο. Αποτελείται από 2 υποεπίπεδα
  - **Base Transceiver Station (BTS)**. Παρέχει στο σταθμό βάσης τις λειτουργίες εκπομπής και περιλαμβάνει διατάξεις επεξεργασίας σήματος.
  - **Base Station Controller (BSC)**. Ρόλος του είναι η διαχείριση των διαθέσιμων συχνοτήτων στην ραδιοεπαφή.
- **Network Switching Subsystem (NSS)**. Είναι υπεύθυνο για την λειτουργία και την διαχείριση της επικοινωνίας σε όλο το δίκτυο.
  - **Mobile Switching services Centre (MSC)**. Το MSC έχει μία διεπαφή προς το BSS και μία προς το εξωτερικό δίκτυο. Ασχολείται με τις λειτουργίες μεταγωγής κυκλώματος και με την διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών.
  - **Home Location Register (HLR)**. Παρέχει πληροφορίες για την θέση του κάθε χρήστη στο δίκτυο.
  - **Visitor Location Register (VLR)**. Παίρνει πληροφορίες από το HLR για τις υπηρεσίες που θέλουν να χρησιμοποιήσουν οι χρήστες.

- **Equipment Identity Register (EIR)**. Είναι το επίπεδο που επιτρέπει ή όχι σε μία συσκευή να συνδεθεί με το δίκτυο. Κάθε συσκευή έχει ένα σειριακό αριθμό και είναι γνωστός ως Mobile Equipment Identity (MEI) και ελέγχεται κατά την διάρκεια εγγραφής στο δίκτυο.
- **Authentication Centre (AuC)**. Είναι μία βάση δεδομένων που διατηρεί ένα αντίγραφο ενός μυστικού αλγόριθμου πιστοποίησης ο οποίος είναι αποθηκευμένος στην κάρτα SIM.
- **Operation and Support Subsystem (OSS)**. Χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και την παρακολούθηση όλου του δικτύου GSM, καθώς και για τον έλεγχο της κυκλοφορίας μέσα στο δίκτυο [7].

Οι βασικότερες υπηρεσίες του GSM είναι η δυνατότητα [2]:

Εκτροπής κλήσεων

Απόκρυψης κλήσεων

Φραγής κλήσεων

Ειδοποίησης κλήσεων

SMS-Short Messaging Service

MMS-Multimedia Messaging Service

## **Τύποι GSM**

### **GSM 900**

Το 1990 άρχισαν να λειτουργούν τα πρώτα δίκτυα GSM στη ζώνη συχνοτήτων των 900 MHz. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) παραχώρησε ένα ζεύγος συχνοτήτων, από τα 890 έως τα 915 MHz και από τα 935 έως τα 960 MHz. Η πρώτη περιοχή χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του κινητού με τον σταθμό βάσης (Up link), ενώ η δεύτερη για την επικοινωνία του σταθμού βάσης με το κινητό (down link).

### **GSM 1800**

Το 1991, αναπτύχθηκε το σύστημα DCS 1800 (ονομάστηκε GSM 1800), στο οποίο διατηρείται η δομή ενός GSM 900 δικτύου αλλά χρησιμοποιούνται διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων, από τα 1710 έως τα 1785 MHz Up link και από τα 1805 έως τα 1880 MHz Down link. Αυτή η αλλαγή στην ζώνη συχνοτήτων έγινε διότι οι ζώνες του GSM 900 στην Ευρώπη ήταν «πιασμένες» από άλλους παροχείς κινητής τηλεφωνίας. Σήμερα, όλες οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν και τα δύο συστήματα (GSM 900/GSM 1800) στα δίκτυα τους αυξάνοντας αισθητά τη χωρητικότητά τους.

## GSM 1900

Το GSM 1900 χρησιμοποιείται στην βόρεια Αμερική. Ο λόγος είναι οι διαφορετικές ραδιοσυχνότητες και υπηρεσίες που προσφέρουν οι πάροχοι. διατηρείται και πάλι η δομή ενός GSM 900 δικτύου, αλλά χρησιμοποιούνται και εδώ διαφορετικά ζεύγη συχνοτήτων : Από τα 1850 έως τα 1910 MHz για up link και από τα 1930 έως τα 1990 MHz για down link [2].

### *E-GSM • Extended-GSM 900 - Εκτεταμένη ζώνη GSM*

Το E-GSM καθορίστηκε από την ITU (international telecommunication union) στα τέλη της δεκαετίας του 1990 για να «αντικαταστήσει» το κλασικό GSM 900 διατηρώντας βέβαια την δομή του αυξάνοντας όμως τις περιοχές συχνοτήτων από 880 έως 915 MHz για up link και 925 έως 960 MHz down link. Έτσι επέτρεψε στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας να αυξήσουν τη χωρητικότητά τους και να καλύψουν τις ανάγκες από την αυξημένη κίνηση των πελατών τους [2].

### ***1.3.3 Τεχνολογίες συστημάτων επικοινωνίας δεύτερης γενιάς (2.5-2.7G)***

Η γενιά 2.5G είναι μεταβατική για την αναβάθμιση των ήδη υπάρχον δικτύων GSM 2G με σκοπό την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου προσφέροντας περισσότερες και ποιοτικότερες υπηρεσίες. Για την ανάπτυξη των δικτύων GSM αναπτύχθηκαν 2 τεχνολογίες:

#### **Τεχνολογία GPRS - (General Packet Radio Service)**

#### **Τεχνολογία EDGE - (Enhanced Data rates for GSM Evolution)**

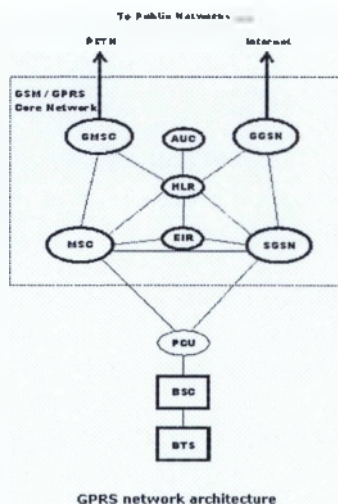
#### ***Τεχνολογία GPRS - (General Packet Radio Service)***

Το GPRS είναι το τεχνολογικό πρότυπο που επιτρέπει την ταχύτερη αποστολή και λήψη δεδομένων μέσω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας GSM μέσω της τεχνολογίας μεταγωγής πακέτων. Το σχήμα 4 δείχνει τα τεχνικά χαρακτηριστικά της GPRS τεχνολογίας.

PARAMETER	SPECIFICATION
Channel Bandwidth	200 kHz
Modulation type	GMSK
Data handling	Packet data
Max data rate	172 kbps

**Σχήμα 4.** Τεχνικά χαρακτηριστικά GPRS

Στο GPRS επιτρέπεται η ταυτόχρονη χρήση περισσότερων από ενός χρονοθυρίδων έτσι η μεταφορά δεδομένων μπορεί να φτάσει θεωρητικά ως και τα  $153,6 = 16 \times 9.6$  kbps για 16 χρονοθυρίδες ή  $21,4 \times 8 = 171,2$  kbps για 8 χρονοθυρίδες. Οι πόροι του δικτύου χρησιμοποιούνται πιο αποδοτικά γιατί οι χρονοθυρίδες δεσμεύονται μόνο κατά την ώρα μετάδοσης και αποδεσμεύονται όταν τελειώνει η μετάδοση σε αντίθεση με την μεταγωγή κυκλώματος. Στην πράξη όμως το GPRS χρησιμοποιεί 3 με 4 χρονοθυρίδες για κατέβασμα (download) και μια χρονοθυρίδα για ανέβασμα (upload) (μη συμμετρική σύνδεση) [2]. Η αρχιτεκτονική φαίνεται στο σχήμα 5.



**Σχήμα 5.** Αρχιτεκτονική δικτύου GPRS

Τα βασικά χαρακτηριστικά του δικτύου είναι.

- SGSN (Service GPRS Support Node). Δημιουργεί μία πύλη για τις υπηρεσίες εντός δικτύου.



- GGSN (gateway GPRS support node). Αποτελεί την πύλη του SGSN προς τον έξω κόσμο.
- PCU. (Packet Control Unit) δρομολογεί πότε τα πακέτα θα πρέπει να κατευθύνονται προς την μεταγωγή πακέτων [8].

### ***Τεχνολογία EDGE (2.7G) - (Enhanced Data rates for GSM Evolution)***

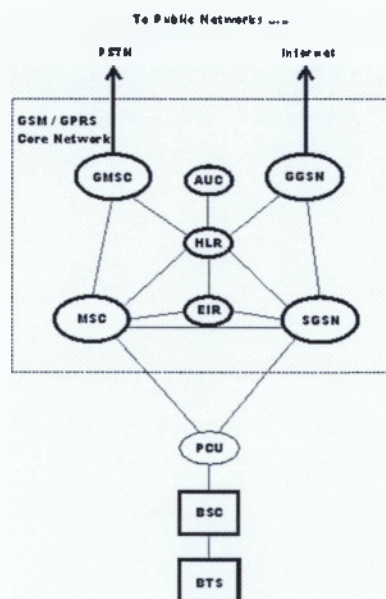
Το EDGE είναι μια ενδιάμεση μεταβατική τεχνολογία πριν το 3G και αυτό είναι το τεχνολογικό πρότυπο που επιτρέπει στα δίκτυα 2G να έχουν τριπλάσια χωρητικότητα δικτύου με πολύ υψηλές ταχύτητες μετάδοσης για την παροχή υπηρεσιών 3G, όπως video streaming, πραγματικό Internet browsing κτλ. Στο σχήμα 6 έχουμε τα βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας EDGE.

PARAMETER	DETAILS
Multiple Access Technology	FDMA / TDMA
Duplex Technique	FDD
Channel Spacing	200 kHz
Modulation	GMSK, BPSK
Slots per channel	8
Frame duration	4.615 ms
Latency	Below 100 ms
Overall symbol rate	270 k symbols / s
Overall modulation bit rate	810 kbps
Radio data rate per time slot	69.2 kbps
Max user data rate per time slot	59.2 kbps (MCS-9)
Max user data rate when using 8 time slots	473.6 kbps **

**Σχήμα 6.** Βασικά χαρακτηριστικά EDGE

Το EDGE είναι μια αναβάθμιση του GPRS αλλά δεν μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα ενώ η αναβάθμιση και η εγκατάσταση του EDGE δεν απαιτεί την χρήση νέου

εξοπλισμού από τις εταιρίες κινητής τηλεφωνίας αλλά την βελτίωση του ήδη υπάρχοντος. Βασικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας EDGE σε σχέση με το ήδη υπάρχον GSM δίκτυο, είναι η χρήση μίας διαφορετικής μεθόδου διαμόρφωσης των δεδομένων. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται 8PSK (8 Phase Shift Keying modulation) επιτρέποντας τη μεταφορά 3 bit δεδομένων σε κάθε μοναδικό παλμό του δικτύου. Οι ταχύτητες που επιτυγχάνονται είναι 384Kbps ή και 768kbps με στόχο όμως να φτάσει τα 2Mbps. Επίσης το EDGE έχει την ικανότητα αναμετάδοσης ενός πακέτου πληροφοριών, που δεν κωδικοποιήθηκε σωστά, με ένα ισχυρότερο σχήμα κωδικοποίησης, ενώ στο GPRS τα πακέτα θα πρέπει να αποστέλλονται με το ίδιο σχήμα κωδικοποίησης ακόμη και αν το περιβάλλον μεταβάλλεται με αποτέλεσμα την αποσύνδεση, ιδιαίτερα σε περιοχές με αυξημένη ζήτηση [2]. Στο σχήμα φαίνεται η αρχιτεκτονική ενός δικτύου EDGE.



Σχήμα 7. Αρχιτεκτονική δικτύου EDGE

- SGSN: Υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών προς τα κινητά τηλέφωνα. (Δρομολόγηση πακέτων, διαχείριση κινητικότητας, πιστοποίηση, σύνδεση/αποσύνδεση).
- GGSN: Το GGSN μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός μιας πύλης, router και firewall που κρύβει το εσωτερικό δίκτυο προς τα έξω. Στην πράξη, όταν το GGSN λαμβάνει στοιχεία που απευθύνονται σε ένα συγκεκριμένο χρήστη, ελέγχει εάν ο χρήστης είναι ενεργός, τότε στέλνει τα δεδομένα.
- PCU: Η λειτουργία του είναι να διαφοροποιεί τα δεδομένα που προορίζονται για το δίκτυο GSM από εκείνα του EDGE [9].

#### ***1.3.4. Τεχνολογίες συστημάτων επικοινωνίας τρίτης γενιάς (3G)***

Η ανάγκη για παροχή υπηρεσιών με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, ώστε να μεταδίδονται εικόνες υψηλής ποιότητας και video πραγματικού χρόνου ή να παρέχεται πρόσβαση στο Διαδίκτυο με υψηλές ταχύτητες οδήγησε στη σχεδίαση των συστημάτων 3<sup>ης</sup> γενιάς (3G) [3].

#### ***UMTS***

Το UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) με την πρώτη του έκδοση Release 1999 (R99) από την 3GPP εισήγαγε το WCDMA (wideband code

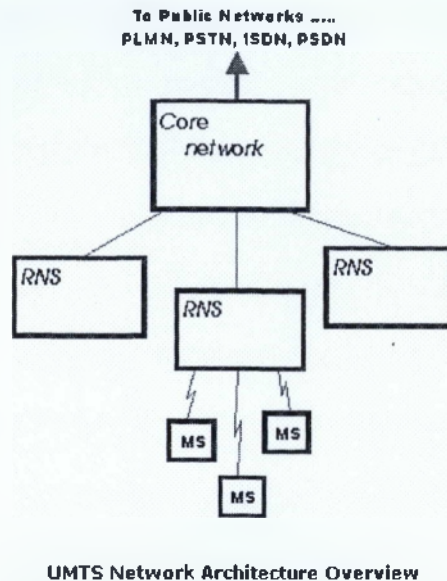
division access). Τα βασικά χαρακτηριστικά φαίνονται στο σχήμα 8.

PARAMETER	SPECIFICATION
Data rate	2048 kbps low range 384 kbps urban and outdoor
RF channel bandwidth	5 MHz
Multiple access scheme	CDMA
Duplex schemes	FDD and also TDD

*Σχήμα 8.* Βασικά χαρακτηριστικά UMTS

Στο WCDMA οι χρήστες μοιράζονται ένα κοινό κανάλι κάνοντας χρήση διαφορετικών «κλειδιών-κωδικών». Το UMTS παρέχει ρυθμούς μετάδοσης 384kbps και προσφέρει υπηρεσίες δεδομένων υψηλής ποιότητας. Πάνω από 60 δίκτυα UMTS λειτουργούν παγκοσμίως. Πρώτη στην χρήση ήταν η Ιαπωνική NTT DoCoMo με λειτουργικό δίκτυο από το 2001. Οι υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης επιτρέπουν την παροχή βελτιωμένων υπηρεσιών (χρήση e-mail, downloading video clip-μουσικών κομματιών).

Στο σχήμα 9 φαίνεται η αρχιτεκτονική του δικτύου.



Σχήμα 9. Αρχιτεκτονική δικτύου UMTS

Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι.

- User Equipment (UE). Είναι ο εξοπλισμός του χρήστη πχ κινητό.
- Radio Network Subsystem (RNS). Έχει την ίδια λειτουργία με τον σταθμό βάσης στο GSM, παρέχει και διαχειρίζεται την επικοινωνία σε όλο το δίκτυο.
- Core Network. Παρέχει την κεντρική επεξεργασία και την διαχείριση του συστήματος [10].

Οι μελλοντικές εφαρμογές όμως απαιτούν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης και το UMTS δεν μπορεί να καλύψει τις αυξανόμενες ανάγκες σε εύρος ζώνης.

Εδώ έρχεται το HSDPA που αναπτύχθηκε ως βελτίωση του UMTS για να μπορέσει να καλύψει τις ανάγκες για υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης [4].

### ***HSDPA: High-Speed Downlink Packet Access***



**Σχήμα 10.** Μετάδοση δεδομένων από τον σταθμό βάσης στους παρόχους

Το HSDPA είναι η τεχνολογία, που επιτρέπει τη σημαντική αύξηση του ρυθμού μεταφοράς των δεδομένων, καθώς και τη βελτιστοποίηση της χωρητικότητας σε δίκτυα WCDMA. Μπορεί να αναφερθεί και ως τεχνολογία 3.5G, αφού αναβαθμίζει τις υπηρεσίες τρίτης γενιάς, παρέχοντας στους χρήστες αρκετά πιο γρήγορα πληροφορίες. Η ταχύτητα λήψης των πληροφοριών με την χρήση της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι έως και τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτήν που παρέχουν τα δίκτυα 3G και πλέον μπορεί να συγκριθεί με αυτή μιας σχετικά γρήγορης σταθερής «γραμμής» ADSL. Υπολογίζεται

ότι ο μέσος ρυθμός λήψης δεδομένων με την τεχνολογία HSDPA κυμαίνεται μεταξύ 550kbps και 1100kbps, όταν πρακτικά η τεχνολογία WCDMA προσέφερε ταχύτητες της τάξης των 384kbps. Αξιοποιώντας τις ικανότητες του HSDPA, οι πάροχοι έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν στους πελάτες τους «απαιτητικές» υπηρεσίες όπως on-demand streaming video, ταινίες, μουσικά κομμάτια, multi-player παιχνίδια, καθώς και instant messaging (chatting) κ.α .

Όλοι οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν την ασύρματη «σύνδεσή» τους με το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας για γρήγορη πλοήγηση στις ιστοσελίδες του διαδικτύου και λήψη multimedia περιεχομένου. Στην αγορά υπάρχουν πολλές κάρτες για φορητούς Η/Υ που επιτρέπουν την πρόσβαση σε υπηρεσίες HSDPA.

Στην Ελλάδα η Cosmote είναι το πρώτο δίκτυο που ξεκίνησε την εμπορική διάθεση των υπηρεσιών HSDPA στις 26 Ιουνίου του 2006. Από τις αρχές του Ιουλίου του 2007 οι υπηρεσίες τρίτης γενιάς και η τεχνολογία HSDPA της εταιρείας παρέχονται σε όλα τα γεωγραφικά διαμερίσματα της χώρας. Η Vodafone ξεκίνησε επισήμως την εμπορική διάθεση των υπηρεσιών HSDPA την 1η Νοεμβρίου 2006, ενώ η πρόσβαση στις υπηρεσίες HSDPA ήταν εφικτή σε περιοχές κάλυψης 3G σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη. Η ελληνική Wind ανακοίνωσε στις 15 Νοεμβρίου 2006 την παροχή υπηρεσιών βασισμένες στην τεχνολογία HSDPA [5].

### *HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access)*

Το HSUPA είναι η τεχνολογία που επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων από το τερματικό προς το σταθμό βάσης με ταχύτητες που θεωρητικά φθάνουν τα 5,76 MBit ανά δευτερόλεπτο. Ουσιαστικά, ενώ το HSDPA επιτρέπει στον τελικό χρήστη να λαμβάνει δεδομένα σε υψηλές ταχύτητες, το HSUPA επιτρέπει ακριβώς το αντίθετο, δηλαδή, την αποστολή δεδομένων σε υψηλές ταχύτητες. Το HSUPA αναφέρεται και ως τεχνολογία 3.75G, αφού αποτελεί το επόμενο βήμα της εξέλιξης των δικτύων τρίτης γενιάς, μετά την υλοποίηση του HSDPA (3.5G). Η χρήση του HSUPA επιτρέπει την πρόσβαση σε «συμμετρικές» εφαρμογές υψηλής ταχύτητας, όπως υπηρεσίες Voice over Internet Protocol (VoIP) και interactive multimedia, παρέχοντας υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων κατά την «ανοδική ζεύξη» (uplink) και την περαιτέρω μείωση της λανθάνουσας καθυστέρησης. Το HSDPA παρέχει υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων κατά την «καθοδική ζεύξη» (downlink) και συμπληρώνει τεχνικά το HSUPA, ενώ και οι δύο τεχνολογίες μαζί επιτρέπουν την πλήρη αξιοποίηση των υποδομών τρίτης γενιάς των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Τα χαρακτηριστικά του HSUPA έχουν περιγραφεί από τον οργανισμό 3GPP. Ο οργανισμός καθόρισε ως μέγιστη θεωρητική ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων κατά την ανοδική ζεύξη τα 5,76 MBit/s. Μερικά πλεονεκτήματα του HSUPA είναι η μείωση του χρόνου που απαιτείται για την επίτευξη σύνδεσης και της αποστολής πληροφοριών σηματοδότησης [5].



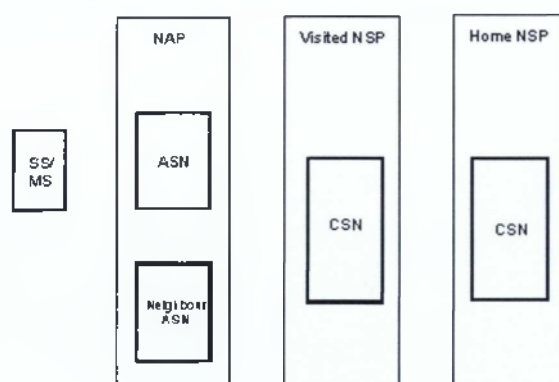
*WiMAX (Worldwide Interoperability Microwave Access)*



Με βάση την οικογένεια προτύπων IEEE 802.16 ένας όμιλος εταιρειών με την επωνυμία WiMAX Forum προωθεί την ανάπτυξη δικτύων με βάση τα πρότυπα αυτά. Το WiMax μπορούμε να το φανταστούμε σαν ένα θεωρητικά τεράστιο WiFi. Μία τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας με εμβέλεια 35 χιλιομέτρων αντί των 100 μέτρων του WiFi και με ταχύτητες που συγκρίνονται μόνο με αυτές των καλωδιακών συνδέσεων (έως 70 Mbps). Η τεχνολογία WiMAX χρησιμοποιεί συχνότητες από 2-11 GHz (802.16a) και από 10-16 GHz. Στην Ελλάδα οι άδειες που έχουν δοθεί αφορούν δοκιμές στην ζώνη των 3.5 GHz. Αυτό σημαίνει ότι με λίγες κεραιές WiMAX μπορεί να καλυφθεί με ασύρματο τρόπο μία ολόκληρη πόλη, και οι πολίτες της να έχουν πρόσβαση στο Internet, να αποκτήσουν δυνατότητες video κλήσεων, αλλά και ομιλίας μέσω VoIP (Voice over Internet Protocol) όπου και αν βρίσκονται, ακόμη και εν κινήσει.

Πολλοί χρήστες απολαμβάνουν ασύρματη επικοινωνία μέσω Wi-Fi συσκευών,

αλλά με το WiMax οι δυνατότητες ενός laptop είναι απεριόριστες. Με τον ίδιο τρόπο που εγκαθιστά κανείς στον υπολογιστή του μια κάρτα δικτύωσης Wi-Fi, εγκαθιστά και μια κάρτα WiMAX. Η Intel έχει ήδη υλοποιήσει αυτή τη λύση στην νέα πλατφόρμα Centrino 2. Στην Ελλάδα λειτουργούν πιλοτικά δίκτυα WiMAX όπως αυτό του ΟΤΕ στο Άγιο Όρος, αλλά και αυτό του Εργαστηρίου Έρευνας και Ανάπτυξης Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων στην Κρήτη που καλύπτει την πόλη του Ηρακλείου [6]. Στο σχήμα φαίνεται η αρχιτεκτονική ενός WiMAX δικτύου.



*Σχήμα 11.* Αρχιτεκτονική δικτύου WiMAX

- Απομακρυσμένοι ή κινητό σταθμοί: Είναι ο εξοπλισμός (π.χ κινητό) του χρήστη ο οποίος μπορεί να σταθερός ή κινητός και να βρίσκεται οπουδήποτε.
- ASN (Access Service Network): Αυτή είναι η περιοχή του δικτύου WiMAX που αποτελεί το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης και περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης και ένα ή περισσότερες ASN πύλες.
- CSN (Connectivity Service Network): Αυτό το μέρος του δικτύου WiMAX προσφέρει IP συνδεσιμότητα και μπορεί να χαρακτηριστεί ως το βασικό δίκτυο για την επικοινωνία [11].

## *Βιβλιογραφία*

[1] Η ιστορία της κινητής τηλεφωνίας:

[http://sansimera.gr/archive/articles/show.php?id=241&feature=mobile\\_phone](http://sansimera.gr/archive/articles/show.php?id=241&feature=mobile_phone)

[2] Global System For Mobile Communications:

[http://el.wikipedia.org/wiki/Global\\_System\\_for\\_Mobile\\_Communications](http://el.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications)

[3] WiMAX:<http://el.wikipedia.org/wiki/WiMAX#3G>

[4] Πορεία προς τα Ευρυζωνικά Ασύρματα Δίκτυα (4G):Του Μιχάλη Πατινγιάννη

[5] HSDPA: High-Speed Downlink Packet Access:

<http://www.myphone.gr/library/article-42.html>

[6] WiMAX:

<http://www.news4tech.com/modules/articles/article.php?id=56>

[7] GSM:

[http://www.radioelectronics.com/info/cellularcomms/gsm\\_technical/gsm\\_architecture.php](http://www.radioelectronics.com/info/cellularcomms/gsm_technical/gsm_architecture.php)

[8] GPRS:

[http://www.radio-electronics.com/info/cellularcomms/gprs/gprs\\_tutorial.php](http://www.radio-electronics.com/info/cellularcomms/gprs/gprs_tutorial.php)

[9] EDGE:

<http://www.radio-electronics.com/info/cellularcomms/gsm-edge/network-architecture.php>

[10] UMTS:

<http://www.radio-electronics.com/info/cellular/telecomms/umts/umts-wcdma-network-architecture.php>

[11] WiMAX:

<http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wimax/network-architecture.php>

[12] GSM: [http://gsmserver.com/articles/gsm\\_overview.php](http://gsmserver.com/articles/gsm_overview.php)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Τεχνολογίες 4<sup>ης</sup> γενιάς

#### 2.1 Εισαγωγή

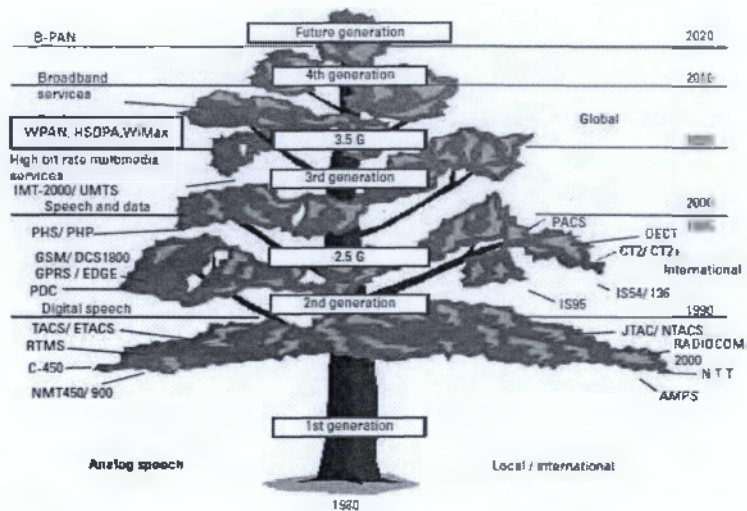


Figure 1.2 Family tree of the GIMCV. Branches and leaves of the GIMCV family tree are not shown in chronological order.

#### Σχήμα 12. Το γενεολογικό δένδρο της κινητής επικοινωνίας

Το όραμα και η εξέλιξη των ασύρματων δικτύων επικοινωνίας είναι η υποστήριξη πολλαπλών υπηρεσιών υψηλού ρυθμού μετάδοσης και υψηλής ποιότητας

μεταξύ συσκευών που μπορεί να βρίσκονται οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Η μεγάλη ανάγκη για υπηρεσίες Internet, ασύρματη παρακολούθηση καλωδιακής τηλεόρασης και μετακίνηση αρχείων καθιστά επιτακτικά την αναβάθμιση των ασύρματων δικτύων. Εδώ έρχονται οι τεχνολογίες 4<sup>ης</sup> γενιάς ως η πλέον ολοκληρωμένη εξέλιξη στον τομέα ασύρματων επικοινωνιών. Δεν υπάρχει επίσημος ορισμός για το τι είναι το 4G, υπάρχουν όμως ορισμένα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να ικανοποιούνται. Το 4G θα βασίζεται σε IP Πρωτόκολλο και θα παρέχει ταχύτητες μεταξύ 100 Mbps και 1 Gbps παρέχοντας ασφάλεια και αξεπέραστη ποιότητα [1].

## *2.2 Απαιτήσεις-Χαρακτηριστικά συστημάτων 4<sup>ης</sup> γενιάς*

Η χωρητικότητα των συστημάτων 3G δεν θα είναι αρκετή για να καλύψει την αυξανόμενη ανάγκη για χρήση πολυμέσων το 2012. Η χωρητικότητα στα 4G θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τα 3G και το κόστος ανά bit να μειωθεί δραματικά ώστε να μην είναι απαγορευτικές οι υπηρεσίες.

- Τα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς προσφέρουν μέχρι 2 Mbits σε σταθερό περιβάλλον και 144 kbits σε κινούμενο περιβάλλον. Η ελάχιστη ταχύτητα που έχει τεθεί ως στόχος για τα συστήματα 4G είναι 10-20 Mbits σε σταθερό περιβάλλον και σε κινούμενο τα 2 Mbits.
- Τα ασύρματα συστήματα χρησιμοποιούν περιορισμένο εύρος συχνοτήτων και υποφέρουν από συμφόρηση. Εξαιρετική ποιότητα παροχής υπηρεσιών είναι αναγκαία για την υποστήριξη εφαρμογών και ειδικότερα εκείνων

που απαιτούν επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Όπως Multimedia Messasing Service (MMS), Video chat, Mobile TV, Digital video broadcasting.

- Υποστήριξη πρωτοκόλλων Internet νέας γενιάς (IPv6) καθώς και πολυμετάδοση (multicasting).
- Ομαλή διασύνδεση με συστήματα 3G, ασύρματα δίκτυα υπολογιστών (WLAN) και σταθερά. Με χρήση τεχνολογίας που βασίζεται σε πρωτόκολλα Internet (IP) θα είναι εφικτή η σύνδεση διαφορετικών τεχνολογιών. Σταθερό δίκτυο μεταγωγής πακέτων. Η αρχιτεκτονική της 4<sup>ης</sup> γενιάς αναμένεται να χρησιμοποιεί ένα ασυνδεδασμένο (connectionless) σταθερό δίκτυο μεταγωγής πακέτων βασισμένο στο πρωτόκολλο IP προκειμένου να διασυνδέει τα διάφορα ασύρματα δίκτυα.
- Προηγμένοι σταθμοί βάσης. Οι σταθμοί βάσης δικτύων μελλοντικών γενιών θα χρησιμοποιούν έξυπνες κεραιές για να αυξήσουν την χωρητικότητα του δικτύου. Παράλληλα θα υποστηρίζουν ένα πλήθος διασυνδέσεων ώστε να παρέχουν πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα τερματικών [2].

### 2.3 Μελλοντικές εφαρμογές [2]:

- Εικονική πλοήγηση (Virtual navigation). Μία απομακρυσμένη βάση δεδομένων θα περιέχει πληροφορίες με γραφική αναπαράσταση δρόμων, κτιρίων. Με το πρόγραμμα αυτό οι χρήστες θα μπορούν να επιλέγουν δρόμους με την μικρότερη συμφόρηση, ή ακόμα και σε περίπτωση ατυχήματος να επιλέγουν εναλλακτική διαδρομή. Οι οδηγοί θα μπορούν να λαμβάνουν ένα μεγάλο αριθμό αρχείων ή πολυμέσων από το δίκτυο κατά τη διάρκεια της οδήγησης. Παροχή πληροφοριών σχετικά με εργασίες στον αυτοκινητόδρομο, ενημέρωση σχετικά με κάποιο ατύχημα, πρόγνωση καιρού επίσης θα μπορούν να εντοπίζουν αξιοθέατα, ξενοδοχεία.
- Τηλεϊατρική. Τα πληρώματα ασθενοφόρων σε δύσβατες-απομακρυσμένες περιοχές θα μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ιατρικούς φακέλους και θα έχουν την δυνατότητα τηλεδιάσκεψης με τους γιατρούς ώστε να έχουν πλήρη επίγνωση της κατάστασης του ασθενούς ώστε να φτάσει στο νοσοκομείο.
- Εφαρμογές διαχείρισης κρίσεων. Οι εφαρμογές αυτές είναι κρίσιμες σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών, όπου ο τηλεπικοινωνιακός κορμός θα έχει παραλύσει και η επικοινωνία θα είναι αδύνατη. Η αυξανόμενη χωρητικότητα των ασύρματων συστημάτων 4G που θα περιλαμβάνουν



υπηρεσίες Internet και Video θα βοηθήσουν ώστε η αποκατάσταση να γίνει σε λίγες ώρες.

- Εκπαίδευση μέσω Internet. Η ενσύρματη πρόσβαση ευρείας ζώνης είναι ασύμφορη οικονομικά σε περιοχές αραιοκατοικημένες ή απομακρυσμένες . Η ασύρματη επικοινωνία ευρείας ζώνης μπορεί να λύσει το πρόβλημα αυτό.
- Τηλεπαρουσία. Θα υποστηρίζει εφαρμογές που θα κάνουν χρήση της αίσθησης της πραγματικής ύπαρξης σε μία περιοχή. Θα είναι υπηρεσίες εικονικής πραγματικότητας σε κανονικό χρόνο. Εξέλιξη της σημερινής τηλεδιάσκεψης.
- Ευφυείς αγορές. Θα δίνεται πρόσβαση στους χρήστες σε πληροφορίες σχετικά με τιμές, προσφορές και χαρακτηριστικά των προϊόντων που προσφέρονται από τα καταστήματα.
- Ασφάλεια . Η ασφάλεια των εφαρμογών θα είναι χαρακτηριστικό γνώρισμα των μελλοντικών δικτύων.

## 2.4 Σύγκριση 3G με 4G

<i>Τεχνολογίες</i>	<i>3G</i>	<i>4G</i>
<i>Αρχιτεκτονική δικτύου</i>	Wide area cell-based	Hybrid - Integration of Wireless LAN (WiFi, Bluetooth) and wide area
<i>Ταχύτητα</i>	384 Kbps έως 2 Mbps	20 έως 100 Mbps εν κινήσει 1 Gbps στάσιμα
<i>Ζώνη συχνοτήτων</i>	1800-2400 MHz	Υψηλές ζώνες συχνοτήτων (2-8 GHz)
<i>Εύρος ζώνης</i>	5-20 MHz	100 MHz (ή παραπάνω)
<i>Τεχνολογίες πρόσβασης</i>	W-CDMA	OFDMA και SC-FDMA
<i>IP</i>	including IP 5.0	Όλα τα IP (IP6.0)
<i>Είδος μεταγωγής</i>	Circuit/Packet	All digital with packetized voice

Το ήδη υπάρχον 3G W-CDMA θα αντικατασταθεί από τις τεχνολογίες OFDMA και SC-FDMA που προσφέρουν υψηλότερη αποδοτικότητα καθώς και υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Τα 4G συστήματα δεν χρειάζονται τόσα πολλά πρότυπα για να

συνδεθούν με άλλα δίκτυα όπως γίνεται με τα 3G. Η ταχύτητα στα 4G κρίνεται ιδιαίτερα ικανοποιητική για να υποστηρίξει εφαρμογές για τις οποίες προορίζεται [3].

## 2.5 Αρχιτεκτονική δικτύων 4G

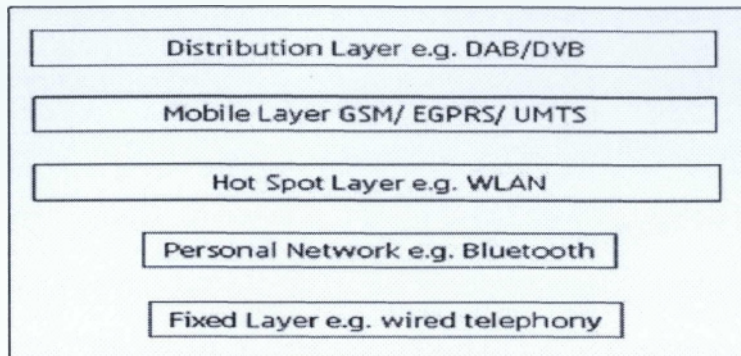
Η αρχιτεκτονική στα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς δεν έχει καθοριστεί ακόμα αλλά κάποιες τηλεπικοινωνιακές εταιρείες περιμένουν να είναι δομημένο όπως στο σχήμα 13. Τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς αναμένονται να αποτελέσουν συνδυασμό μεταξύ παλιών και νέων τεχνολογιών με απρόσκοπτη μεταβίβαση μεταξύ τους, ανεξάρτητα από γεωγραφική θέση, με παροχή υψηλών ρυθμών δεδομένων, υψηλή απόδοση, υψηλή ποιότητα και όλα αυτά σε χαμηλό κόστος. Τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς αναμένεται να αποτελούνται από τέσσερα επίπεδα δικτύων. Τα προσωπικά δίκτυα, τα τοπικά δίκτυα, τα κυψελοειδή δίκτυα και τα δορυφορικά δίκτυα. Τα τοπικά δίκτυα έχουν συνήθως μεγαλύτερη κάλυψη από τα προσωπικά και για αυτό χρησιμοποιούνται σε hotspots, όπως καφετέριες, ξενοδοχεία κ.α. Το κυψελοειδές δίκτυο αποτελείται από τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα 2G και 3G κινητής τηλεφωνίας, τέλος τα δορυφορικά δίκτυα έχουν την μεγαλύτερη γεωγραφική κάλυψη από τα άλλα. Ως αποτέλεσμα αυτής της πολυεπίπεδης ιεραρχίας οι χρήστες 4G συσκευών αναμένεται να εκτελούν κάθετες και οριζόντιες μεταβιβάσεις. Η οριζόντια μεταβίβαση θα γίνεται σε ένα επίπεδο δικτύου, η κάθετη θα γίνεται μεταξύ διαφορετικών επιπέδων δικτύου. Για παράδειγμα ένα laptop που χρησιμοποιεί WLAN για να επικοινωνήσει με διακομιστές σε έναν χώρο στην συνέχεια θα συνδέεται στα δίκτυα

EDGE, CDMA όταν θα αποκόπτεται από το δίκτυο που αρχικά είχε συνδεθεί. Οι 4G συσκευές θα είναι ευφείς και θα είναι σε θέση να συνεργάζονται με διαφορετικές ασύρματες τεχνολογίες, αλλά θα είναι και στην θέση να επιλέγουν την κατάλληλη τεχνολογία για χρήση κάποιας συγκεκριμένης υπηρεσίας. Στα δίκτυα GSM, EDGE, και UMTS τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά έχουν οριστικοποιηθεί. Τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς θα είναι ολοκληρωμένα ασύρματα συστήματα που θα επιτρέπουν την απρόσκοπτη περιαγωγή μεταξύ τεχνολογιών, ο χρήστης θα έχει την δυνατότητα να λειτουργεί σε ένα κυψελοειδές δίκτυο και στην συνέχεια θα μπορεί να μεταβιβαστεί σε ένα δορυφορικό δίκτυο ανάλογα με την κάλυψη [4].

Η Διαχείριση Κινητότητας περιλαμβάνει :

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

Οι υπηρεσίες δεν μπορούν να υποστηριχθούν από όλα τα δίκτυα επομένως είναι αναγκαίο κάποιες υπηρεσίες να προσαρμόζονται στο νέο δίκτυο. Υπάρχουν δυο τεχνολογίες για την Διαχείριση Κινητότητας. Το MIP και το SIP. Το Mobile Internet Protocol (MIP) χρησιμοποιείται 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 εφαρμογές Ίντερνετ (http και chat) χρησιμοποιούμε το MIP. Ωστόσο, για εφαρμογές πραγματικού χρόνου, στις οποίες υπάρχουν αυστηρές απαιτήσεις χρόνου, συνιστάται το SIP.



*Σχήμα 13.* Αρχιτεκτονική δικτύου 4G

#### *Φάσμα Συχνοτήτων*

Τα συστήματα 4<sup>ης</sup> γενιάς αναμένεται να παρέχουν εύρος ζώνης μεγαλύτερο των 100 Mbps, για να μπορέσουν να ανταποκριθούν στην αυξημένη κίνηση θα πρέπει να αναζητηθούν οι σωστές συχνότητες. Η ζώνη συχνοτήτων στα 4G δίκτυα αναμένεται να είναι από 3 GHz έως 5 GHz [4].

#### *Ακτίνα Κυψέλης*

Το εύρος ζώνης που προσφέρεται στα 4G συστήματα είναι τρεις τάξεις μεγέθους μεγαλύτερο από εκείνο των 2G συστημάτων. Η ακτίνα που καλύπτει ένας σταθμός βάσης (BS) μειώνεται, εάν υποθέσουμε ότι οι συνθήκες μετάδοσης είναι ίδιες, και η μετάδοση γίνεται σε υψηλές ταχύτητες για να αντισταθμίσει τον αυξανόμενο θόρυβο. Τα 4G συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν σε υψηλότερες συχνότητες, ώστε η απώλεια σήματος να είναι μεγαλύτερη από τα συστήματα 2G και 3G. Η αύξηση της απώλειας

διάδοσης που προκαλείται από την συχνότητα λειτουργίας και την ταχύτητα διαύλου τείνει να μειώσει την ακτίνα κυψέλης [4].

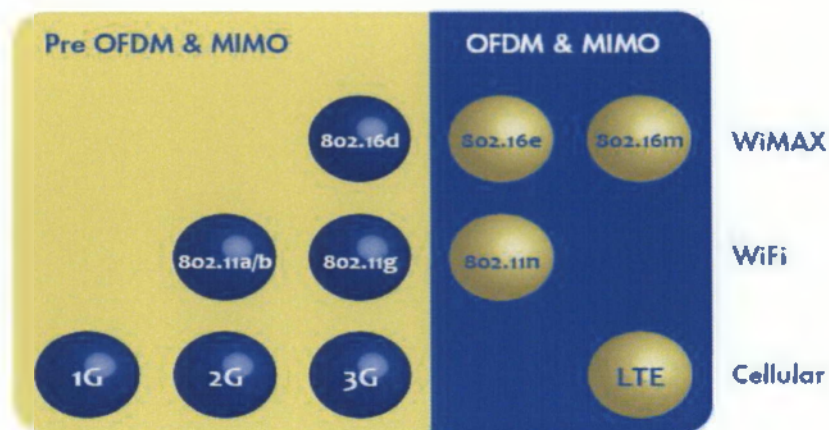
### **2.5.1 Επιλογή Δικτύου**

Αυτόματη επιλογή δικτύου σημαίνει ότι όταν ο χρήστης κινείται έξω από την κάλυψη ενός GSM δικτύου, το τερματικό αυτόματα ψάχνει και επιλέγει ένα άλλο δίκτυο. Ο χρήστης δεν έχει καμία ανάμειξη στην επιλογή, παρά μόνο όταν δε μείνει ικανοποιημένος με τις υπηρεσίες του επιλεγόμενου δικτύου. Τότε μπορεί να επιλέξει ένα νέο. Το αρνητικό είναι ότι ο χρήστης θα πρέπει πρώτα να επιλέξει δίκτυο και μετά να μάθει ποιες υπηρεσίες προσφέρονται από αυτό. Όσον αφορά στα UMTS δίκτυα, η μεταγωγή γίνεται πάντοτε σε GSM δίκτυο. Το χαρακτηριστικό αυτό κρίνεται απαραίτητο διότι η κάλυψη του UMTS αρχικά είναι περιορισμένη σε κέντρα πόλεων, όπου η χωρητικότητα σε κανάλια GSM φωνής είναι περιορισμένη, οι πάροχοι θα μπορούν να μεταφέρουν τους χρήστες στις λιγότερο συμφορημένες συχνότητες του UMTS. Ομοίως, όταν ένας χρήστης απομακρύνεται από μια περιοχή κάλυψης UMTS, θα μπαίνει αυτόματα σε GSM. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται και άλλες ασύρματες τεχνολογίες, με πιο επιτυχή το WLAN, ενώ τα κινητά τερματικά είναι εξοπλισμένα με πολλαπλές διεπαφές και μπορούν να συνδέονται σε πολλά είδη δικτύων την ίδια στιγμή. Στα 4ης γενιάς δίκτυα, η επιλογή ανάμεσα στα δίκτυα GSM, GPRS, UMTS, WLAN και DVB-T δε θα είναι από πριν καθορισμένη αλλά θα γίνεται με βάση ορισμένα κριτήρια που θα αφορούν τόσο στο δίκτυο όσο και στον ίδιο το χρήστη.

Τα κριτήρια επιλογής δικτύου είναι :

1. η διαθέσιμη χωρητικότητά του εκείνη τη χρονική στιγμή
2. ποιες υπηρεσίες υποστηρίζει
3. το επίπεδο ποιότητας στο οποίο προσφέρει κάθε υπηρεσία
4. η δυνατότητα πρόσβασής του από το συγκεκριμένο χρήστη
5. κόστος.

## 2.6 Καινοτομίες 4<sup>ης</sup> γενιάς



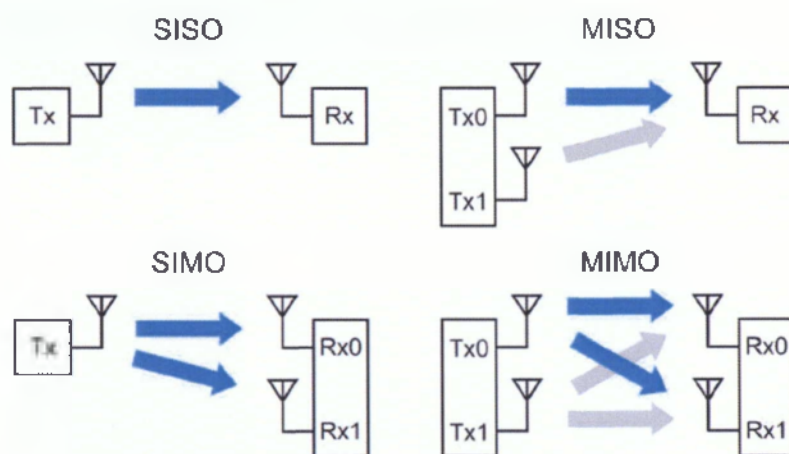
### 2.6.1 OFDMA (Orthological Frequency Division Multiplexing)

Η τεχνική πολλαπλής προσπέλασης με ορθογωνική πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας προσφέρει κάποια χαρακτηριστικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα ασύρματα συστήματα 4<sup>ης</sup> γενιάς, όπως η υποδιαυλοποίηση της ανερχόμενης και

κατερχόμενης ζώνης, καθώς και την δυνατότητα εκ νέου χρήσης της συχνότητας. Ο διαχωρισμός του φάσματος σε υποκανάλια που εκχωρούνται στον ίδιο ή σε διαφορετικούς χρήστες μπορεί να αυξήσει το συνολικό ρυθμό μετάδοσης. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του OFDMA είναι ότι δίνει στο σήμα ανθεκτικότητα, και διασφαλίζει ότι τα φέροντα που εκχωρούνται στους χρήστες είναι μεταξύ τους ορθογωνικά. Το OFDMA αποτελεί τη βάση για τις αναδυόμενες τεχνολογίες 4<sup>ης</sup> γενιάς όπως το IEEE 802.16e το UMB καθώς και το LTE. Υπάρχουν πολλές παραλλαγές όπως το W-OFDMA, SC-FDMA, MC-CDMA [5].

### 2.6.2 Τεχνικές κεραιών

Το σχήμα 14 δείχνει τέσσερις τρόπους κεραιών.



Σχήμα 14. Παρουσίαση Τεχνικών Κεραιών



### **Single input single output (SISO)**

Στην τεχνική SISO μία κεραία μεταδίδει και άλλη μία λαμβάνει. Αυτό είναι το κλασικό μοτίβο επικοινωνίας και αποτελεί την βάση σύγκρισης με όλες τις άλλες τεχνικές κεραιών [12].

### **Single input multiple output (SIMO)**

Ο δεύτερος τρόπος που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα χρησιμοποιεί ένα πομπό και δύο δέκτες. Το κανάλι είναι προσαρμοσμένο για χαμηλά σήματα θορύβου (SNR) υπό συνθήκες μπορούμε να έχουμε κέρδος 3dB όταν χρησιμοποιούνται δύο δέκτες. Δεν υπάρχει αλλαγή στον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων αφού έχουμε μόνο ένα ρεύμα δεδομένων και η κάλυψη στις άκρες των κυψελών βελτιώνεται λόγω της μείωσης του SNR [12].

### **Multiple input single output (MISO)**

Χρησιμοποιεί δύο ή περισσότερους πομπούς και έναν δέκτη. Τα ίδια δεδομένα μεταδίδονται από τους πομπούς κωδικοποιημένα όμως ώστε ο δέκτης να αναγνωρίζει κάθε πομπό [12].

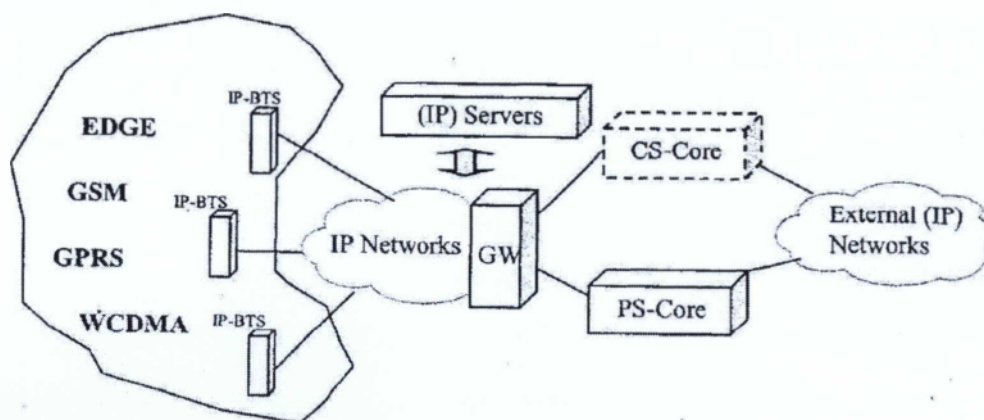
### **Multiple input multiple output (MIMO)**

Απαιτεί δύο ή περισσότερους πομπούς και δύο ή περισσότερους δέκτες. Προσφέρουν σημαντική αύξηση στην ροή των δεδομένων χωρίς επιπλέον εύρος ζώνης . Αυτό γίνεται με την υψηλότερη φασματική απόδοση περισσότερα bits ανά δευτερόλεπτο ανά hertz του εύρους ζώνης. Μεγάλες τηλεπικοινωνιακές εταιρείες έχουν ξεκινήσει την εφαρμογή σε συστήματα. Η NTT DoCoMo δοκιμάζει ένα πρωτότυπο σύστημα

επικοινωνιών βασισμένο στο 4x4 MIMO με ρυθμό μετάδοσης στα 100Mbit/s εν κινήσει και στα 1Gbit/s όταν βρισκόμαστε σε σταθερό σημείο [12].

### 2.6.3 ALL-IP

Ένα δίκτυο All-IP παρουσιάζεται στο σχήμα 15.



Σχήμα 15. Παράδειγμα ενός δικτύου All-IP

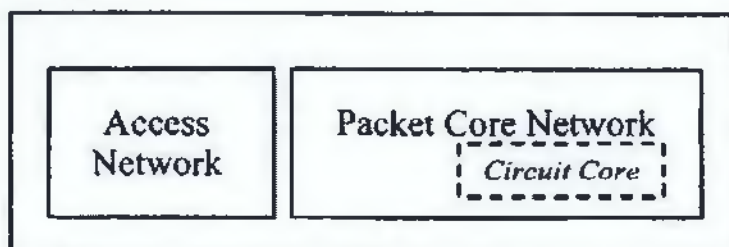
**IP-BTS:** Η λειτουργία του IP σταθμού βάσης (base station) σε αυτό το δίκτυο είναι παρόμοια με αυτή που έχουν οι σταθμοί βάσης στα άλλα δίκτυα [4].

**Διακομιστές IP (IP servers):** Ο IP σταθμός βάσης δεν είναι σε θέση να πραγματοποιήσει όλες τις λειτουργίες RNC/BSC, οι οποίες είναι του επιπέδου δικτύου (network level). Οι διακομιστές IP χειρίζονται την ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ των στοιχείων του δικτύου. Είναι σε θέση επίσης να ρυθμίζουν αυτόματα τις παραμέτρους του δικτύου, με σκοπό την καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων [4].

**Πύλες - Gateways (GW):** Είναι αρμόδιες για την αλληλεπίδραση των IP-RAN και των δικτύων IP-Core. Είναι συνήθως δύο τύπων. Οι πύλες CS-GW (circuit-switched) χειρίζονται κλήσεις μεταγωγής κυκλώματος, ενώ οι πύλες PS-GW (packet-switched) χειρίζονται κλήσεις μεταγωγής πακέτου [4].

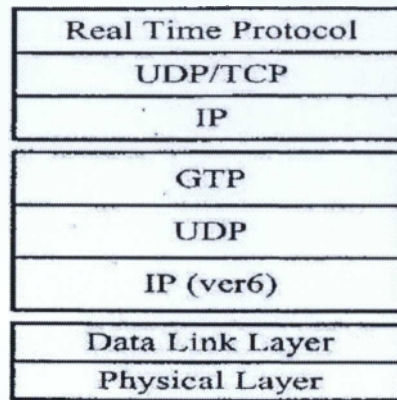
### *Σχεδιασμός δικτύου (network planning)*

Ο σχεδιασμός δικτύου καλύπτει το δίκτυο πρόσβασης (access network) (μετάδοση - transmission) και το βασικό δίκτυο πακέτων (packet core network). Το σχήμα 16 παρουσιάζει το βασικό δίκτυο φωνής (circuit core) ως υποσύνολο του βασικού δικτύου πακέτων, δείχνοντας ότι η φωνή θα παραμείνει κομμάτι της κινητής επικοινωνίας, αλλά ότι τώρα θα μεταφέρεται αποκλειστικά μέσω του δικτύου πακέτων (σε αντιδιαστολή με τα δίκτυα 2G και 3G) [4].



**Σχήμα 16.** Σχεδιασμός δικτύου για ένα δίκτυο All-IP

Η δομή των πρωτοκόλλων (protocol structure) σε ένα δίκτυο All-IP φαίνεται στο σχήμα 17.



**Σχήμα 17.** δομή πρωτοκόλλων σε ένα δίκτυο All-IP

Η σημαντικότερη αλλαγή στο δίκτυο μετάδοσης (transmission network) είναι η χρήση του All-IP για τη ροή της κυκλοφορίας. Τα δίκτυα μετάδοσης τρίτης γενιάς (3G) χρησιμοποιούν ένα επίπεδο ATM (ασύγχρονος τρόπος μεταφοράς) (ATM layer) για τη ροή της κυκλοφορίας, ενώ ένα δίκτυο All-IP δεν έχει επίπεδο ATM, αλλά επίπεδο IP version 6 (σχήμα 17). Ο σημαντικότερος αντίκτυπος αυτού του γεγονότος είναι οι μειωμένες κεφαλίδες (λιγότερη κίνηση στο δίκτυο) [4].

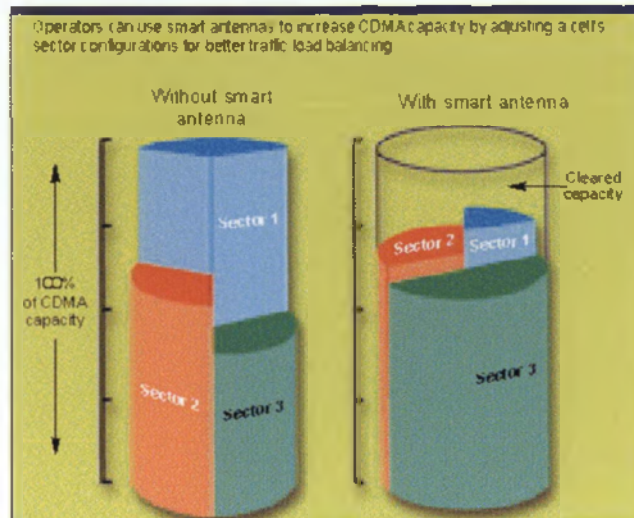
#### **2.6.4 Έξυπνες Κεραίες (smart antennas)**

Η χρήση των έξυπνων στοιχειοκεραιών στα κινητά τηλεπικοινωνιακά συστήματα προσφέρει τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της χωρικής ποικιλίας (spatial diversity), γεγονός που βελτιώνει την αποδοτικότητα εύρους ζώνης. Γενικά μια έξυπνη στοιχειοκεραία αποτελείται από έναν αριθμό στοιχείων που συνδυάζονται μέσω ενός

δικτύου διαμόρφωσης του διαγράμματος ακτινοβολίας (beam forming network) που καθορίζει τα σχετικά πλάτη και τις σχετικές φάσεις των στοιχείων.

Αυτό το δίκτυο μπορεί να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας τεχνολογία RF ή τεχνολογία ψηφιακής επεξεργασίας σήματος πραγματικού χρόνου ή υβριδικές λύσεις. Χρησιμοποιώντας μια έξυπνη στοιχειοκεραία (Smart Antenna System – SAS) επιτυγχάνεται χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος του κινητού τερματικού, μεγαλύτερο βεληνεκές, μείωση της διασυμβολικής παρεμβολής (intersymbol interference), υψηλότερος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και ευκολία ολοκλήρωσης στο υπάρχον κυψελωτό σύστημα.

Ειδικά για σταθμούς βάσης, τα συστήματα έξυπνων κεραιών μέσω της ικανότητας του χωρικού διαχωρισμού σημάτων μπορούν να υποστηρίξουν πολλαπλή πρόσβαση κινητών χρηστών που επικαλύπτονται στο πεδίο του χρόνου και των συχνοτήτων σε ένα κοινό κανάλι επικοινωνίας. Αυτή η τεχνική είναι γνωστή ως πολλαπλή πρόσβαση με χωρισμό χώρου (Spatial Division Multiple Access- SDMA) και αυξάνει τη χωρητικότητα του συστήματος (Σχήμα 18). Επιπλέον η τοποθέτηση έξυπνων στοιχειοκεραιών στους σταθμούς βάσης, αν και αυξάνει το κόστος ανά σταθμό μπορεί να αυξήσει την περιοχή κάλυψης κάθε κυψέλης και να μειώσει το συνολικό κόστος του συστήματος δραματικά, πολλές φορές κατά περισσότερο από 50% χωρίς υποβάθμιση της ποιότητας υπηρεσίας [2].



**Σχήμα 18.** Σύγκριση χωρητικότητας CDMA συστημάτων με και χωρίς χρήση στοιχειοκεραίας

### *Επίπεδα ευφυΐας (levels of intelligence)*

#### *❖ Μεταβαλλόμενος λοβός (switched lobe-SL)*

Είναι η απλούστερη τεχνική και οι δυνατότητες που έχει όσον αφορά την λαμβανόμενη ισχύ. Προτιμάται εξαιτίας της υψηλότερης κατευθυντικότητας σε σύγκριση με την συμβατική κεραία. Τέτοια κεραία θα είναι ευκολότερο να ενσωματωθεί σε υπάρχοντα κυψελωτά δίκτυα σε σχέση με πιο πολύπλοκες προσαρμοζόμενες κεραίες [2].

#### *❖ Στοιχειοκεραίες δυναμικής μεταβολής φάσης (Dynamically Phased Array-PA)*

Χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο κατεύθυνσης άφιξης (Direction of Arrival) DoA για λαμβανόμενο σήμα από τον χρήστη, είναι δυνατός ο συνεχής εντοπισμός ενώ μεγιστοποιείται η λαμβανόμενη ισχύς. [2]

#### ❖ *Προσαρμοστικές στοιχειοκεραίες (Adaptive Array-AA)*

Ένας αλγόριθμος DoA προστίθεται για τον εντοπισμό της κατεύθυνσης των πηγών των παρεμβολών (άλλοι χρήστες). Το διάγραμμα ακτινοβολίας προσαρμόζεται ώστε να εξουδετερώνει τους παρεμβολείς. Με χρήση ειδικών αλγορίθμων και τεχνικών χωρικής ποικιλίας το διάγραμμα ακτινοβολίας μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να λαμβάνει σήματα πολλαπλών δρόμων τα οποία μπορούν να συνδυαστούν. Αυτές οι τεχνικές μεγιστοποιούν το λόγο σήματος προς παρεμβολή (Signal to Interference Ratio-SIR). Τα συμβατικά κινητά συστήματα συνήθως χρησιμοποιούν κάποια μορφή χωρικής ή πολοτικής λήψης [2].

### *Βελτιώσεις και πλεονεκτήματα*

#### *I. Αύξηση χωρητικότητας.*

Ο κύριος λόγος για το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις έξυπνες κεραίες είναι η αύξηση της χωρητικότητας. Σε πυκνοκατοικημένες περιοχές οι παρεμβολές από τους άλλους χρήστες είναι η κύρια πηγή θορύβου για τα κινητά συστήματα. Οι έξυπνες κεραίες βελτιώνοντας το επίπεδο σήματος και μειώνοντας το επίπεδο παρεμβολής βελτιώνουν το SIR. Ειδικότερα η προσαρμοστική στοιχειοκεραία προσφέρει σημαντική

βελτίωση και πειραματικά στοιχεία δείχνουν βελτίωση κατά 10 dB. Σε συστήματα TDMA (Time Division Multiple Access) η βελτίωση του SIR προσφέρει τη δυνατότητα μειωμένων αποστάσεων μεταξύ των κυψελών που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα. Προσομοιώσεις σε GSM δίκτυα έχουν δείξει βελτίωση της χωρητικότητας κατά 300%. Συστήματα που βασίζονται σε CDMA (Code Division Multiple Access) (IS-95, UMTS) έχουν ως βασική πηγή θορύβου τις παρεμβολές από άλλους χρήστες εξαιτίας του γεγονότος ότι οι διασπειρόμενοι κώδικες (spreading codes) δεν είναι ιδανικά ορθογώνιοι [2].

## *II. Αύξηση βεληνεκούς σε αγροτικές και αραιοκατοικημένες περιοχές*

Η ραδιοκάλυψη αποτελεί το σημαντικότερο κριτήριο για την τοποθέτηση σταθμών βάσης. Επειδή οι έξυπνες κεραιές είναι περισσότερο κατευθυντικές από τις παραδοσιακές κεραιές. Αυτό σημαίνει ότι οι σταθμοί βάσης μπορούν να τοποθετηθούν πιο μακριά ο ένας από τον άλλο, κάτι που αποτελεί μια οικονομική λύση [2].

## *III. Νέες υπηρεσίες*

Με τη χρήση έξυπνων κεραιών το δίκτυο θα έχει πρόσβαση σε χωρικές πληροφορίες για τους χρήστες. Αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της θέσης των χρηστών με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι στα υπάρχοντα δίκτυα. Η υπηρεσία αυτή θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε κλήσεις έκτακτης ανάγκης [2].

## *IV. Ασφάλεια*

Η υποκλοπή δεδομένων είναι πολύ δυσκολότερη όταν χρησιμοποιούνται έξυπνες κεραιές, καθώς ο υποκλοπέας πρέπει να βρίσκεται στην ίδια κατεύθυνση με το



χρήστη όσον αφορά το σταθμό βάσης [2].

#### *V. Μειωμένη διάδοση πολλαπλών δρόμων*

Χρησιμοποιώντας μια στενή δέσμη κεραίας στο σταθμό βάσης η διάδοση πολλαπλών δρόμων μπορεί να μειωθεί. Η πραγματική μείωση εξαρτάται από τη διαμόρφωση εδάφους και δεν είναι πάντα σημαντική. Παρά το ότι οι εξισωτές καναλιών (channel equalizers) συχνά αντιμετωπίζουν επιτυχώς το πρόβλημα αυτό, είναι πιθανόν ότι η επιτυχία τους δεν θα είναι ίδια σε συνδέσεις πολύ μεγάλης ταχύτητας. Κατά συνέπεια η μείωση στη διάδοση πολλαπλών δρόμων μπορεί να διευκολύνει τη σχεδίαση μελλοντικών modems [2].

### *Μειονεκτήματα*

#### *Πολυπλοκότητα πομποδέκτη*

Είναι προφανές ότι ένας πομποδέκτης που χρησιμοποιεί έξυπνη κεραία είναι πολύ πιο πολύπλοκος από ένα παραδοσιακό πομποδέκτη σταθμού βάσης. Η κεραία θα χρειάζεται ξεχωριστές συνδέσεις με τον πομποδέκτη για κάθε ένα από τα στοιχεία καθώς και ακριβή ρύθμιση σε πραγματικό χρόνο. Επίσης η διαδικασία σύνθεσης των λοβών της στοιχειοκεραίας απαιτεί σημαντικό υπολογιστικό φόρτο ειδικά στην περίπτωση προσαρμοστικών κεραίων [2].

### *Διαχείριση εξοπλισμού (resource management)*

Αν και οι έξυπνες κεραιές στηρίζονται κυρίως στην τεχνολογία RF (είναι ένα ποσοστό ταλάντωσης της τάξης των περίπου 30 kHz έως και 300 GHz το οποίο αντιστοιχεί στην συχνότητα των ηλεκτρικών σημάτων που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση ραδιοκυμάτων), απαιτούν βελτιωμένες λειτουργίες δικτύων όπως η διαχείριση εξοπλισμού και κινητικότητας (*mobility management*). Όταν μια νέα σύνδεση δημιουργείται ή μια υπάρχουσα σύνδεση ανατίθεται σε ένα νέο σταθμό βάσης καμία γωνιακή πληροφορία δεν είναι διαθέσιμη στο νέο σταθμό βάσης, ο οποίος χρειάζεται κάποιο εναλλακτικό τρόπο για να εντοπίσει το χρήστη [2].

### *Σχεδιασμός κάλυψης (radio planning)*

Οι σταθμοί βάσης πρέπει να είναι ικανοί να διαχωρίζουν τους χρήστες με βάση την γωνία ώστε οι έξυπνες κεραιές να έχουν το επιθυμητό κέρδος. Αυτό σημαίνει ότι μερικές από τις παραδοσιακές στρατηγικές για το σχεδιασμό κάλυψης πρέπει να αναθεωρηθούν. Στα υπάρχοντα δίκτυα οι σταθμοί βάσης είναι συχνά τοποθετημένοι κατά μήκος των αυτοκινητοδρόμων και των σιδηροδρομικών γραμμών. Η χρήση έξυπνων κεραιών επιβάλλει τη μετακίνηση των σταθμών βάσης μακριά από το δρόμο ή τις γραμμές ώστε να βελτιωθεί η ικανότητα διαχωρισμού των χρηστών με βάση τη γωνία [2].

## **2.7 Τεχνολογίες Συστημάτων Επικοινωνίας 4<sup>ης</sup> γενιάς**

### **2.7.1 Ultra Mobile Broadband**



Τον Σεπτέμβριο του 2007, η ομάδα ανάπτυξης του CDMA και η 3GPP2 δημοσίευσαν επίσημες προδιαγραφές της εναέριας διεπαφής Ultra Mobile Broadband (UMB), η οποία φέρει την κωδική ονομασία 3GPP2 C.S0084-0 v2.0. Είχε προηγηθεί το Δεκέμβριο του 2006 η κατοχύρωση της ονομασίας UMB, η οποία βασιζόταν στο υπάρχον πρότυπο CDMA2000 1xEV-DO Revision C. Η ανάπτυξη και κατοχύρωση της τεχνολογίας UMB έγινε με μεγάλη αποδοχή από την παγκόσμια τηλεπικοινωνιακή κοινότητα και όλοι ευελπιστούσαν ότι γρήγορα θα μετατρέποταν στο επίσημο παγκόσμιο πρότυπο από τα μέλη του 3GPP2. Η δημοσίευση της προδιαγραφής αυτής σηματοδότησε την απαρχή του πρώτου στον κόσμο κινητού προτύπου ευρείας ζώνης, το οποίο βασίζεται στο πρωτόκολλο IP και το οποίο καθιστά εφικτούς ρυθμούς μετάδοσης των 288 Mbps σε ένα εύρος ζώνης των 20MHz .

Η τεχνολογία UMB αντιπροσωπεύει μια σημαντική καινοτομία στις κινητές υπηρεσίες ευρείας ζώνης 4<sup>ης</sup> γενιάς , καθώς καθιστά εφικτή την μετάδοση IP πακέτων,

μεταβλητού μεγέθους , σε ταχύτητες που είναι αρκετές τάξεις μεγέθους υψηλότερες από τις αντίστοιχες σημερινά διαθέσιμες. Αποτελεί το πιο πρόσφατο μέλος της οικογένειας προτύπων του CDMA2000 και σχεδιάστηκε προκειμένου να αναβαθμίσει την συνολική τελική εμπειρία του χρήστη. Οι δημιουργοί έθεσαν ως στόχο για το εν λόγω σύστημα να αποδειχτεί πιο αποδοτικό και αποτελεσματικό ως προς το σύνολο των προσφερόμενων υπηρεσιών σε σχέση με την τεχνολογία που κλήθηκε να αντικαταστήσει.

Η UMB βελτιώνει την απόδοση και τις δυνατότητες του CDMA2000 καταφέροντας να συνδυάσει τα καλύτερα στοιχεία των παρακάτω τεχνικών εναέριας διεπαφής : OFDM και OFDMA . Ενσωματώνει , επίσης , προηγμένες τεχνικές κεραιών, όπως οι Multiple Input Multiple Output (MIMO) και Space Division Multiple Access (SDMA) , προκειμένου να εξασφαλίσει ακόμα μεγαλύτερη χωρητικότητα , κάλυψη και ποιότητα μετάδοσης υπηρεσιών. Για να διατηρηθεί η δυνατότητα παγκόσμιας πρόσβασης , το UMB υποστηρίζει τα «διατεχνολογικά» hand-offs και την αδιάλειπτη λειτουργία με τα ήδη υπάρχοντα συστήματα CDMA20001X και 1xEV-DO.

Η βασισμένη στο πρωτόκολλο IP, υψηλής απόδοσης , UMB τεχνολογία θα είναι σε θέση να υποστηρίζει τεχνολογικά και οικονομικά μια μεγάλη ποικιλία υπηρεσιών, η οποία απαιτεί εξαιρετικά χαμηλή λανθάνουσα καθυστέρηση (latency time), υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και αυξημένη φασματική απόδοση. Διαθέτει, επίσης, τη δυνατότητα για δυναμική ανακατανομή πόρων φάσματος, η οποία απαιτείται για την υλοποίηση πληθώρας υπηρεσιών και εφαρμογών [8].

### Βασικά χαρακτηριστικά [6]:

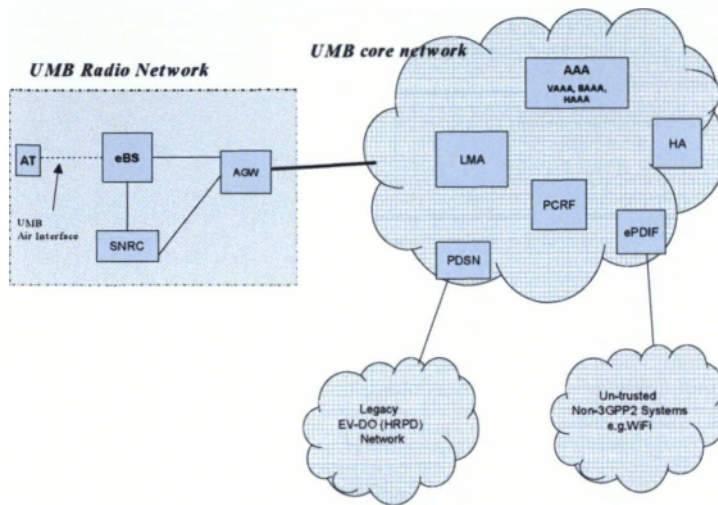
- Πολλοί υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης. Το UMB υποστηρίζει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων οι οποίοι φτάνουν για download τα 288 Mbps και τα 75 Mbps για upload.
- Αυξημένη χωρητικότητα. Υπάρχει η δυνατότητα για παροχή υψηλής ποιότητας φωνής και δεδομένων σε όλα τα περιβάλλοντα, σε σταθερό ή κινούμενο σε απόσταση μεγαλύτερη αυτή των 300 χιλ.
- Χαμηλή καθυστέρηση. Για την υποστήριξη στον αέρα του VoIP καθώς και άλλων ευαίσθητων εφαρμογών με τον λιγότερο δυνατό θόρυβο.
- Αυξημένη χωρητικότητα για VoIP. Μέχρι και 1000 χρήστες ταυτόχρονα μπορούν να συνυπάρξουν σε ένα τομέα.
- Μεγάλη κάλυψη. Δίκτυα ευρείας περιοχής θα καλύπτουν περιοχές ισοδύναμες με τα υπάρχοντα δίκτυα κινητή τηλεφωνίας, είτε με συνεχή κάλυψη για roaming (περιαγωγή) ή με μη συνεχή κάλυψη για σημαντικές εφαρμογές.
- Πλήρης κινητικότητα. Υποστήριξη της κινητικότητας με handoff (στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα ο όρος handoff αναφέρεται στη διαδικασία

μεταφοράς μίας κλήσης από ένα κανάλι που συνδέεται με το κεντρικό δίκτυο) σε όλο το φάσμα του UMB.

- Πολυμετάδοση. Υποστήριξη για υψηλής ταχύτητας πολυμετάδοση σε πολυμεσικό περιεχόμενο.
- Διαθεσιμότητα συσκευών. Multi-mode και Multi-band UMB συσκευές.
- Ισχυρό Ecosystem. Το UMB αξιοποιεί το σύστημα 3G CDMA για πελάτες και προμηθευτές για την επίτευξη οικονομίας στο πεδίο εφαρμογών .
- Προσαρμοστική διαχείριση παρεμβολών. Δυναμική κλασματική επαναχρησιμοποίηση συχνότητας (FFR). Δυναμικός έλεγχος ισχύος RL.
- Υποστήριξη πολλαπλών φερόντων. Το UMB μπορεί να ξεκινήσει ένα σύστημα από τα 10MHz στην συνέχεια να το αυξήσει στα 30MHz. Αυτό γίνεται με την χρήση Beacons, δρουν εκτός ζώνης συχνότητας και επιτρέπουν την χρήση hand-offs πολλαπλών φερόντων. Λόγω ότι το beacon είναι ένα OFDMA σύμβολο η ισχύς μεταδίδεται σε έναν τόνο. Μεταδίδεται μία ακολουθία από beacons σε κάθε φέρον. Η παρεμβολή των beacons είναι ελάχιστη.

## Αρχιτεκτονική δικτύου

Η αρχιτεκτονική δικτύου UMB δίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 19. Αρχιτεκτονική δικτύου UMB

Η Access Terminal (AT) διατηρεί ένα ενιαίο πρωτόκολλο διεπαφής αέρα για επικοινωνία με πολλαπλούς σταθμούς βάσης (BS). Η κεντρική μονάδα ελέγχου ονομάζεται BSC και διατηρεί τα πρωτόκολλα που συντονίζονται μεταξύ των σταθμών βάσης. Ο εξελιγμένος σταθμός βάσης (eBS) συνδέεται στο δίκτυο μέσω μίας πύλης πρόσβασης (AGW). Ένας εξελιγμένος σταθμός βάσης (eBS) διαθέτει τις λειτουργίες ενός σταθμού βάσης (BS), και μερικές λειτουργίες packet data network serving node (PDSN) σε ένα κόμβο. Ο αριθμός των στοιχείων που απαιτούνται για την κατασκευή ενός δικτύου είναι μειωμένος, έτσι το δίκτυο γίνεται πιο αξιόπιστο, πιο ευέλικτο, και

λιγότερο δαπανηρό. Ένας εξελιγμένος σταθμός βάσης (eBS) συνδέεται απευθείας με το διαδίκτυο. Συνδυάζοντας τις λειτουργίες ενός παραδοσιακού δικτύου σε μείωση κόμβων, κόστος συντήρησης, καθώς και την πολυπλοκότητα-αλληλεπίδραση μεταξύ των κόμβων θα μας επιτρέψει να έχουμε υψηλής ποιότητας παροχή υπηρεσιών (QoS) [7].

#### *Access Terminal (AT)*

Ο τερματικός σταθμός επιτρέπει την πρόσβαση των συσκευών στο δίκτυο. Παρέχει δεδομένα IP στον χρήστη. Π.χ PDA, κινητό τηλέφωνο [7].

#### *Evolved Base Station (eBS)*

Ο σταθμός βάσης (eBS) παρέχει over-the-air (είναι ένα σύνολο υπηρεσιών που επιτρέπει την αυτόματη ή χειροκίνητη τροφοδότηση των συσκευών του χρήστη σε ένα κινητό δίκτυο) σηματοδότηση, και χρησιμοποιείται από τον τερματικό σταθμό για σύνδεση στο δίκτυο. Οι λειτουργίες του σταθμού βάσης (eBS) περιλαμβάνει [7]:

- Over-the-air μετάδοση των πακέτων
- Κρυπτογράφηση/αποκρυπτογράφηση των πακέτων σε επίπεδο RLP (radio link protocol), για μετάδοση over-the-air. Το RLP ανιχνεύει απώλειες πακέτων και εκτελεί την αναμετάδοση τους ώστε η απώλεια πακέτων να φτάσει στο 0.01%
- Προγραμματισμός για μετάδοση over-the-air
- Πολιτική για μεταφορά over-the-air
- Συμπύση κεφαλίδας



### Access Gateway (AGW)

Η πύλη πρόσβασης παρέχει στον χρήστη την IP του στο δίκτυο. Είναι δηλαδή ο δρομολογητής για το κινητό τερματικό [7].

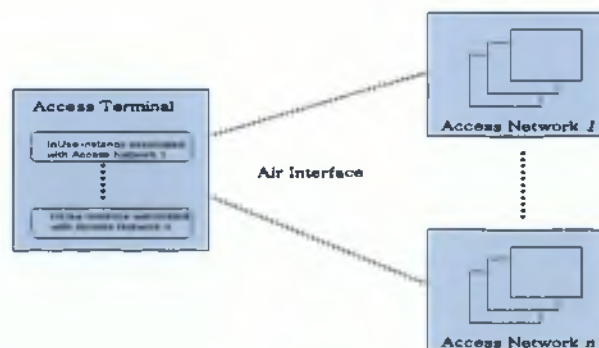
### ePDIF (envolved Packet Data Interworking Function)

Η εξέλιξη ePDIF είναι μία λειτουργία διασυνεργασίας για την σύνδεση ενός 3GPP2 δικτύου και ενός μη π.χ το Wi-Fi [7].

### Packet Data Serving Node (PDSN)

Είναι ο κόμβος που παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα σύνδεσης IP στα πακέτα δεδομένων του δικτύου. Χρησιμοποιείται επίσης για εξουσιοδότηση, αυθεντικοποίηση και παρέχει στους κινητούς σταθμούς πύλες (IP) προς το δίκτυο [7].

### UMB AIR INTERFACE



Σχήμα 20. Παρουσίαση διεπαφής αέρα στο UMB

Το παραπάνω σχήμα μας δείχνει το μοντέλο αναφοράς για την διεπαφή αέρα μεταξύ του UMB και δικτύου πρόσβασης. Το τερματικό (AT) διατηρεί ένα ανεξάρτητο πρωτόκολλο διεπαφής αέρα, που αναφέρεται και ως InUse, συνδέεται με κάθε δίκτυο ή με σταθμό βάσης (eBS) που το τερματικό (AT) βρίσκεται σε επικοινωνία. Κάθε τέτοιο πρωτόκολλο InUse ονομάζεται Route. Ο εξελεγκμένος σταθμός βάσης (eBS) διατηρεί μία σύνδεση που συνδέεται με κάθε διαδρομή. Αυτή η σύνδεση παρέχει παραμέτρους και σταθερές που βοηθούν να διατηρηθεί η σύνδεση μεταξύ ενός εξελεγκμένου σταθμού βάσης (eBS) και ενός τερματικού. Δεδομένου ότι το τερματικό διατηρεί μία διαφορετική διαδρομή με κάθε εξελεγκμένο σταθμό βάσης (eBS), η κατάσταση σύνδεσης είναι διαθέσιμη σε τοπικό επίπεδο με έναν σταθμό βάσης (eBS). Αυτό μειώνει την πολυπλοκότητα της σηματοδότησης μεταξύ των σταθμών βάσης (eBS) [7].

Η διεπαφή αέρα UMB προσδιορίζεται από επίπεδα. Κάθε επίπεδο αποτελείται από ένα ή περισσότερα πρωτόκολλα που εκτελούν τις λειτουργίες κάθε στρώματος.

- Physical Layer: Το φυσικό επίπεδο παρέχει το κανάλι, την ισχύ, και την κωδικοποίηση για τα Forward και Reverse κανάλια.
- MAC Layer: Το Medium Access Control ορίζει τις διαδικασίες για την παραλαβή και την μετάδοση του σήματος από το φυσικό επίπεδο.
- Radio Link Layer: Πρωτόκολλα σε αυτό το επίπεδο παρέχουν πολυπλεξία και υπηρεσία Qos για την υποστήριξη των εφαρμογών.

- Application Layer: Παρέχει πολλαπλές εφαρμογές, όπως το πρωτόκολλο σηματοδότησης για την μεταφορά των σημάτων. Ένα παράδειγμα είναι το EAP που χρησιμοποιείται για την αυθεντικοποίηση της IP και των μεταδιδόμενων πακέτων.
- Connection Control Plane: Το επίπεδο αυτό παρέχει μία εναέρια σύνδεση και υπηρεσίες συντήρησης.
- Session Control Plane [7].

### *Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης*

Το UMB κάνει χρήση OFDMA. Η υψηλή απόδοση φάσματος απαιτεί μείωση των παρεμβολών, από άλλα συστήματα μετάδοσης. Με την παράλληλη μετάδοση πολλά σήματα μπορούν να μεταδοθούν ταυτόχρονα. Αυτό επιτρέπει σε κάθε σήμα να διατηρεί τον ρυθμό μετάδοσης του. Λόγω της ορθογωνικής πολυπλεξίας μπορούμε να μετατρέψουμε μία ομάδα υψηλής ταχύτητας ευρυζωνικών σημάτων σε ορθογώνια κύματα μετάδοσης, έτσι οι παρεμβολές μεταξύ των σημάτων είναι μηδενικές [9].

### *Τεχνικές κεραιών*

Στην MIMO τεχνική η κεραία χρησιμοποιεί κωδικούς space time codes (STC) για να διαχωρίσει και να αποκωδικοποιήσει τα πολλαπλά σήματα με στόχο την βελτίωση του σήματος προς τον θόρυβο. Η τεχνολογία MIMO χρησιμοποιεί αποτελεσματικά τη χωρική διάσταση για την βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ των συστημάτων. Ο ρόλος του MIMO είναι να διαχωριστούν τα κανάλια SINR σε πολλά μικρότερα, και να παρέχει

βελτίωση στην ραδιοσυχνότητα. Το UMB χρησιμοποιεί διαμόρφωση λοβού ακτινοβολίας στοιχειοκεραίας (beamforming) για να αυξήσει τον ρυθμό μετάδοσης, κατευθύνοντας την ισχύ εκπομπής του σταθμού βάσης προς τους χρήστες. Τέλος κάνει και χρήση SDMA (space division multiple access). Επιτρέπει σε ένα σταθμό βάσης να εκπέμπει ταυτόχρονα σε πολλούς χρήστες οι οποίοι είναι χωρισμένοι, έτσι η μετάδοση γίνεται ταυτόχρονα σε πολλούς χρήστες αλλά η παρεμβολή είναι μηδενική. Δεν απαιτείται αυξημένη πολυπλοκότητα για την υλοποίησή του, το UMB παρέχει κανάλια ανάδρασης στην άνω ζεύξη για την αποδοτική λειτουργία του SDMA [9].

#### *Εφαρμογές και υπηρεσίες*

Η τεχνολογία UMB χάρη στους αυξημένους ρυθμούς μετάδοσης έρχεται να αναβαθμίσει και να εμπλουτίσει εφαρμογές και υπηρεσίες.

- Laptops, PDAs και Σταθερή Πρόσβαση Ευρείας Ζώνης.

Καθώς οι ρυθμοί μετάδοσης ξεπερνούν κατά πολύ τους αντίστοιχους των ενσύρματων συνδέσεων, οι χρήστες θα μπορούν να απολαμβάνουν την ίδια ποιότητα υπηρεσιών τόσο σε σταθερά όσο και σε κινητά δίκτυα. Οι χρήστες θα έχουν τη δυνατότητα πρόσβασης στο internet, αποστολής και λήψης e-mail, upload μεγάλων αρχείων σε servers και συμμετοχής σε on line παιχνίδια οποιαδήποτε στιγμή. Παράλληλα υποστηρίζεται η προσφορά υπηρεσιών διαφορετικού εύρους ζώνης. Είναι δυνατόν να προσφέρονται συνδέσεις με διαφορετικές ρυθμοποδόσεις (throughput), 1 Mbps, 3 Mbps, 5Mbps ή και παραπάνω, όλες σε διαφορετικές τιμές. Επίσης καθίσταται δυνατή η λειτουργία σταθερών υπηρεσιών, οι οποίες παρέχονται από το ίδιο κινητό

δίκτυο ευρείας ζώνης. Αυτή μπορεί να είναι μια αναγκαστική λύση, ειδικότερα για τις περιοχές εκείνες που δεν τυγχάνουν ικανοποιητικής εξυπηρέτησης από τα ενσύρματα δίκτυα.

- Υπηρεσίες VOD/MOD. Χάρης στους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να απολαμβάνουν εξαιρετικής ποιότητας υπηρεσίες video on demand (VOD) και music on demand (MOD). Έχουν πλέον πρόσβαση σε μεγαλύτερης διάρκειας και εμπλουτισμένες εφαρμογές πολυμέσων. Π.χ, μια ταινία διάρκειας δύο ωρών μπορεί να κατέβει στον υπολογιστή σε λίγα μόλις λεπτά.
- Υπηρεσίες ανταλλαγής και ανεβάσματος αρχείων. Το Web 2.0 παρέχει υπηρεσίες όπως η κοινωνική διαδίκτυωση και το blogging, καθώς και η ανταλλαγή αρχείων ανάμεσα στους χρήστες . Η UMB τεχνολογία προσφέρει βελτιωμένες ταχύτητες και αυξημένη χωρητικότητα, οι χρήστες μπορούν να ανεβάζουν πολύ γρηγορότερα εφαρμογές πολυμέσων μεγαλύτερης ανάλυσης και ποιότητας σε ένα κινητό περιβάλλον.
- Ηλεκτρονικά gadgets. Αναπτύσσονται πολλά νέα ηλεκτρονικά gadgets, όπως κονσόλες παιχνιδιών, ψηφιακές κάμερες, φορητά multimedia players κτλ. Προς το παρόν, τα περισσότερα φορητά multimedia players κάνουν χρήση καλωδιακών συνδέσεων με υπολογιστή για να κατεβάζουν βίντεο και μουσικά αρχεία. Παρόλο που κάποια μοντέλα χρησιμοποιούν την τεχνολογία Wi-Fi, η περιοχή κάλυψης του είναι περιορισμένη, γεγονός το οποίο αποτρέπει τους χρήστες να ζητούν πρόσβαση σε on-line βίντεο και μουσική.

Η κατάσταση δε διαφέρει πολύ τόσο για τους χρήστες ψηφιακών μηχανών που επιθυμούν να ανεβάζουν και να ανταλλάζουν φωτογραφίες, όσο και για εκείνους που επιθυμούν να συμμετέχουν σε παιχνίδια με πολλούς χρήστες ταυτόχρονα (MMO). Με την UMB τεχνολογία, οι χρήστες μπορούν να πραγματοποιήσουν αγορές σε ένα κινητό περιβάλλον, να έχουν πρόσβαση σε προσωπικές βιβλιοθήκες. Μπορούν ακόμα να μοιράζονται φωτογραφίες με άλλους χρήστες, χωρίς να χρειάζεται να αναζητήσουν Wi-Fi κάλυψη. Επίσης τα online παιχνίδια που βασίζονται σε εφαρμογές πολυμέσων συχνά απαιτούν αλληλεπίδραση πραγματικού χρόνου μεταξύ των παικτών, γεγονός το οποίο επιτυγχάνεται με την UMB τεχνολογία, χάρη στην μεγάλη χωρητικότητα και το υψηλό QoS. Επιπλέον, η χαμηλή λανθάνουσα καθυστέρηση (latency time) επιτρέπει στους συμμετέχοντες να χαρούν μια άριστη εμπειρία παιχνιδιού. Οι πάροχοι μπορούν να συνεργαστούν απευθείας με τους κατασκευαστές προκειμένου να ενσωματώσουν τα UMB modems στις συσκευές, παράλληλα τα UMB modems μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια πληθώρα συσκευών έτσι οι καταναλωτές μπορούν να χρησιμοποιούν το ίδιο modem, προκειμένου να ικανοποιούν όλες τις ανάγκες ευρείας ζώνης [8].

### *Σημερινή Κατάσταση*

Η καναδική εταιρεία Qualcomm υπήρξε η πρώτη και πιο ένθερμη για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Η πορεία και ο παροπλισμός όμως άρχισε να γίνεται

έκδηλος από τις αρχές του 2007 για το αν και κατά πόσο θα μπορούσε να ανταγωνιστεί το LTE και το mobile WiMAX. Οι φόβοι της διεθνούς κοινότητας επαληθεύτηκαν και στις 13/11/2008 η Qualcomm ανακοίνωσε ότι σταματάει την ανάπτυξη του UMB. Η εταιρεία είχε υψηλές προσδοκίες στο να παραμεθοποιησει το WiMAX, έτσι ώστε να αντιμετωπίσει μόνο το LTE. Παρόλα αυτά η Qualcomm μέσα στα χρόνια επεκτάθηκε και στην ανάπτυξη του LTE . Από την CDMA τεχνολογία η εταιρεία είχε μπει και στην UMTS/HSPA τεχνολογία. Το UMB σχεδιάστηκε αποκλειστικά για CDMA δίκτυα που βασικά βρίσκονται στην βόρεια Αμερική , το αγκάλιασμα της διεθνούς κοινότητας στο WiMAX καθώς και στο LTE άφησε το UMB χωρίς υποστηρικτές, εταιρείες όπως η Verizon Wireless, Bell, Telus, AT&T, T-Mobile και Vodafone έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους στο LTE, ενώ και το WiMAX έχει πάρα πολλές εμπορικές υλοποιήσεις. Η Qualcomm από την στιγμή που έστρεψε το ενδιαφέρον της και στο LTE αυτομάτως δεν έδωσε περιθώρια αναπνοής στο UMB [9].



**Σχήμα 21.** Το τέλος του Ultra Mobile Broadband

### 2.7.2 Long Term Evolution



Το 3GPP LTE (Long Term Evolution) είναι η ονομασία που αποδόθηκε στην τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία που αναπτύχθηκε υπό την αιγίδα του 3GPP με σκοπό να βελτιώσει το προηγούμενο πρότυπο κινητών τηλεπικοινωνιών UMTS και θα εισαχθεί στην έκδοση 8 (Release 8) της 3GPP. Μεγάλο μέρος των προτύπων της 3GPP Release 8 προσανατολίζονται γύρω από την εξέλιξη του UMTS στο 4G και την μετατροπή του δικτύου από ιεραρχική σε επίπεδη βασισμένη στο πρωτόκολλο IP. Το LTE είναι μία από τις αναδυόμενες τεχνολογίες 4<sup>th</sup> γενιάς και βασίζεται τεχνολογικά στην οικογένεια συστημάτων της 3GPP όπως το GSM, GPRS, EDGE, WCDMA και το HSPA. Το LTE βασίζεται σε τεχνολογίες φυσικού στρώματος OFDMA, MIMO και έξυπνες κεραίες. Υποστηρίζει ραδιοευρυζωνικά σχήματα (flexible carrier bandwidths) από 1.4 MHz έως και 20MHz καθώς και σχήματα FDD και TDD. Οι στόχοι του LTE στοχεύουν στην βελτίωση της φασματικής αποδοτικότητας που χαμηλώνει τις δαπάνες βελτιώνει τις υπηρεσίες καθώς και την καλύτερη ενσωμάτωση με άλλα ανοικτά πρότυπα. Επίσης στοχεύει σε χαμηλή καθυστέρηση (latency) και την συνεχή σύνδεση στα ήδη υπάρχοντα



δίκτυα GSM, CDMA, WCDMA. Με την χρήση του IP ως πρωτόκολλου μεταφοράς, υποστηρίζει την μετάδοση φωνής ως VoIP και QoS. Παρόλο τις βελτιώσεις το LTE θεωρείται τεχνολογία 3G. Τον Απρίλιο του 2008 σε 3GGP workshop στην Κίνα αποφασίστηκε η εξέλιξη του LTE σε LTE Advanced ώστε να περικλείει τα στάνταρ για τα 4G. Όπως ρυθμοί μετάδοσης των 1Gbps, γρήγορη μετάβαση μεταξύ power states και καλύτερη απόδοση στις κυψέλες [10].

### **Βασικά χαρακτηριστικά**

#### *LTE και LTE Advanced Χαρακτηριστικά.*

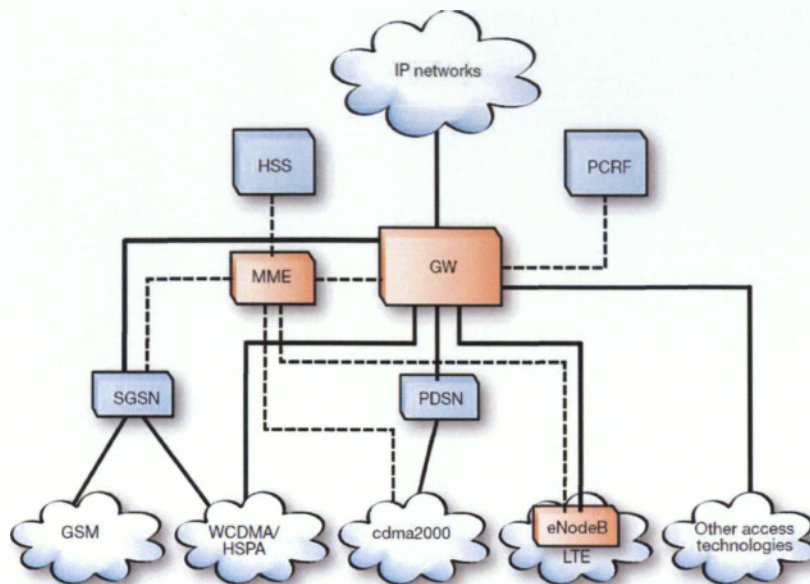
- Υποστήριξη MBSFN (Multicast Single Frequency Network) χρησιμοποιείται για υπηρεσίες όπως η κινητή TV με βάση το LTE.
- Συνύπαρξη με άλλα δίκτυα, οι χρήστες θα μπορούν να κάνουν μία κλήση με βάση το LTE, αν η κάλυψη είναι μη διαθέσιμη η κλήση συνεχίζεται αυτόματα μέσω GSM/GPRS και WCDMA.
- Το μέγεθος κυψελών από 5χλμ έως 30χλμ έχει καλή απόδοση και μέχρι 100χλμ χαρακτηρίζεται από ικανοποιητική απόδοση.
- Αριθμός χρηστών (200) για κάθε κυψέλη των 5MHz.
- Καθυστερήση μικρότερη από 5ms για τα μικρά πακέτα IP.
- Η απόδοση της κινητικότητας είναι καλή όταν το τερματικό κινείται με ταχύτητες μεταξύ 0 και 15 km/h, και κρίνεται ικανοποιητική μεταξύ 15 και 120 km/h.

- Κανάλια εύρους ζώνης έχουμε στα 1.4 , 3 , 5 , 10 , 15, και 20 MHz. Για το LTE Advanced η μέγιστη ταχύτητα δεδομένων για Download έχει καθοριστεί στα 1Gbps και για Upload στα 500 Mbps. Παρέχει διεκπεραιότητα 2 φορές μεγαλύτερη απο το LTE. Μέση διεκπαιρέωση 3 φορές υψηλότερη από το LTE.
- Επίσης η χωρητικότητα είναι 3 φορές υψηλότερη από το LTE.
- Τέλος το LTE Advanced παρέχει ευελιξία φάσματος και συμβατότητα με LTE και 3GPP δίκτυα [10].

#### *Αρχιτεκτονική δικτύου LTE*

Οι βασικές αρχές της LTE αρχιτεκτονικής περιλαμβάνουν.

- Ένα κοινό σταθερό σημείο/πύλη (GW), κόμβο για όλες τις τεχνολογίες πρόσβασης.
- Μία βελτιστοποιημένη δομή για το επίπεδο χρήστη.
- Όλες οι διασυνδέσεις θα γίνονται με πρωτόκολλα βασισμένα στο IP.
- Διαχωρισμός του χρήστη μεταξύ του φορέα διαχείρισης της κινητικότητας και της πύλης. Καθώς και ενσωμάτωση μη 3GPP τεχνολογιών που χρησιμοποιούν τεχνολογία πελάτη-εξυπηρετητή [11].



**Σχήμα 22.** Αρχιτεκτονική δικτύου LTE

Το παραπάνω σχήμα παρουσιάζει μία απλουστευμένη εικόνα της LTE αρχιτεκτονικής. Η πύλη η οποία περιλαμβάνει το δίκτυο μεταφοράς δεδομένων (PDN) packet data network, και την διαλειτουργικότητα της πύλης, μπορεί να ρυθμιστεί και να χρησιμοποιηθεί σε μία απο τις δύο περιπτώσεις. Η πύλη (PDN) λειτουργεί ως κοινό σημείο για όλες τις τεχνολογίες πρόσβασης, παρέχοντας σταθερή IP για όλους του χρήστες. Η διαλειτουργικότητα MME είναι χωριστά απο τις πύλες, για την διευκόλυνση της ανάπτυξης του δικτύου. Συστήματα GSM και WCDMA/HSPA έχουν ενσωματωθεί στο σύστημα μέσω διεπαφών SGSN (που εξυπηρετούν κόμβους GPRS) και του πυρήνα του δικτύου. Η πύλη λειτουργεί σαν ένα SGSN(είναι υπεύθυνο για την παράδοση των πακέτων δεδομένων από και προς τους κινητούς σταθμούς) για το GSM και για τα WCDMA/HSPA τερματικά. Η αρχιτεκτονική επιτρέπει ένα κοινό δίκτυο πυρήνα για το GSM, WCDMA/HSPA και το LTE, συνδυάζοντας SGSN και MME στον ίδιο κόμβο.

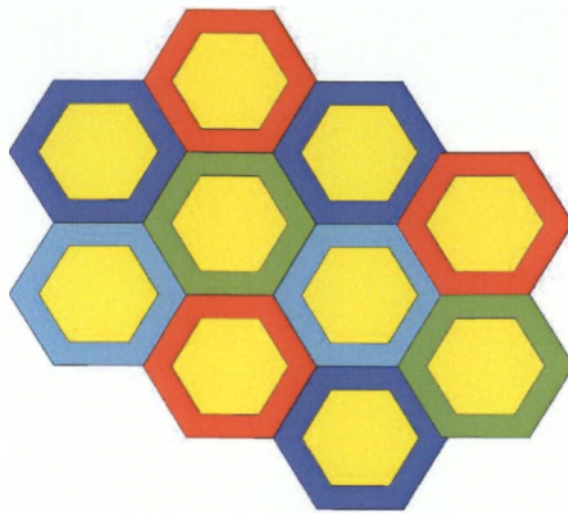
Home subscriber server (HSS) συνδέεται στα πακέτα μέσω διεπαφής MME, έτσι έχουμε μια πιο απλουστευμένη λύση για τον έλεγχο του επιπέδου δικτύου του IP. Ο σταθμός βάσης LTE συνδέεται στο δίκτυο με διεπαφές RAN-CN. Τα δεδομένα μεταβιβάζονται μεταξύ των σταθμών βάσης και των κόμβων πύλης μέσω ενός επιπέδου μεταφοράς IP [11].

### *Τεχνικές Πολλαπλής Προσπέλασης*

Η μετάδοση στο LTE βασίζεται στην χρήση OFDMA για την κάτω ζεύξη (download) και SC-FDMA για την άνω ζεύξη (uplink). Παρά το γεγονός ότι το OFDMA έχει χρησιμοποιηθεί εδώ και πολλά χρόνια στα συστήματα επικοινωνίας, η χρήση του για ασύρματη επικοινωνία είναι πρόσφατη. Το ευρωπαϊκό ινστιτούτο τηλεπικοινωνιών (ETSI) εξέτασε το OFDMA για το GSM αλλά η δύναμη επεξεργασίας που απαιτούταν για την εκτέλεση εργασιών ήταν πολύ δαπανηρή και απαιτητική για ένα κινητό σύστημα. Το 1998 η 3GPP εξέτασε την χρήση OFDMA για το UMTS αλλά και πάλι επέλεξε μια εναλλακτική τεχνολογία την CDMA. Σήμερα το κόστος έχει μειωθεί αρκετά έτσι η χρήση OFDM θεωρείται σίγουρη για τις τεχνολογίες 4<sup>th</sup> γενιάς [12].

Είναι γνωστό ότι το OFDMA θα είναι πιο δύσκολο να λειτουργήσει στις άκρες των κυψελών από ότι το CDMA. Το CDMA χρησιμοποιεί κωδικούς κρυπτογράφησης για την προστασία από ενδεχόμενες παρεμβολές μεταξύ των κυψελών. Το OFDMA δεν έχει τέτοια δυνατότητα άρα θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μία τεχνική που θα προγραμματίζει τις συχνότητες των κυψελών. Στο σχήμα 23 το κίτρινο είναι το εύρος των καναλιών και

τα υπόλοιπα χρώματα δείχνουν την συχνότητα για την αποφυγή παρεμβολών μεταξύ των κελιών [12].



*Σχήμα 23.* Συχνότητες κυψελών στο OFDM

### ***UPLINK***

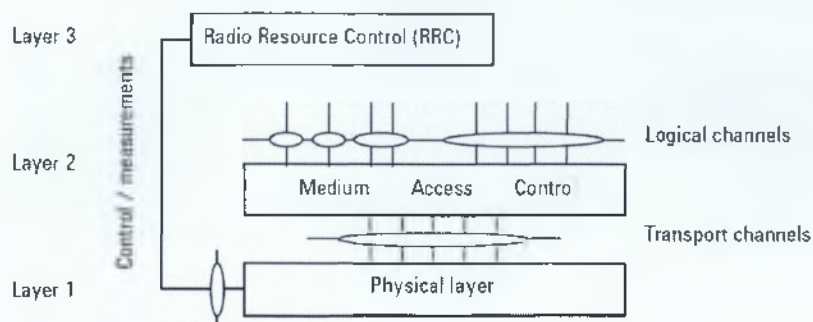
Ο υψηλός δείκτης peak-to average ratio (PAR)(είναι η μέτρηση κυματομορφής που υπολογίζεται απο την κορυφή του πλάτους της κυματομορφής) συνδέεται με το OFDM και οδήγησε το 3GPP να ψάξει ένα διαφορετικό σύστημα μετάδοσης για το uplink LTE. Έτσι επιλέχθηκε το SC-FDMA που περιλαμβάνει χαμηλές PAR τεχνικές των συστημάτων μετάδοσης όπως το GSM και το CDMA και συνδυάζει τις ευέλικτες κατανομές συχνοτήτων του OFDMA [17]. Το SC-FDMA μεταδίδει σε πολλά κανάλια αλλά προσθέτει ένα επιπλέον στάδιο επεξεργασίας. Αντί της τοποθέτησης 4 Bit όπως στο OFDMA για να διαμορφώσει ένα σήμα στο SC-FDMA για κάθε ένα bit διαχωρίζεται η πληροφορία σε όλα τα κανάλια. Για παράδειγμα έχουμε έναν αριθμό bit πχ 4 που

αντιπροσωπεύει την διαμόρφωση 16 QAM αυτά ομαδοποιούνται μαζί. Στο OFDMA οι ομάδες αυτές θα ήταν η συμβολή του IDFT. Στο SC-FDMA αυτά τα bit μετατρέπονται με Fast Fourier Transformation (FFT). Το αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι η βάση της δημιουργίας υπο-μεταφορέων για την επόμενη IFFT [13].

### *LTE AIR INTERFACE*

Το σχήμα 24 δείχνει την αρχιτεκτονική του πρωτοκόλλου E-UTRA στο φυσικό επίπεδο (επίπεδο 1). Αποτελεί την αναβάθμιση της διεπαφής αέρα του LTE για τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Παρέχει υψηλότερη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων από το W-CDMA, έχει χαμηλότερη καθυστέρηση και έχει βελτιστοποιηθεί για μεταφορά δεδομένων. Το φυσικό επίπεδο παρέχει τα δεδομένα στις υπηρεσίες μεταφοράς στα υψηλότερα επίπεδα. Οι υπηρεσίες αυτές είναι προσβάσιμες μέσω διαύλων μεταφοράς στο υπόστρωμα MAC.

Το φυσικό επίπεδο παρέχει μεταφορά καναλιών στο ενδιάμεσο επίπεδο και το MAC παρέχει λογικά κανάλια στο ενδιάμεσο επίπεδο από την ραδιοζεύξη RLC στο δεύτερο επίπεδο. Τα κανάλια μεταφοράς χαρακτηρίζονται από το πως οι πληροφορίες μεταδίδονται μέσω της ραδιοζεύξης, και τα λογικά κανάλια χαρακτηρίζονται από το είδος της πληροφορίας που μεταδίδεται. Στο σχήμα οι κύκλοι μεταξύ των επιπέδων δείχνουν τα σημεία πρόσβασης (SAPs) [12].



**Σχήμα 24.** Παρουσίαση διεπαφής αέρα στο LTE

Το φυσικό επίπεδο εκτελεί μια σειρά από λειτουργίες για να φτάσει η πληροφορία στα υψηλότερα επίπεδα.

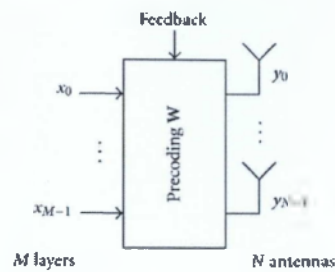
- Ανίχνευση σφάλματος στα κανάλια μεταφοράς.
- Forward error correction (FEC) κωδικοποίηση/αποκωδικοποίηση των καναλιών μεταφοράς.
- Χαρτογράφηση των κωδικοποιημένων καναλιών μεταφοράς στο φυσικό επίπεδο.
- Διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση των φυσικών καναλιών.
- Εφαρμογή κεραιών MIMO.
- Επεξεργασία RF.

### **Τεχνικές κεραιών**

Κεντρικό ρόλο στο LTE έχουν οι τεχνικές πολλαπλών κεραιών, που χρησιμοποιούνται για την αύξηση της κάλυψης και της χωρητικότητας. Προσθέτοντας κεραιές σε ένα σύστημα του δίνουμε την δυνατότητα να βελτιώσει την απόδοση του, διότι τα σήματα εκπέμπονται από διαφορετικά μονοπάτια [28].

Το SU-MIMO single user, εφαρμόζεται στο physical downlink shared channel (PDSCH) το οποίο είναι το φυσικό κανάλι που μεταφέρει την πληροφορία από το δίκτυο στο UE (user equipment). Με πολυπλεξία SU-MIMO το LTE σύστημα παρέχει ταχύτητες των 150 Mbps για δύο κεραιές μετάδοσης και 300 Mbps για τέσσερις. Υπάρχουν δύο τρόποι λειτουργίας στο SU-MIMO, χωρική πολυπλεξία κλειστού βρόγχου και χωρική πολυπλεξία ανοικτού βρόγχου. Στον κλειστό βρόγχο ο σταθμός βάσης γνωστός και σαν (eNodeB) εφαρμόζει κωδικοποίηση επί του εκπεμπόμενου σήματος έτσι ώστε το μεταδιδόμενο σήμα να ταιριάζει με το κανάλι του UE. Στο σχήμα 25 βλέπουμε χωρική πολυπλεξία κλειστού βρόγχου με  $M$  στρώματα και  $N$  μεταδιδόμενες κεραιές ( $N > M$ ). Για την υποστήριξη του κλειστού βρόγχου στην κατεχόμενη ζώνη (downlink) το UE πρέπει να ανατροφοδοτήσει το δείκτη κατάταξης (RI), το PMI (chip από την Sun Microsystems που χρησιμοποιείται στην διαχείριση δικτύων) και την ποιότητα του καναλιού (CQI) στην ανερχόμενη ζώνη (Uplink). Το RI δείχνει τον αριθμό των στρωμάτων που μπορούν να υποστηριχθούν σε κανάλι. Το eNodeB αποφασίζει το βαθμό μετάδοσης  $M$  λαμβάνοντας υπόψη το RI που αναφέρθηκε από το UE, καθώς και από άλλους παράγοντες όπως η κυκλοφορία, διαθέσιμη ισχύ μετάδοσης. Το CQI δηλώνει την κωδικοποίηση του καναλιού πώς το eNodeB μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξασφαλίσει ότι η πιθανότητα σφάλματος στο UE δεν θα υπερβεί το 10% [28].





**Σχήμα 25.** Κλειστού βρόχου πολυπλέξια

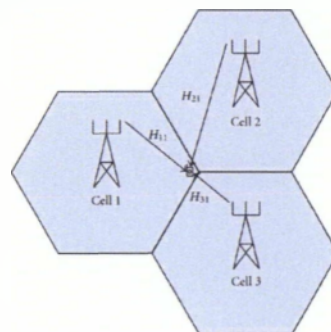
Η χωρική πολυπλεξία ανοικτού βρόχου είναι δυνατόν να λειτουργήσει όταν το PMI δεν είναι διαθέσιμο στο eNodeB, π.χ όταν η ταχύτητα σε UE δεν είναι αρκετά αργή. Σε αντίθεση με ότι γίνεται στον κλειστό βρόγχο το eNodeB καθορίζει μόνο το βαθμό μεταφοράς [28].

#### MU-MIMO

Συστήματα MU-MIMO στηρίζονται τόσο στην άνω και την κάτω ζώνη του LTE. Στην άνω ζεύξη (uplink) ο σταθμός βάσης eNodeB προγραμματίζει περισσότερες από μία UE για μεταδόσεις ταυτόχρονα. Μετέπειτα προκειμένου το eNodeB να είναι σε θέση για αποδιαμόρφωση των UE σημάτων πρέπει να εκχωρήσει ορθογώνια σήματα για τα μεταδιδόμενα UE σήματα. Στην κατερχόμενη ζεύξη το eNodeB μπορεί να προγραμματίσει πολλαπλές μεταδόσεις UE που ενσωματώνονται στην μετάδοση MU-MIMO στην ίδια συχνότητα. Το μεταδιδόμενο UE αποκωδικοποιεί τα δεδομένα, πληροφορίες precoding που λαμβάνονται από τον έλεγχο σηματοδότησης [28].

## ΤΕΧΝΙΚΕΣ MIMO στο LTE ADVANCED

Προκειμένου να υποστηρίξει στην κατερχόμενη ζεύξη (downlink) αποδοτικότητα φάσματος των 30 bps/Hz και στην ανερχόμενη ζεύξη (uplink) 15 bps/Hz σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του LTE advanced, χρειάζεται χωρική πολυπλεξία με μέγεθος κεραίας 8x8 για την κατερχόμενη ζεύξη και 4x4 για την ανερχόμενη. Η μετάδοση multipoint είναι μία τεχνολογία όπου κεραίες σε πολλές κυψέλες χρησιμοποιούνται με έναν τρόπο όπου η μετάδοση και η λήψη μπορεί να βοηθήσουν στην βελτίωση της ποιότητας του λαμβανόμενου σήματος UE/eNodeB, καθώς και στην μείωση των παρεμβολών από γειτονικές κυψέλες. Το παρακάτω σχήμα μας δείχνει ένα σενάριο μετάδοσης multipoint. Οι κεραίες μεταδίδουν από τις κυψέλες 1,2,3 τα ίδια δεδομένα στο UE, το σήμα του χρησιμοποιείται και για την στήριξη της αποδιαμόρφωσης στο UE. Οι κυψέλες από κοινού μεταδίδουν σήματα που ταιριάζουν στο κανάλι του UE [28].



Σχήμα 26 Πολυμετάδοση δεδομένων στην κάτω ζεύξη

### *Εφαρμογές και Υπηρεσίες*

Το LTE μέσω της δυνατότητας συνδυασμού υψηλών ταχυτήτων για download και upload, μπορεί να μειώσει την καθυστέρηση για την αποδοτικότερη χρήση του φάσματος, το LTE υπόσχεται να επιταχύνει την πρόσβαση στις κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες καθώς και την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας και της ποιότητας των υπηρεσιών και των εφαρμογών. Ένας από τους βασικούς στόχους του LTE είναι η σταθεροποίηση του ARPU (μέσο εισόδημα ανά χρήστη) ένα χαρακτηριστικό πολλών κινητών αγορών το οποίο παρουσιάζει πτωτική τάση τα τελευταία χρόνια. Για τους καταναλωτές αυτή η βελτιωμένη εμπειρία χρηστών θα αντικατοπτρίζεται μέσω κάποιων εφαρμογών όπως το streaming, διακίνηση και κατέβαση πολυμεσικών εφαρμογών. Για τους επιχειρησιακούς πελάτες η υιοθέτηση της LTE τεχνολογίας θα τους προσφέρει την δυνατότητα μεταφοράς μεγάλων αρχείων με υψηλές ταχύτητες καθώς και καλύτερη ποιότητα σε υπηρεσίες π.χ τηλεδιάσκεψη. Το LTE εισάγει τα χαρακτηριστικά του Web 2.0 όπου θα επεκταθεί σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου peer-to-peer όπως το file sharing [8].

Service category	Current environment	LTE environment
Rich voice	Real-time audio	VoIP, high quality video conferencing
P2P messaging	SMS, MMS, low priority e-mails	Photo messages, IM, mobile e-mail, video messaging
Browsing	Access to online entertainment services, for which users pay standard network rates. Currently limited to WAP browsing over GPRS and 3G networks	Super-fast browsing, uploading content to social networking sites
Paid information	Content which users pay over and above standard network charges. Mainly text-based information	E-newspapers, high quality audio streaming
Personalisation	Predominantly ringtones, also includes screensavers and ringbacks	Realtones (original artist recordings), personalised mobile web sites
Games	Downloadable and online games	A consistent online gaming experience across both fixed and mobile networks
TV/ video on demand	Streamed and downloadable video content	Broadcast television services, true on-demand television, high quality video streaming
Music	Full track downloads and analogue radio services	High quality music downloading and storage
Content messaging and cross media	Peer-to-peer messaging using third party content as well as interaction with other media	Wide scale distribution of video clips, karaoke services, video-based mobile advertising
M-commerce	Commission on transactions (including gambling) and payment facilities undertaken over mobile networks	Mobile handsets as payment devices, with payment details carried over high speed networks to enable rapid completion of transactions
Mobile data networking	Access to corporate intranets and databases, as well as the use of applications such as CRM	P2P file transfer, business applications, application sharing, M2M communication, mobile intranet/extranet

*Classification of mobile services that will be enabled or enriched in an LTE environment.*

**Σχήμα 27.** Πίνακας με υπηρεσίες καθώς και την αναβάθμισή τους με χρήση τεχνολογίας LTE

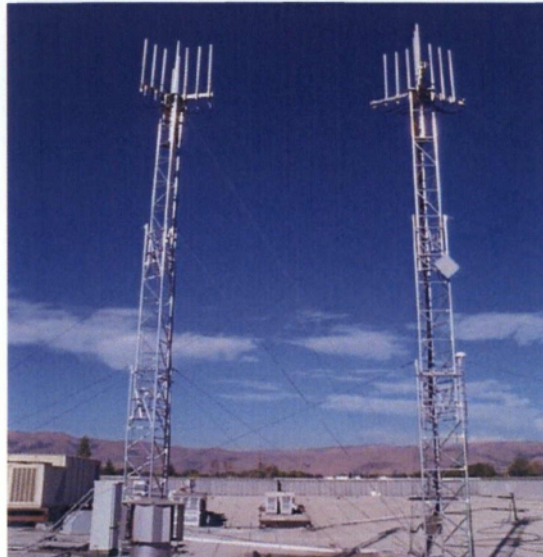
### **Σημερινή Κατάσταση**

Πρόσφατα η σουηδική εταιρεία κινητής τηλεφωνίας TeliaSonera εγκαινίασε πιλοτικά το 4G δίκτυο τεχνολογίας LTE, στην Στοκχόλμη και στο Όσλο. Το δίκτυο θα λειτουργεί στα 2.6 GHz με ταχύτητες έως και 80 Mbps. Η ίδια εταιρεία σχεδιάζει παρόμοια δίκτυα στην Φινλανδία και στην Δανία. Η Samsung παρουσίασε netbook με δυνατότητα 4G σύνδεσης. Το μοντέλο διαθέτει τεχνολογία LTE και έχει ταχύτητες έως και 100 Mbps για download και για upload 50 Mbps. Επίσης και η LG έχει δείξει ενδιαφέρον για την δημιουργία κινητού που θα υποστηρίζει LTE [20]. Η Verizon

Wireless στο 4G δίκτυο της στην Αμερική σε δοκιμαστική λειτουργία της έπιασε ταχύτητες έως και 8.55 Mbps για download και 2.80 Mbps για upload.

Η μεγάλη μάχη θα δοθεί με την Clearwire που χρησιμοποιεί το WiMAX και υποστηρίζει ταχύτητες έως και 10 Mbps για Download [15]. Η Nokia-Siemens σε εργαστήρια της στην Γερμανία και στην Φινλανδία κατάφερε να αγγίξει τα 100 Mbps στις συχνότητες 2100-2600 MHz [16]. Η κινεζική Huawei σε δοκιμή στο συνέδριο CTIA Wireless 2010 πέτυχε τις υψηλότερες ταχύτητες έως και 1.2 Gbps για download στο LTE Advanced [14]. Στην Ελλάδα η Ericsson πραγματοποίησε επίδειξη high definition video streaming με χρήση τεχνολογίας LTE στην Αθήνα με ταχύτητες μεγαλύτερες από 160 Mbps, επίσης έγινε μεταφορά αρχείων 100 MB από το ένα τερματικό LTE στο άλλο σε κλάσματα δευτερολέπτων[17]. Στην χώρα μας μοιάζει απίθανο να υπάρξει εμπορική διάθεση του LTE πριν από το 2011.

### 2.7.3 IEEE 802.16e Mobile WiMAX



*Σχήμα 28.* Κεραίες mobile WiMAX

Το mobile WiMAX είναι η επόμενη επανάσταση στην ασύρματη τεχνολογία , η οποία θα επιτρέψει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης ώστε να ανταποκρίνεται στην ολοένα και αυξανόμενη ζήτηση για ευρυζωνικότητα εν κινήσει . Βασίζεται στα IEEE 802.16 και στα IEEE 802.16e πρότυπα. Το WiMAX forum αναπτύσσει συστήματα βασισμένα στο mobile WiMAX που στηρίζονται στα χαρακτηριστικά του IEEE.

Το mobile WiMAX θα προσφέρει μεγάλη ποικιλία δυνατοτήτων σε πολλές συσκευές από αυτές που έχουν σήμερα όπως τα notebooks τα smart phones και τα Mobile Internet Devices (MIDs). Το mobile WiMAX βασίζεται σε μία σειρά από πρότυπα, το χαμηλό κόστος της αρχιτεκτονικής δικτύου all-IP καθώς και στη συμβατότητα με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα 2G και 3G. Για τους προηγούμενους λόγους η χρήση του mobile WiMAX είναι η πιο εύκολη και αποδοτική λύση από τις τρέχουσες

ασύρματες λύσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ευρεία αποδοχή απο τις μεγαλύτερες εταιρείες τηλεπικοινωνιών.

Το mobile WiMAX προσφέρει δύο με τέσσερις φορές την απόδοση των σημερινών 3G υπηρεσιών . Η Intel εργάζεται για την επέκταση του WiMAX μέσω τεχνολογιών όπως το Intel WiMAX/WiFi Link 1000 Series και το Intel My WiFi technology. Το mobile WiMAX χρησιμοποιεί τεχνική OFDMA για την ενίσχυση της απόδοσης όταν έχουμε διάδοση πολλαπλών διαδρομών. Το ικανοποιητικό QoS προσφέρει στους πάροχους την δυνατότητα να προσφέρουν προηγμένες υπηρεσίες. Τέλος η χρήση τεχνικών κεραιών MIMO προσθέτουν βελτίωση στην ρυθμαπόδοση και στην εσωτερική κάλυψη [18].

#### **Βασικά Χαρακτηριστικά**

- **Ασφάλεια.** Το mobile WiMAX χρησιμοποιεί τα πιο σύγχρονα και βελτιωμένα συστήματα ασφαλείας που υπάρχουν στην ασύρματη επικοινωνία. Αυτά είναι, EAP (Extensible Authentication Protocol), AES (Advanced Encryption Standard), CMAC (Cipher Message Authentication Code) και το HMAC (Hashed Message Authentication Code) [19].
- **Κινητικότητα.** Το mobile WiMAX υποστηρίζει seamless handoffs για να μπορούν οι χρήστες να διατηρούν την σύνδεση καθώς κινούνται σε περιοχές που καλύπτονται από διαφορετικούς σταθμούς βάσης. Επίσης υποστηρίζει μηχανισμούς βελτιστοποίησης της λανθάνουσας

καθυστέρησης (latency time) κάτω από τα 50ms ώστε να είναι εφικτές υπηρεσίες VoIP [19].

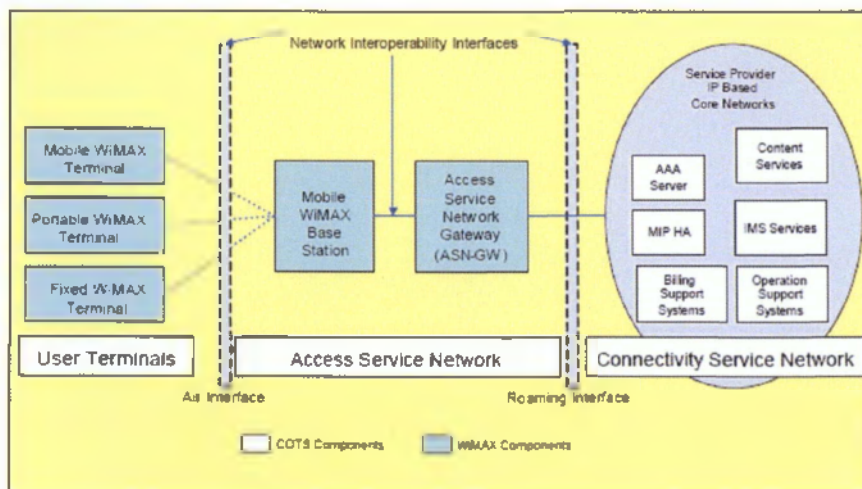
- **Επεκτασιμότητα.** Το mobile WiMAX έχει την δυνατότητα να λειτουργήσει σε κανάλια μεγέθους 5 , 7 , 8.75 και 10 MHz για την καλύτερη λειτουργία με διάφορες κατανομές φάσματος παγκοσμίως [19].
- **Συμβατότητα με άλλες τεχνολογίες.** Το mobile WiMAX θα αποτελέσει την τεχνολογία που τα κυψελωτά δίκτυα θα στραφούν προς την αρχιτεκτονική all-IP για τα δίκτυα, όπως στρέφεται το LTE. Ο πυρήνας του δικτύου στο WiMAX θα απλουστεύσει την συνεργασία και με άλλες IP τεχνολογίες, η υποστήριξη IMS (IP Multimedia Subsystems) και MMD (Multimedia Messaging) θα διευκολύνουν την συνεργασία αυτή, λόγω της δυνατότητας δημιουργίας εφαρμογών και υπηρεσιών που θα είναι διαθέσιμες μέσω διαφορετικών ασύρματων διεπαφών. Η μη ύπαρξη αρχιτεκτονικής IP στα δίκτυα θα γίνει ομαλά με τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, έτσι το WiMAX Forum έχει προσδιορίσει την δυνατότητα δικτύωσης με φορείς όπως το 3GPP, 3GPP2 και το ETSI για την ύπαρξη κοινής υποδομής των νέων ασύρματων/ενσύρματων τεχνολογιών [20].
- **Ευελιξία φάσματος.** Το mobile WiMAX μπορεί να υλοποιηθεί σε πολλές και διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων (2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.3 GHz, 3.4-3.8 GHz), με το εύρος ζώνης του καναλιού μετάδοσης να κυμαίνεται μεταξύ 3.5 MHz και 10 MHz. Η ελαστικότητα αυτή ως προς την υλοποίηση επιτρέπει στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύου να αναπτύξουν το



WiMAX σε πολλαπλές ζώνες φάσματος κάνοντας χρήση του εύρους ζώνης που έχουν στη διάθεσή τους [20].

### Αρχιτεκτονική δικτύου

Η αρχιτεκτονική του mobile WiMAX βασίζεται στην πλατφόρμα all-IP. Η αρχιτεκτονική IP δίνει στους κατασκευαστές των δικτύων μεγάλη ευελιξία σε λύσεις που αφορούν δίκτυα που χρησιμοποιούν προηγμένες τεχνολογίες, καθώς και στην λειτουργικότητα του δικτύου. Η αρχιτεκτονική επιτρέπει ευελιξία για την κάλυψη περιοχών μικρής ή μεγάλης κλίμακας, αστικό περιβάλλον, ημιαστικό. Επίσης ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι μειώνει το συνολικό κόστος υλοποίησης ενός WiMAX δικτύου. Παράλληλα ακόμα και ένα κοινό δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς την ανάγκη να διατηρεί τα πακέτα και το κύκλωμα. Το σχήμα 29 μας δείχνει την αρχιτεκτονική all-IP [21].



Σχήμα 29. Αρχιτεκτονική δικτύου IP

### **ASN (Access Service Network)**

Η ASN είναι το δίκτυο πρόσβασης του WiMAX και παρέχει την διεπαφή μεταξύ χρήστη και του πυρήνα του δικτύου. Όπως ορίζεται και από το WiMAX forum οι υποχρεωτικές λειτουργίες περιλαμβάνουν.

- Handover (αναφέρεται στην διαδικασία μεταβίβασης δεδομένων από ένα κεντρικό δίκτυο σε άλλο).
- Authentication authorization and accounting (AAA).
- Διαχείριση της ραδιοζεύξης.
- Διαλειτουργικότητα με άλλα ASN.
- Διαλειτουργικότητα μεταξύ CSN και MS.

### **Σταθμός βάσης (BS)**

Ο εξοπλισμός της κυψέλης περιλαμβάνει τον βασικό εξοπλισμό του σταθμού βάσης. Παρέχει την διεπαφή μεταξύ χρήστη και των WiMAX δικτύων. Η ακτίνα κάλυψης ενός σταθμού βάσης στις αστικές περιοχές είναι από 500 έως και 900 μέτρα. Σε αραιοκατοικημένες περιοχές η κυψέλη έχει ακτίνα 4χλμ. Είναι κοντά στις αντίστοιχες περιοχές κάλυψης των GSM και UMTS/HSPA σταθμών βάσης [21].

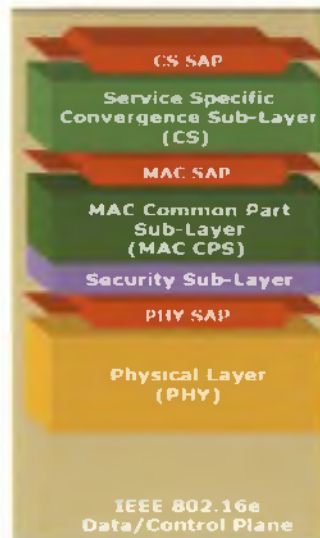
### **Πύλη ASN**

Το ASN εκτελεί τα καθήκοντα της σύνδεσης και της διαχείρισης της κινητικότητας. Επίσης χρησιμοποιεί αυθεντικοποίηση EAP (Extensible Authentication Protocol) για την ταυτότητα του χρήστη [21].

### **Core Services Network**

Το CSN ασχολείται με την μεταφορά, την αυθεντικοποίηση καθώς και με την μεταγωγή του δικτύου. Αντιπροσωπεύει τον πυρήνα του δικτύου στο WiMAX. Αποτελείται από το home agent (HA) και από συστήματα AAA και περιέχει επίσης τους IP servers, και πύλες για άλλα δίκτυα PSTN και 3G [21].

### ***Mobile WiMAX AIR INTERFACE***



***Σχήμα 30.*** Υλοποίηση στρώματος MAC

Το στρώμα MAC είναι κοινό για όλες τις υλοποιήσεις του φυσικού στρώματος (PHY) και διακρίνεται σε τρία επιμέρους στρώματα: Το εξαρτώμενο από την υπηρεσία υπόστρωμα σύγκλισης (service specific convergence-CS) είναι υπεύθυνο για την διαχείριση των εξωτερικών δεδομένων που φθάνουν στο MAC από τα σημεία πρόσβασης υπηρεσίας (service access points-SAPs) του στρώματος σύγκλισης. Συγκεκριμένα, ταξινομεί ή και επεξεργάζεται τις εισερχόμενες μονάδες δεδομένων υπηρεσίας (Service data units-SDUs) και τις συσχετίζει με τις κατάλληλες συνδέσεις του στρώματος MAC. Για το στρώμα CS δίνονται δύο προδιαγραφές. Μία για τη

διασύνδεση με δίκτυα ασύγχρονου ρυθμού μετάδοσης ATM και μία για τα δίκτυα λειτουργίας πακέτων π.χ IP. Το υπόστρωμα κοινού τμήματος του MAC (Common part sublayer-CPS) εξυπηρετεί όλες τις βασικές λειτουργίες του συστήματος που είναι ανεξάρτητες από τα ανώτερα στρώματα, όπως η πρόσβαση στο δίαυλο και εφαρμογές QoS.

Τέλος το υπόστρωμα ασφάλειας (security sublayer) παρέχει υπηρεσίες επαλήθευσης ταυτότητας και κρυπτογράφησης δεδομένων [5].

### *Τεχνικές Πολλαπλής Προσπέλασης*

Το mobile WiMAX χρησιμοποιεί OFDMA ως πολλαπλό σύστημα πρόσβασης τόσο στην άνω όσο και στην κάτω ζεύξη. Cyclic prefix χρησιμοποιείται και στις δύο κατευθύνσεις. Το scalable OFDMA είναι μία μορφή του αρχικού OFDMA που επιτρέπει κατανομή εύρους ζώνης από 1.25 MHz σε 20 MHz. Το S-OFDMA έχει δυνατότητες που το καθιστούν ιδανικό για εφαρμογή IP. Υποστηρίζει μεγάλη ποικιλία για διαφορετικό εύρος ζώνης προκειμένου να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για πολλαπλή κατανομή φάσματος. Το WiMAX χρησιμοποιεί και άλλα χαρακτηριστικά για να αυξήσει την απόδοση του OFDMA. Περιλαμβάνει τεχνικές κεραιών MIMO και AAS (Adaptive Antenna Systems) Στο mobile WiMAX ένα υπο-κανάλι είναι ένα σύνολο από φέροντα, το πλήθος και η διάταξη των οποίων καθορίζεται από τον τρόπο αντιμετάθεσης των φερόντων (sub-carrier permutation mode). Τα φέροντα αυτά μπορεί να είναι συνεχόμενα οπότε το υπο-κανάλι αντιστοιχεί σε μία ζώνη συχνοτήτων. Η υπο-διαλοποίηση υποστηρίζεται τόσο στην

άνω όσο και στην κάτω ζεύξη. Έτσι σε κάθε χρήστη ανατίθενται διαφορετικά υπο-κανάλια και επιταχύνεται πολλαπλή πρόσβαση μέσω OFDM. [5]

Τεχνικές FDD και TDD . Το mobile WiMAX υποστηρίζει Time Division Duplexing και Frequency Division Duplexing παρόλα αυτά οι λόγοι που το mobile WiMAX χρησιμοποιεί το TDD είναι οι εξής. Οι πομποδέκτες στις TDD εφαρμογές είναι λιγότερο πολύπλοκοι. Το TDD απαιτεί ένα μόνο κανάλι για την άνω και κάτω ζεύξη παρά ένα ζεύγος καναλιών όπως στο FDD, έτσι μας δίνεται η δυνατότητα για μεγαλύτερη ευελιξία στην κατανομή φάσματος. Διασφαλίζει το channel reciprocity για να εξασφαλίσει καλύτερη σύνδεση του MIMO και άλλων προηγμένων κεραιών κλειστού βρόγχου , τέλος το TDD επιτρέπει την δυναμική κατανομή φάσματος μεταξύ άνω και κάτω ζεύξης ώστε να αντιμετωπίσει τυχόν προβλήματα στην κίνηση σε μία από τις δύο ζεύξεις. Στο FDD οι ζεύξεις είναι εκ των προτέρων καθορισμένες [5].

### *Τεχνικές κεραιών*

Χρησιμοποιούνται εξελιγμένα συστήματα κεραιών, συστήματα που κάνουν χρήση τεχνικής κωδικοποίησης STC (Space-Time Code). Τα συστήματα αυτά είναι σημαντικά σε αστικό περιβάλλον που τα φαινόμενα πολυδιαδρομικής διάδοσης είναι έντονα και η τεχνολογία MIMO βελτιώνει σημαντικά την επίδοση του δικτύου. Το mobile WiMAX επιτρέπει την χωρική πολυπλεξία όπου κάθε κεραία εκπομπής μεταδίδει μία ανεξάρτητη ροή δεδομένων. Στην περίπτωση που ο δέκτης χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές, τα δεδομένα μπορούν να διαχωριστούν στο δέκτη με τεχνική χωρο-χρονικής

επεξεργασίας. Τέλος έχουμε και την διαμόρφωση ακτινοβολίας στοιχειοκεραίας (beamforming), με αυτήν την μέθοδο μπορούμε να αυξήσουμε σημαντικά την κάλυψη, την αξιοπιστία καθώς και την χωρητικότητα του δικτύου [5].

### *Εφαρμογές και Υπηρεσίες*

Το WiMAX θα βοηθήσει στην ανάπτυξη νέων συσκευών και εφαρμογών οι οποίες εκμεταλλεύονται την υψηλή ρυθμαπόδοση, τη χαμηλή λανθάνουσα καθυστέρηση (latency time), QoS καθώς και τη δυνατότητα κινητής πρόσβασης . Οι συσκευές που αναμένονται να έχουν δυνατότητα υποστήριξης WiMAX είναι τα notebooks, PDAs, laptops, κονσόλες παιχνιδιών, mobile TV, MP3, κινητά τηλέφωνα, Smartphone's και Vertical applications devices όπως CCTV κάμερες. Επιπλέον, το WiMAX θα ενθαρρύνει τους κατασκευαστές να δημιουργήσουν νέους τύπους εφαρμογών και υπηρεσιών που οι τρέχουσες κυβελωτές τεχνολογίες δεν μπορούν να υποστηρίξουν λόγω της περιορισμένης χωρητικότητας ή λόγω του αυξημένου κόστους .

Το WiMAX παρέχει ελευθερία και ελαστικότητα επιλογών τόσο για τους συνδρομητές όσο και για τους φορείς παροχής υπηρεσιών. Οι φορείς παροχής υπηρεσιών δεν είναι υποχρεωμένοι να αναπτύξουν πρόσθετες εφαρμογές για το WiMAX, μιας και αυτές που ήδη υπάρχουν θα λειτουργούν σε ένα WiMAX δίκτυο, ακριβώς όπως λειτουργούν και σε ένα ενσύρματο δίκτυο, χωρίς να απαιτείται οποιαδήποτε αλλαγή. Το WiMAX θα ενθαρρύνει την ανάπτυξη κινητών εφαρμογών που ικανοποιούν συγκεκριμένες ανάγκες των χρηστών του κινητού Internet. Το VoIP αναμένεται να εξελιχθεί σε μια από τις δημοφιλέστερες εφαρμογές του WiMAX . Η αξία της

συγκεκριμένης πρότασης έχει άμεσο αντίκτυπο στους περισσότερους χρήστες : με μια απλή σύνδεση δεδομένων, οι κλήσεις VoIP μπορούν να πραγματοποιούνται με ένα πολύ χαμηλό ή σε ορισμένες περιπτώσεις μηδενικό κόστος . Παρόλο που το WiMAX δεν έχει σχεδιαστεί για κίνηση με μεταγωγή φωνής, μια υπηρεσία η οποία παρέχεται από τις κυβελωτές τεχνολογίες CDMA και WCDMA, θα παρέχει πλήρη υποστήριξη για την VoIP κίνηση χάρη στη λειτουργία QoS και τη χαμηλή λανθάνουσα καθυστέρηση (latency time) που εξασφαλίζει.

Εφαρμογές πραγματικού χρόνου και αλληλεπίδρασης όπως είναι το κινητό video και audio streaming, η εικονοδιάσκεψη (videoconferencing) και η συμμετοχή σε παιχνίδια , θα ωφεληθούν πολύ από το υψηλό QoS και τη χαμηλή λανθάνουσα καθυστέρηση (latency time). Οι δύο αυτοί παράγοντες αξιοπιστίας του συστήματος θα αποκτήσουν ακόμη μεγαλύτερη σπουδαιότητα καθώς ολοένα και περισσότερες νέες συσκευές που βελτιστοποιούν τις παραπάνω εφαρμογές κατασκευάζονται καθημερινά.

Το Broadcast είναι μια ακόμη πιθανή WiMAX εφαρμογή. Οι εργασίες που απαιτούνται έχουν ήδη δρομολογηθεί από το WiMAX Forum, το οποίο κατά την τρέχουσα περίοδο αναπτύσσει περαιτέρω τα πρωτόκολλα υπηρεσιών πολλαπλής εκπομπής και broadcast, τα οποία βρίσκονται σε συμφωνία με το ισχύον πρότυπο. Κάτι τέτοιο θα συντελέσει στην επίτευξη αποδοτικής πολλαπλής εκπομπής . Vertical εφαρμογές όπως συστήματα επιτήρησης, ζητήματα δημόσιας ασφάλειας , σύνδεση με απομακρυσμένες συσκευές , διαδικασίες εντοπισμού, διαχείριση στόλου και διάφορες εκπαιδευτικές υπηρεσίες μπορούν επίσης να υποστηριχθούν από WiMAX δίκτυα με ελάχιστο ή μηδενικό κόστος για τους τηλεπικοινωνιακούς φορείς. Τέτοιου είδους

εφαρμογές απαιτούν ισχυρή και αξιόπιστη συνδεσιμότητα, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις το κόστος κατασκευής ξεχωριστών δικτύων για την υποστήριξη αυτών κρίνεται απαγορευτικό.

Η τεχνολογία WiMAX διαθέτει το εύρος ζώνης και τα προηγμένα εργαλεία διαχείρισης δικτύων που απαιτείται προκειμένου να υποστηρίξει εφαρμογές που απαιτούν ευρυζωνική σύνδεση υψηλής χωρητικότητας. Οι vertical αγορές αποτελούν μία από αυτές, καθώς προϋποθέτουν νέα δίκτυα πώλησης και εξυπηρέτηση ενός εξειδικευμένου τμήματος της αγοράς. Μια έκθεση από την εταιρεία ερευνών Senza Fili Consulting προβλέπει ότι μέχρι το 2014 θα υπάρχουν πάνω από 20 εκατομμύρια vertical συνδέσεις παγκοσμίως, αριθμός ο οποίος αποτελεί το 24% των WiMAX συνδέσεων [20].

### *Σημερινή Κατάσταση*

Η Intel θα θέσει σε εφαρμογή το mobile WiMAX μέχρι και το 2012. Το ήδη υπάρχον πρότυπο IEEE 802.16e θα αντικατασταθεί από το IEEE 802.16m, και θα προσφέρει υψηλές ταχύτητες 170 Mbps για download και 90 Mbps για upload, ακόμα και εν κινήσει. Το WiMAX Forum υπολογίζει ότι αρχικά στον παγκόσμιο χάρτη οι συνδρομητές θα κυμαίνονται από 8 σε 10 εκατομμύρια. Το WiMAX συναγωνίζεται το LTE στην ασύρματη μετάδοση, και μειονεκτεί προς το παρόν για τον λόγο ότι τώρα τα δίκτυα WiMAX εφαρμόζονται σε πολλές περιοχές και δεν καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος του πλανήτη σε αντίθεση με τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Στην Ταϊβάν το ασύρματο



WiMAX παρέχεται από την Vmax Telecom και καλύπτει μόνο την πρωτεύουσα Ταιπέι και όχι τις γύρω περιοχές [22]. Η KT στην Κορέα έχει ήδη αναπτύξει WiBro υπηρεσίες που βασίζονται στο mobile WiMAX. Το WiBro συμβαδίζει με το πρότυπο IEEE 802.16e , αυτό έχει επιφέρει την αποδοχή του mobile WiMAX καθώς προτιμάται έναντι μίας σταθερής έκδοσης (fixed). Όλα αυτά σε μία χώρα που έχει το πιο εκτεταμένο 3G δίκτυο σε όλο τον κόσμο [23].

Η Samsung έχει ήδη εγκαταστήσει mobile WiMAX στο Τόκιο . Σε συνεργασία με την Alem Communications η Samsung θα εγκαταστήσει το mobile WiMAX δίκτυο και στο Καζακστάν[30]. Η Yota, ρωσικός πάροχος mobile WiMAX θα συνεργαστεί με την Samsung για την δημιουργία δικτύου mobile WiMAX σε όλη την Ρωσία. Η Samsung θα χρησιμοποιήσει 5000 mobile WiMAX σταθμούς βάσης και ACR (Access Control Routers)[31]. Πολλοί μεγάλοι κολλοσοί έχουν υιοθετήσει το mobile WiMAX όπως η Cisco και η Clearwire ο μεγαλύτερος πάροχος mobile WiMAX στην Αμερική. Στην Ελλάδα η Craig Wireless χρησιμοποιεί το mobile WiMax με χρήση MIMO της Nortel για να προσφέρει υπηρεσίες ασύρματης πρόσβασης σε περιοχές της Ελλάδας που πάσχουν από ευρυζωνική κάλυψη. Επίσης θα χρησιμοποιηθεί για την παροχή ασύρματης σύνδεσης με υψηλές ταχύτητες στο internet για laptops αλλά και συσκευές ψυχαγωγίας στα αστικά κέντρα. Το 2005 εξαγόρασε στην Ελλάδα άδεια φάσματος ασύρματης πρόσβασης στα 3.5 GHz, από την ελληνική εταιρεία Europrom SA. Η UniNortel θα παράσχει και θα εγκαταστήσει μια πλήρη λύση mobile WiMAX για την Craig Wireless, που περιλαμβάνει το Access Services Network Gateway της Nortel για τη διαχείριση 300 σταθμών βάσεων αλλά και των τερματικών συσκευών, το Network Management

System 5000 για τη διαχείριση των σταθμών βάσης στο δίκτυο πρόσβασης, καθώς και τους σταθμούς βάσης Nortel WiMAX, που ενσωματώνουν την τεχνολογία MIMO[26].

## 2.8 Συγκρίσεις τεχνολογιών WiMAX, LTE, UMB



**Σχήμα 31.** Σταυροδρόμι τεχνολογιών

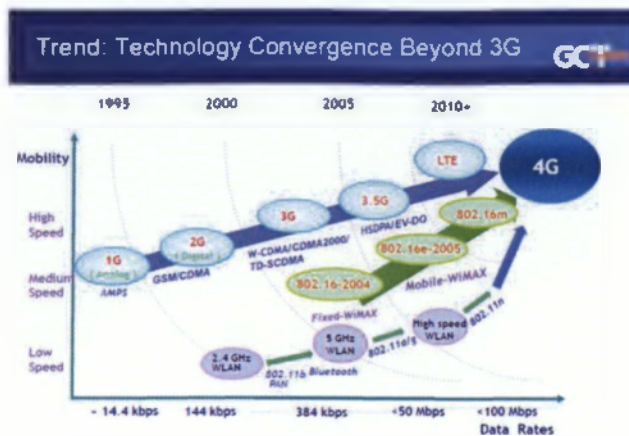
Παγκοσμίως οι τηλεπικοινωνιακές εταιρίες αναφερόμενες στην νέα γενιά 4G αναφέρονται στα χαρακτηριστικά όπως έχουν διατυπωθεί από το ITU. Η χρήση τεχνολογίας βασισμένη στο OFDMA καθώς και η υποστήριξη εφαρμογών με ταχύτητες άνω των 100 Mbps. Το LTE, UMB και το mobile WiMAX έχουν τα απαραίτητα χαρακτηριστικά για να πρωταγωνιστήσουν στην νέα εποχή των τηλεπικοινωνιών. Οι

προβλέψεις για χρήση των τεχνολογιών αναμένονται κοντά στο 2012, και σε βάθος χρόνου όλα τα ασύρματα δίκτυα θα διαμοιράζονται μεταξύ αυτών των τεχνολογιών.

**Mobile WiMAX vs LTE.** Η μάχη μεταξύ του LTE και του mobile WiMAX φαίνεται να κερδίζει τις εντυπώσεις για τις 4G τεχνολογίες σε σχέση με την UMB όπου πλέον η Qualcomm η οποία υποστήριζε αυτή την τεχνολογία έχει διαλέξει για χρήση το LTE.

- **Scalable Bandwidth.** Οι 3G τεχνολογίες έχουν σχεδιασθεί για να λειτουργούν σε ένα σταθερό εύρος ζώνης, το WCDMA λειτουργεί στα 5 MHz. Αντίθετα στο LTE και το mobile WiMAX έχει ορισθεί ότι η λειτουργία τους θα εκτείνεται σε ένα ευρύ φάσμα ζώνης από το 1,5 έως 20 MHz [27].
- **Improve Spectral Efficiency.** Λόγω των περιορισμένων αδειών ραδιοφάσματος, οι κύριες τεχνολογίες επιτρέπουν μεγαλύτερη απόδοση καθώς και καλύτερες τεχνικές διαμόρφωσης, όπως το 64QAM, MIMO και beam forming για τις τεχνικές έξυπνων κεραιών και τέλος OFDM [27].
- **Higher Peak Data.** Οι δύο τεχνολογίες βελτιώνουν τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων τόσο στο downlink όσο και στο uplink έτσι ώστε οι υπηρεσίες και οι εφαρμογές να μπορούν να μεταδοθούν σε ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα. Ο στόχος είναι οι ταχύτητες να κομούνται από 3-100 Mbps στα 50-100 Mbps [27].

- MIMO. Το LTE και το mobile WiMAX χρησιμοποιούν τεχνική πολλαπλών κεραιών MIMO που περιλαμβάνει κωδικοποίηση STBC (Space Time Block Coding) ή SM (Spatial Multiplexing). Το LTE επιτρέπει 2x2 MIMO ενώ το mobile WiMAX 4x4 MIMO. [27]
- Τεχνικές duplexing. Το mobile WiMAX κάνει χρήση της τεχνικής TDD, ενώ το LTE είναι βασισμένο να λειτουργεί στο FDD [27].
- Ζώνες Συχνοτήτων. Για το LTE αρχικά θα χρησιμοποιηθούν οι ζώνες που ήδη διατίθενται σήμερα στο GSM, το CDMA και το UMTS . Το mobile WiMAX θα χρησιμοποιεί συχνότητες από τα 2300 MHz έως και τα 3700 MHz. Οι ζώνες είναι αρκετές για να καλύψουν τις ανάγκες παρόχων και βιομηχανίας [27].
- Μετάδοση. Το LTE και το mobile WiMAX χρησιμοποιούν OFDMA για την κάτω ζεύξη, και για την άνω σε αντίθεση με το LTE που κάνει χρήση SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) και αυξάνει τον δείκτη πολυπλοκότητας στον σταθμό βάσης σε σχέση με το OFDMA [27].



**Σχήμα 32.** Εξέλιξη της τεχνολογίας μέχρι και την 4G εποχή

Δεν υπάρχει λόγος σύγκρισης UMB με τις υπόλοιπες τεχνολογίες καθώς όπως αναφέραμε την συγκεκριμένη τεχνολογία την υπερσκίασε η LTE στην οποία συνέχισαν να επενδύουν οι πάροχοι που αρχικά είχαν ασχοληθεί με την UMB.

## Βιβλιογραφία

- [1]. Elias Aravantinos and M.Hosein Fallah (2008). *Potential scenarios and drivers of the 4G evolution*
- [2]. Τεντζέρης Μ. Μάνος (2001). *Ασύρματα Συστήματα 3ης (3G) και 4<sup>ης</sup> (4G) γενιάς: Προκλήσεις του Μέλλοντος*, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Η.Π.Α.
- [3]. Mobile Insight:  
<http://mobileinsight.blogspot.com/2008/01/3g-vs-4g.html>
- [4]. Mishra R. Ajay (2004). *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation – 2G/ 2.5G/ 3G... Evolution to 4G*, John Wiley and Sons Ltd.
- [5]. Αθανάσιος Κανατάς, Φίλιππος Κωνσταντίνου, Γεώργιος Πάντος (2008). *Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών*
- [6] Ultra Mobile Broadband Specification is Published (2007)  
<http://www.globenewswire.com/newsroom/news.html?d=127191>
- [7] Final White Paper on UMB.
- [8] Ελένη Π. Τσανούλα (2009). *Μελέτη Μονοπωλιακών Δικαιωμάτων σε Τεχνολογίες 4<sup>ης</sup> Γενιάς*, διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων

Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών.

[9] Qualcomm Abandons UMB , Future of CDMA Ended.

<http://www.phonenews.com/qualcomm-abandons-umb-future-of-cdma-ended-5488/>

[10] Αντώνης Χοτζέας, *Long Term Evolution, Evolution in communication*

[11] Per Beming, Lars Frid, Göran Hall, Peter Malm, Thomas Noren, Magnus Olsson and Göran Rune, *LTE-SAE architecture and performance*.

[12] Agilent 3GPP Long Term Evolution: *System Overview, Product Development, and Test Challenges*

[13] 3GPP LTE: *Introducing Single-Carrier FDMA*

[14] Pc magazine <http://e-pcmag.gr/news>

[15]. Verizon Shows LTE Running at 8.5 Mbps

[http://news.yahoo.com/s/pcworld/20100511/te\\_pcworld/verizonshows1terunningat85mbps](http://news.yahoo.com/s/pcworld/20100511/te_pcworld/verizonshows1terunningat85mbps)

s

[16]. Nokia Siemens, LG hit LTE speed record

<http://mobile.engadget.com/2010/01/27/nokia-siemens-lg-hit-lte-speed-record/>

[17]. Ericsson: Φέρνει πρώτη την 4<sup>η</sup> γενιά κινητών επικοινωνιών στην Ελλάδα

<http://gsmforum.gr/blog/?p=346>

[18] Mobile WiMAX Technology

<http://www.intel.com/technology/wimax/mobile.htm>

[19] Dr Sassan Ahmadi. Introduction to mobile WiMAX Radio Access Tehnology: PHY and MAC Architecture December 7, 2006

[20] Mobile WiMAX The Best Personal Broadband Experience! (June 2006)

[21] Mobile WiMAX-Part 1: A Technical Overview and Performance Evolution (August 2006)

[22] Intel sees 2012 deployment for mobile WiMAX Release 2  
[http://www.computerworld.com/s/article/9167699/Intel sees 2012 deployment for mobile WiMax Release 2](http://www.computerworld.com/s/article/9167699/Intel_sees_2012_deployment_for_mobile_WiMax_Release_2)

[23] What is Korea's WiBro?

<http://www.wimax.com/education/faq/faq12a>

[24] Samsung Contracted For WiMAX Network in Kazakhstan

<http://www.goingwimax.com/samsung-contracted-for-wimax-network-in-kazakhstan-10506/>

[25] <http://www.samsung.com/us/aboutsamsung/citizenship/index.html>

[26] Greece Goes Mobile With WiMAX Broadband Courtesy of Craig Wireless , Nortel

[http://www2.nortel.com/go/news\\_detail.jsp?cat\\_id=-8055&oid=100214722&locale=en-US](http://www2.nortel.com/go/news_detail.jsp?cat_id=-8055&oid=100214722&locale=en-US)

[27] Rajesh S. Pazhyannur: *Comparison of LTE and WiMAX*

<http://www.slideshare.net/CiscoSP360/comparison-of-lte-and-wimax>

[28] MIMO Technologies in 3GPP LTE and LTE Advanced



<http://www.hindawi.com/journals/wcn/2009/302092.html>

[29] Huawei Leading Edge-Fast Developing CDMA UMB Technology

<http://www.huawei.com/publications/view.do?id=2699&cid=5102&pid=61>

### *Επίλογος*

Τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς θα προσφέρουν στους χρήστες όλα όσα δεν κατάφεραν να προσφέρουν τα 3<sup>ης</sup> γενιάς. Τα 4G θα προσφέρουν υπηρεσίες πολυμέσων, ασύρματο internet, υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, παροχή υπηρεσιών QoS, κινητικότητα και φορητότητα σε παγκόσμιο επίπεδο. Ο πόλεμος μεταξύ των εταιριών για το ποια από τις τεχνολογίες θα επικρατήσει μόνο καλό μπορεί να επιφέρει στον καταναλωτή. Τόσο σε θέμα ποιότητας επικοινωνίας όσο και σε θέμα κόστους.

### ***Ακρωνύμια.***

***AMPS:*** Advanced Mobile Phone System

***NAMPS:*** Narrowband Advanced Mobile Phone System

***FDMA:*** Frequency Division Multiple Access

***TACS:*** Total Access Communication System

***GSM:*** Global System for Mobile communications

***ETSI:*** European Telecommunications Standards Institute

***E-GSM:*** Extended-GSM

***ITU:*** International Telecommunication Union

***GPRS:*** General Packet Radio Service

***EDGE:*** Enhanced Data rates for GSM Evolution

***UMTS:*** Universal Mobile Telecommunication System

***WCDMA:*** Wideband Code Division Multiple Access

***HSDPA:*** High-Speed Downlink Packet Access

***HSUPA:*** High-Speed Uplink Packet Access

***VOIP:*** Voice Over IP

***WiMAX:*** Worldwide Interoperability Microwave Access

***WiFi:*** Wireless Fidelity

***QoS:*** Quality of Service

***WLAN:*** Wireless Local Area Network

***OFDMA:*** Orthological Frequency Division Multiple Access

***MC-CDMA:*** Multi Carrier Code Division Multiple Access

***SC-FDMA***: Single carrier Code Division Multiple Access

***MIMO***: Multiple Input and Multiple Output

***CDMA***: Code Division Multiple Access

***TDMA***: Time Division Multiple Access

***IEEE***: Institute of Electrical and Electronics Engineers

***UMB***: Ultra Mobile Broadband

***SDMA***: Space Division Multiple Access

***LTE***: Long Term Evolution

***FDD***: Frequency Division Duplex

***TDD***: Time Division Duplex

***SAE***: System Architecture Evolution

***MBSFN***: Multicast Single Frequency Network

***EAP***: Extensible Authentication Protocol

***AES***: Advanced Encryption Standard

***CMAC***: Cipher Message Authentication Code

***HMAC***: Hashed Message Authentication Code

***STC***: Space-Time Code

***IMS***: IP Multimedia Subsystems

***MMD***: Multimedia Messaging

***WiBro***: Wireless Broadband

***ACR***: Access Control Routers

***MAC***: Medium Access Control

***PSK***: Phase Shift Keying modulation

***VOD***: Video on Demand

***MOD***: Music on Demand

***3GPP***: Third Generation Partnership Project

***eBS***: evolved Base Station

***SIR***: Signal Interference Ratio

***SNR***: Signal to noise Ratio

***SGSN***: Service GPRS Support Node

***GGSN***: Gateway GPRS support node

***PCU***: Packet Control Unit