

565  
A47



**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

---

**Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**  
**ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

---

**ΚΟΛΟΚΟΥΡΗΣ ΚΥΡΙΑΚΟΣ**

**A.M 28963**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**ΚΑΡΑΪΣΚΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**



## ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στόχος της εργασίας είναι να παρουσιάσει βασικά στοιχεία που αφορούν τα δίκτυα, τα συστήματα, τις τεχνολογίες και τα πρότυπα των κινητών επικοινωνιών. Επίσης μια πιο λεπτομερής ανάλυση πάνω σε αυτά τα σημαντικά πεδία θα βοηθήσει στην κατανόηση της ραγδαίας ανάπτυξης του κλάδου της κινητής τηλεφωνίας.

Copyright © Κολοκούρης Κυριάκος, 2013  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο κάνει μια εισαγωγική αναφορά στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας και ειδικότερα στα κινητά δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς. Αρχικά γίνεται μια ιστορική αναδρομή και παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των προηγούμενων συστημάτων κινητής τηλεφωνίας μέχρι και τα κινητά δίκτυα επικοινωνιών «γενιάς 2,5». Ακολουθεί μια περιγραφή των κινητών δικτύων επικοινωνιών 3<sup>ης</sup> γενιάς και των βασικών προτύπων τους. Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά τα κινητά δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς. Παράλληλα επισημαίνονται οι ανάγκες που οδήγησαν στην επόμενη γενιά κινητών δικτύων 4G.

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται μία παρουσίαση της δομής και λειτουργίας των κυψελωτών συστημάτων κινητών επικοινωνιών, τονίζοντας κάποια χαρακτηριστικά τα οποία θα μας απασχολήσουν στην παρούσα εργασία όπως είναι το περιβάλλον διάδοσης των ραδιοκυμάτων, οι τεχνικές διπλεξίας και οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης.

Το 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρεται στο Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Πρόκειται για το σύστημα τρίτης γενιάς που έχει επικρατήσει στη Ευρώπη και σταδιακά επεκτείνεται στη Βόρεια Αμερική με αποτέλεσμα η τρίτη γενιά κυψελωτών κινητών συστημάτων να τείνει να ταυτιστεί με αυτό το σύστημα. Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν τα χαρακτηριστικά, η δομή και η λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος καθώς και θα παρουσιαστεί η αρχιτεκτονική και οι λειτουργικότητες του συστήματος UMTS.

Το 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρεται στην τεχνολογία HSPA (High Speed Packet Access) και των διαφόρων εκδόσεων της εξέλιξης του. Η HSPA είναι μια νέα τεχνολογία η οποία σχεδιάστηκε προκειμένου να αυξήσει την χωρητικότητα καταρχήν του κατερχόμενου (Downlink) και σε δεύτερη φάση του ανερχόμενου (Uplink) ασύρματου συνδέσμου για τα κινητά δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς.

Το 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρεται στην μετάβαση από τα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς σε αυτά της 4<sup>ης</sup> γενιάς και πίο συγκεκριμένα στο λεγόμενο LTE (Long Term Evolution) που θα απασχολήσει τα μελλοντικά δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Γίνεται περιγραφή σε ότι έχει να κάνει με τα χαρακτηριστικά, την δομή και την λειτουργία του νέου αυτού συστήματος καθώς επίσης και βασικά κομμάτια της αρχιτεκτονικής του. Το οποίο προσαρμόζεται στα υπάρχον δίκτυα GSM, UMTS κτλ. με στόχο την βελτίωση της ποιότητας, της απόδοσης των ραδιοζεύξεων καθώς και στην ευκολότερη και ταχύτερη πρόσβαση στο διαδίκτυο

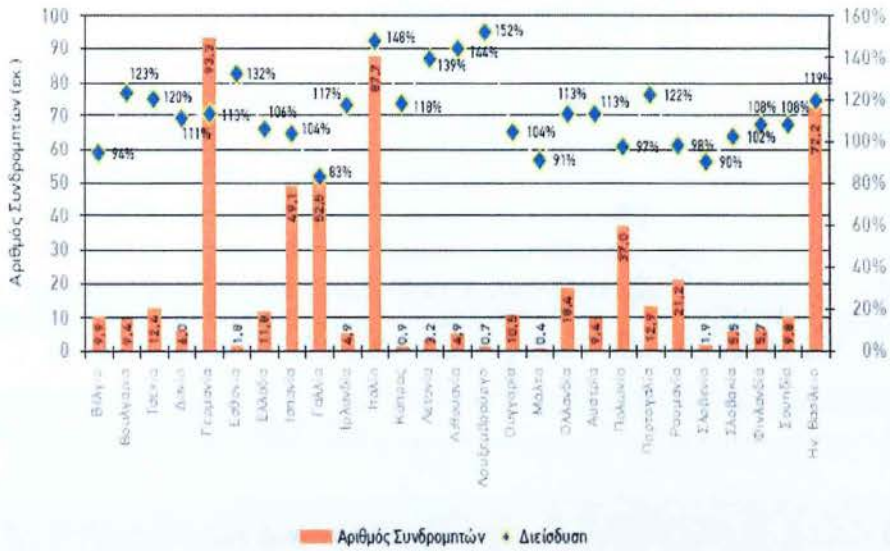
## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

### Ανθρωπος – Επικοινωνία – Πρόοδος

Το πλέον αναμφισβήτητο γεγονός στην ιστορία του πλανήτη μας είναι η ανάγκη όλων των πλασμάτων να επικοινωνήσουν. Παρόλα αυτά, μόνο τα ανθρώπινα όντα έχουν αδιαφιλονίκητα αναπτύξει τους καταλληλότερους και πιο προηγμένους τρόπους επικοινωνίας. Μελετώντας την ιστορία, βρίσκουμε μια από τις πρώτες προσεγγίσεις της επικοινωνίας στα σήματα καπνού και τους ήχους των τυμπάνων. Είναι προφανές ότι όλοι αυτοί οι τρόποι επικοινωνίας δεν ήταν ούτε ακριβείς, ούτε ασφαλείς. Στην πραγματικότητα, τα ορόσημα στη καθιέρωση των επικοινωνιών από απόσταση ήταν οι εφευρέσεις του Samuel Morse (τηλέγραφος 1854) και του Graham Bell (τηλέφωνο 1876).

Η περιπέτεια της κινητής τηλεφωνίας ξεκίνησε αμέσως μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, με τις πρώτες προσπάθειες των Σουηδών, Φιλανδών και Αμερικανών. Όμως, ως ληξιαρχική πράξη γέννησής της θεωρείται η 3η Απριλίου 1973. Τα κινητά τηλέφωνα έχουν γίνει πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής μας ζωής, αλλάζοντας ριζικά τον τρόπο με τον οποίο επικοινωνούμε, εργαζόμαστε, δημιουργούμε. Η καθημερινή χρήση του κινητού τηλεφώνου, μας έχει εξοικειώσει με τη συσκευή, όχι όμως και με την τεχνολογία στην οποία βασίζεται η λειτουργία της, καθώς και τη λειτουργία του δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Αποτέλεσμα είναι συχνά το δίκτυο και συγκεκριμένα οι κεραίες, που μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μεταφέρουν τις συνομιλίες, τα μηνύματα, τις φωτογραφίες, τη μουσική μας, να αποτελούν το "μήλον της έριδος" ανάμεσα στους ενδιαφερόμενους και εμπλεκόμενους φορείς. Η πραγματικότητα διαφέρει, καθώς το κινητό μας τηλέφωνο είναι ένα μόνο κομμάτι της κινητής τηλεφωνίας, που δεν μπορεί να λειτουργήσει χωρίς το δίκτυο κεραίων ή τα ψηφιακά τηλεφωνικά κέντρα. Στην Ευρώπη, οι υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας λειτουργούν για περισσότερα από 20 χρόνια. Όλα τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής ένωσης έχουν χορηγήσει άδειες για την ανάπτυξη και παροχή υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας 2<sup>ης</sup>, 3<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> γενιάς.

Η ανάπτυξη ενός δικτύου κινητής επικοινωνίας, λόγω της υψηλής τεχνολογίας που απαιτείται προϋποθέτει μεγάλες επενδύσεις και χρόνο, ώστε να μπορεί να παρέχει γεωγραφική κάλυψη σε όλη τη χώρα και την αναγκαία χωρητικότητα για τη συνεχώς αυξανόμενη χρήση από τους όλο και περισσότερους συνδρομητές. Ο κλάδος της κινητής τηλεφωνίας συνεχίζει να είναι ένας από τους πλέον δυναμικούς της παγκόσμιας οικονομίας με συνεχή ανάπτυξη νέων προϊόντων και υπηρεσιών, αλλά και ανάπτυξη δικτύων σε χώρες, που μέχρι πρόσφατα δεν διέθεταν τηλεπικοινωνιακές υποδομές.



**Εικόνα 1: Ο αριθμός συνδρομητών και διείσδυση κινητής τηλεφωνίας στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	- 91 -
ΠΡΟΛΟΓΟΣ : Άνθρωπος – Επικοινωνία – Πρόοδος.....	- 92 -
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	- 93 -
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	- 93 -
ΕΙΣΑΓΩΓΗ : Ευρυζωνικότητα και Κινητή Τηλεφωνία.....	- 93 -
ΕΠΙΛΟΓΟΣ : Κοιτάζοντας το Παρόν και το Μέλλον.....	- 92 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ-ΠΗΓΕΣ-ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ .....	- 93 -
<b>1 ΓΕΝΙΕΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ .....</b>	<b>- 91 -</b>
1.1 1 <sup>η</sup> Γενιά Κινητών Δικτύων 1G .....	- 91 -
1.2 2 <sup>η</sup> Γενιά Κινητών Δικτύων 2G .....	- 94 -
1.3 Γενιά 2,5 Κινητών Δικτύων .....	- 96 -
1.4 3 <sup>η</sup> Γενιά Κινητών Δικτύων 3G .....	- 91 -
1.5 Γενιά 3,5 Κινητών Δικτύων .....	- 94 -
1.6 Long Term Evolution (3,9G) .....	- 96 -
1.7 Lte Advanced (4G) .....	- 91 -
<b>2 ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ .....</b>	<b>- 91 -</b>
2.1 Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα .....	- 91 -
2.2 Η Κυψέλη .....	- 94 -
2.3 Δομικά Στοιχεία Κυψελωτών Συστημάτων.....	- 96 -
2.4 Γενικές Αρχές Διάδοσης Ραδιοκυμάτων .....	- 91 -
2.5 Τεχνικές Διπλεξίας (DUPLEX) .....	- 94 -
2.5.1 Δίαυλοι Επικοινωνίας.....	- 69 -
2.5.2 Frequency Division Duplex (FDD).....	- 70 -
2.5.3 Time Division Duplex (TDD) .....	- 69 -
2.6 Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης.....	- 96 -
2.6.1 FDMA.....	- 69 -
2.6.2 TDMA.....	- 70 -
2.6.3 FDMA-TDMA .....	- 69 -
2.6.4 CDMA/WCDMA .....	- 70 -
2.6.5 SDMA .....	- 69 -
2.6.6 (OFDMA / SC-FDMA) .....	- 69 -

<b>3 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ UMTS.....</b>	<b>- 91 -</b>
3.1 Εισαγωγικά Στοιχεία .....	- 91 -
3.2 Η Αρχιτεκτονική Του Συστήματος .....	- 94 -
3.2.1 User Equipment (UE).....	- 69 -
3.2.2 UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)...	- 70 -
3.2.3 Core Network (CN) .....	- 69 -
3.3 Τα Κανάλια Του UTRAN.....	- 91 -
3.3.1 Λογικά Κανάλια .....	- 69 -
3.3.2 Κανάλια Μεταφοράς.....	- 70 -
3.3.3 Φυσικά Κανάλια .....	- 69 -
3.4 Power Control (Έλεγχος Ισχύος) .....	- 96 -
3.5 Handover (Διαπομπή) .....	- 96 -
3.5.1 Softer Handover (Ηπιότερη Διαπομπή) .....	- 69 -
3.5.2 Soft Handover (Ήπια Διαπομπή) .....	- 70 -
3.5.3 Hard Handover (Σκληρή Διαπομπή) .....	- 69 -
 <b>4 Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ (HSPA).....</b>	 <b>- 91 -</b>
4.1 High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) .....	- 91 -
4.2 High Speed Uplink Packet Access (HSUPA).....	- 94 -
4.3 HSPA+ .....	- 96 -
4.3.1 Ανώτερες τεχνικές διαμόρφωσης (Higher-order Modulation) .....	- 69 -
4.3.2 Εισαγωγή στις τεχνικές κεραιών (MIMO) στο HSPA+.....	- 70 -
4.3.3 Συνδυασμός πολλαπλών φορέων (Multi Carrier Operation).....	- 69 -
4.3.4 Συνεχής σύνδεση (Continuous Packet Connectivity) .....	- 69 -
4.3.5 Προηγμένοι δέκτες (Advanced Receivers) .....	- 69 -
4.3.6 Επιπτώσεις στο δίκτυο και εναλλακτικά σενάρια υλοποίησης HSPA+ .....	- 70 -
 <b>5 LONG TERM EVOLUTION .....</b>	 <b>- 91 -</b>
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	- 91 -
5.2 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΟΥ LTE/SAE .....	- 94 -
5.3 ΣΥΧΝΟΤΙΚΕΣ ΜΠΑΝΤΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	- 96 -
5.4 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ .....	- 94 -

5.4.1 ΔΙΚΤΥΟ ΚΟΡΜΟΥ .....	- 69 -
5.4.2 ΔΙΚΤΥΟ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ.....	- 70 -
5.4.3 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΧΡΗΣΤΗ.....	- 69 -
5.5 ΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΤΟΥ E-UTRAN .....	- 96 -
5.5.1 Λογικά Κανάλια .....	- 69 -
5.5.2 Κανάλια μεταφοράς.....	- 70 -
5.5.3 Φυσικά κανάλια .....	- 69 -
5.6 MIMO (Multiple Input Multiple Output) στο LTE.....	- 96 -
5.7 Η ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΟΥ 3GPP .....	- 96 -
5.8 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ 4G .....	- 96 -
5.8.1 Σύγκριση του LTE με άλλες τεχνολογίες .....	- 69 -



## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Ο αριθμός συνδρομητών και διείσδυση κινητής τηλεφωνίας στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	5
Εικόνα 2: Συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας, παγκόσμια, Πηγή: ITU Statshot, ITUnews No. 4, 2011.....	14
Εικόνα 3: Παγκόσμιος Χάρτης Social Networks, Πηγή: OHE, ITU, Credits: Vincenzo Cosenza, 6/2011.....	15
Εικόνα 4: Ανάπτυξη του ανταγωνισμού σε υπηρεσίες ΤΠΕ, Πηγή: ITU World Telecommunication/ ICT Regulatory/Database, ITU/news/No/4,2011.....	16
Εικόνα 5: Ευρυζωνική σύνδεση ανά 100 κατοίκους - παγκόσμια, * Commonwealth of Independent States, Πηγή: ITU World Telecommunication/ ICT Indicators Database, ITUnews No. 4, 2011.....	17
Εικόνα 6: Νέα Ψηφιακή Ατζέντα για την Ευρώπη.....	18
Εικόνα 7: Κυβελωτό δίκτυο.....	20
Εικόνα 8: Αρχιτεκτονική 2 <sup>ης</sup> Γενιάς κινητών δικτύων.....	22
Εικόνα 9: Αρχιτεκτονική 3 <sup>ης</sup> Γενιάς κινητών δικτύων.....	24
Εικόνα 10: LTE Logo.....	26
Εικόνα 11: Αρχιτεκτονική LTE.....	27
Εικόνα 12: Η χρονολογική εξέλιξη των κινητών δικτύων επόμενης γενιάς από το 3G έως και το LTE.....	29
Εικόνα 13: Η εξέλιξη των προτύπων μέχρι το 4G.....	30
Εικόνα 14: Μετρήσεις απόδοσης δικτύου LTE-ADVANCED που φτάνουν κοντά στο 1Gbps (downlink) στην Σουηδία.....	31
Εικόνα 15: Σύμπλεγμα κεραιών LTE Advanced.....	32
Εικόνα 16: Το φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	34
Εικόνα 17: Μια ομάδα γειτονικών κυβελών για την ηλεκτρομαγνητική κάλυψη μιας γεωγραφικής περιοχής.....	36
Εικόνα 18: Μια τυπική εκδοχή Σταθμού Βάσης (B.S.).....	37
Εικόνα 19: Δομή συστημάτων κινητής επικοινωνίας.....	38
Εικόνα 20: Λειτουργία FDD.....	42
Εικόνα 21: Λειτουργία TDD.....	43
Εικόνα 22: Χρησιμοποιούμενες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης από διάφορα συστήματα κινητών επικοινωνιών παγκοσμίως.....	44
Εικόνα 23: FDMA.....	45
Εικόνα 24: TDMA.....	46
Εικόνα 25: FDMA-TDMA.....	47
Εικόνα 26: CDMA.....	48
Εικόνα 27: SDMA.....	50
Εικόνα 28: OFDMA/SCFDMA.....	51

Εικόνα 29: Κατανομή συχνοτήτων για τα κινητά 3 <sup>ης</sup> γενιάς.....	55
Εικόνα 30: Γενική αρχιτεκτονική UMTS δικτύου.....	56
Εικόνα 31: Η δομή του UTRAN.....	58
Εικόνα 32: Η δομή του CN.....	60
Εικόνα 33: Τα πρωτόκολλα της διεπαφής Uu.....	60
Εικόνα 34: Τα λογικά κανάλια του UTRAN.....	62
Εικόνα 35: Τα κανάλια μεταφοράς του UTRAN.....	63
Εικόνα 36: Τα φυσικά κανάλια του UTRAN.....	65
Εικόνα 37: Αντιστοιχία Λογικών, Μεταφοράς και Φυσικών καναλιών στο UTRAN.....	66
Εικόνα 38: Έλεγχος Ισχύος Κλειστού Βρόχου.....	68
Εικόνα 39: Έλεγχος ισχύος ανοικτού βρόχου.....	69
Εικόνα 40: Έλεγχος Ισχύος Εξωτερικού Βρόχου.....	69
Εικόνα 41: Softer handover.....	70
Εικόνα 42: Soft handover.....	71
Εικόνα 43: Inter frequency hard handover.....	72
Εικόνα 44: Inter system hard handover.....	73
Εικόνα 45: Εξέλιξη των τεχνικών διαμόρφωσης.....	79
Εικόνα 46: Λογική αλυσίδα MIMO πομπού.....	81
Εικόνα 47: Σύγκριση επιδόσεων HSPA+ Τεχνικών.....	81
Εικόνα 48 : Ασύρματοι ευρυζωνικοί πελάτες παγκοσμίως ανα τεχνολογία (2008-2015).....	85
Εικόνα 49: EPS.....	88
Εικόνα 50: LTE σε επίπεδο κόμβων.....	88
Εικόνα 51: Βασικές απαιτήσεις του LTE.....	89
Εικόνα 52: Σύγκριση υπηρεσιών GSM και LTE.....	90
Εικόνα 53: Σχέση μεταξύ εύρους ζώνης καναλιού και σχηματισμό εύρους ζώνης μετάδοσης.....	91
Εικόνα 54: EUTRAN συχνοτικές μπάντες.....	91
Εικόνα 55: Στοιχεία του EPS δικτύου.....	92
Εικόνα 56: Το δίκτυο πρόσβασης.....	96
Εικόνα 57: Χαρτογράφηση καναλιών.....	101
Εικόνα 58: Διαθέσιμοι συνδυασμοί αριθμού κεραιών σε πομπό και δέκτη.....	103
Εικόνα 59: Χωρική Πολυπλεξία.....	102
Εικόνα 60: Πίνακας H.....	103
Εικόνα 61: Precoding Principle.....	104
Εικόνα 62: 2X2 Transmit codebook.....	104
Εικόνα 63: MIMO Transmit Diversity Mode.....	105
Εικόνα 64: Το 3GPP είναι μια παγκόσμια συνεργασία από έξι τοπικά SDOs.....	107

Εικόνα 65: Η δομή της ομάδας εργασίας του 3GPP.....	108
Εικόνα 66: Χρονοδιάγραμμα εξέλιξης των κινητών προτύπων.....	109
Εικόνα 67: Συγκριτικοί πίνακες LTE – LTE Advanced.....	110
Εικόνα 68: Σύγκριση στις φασματικές αποδόσεις στο downlink ανάμεσα σε διάφορες διεπαφές αέρα και συστήματα κεραιών (3G Americas & Rysavy Research, September 2009).....	111
Εικόνα 69: Η πραγματικότητα σήμερα.....	113
Εικόνα 70: Ένα δείγμα από λογότυπα εταιρειών στο χώρο των επικοινωνιών.....	115

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### Ευρυζωνικότητα και Κινητή Τηλεφωνία

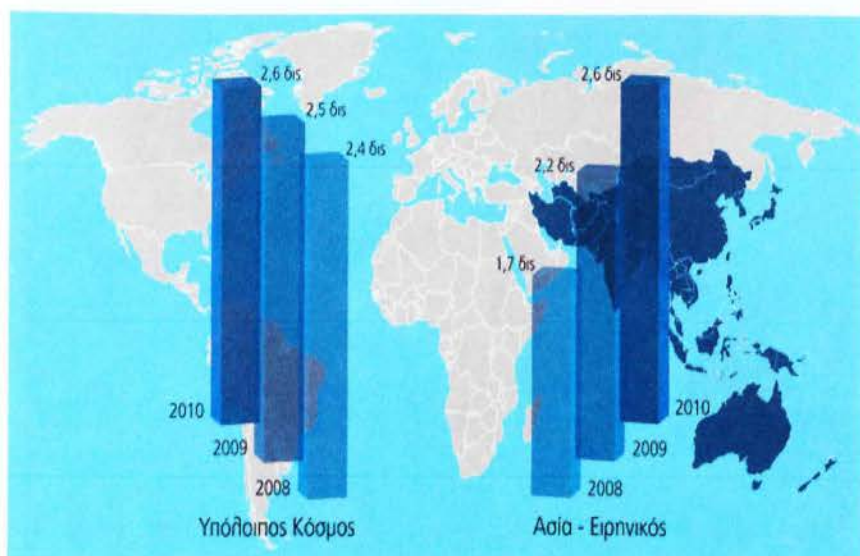
Η κινητή τηλεφωνία, τα δίκτυα κοινωνικής δικτύωσης, η χρήση των ευρυζωνικών υποδομών και υπηρεσιών αλλάζουν τον παγκόσμιο χάρτη των ψηφιακών τεχνολογιών. Παράλληλα, αλλάζουν και τις συνήθειες των χρηστών των νέων τεχνολογιών. Νέες υπηρεσίες κάνουν την εμφάνισή τους και η κινητικότητα μέσω της νέας τεχνολογίας γίνεται πλέον πραγματικότητα και ανάγκη. Παρά τα σημάδια κόπωσης που έχει εμφανίσει η αγορά των τηλεπικοινωνιών, οι αναλυτές της International Telecommunication Union (ITU) τονίζουν, πως ο τομέας της κινητής τηλεφωνίας θα συνεχίσει να ηγείται στο χώρο των νέων τεχνολογιών. Αυτό οφείλεται σε πάρα πολλούς λόγους μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται η αύξηση της ζήτησης ευρυζωνικών υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας, οι νέες φορητές συσκευές, καθώς και στην ανάπτυξη των mobile εφαρμογών και υπηρεσιών. Στην πρόσφατη έκθεση της ITU καθίσταται σαφές, πως οι αγορές Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) σε όλο τον κόσμο γίνονται όλο και πιο ανταγωνιστικές.

Το 2010, περισσότερο από το 93% των χωρών σε όλο τον κόσμο είχε τη δυνατότητα παροχής υπηρεσιών διαδικτύου και 90% όσον αφορά την παροχή υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας. Ένα επιπλέον 92% έχουν ανταγωνιστικές 3G αγορές κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών. Σύμφωνα με την έρευνα εκτιμάται ότι οι συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας θα ξεπεράσουν τα 5,3 δις παγκόσμια. Σε αυτό το δείκτη περιλαμβάνονται επίσης 940 εκατ. ευρυζωνικές συνδέσεις κινητής τηλεφωνίας, οι οποίες αναμένεται να φτάσουν το 1 δις μέσα στο 2012.

Η διεύρυνση της κινητής τηλεφωνίας στις χώρες Βραζιλία, Ρωσία, Ινδία και Κίνα (BRIC), οι οποίες αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 40% του παγκόσμιου πληθυσμού, από το 4% το 2000 εκτιμάται στο τέλος του 2012 να φτάσει στο 69%. Στις συνδρομές κινητής τηλεφωνίας από το 2000 μέχρι και 2010, η Κίνα οδηγεί τις χώρες BRIC με 764 εκατ. νέους συνδρομητές. Η περιοχή της Ασίας - Ειρηνικού έχει πλέον πάνω από το μισό των συνδρομών κινητής τηλεφωνίας παγκόσμια.

Τα κοινωνικά δίκτυα αυξάνονται με ραγδαίο ρυθμό, προσελκύοντας πολλούς χρήστες. Στο τέλος του 2010 το Facebook αριθμούσε 600 εκατ. ενεργούς

χρήστες. Κίνα και η Ινδία έχουν φθάσει σε ποσοστό διείσδυσης κινητής τηλεφωνίας που αγγίζει το 60%. Σε κάθε μία από αυτές τις χώρες προστέθηκαν περίπου 300 εκατ. συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας το 2010. Η μεγαλύτερη ανάπτυξη της κινητής τηλεφωνίας κατά το 2010 παρατηρήθηκε στην περιοχή Ασίας-Ειρηνικού.

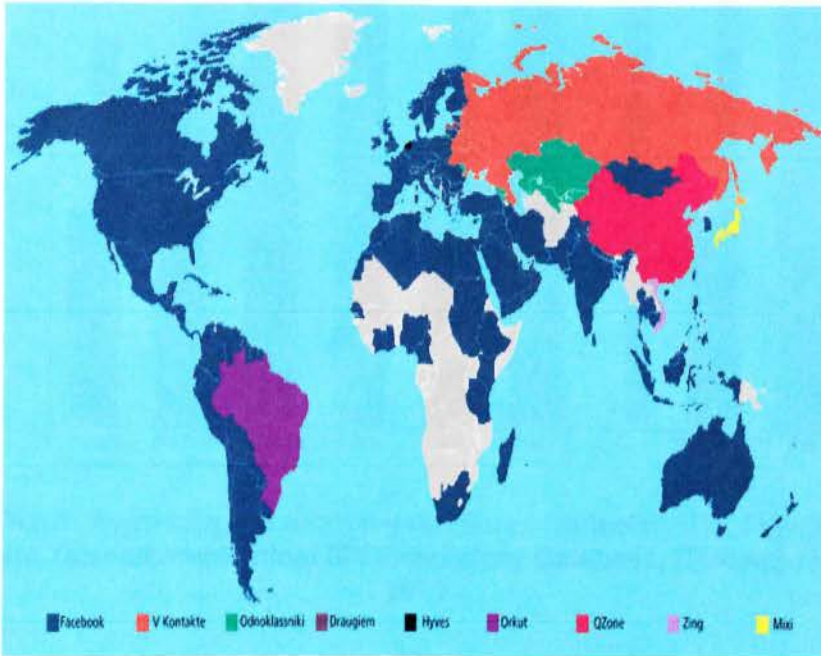


**Εικόνα 2: Συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας, παγκόσμια, Πηγή: ITU Statshot, ITUnews No. 4, 2011**

Υπάρχουν βέβαια και περιοχές με χαμηλή διείσδυση όσον αφορά τα κοινωνικά δίκτυα. Τέτοια περιοχή είναι η Αφρική, στην οποία παρατηρείται έτσι κι αλλιώς χαμηλή διείσδυση της χρήσης του Internet. Αξίζει να σημειωθεί πως το 40% των ενεργών χρηστών του Facebook έχουν πρόσβαση στην πλατφόρμα μέσω των κινητών συσκευών τους. Το Twitter αριθμεί πλέον πάνω από 200 εκατ. εγγεγραμμένους χρήστες, και 37% ενεργών χρηστών του Twitter χρησιμοποίησε την κινητή συσκευή για να μπει στο συγκεκριμένο δίκτυο κοινωνικής δικτύωσης. Οι χρήστες του YouTube παρακολούθησαν καθημερινά 2 δις βίντεο, ενώ 5 δις φωτογραφίες φιλοξενούνται στο Flickr. Η συμμετοχή σε κοινωνικά δίκτυα, blogs και δίκτυα με περιεχόμενο από τους χρήστες (όπως το YouTube, Flickr και Wikipedia ) αντικατοπτρίζει την ικανότητα των χρηστών και των καταναλωτών να αξιοποιούν τις δυνατότητες αυτών των εφαρμογών και υπηρεσιών που προσφέρουν για την επαγγελματική και προσωπική τους ζωή.

Αυτές οι εφαρμογές και υπηρεσίες μειώνουν το χρόνο και την απόσταση, και οι χρήστες πλοηγούνται στο παγκόσμιο ψηφιακό χωριό, με δυνατότητα πρόσβασης και συνεχής σύνδεσης. Η ψηφιακή γενιά χρησιμοποιεί τις κινητές συσκευές για να αποκτήσει πρόσβαση στο διαδίκτυο αντί να χρησιμοποιήσει παραδοσιακά μέσα (ηλεκτρονικό υπολογιστή, παιχνιδιομηχανές, κ.λπ.), αποκτά άλλες συνήθειες και αυτό θα ασκήσει πρόσθετη πίεση στους φορείς

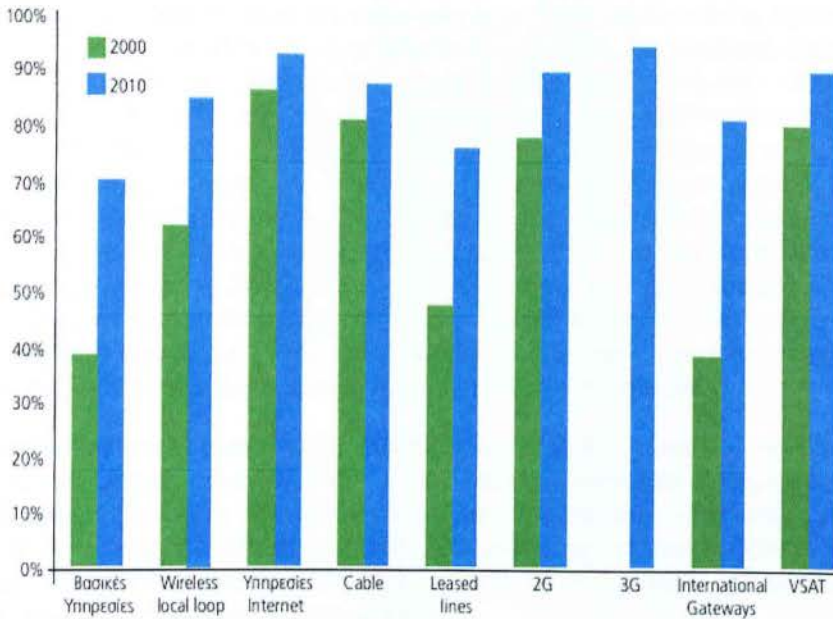
κινητών επικοινωνιών, ώστε να προσφέρουν υψηλές ταχύτητες "οποτεδήποτε" και "οπουδήποτε".



**Εικόνα 3: Παγκόσμιος Χάρτης Social Networks, Πηγή: ΟΗΕ, ITU, Credits: Vincenzo Cosenza, 6/2011**

Καινοτόμες υπηρεσίες, όπως το mobile banking και η διαχείριση χρημάτων μέσω της κινητής τηλεφωνίας βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην απλή αποστολή μηνυμάτων κειμένου (SMS), που φέρνουν τις τραπεζικές υπηρεσίες εκτός καταστήματος. Αυτές οι υπηρεσίες μπορούν να έχουν θετικές επιπτώσεις στις υπό-ανάπτυξη χώρες και σε πληθυσμούς από αγροτικές και φτωχότερες περιοχές, ώστε να τους βοηθήσουν να συμμετάσχουν περισσότερο στην οικονομία. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις, περισσότερα από 364 εκατ. άνθρωποι με χαμηλό εισόδημα, χωρίς σχέση και σύνδεση με τα τραπεζικά καταστήματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιούν τις κινητές χρηματοοικονομικές υπηρεσίες μέχρι το 2012.

Ρόλο κλειδί στην ανάπτυξη καινοτόμων υπηρεσιών και τεχνολογικών προϊόντων παίζει η ενίσχυση του ανταγωνισμού. Σημαντικές προσπάθειες έχουν γίνει για την προώθηση του ανταγωνισμού στις αγορές Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών. Η μεταρρύθμιση των αδειοδοτήσεων σε ορισμένες χώρες τα τελευταία πέντε χρόνια έχει συμβάλει στη δημιουργία μεγαλύτερης αποτελεσματικότητας της αγοράς, ώστε να προσελκύουν περισσότερους παίκτες, να προσφέρουν νέες υπηρεσίες για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών προς όφελος των καταναλωτών.



**Εικόνα 4: Ανάπτυξη του ανταγωνισμού σε υπηρεσίες ΤΠΕ, Πηγή: ITU World Telecommunication/ ICT Regulatory Database, ITUnews No. 4, 2011**

Περίπου το 70% των χωρών σε όλο τον κόσμο έχουν βελτιώσει τον ανταγωνισμό στον τομέα της σταθερής τηλεφωνίας έναντι 38% το 2000. Παρ' όλα αυτά, οι υπηρεσίες αυτές εξακολουθούν να υστερούν σε σχέση με άλλα τμήματα της αγοράς ΤΠΕ από την άποψη της ανταγωνιστικότητας. Ο αριθμός των γραμμών σταθερής τηλεφωνίας συνέχισε να μειώνεται το 2010 σε όλες τις περιοχές εκτός της Αφρικής. Ο ανταγωνισμός στην παροχή μισθωμένων γραμμών αυξήθηκε κατά 28% σε δέκα χρόνια για να φτάσει στο 76% το 2010.

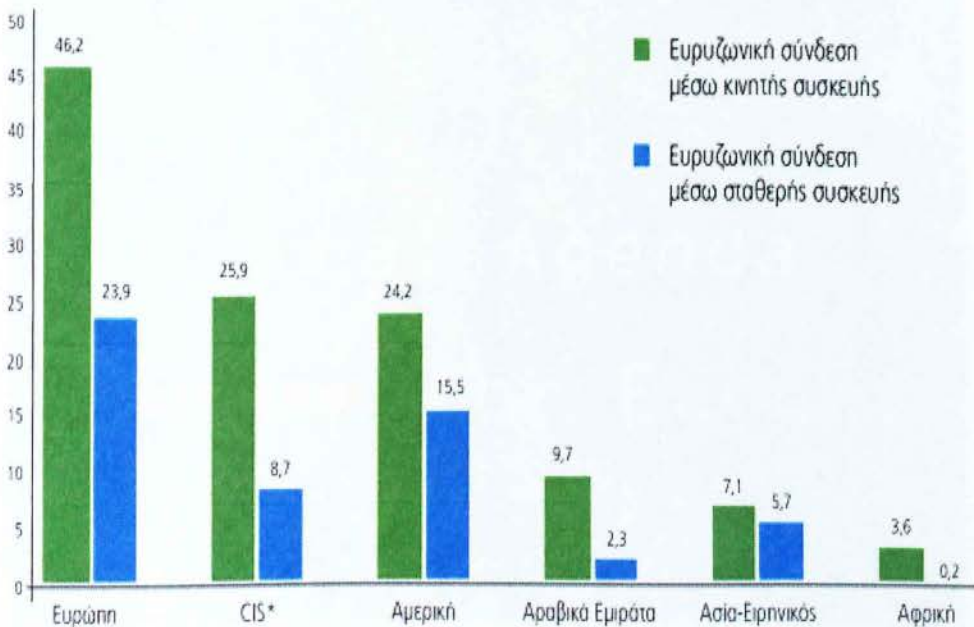
Οι υπηρεσίες ασύρματου τοπικού βρόχου εξελίχθηκαν σημαντικά φτάνοντας στο 85% των χωρών το 2010 και σημειώνοντας βελτίωση πάνω από το 63% από το 2000. Όπως δείχνουν τα δεδομένα η συνεχιζόμενη ανάπτυξη των δικτύων 3G και η ενίσχυση των ταχυτήτων του mobile broadband όπως τα WiMAX και πιο πρόσφατα τα HSPA + και LTE συστήματα θα τονώσουν την αποδοχή των κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών σε όλο τον κόσμο. Σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση του ανταγωνισμού παίζουν οι ιδιωτικοποιήσεις. Σε 126 χώρες σήμερα, οι εγκατεστημένοι φορείς εκμετάλλευσης τηλεπικοινωνιών είναι είτε εν μέρει ή πλήρως στα χέρια του ιδιωτικού τομέα και μόνο το 34% των εγκατεστημένων φορέων παραμένουν υπό κρατική ιδιοκτησία. Υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των ηπείρων: το 86% των εγκατεστημένων φορέων στην Ευρώπη έχουν πλήρως ή εν μέρει ιδιωτικοποιηθεί. Ωστόσο, ο ρυθμός των ιδιωτικοποιήσεων έχει επιβραδυνθεί τα τελευταία χρόνια, ιδίως μετά την οικονομική ύφεση.

Στις αρχές του 2011 υπήρχαν 158 ρυθμιστικές αρχές σε παγκόσμιο επίπεδο, πολύ περισσότερες από 106 πριν από μια δεκαετία. Η ήπειρος με το υψηλότερο ποσοστό ρυθμιστικών αρχών (σε σχέση με το συνολικό αριθμό

των χωρών σε κάθε ήπειρο), είναι η Αφρική με 93%, ακολουθεί η Αμερική με 91%, η Ευρώπη με 88%, η Ασία-Ειρηνικός με 73%, τα Αραβικά Κράτη με 71%. Οι χώρες με ξεχωριστές ρυθμιστικές αρχές έχουν υιοθετήσει διαφορετικές θεσμικές και οργανωτικές δομές για να προσαρμοστούν στο ταχέως μεταβαλλόμενο περιβάλλον των ΤΠΕ. Το 2010 περίπου το 16% των ρυθμιστικών αρχών είχαν την ευθύνη για το περιεχόμενο και μερικές φορές μοιράζονται την ευθύνη αυτή με ένα άλλο υπουργείο. Περισσότερες από 60 χώρες σε όλο τον κόσμο είχαν εκδώσει νομοθεσία για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο μέχρι το 2010. Η Ευρώπη έχει το υψηλότερο ποσοστό, με 38% των χωρών να έχουν υιοθετήσει μια τέτοια νομοθεσία, ακολουθεί η Αμερική με 20% και η Αφρική με 13%. Ο βαθμός συμμετοχής ποικίλλει από μια ρυθμιστική αρχή στην άλλη, ανάλογα με την εθνική νομοθεσία.

Η προώθηση της ευρυζωνικής πρόσβασης αποτελεί βασική πολιτική και κανονιστικό ζήτημα σήμερα. Είναι σαφές και αποδεικνύεται καθημερινά ότι η ευρυζωνική πρόσβαση δεν είναι πλέον μια πολυτέλεια αλλά αναγκαιότητα ζωτικής σημασίας για την οικονομική, κοινωνική και πολιτική ανάπτυξη κάθε χώρας. Σε αυτό το πλαίσιο υπάρχει η ανάγκη για εθνικό σχεδιασμό των ευρυζωνικών υποδομών και υπηρεσιών.

Κάθε κυβέρνηση έχει την υποχρέωση να βοηθήσει στην επίτευξη των Αναπτυξιακών Στόχων της Χιλιετίας των Ηνωμένων Εθνών μέχρι το 2015. Ήδη, περίπου 70 κυβερνήσεις έχουν υιοθετήσει εθνική πολιτική, στρατηγική και σχέδιο για την προώθηση της ευρυζωνικότητας. Πολλές αναπτυγμένες χώρες έχουν εντάξει την ευρυζωνική πολιτική ως μέρος του σχεδίου για την οικονομική ανάκαμψή τους στον απόηχο της παγκόσμιας οικονομικής ύφεσης.



**Εικόνα 5: Ευρυζωνική σύνδεση ανά 100 κατοίκους - παγκόσμια, \* Commonwealth of Independent States, Πηγή: ITU World Telecommunication/ ICT Indicators Database, ITUnews No. 4, 2011**

Τέλος θα πρέπει να επισυμάνουμε όσο αφορά την σημερινή κατάσταση στις τηλεπικοινωνίες ότι η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αποφάσισε ότι τα κράτη-μέλη θα πρέπει να επιτρέψουν την πρόσβαση σε δύο μπάντες συχνοτήτων ώστε να ανοίξει ο δρόμος της γρήγορης πρόσβασης στο Ίντερνετ μέσω κινητής τηλεφωνίας.

Μέχρι το τέλος του 2012, τα κράτη μέλη θα πρέπει να συμμορφωθούν με την απόφαση της Επιτροπής και να ανοίξουν τις συχνότητες 900MHz και 1.800MHz. Οι νέοι κανόνες θα επιτρέψουν σε νέες συσκευές με τσιπ επικοινωνίας κινητής τηλεφωνίας επόμενης γενιάς (4G, είτε LTE ή WiMax) να χρησιμοποιήσουν το ραδιοφάσμα που απαιτείται για να λειτουργήσουν, δήλωσε η αρμόδια Ευρωπαϊκά Επίτροπος, Νίλι Κρος. Παρά το γεγονός ότι οι συχνότητες θα μοιράζονται με τα σημερινά δίκτυα 2G και 3G, δεν θα επηρεαστεί η απόδοσή τους και δεν θα υπάρχουν παρεμβολές.

Η απόφαση εντάσσεται στην πολιτική που περιγράφεται στην λεγόμενη Νέα Ψηφιακή Ατζέντα για την Ευρώπη.

Οι ευρυζωνικές υπηρεσίες είναι διαθέσιμες για άνω του 90% του πληθυσμού της ΕΕ, αξιοποιούνται όμως μόλις από το 50% των νοικοκυριών. Επίσης, η Επιτροπή εκτιμά ότι «οι τεχνολογίες των πληροφοριών και των επικοινωνιών διεισδύουν σε όλες κυριολεκτικά τις πτυχές της ζωής μας και είναι αναπόσπαστα δεμένες με την επιθυμία μας για ακμάζουσα και ανταγωνιστική οικονομία, για προστασία του περιβάλλοντός μας και για περισσότερο δημοκρατική και ανοικτή κοινωνία χωρίς αποκλεισμούς».



Εικόνα 6 : Νέα Ψηφιακή Ατζέντα για την Ευρώπη.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°**

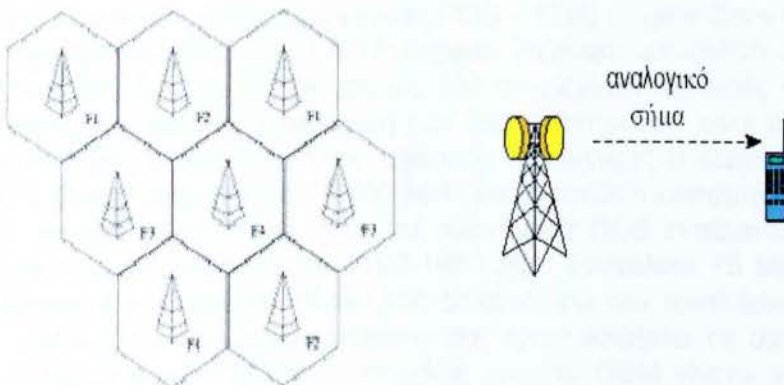
### **ΓΕΝΙΕΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ**

## 1.1 Η 1<sup>η</sup> Γενιά Κινητών Δικτύων 1G

Η πρώτη γενιά 1(G) συστημάτων κυψελωτής κινητής τηλεφωνίας εμφανίστηκε την δεκαετία του 1980. Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη γενιά δεν αποτέλεσε το ξεκίνημα των κινητών τηλεπικοινωνιών. Αντίθετα από πιο πριν είχαν εμφανιστεί αρκετά συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών τα οποία όμως δεν είχαν τα χαρακτηριστικά των κινητών δικτύων με τον τρόπο που τα εννοούμε σήμερα. Το βασικότερο από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η κυψελωτή δομή του δικτύου. Τα πρώιμα αυτά δίκτυα είχαν περιορισμένες δυνατότητες σε σχέση με τα κυψελωτά. Επιπλέον, ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα ήταν η υποτυπώδης και προβληματική υποστήριξη της κινητικότητας των χρηστών.

Στα κυψελωτά κινητά δίκτυα που στο εξής θα αναφέρονται απλώς σαν κινητά δίκτυα, η περιοχή κάλυψης διαιρείται σε μικρές κυψέλες. Με αυτόν τον τρόπο οι ίδιες συχνότητες μπορούν να χρησιμοποιούνται πολλές φορές στο ίδιο δίκτυο χωρίς να δημιουργούνται έντονα φαινόμενα παρεμβολής. Επομένως οι δυνατότητες του δικτύου αυξάνονται σημαντικά. Η πρώτη γενιά χρησιμοποιούσε τεχνικές αναλογικής μετάδοσης για την κίνηση η οποία ήταν αποκλειστικά φωνή. Δεν υπήρξε κάποιο πρότυπο που να επικράτησε αντίθετα υπήρξαν αρκετά πρότυπα όπως το Nordic Mobile Telephone (NMT), το Total Access Communication System (TACS) και το Advanced Mobile Phone Service (AMPS). Τα δύο πρώτα πρότυπα είχαν μια σχετική επιτυχία στις ευρωπαϊκές χώρες ενώ το τρίτο ήταν το πιο διαδεδομένο στις Η.Π.Α .

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι παρόλο που σήμερα η εξέλιξη στις τηλεπικοινωνίες έχει εστιάσει στα κινητά δίκτυα 3<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> γενιάς, υπάρχουν πολλά δίκτυα 1<sup>ης</sup> γενιάς που εξακολουθούν να βρίσκονται σε λειτουργία. Βέβαια στις χώρες όπου υπάρχει προχωρημένη υποδομή στις τηλεπικοινωνίες τα συστήματα αυτά έχουν εγκαταλειφθεί καθώς θεωρείται ότι σπαταλούν πολύτιμο φάσμα συχνοτήτων το οποίο τα σύγχρονα ψηφιακά κινητά δίκτυα επικοινωνιών εκμεταλλεύονται πιο αποδοτικά.



Εικόνα 7 : Κυψελωτό δίκτυο

## 1.2 Η 2<sup>η</sup> Γενιά Κινητών Δικτύων 2G

Η δεύτερη γενιά (2G) κινητών δικτύων επικοινωνιών χρησιμοποιεί ψηφιακή μετάδοση της κίνησης. Αυτή είναι και η κύρια διαφοροποίηση μεταξύ των κινητών συστημάτων πρώτης και δεύτερης γενιάς. Τα δίκτυα δεύτερης γενιάς έχουν πολύ ευρύτερες δυνατότητες από αυτά της πρώτης γενιάς. Ένα κανάλι συχνοτήτων διαιρείται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διαφορετικούς χρήστες είτε με διαίρεση χρόνου «TDMA» είτε με διαίρεση κώδικα «CDMA». Επιπλέον χρησιμοποιούνται ιεραρχικές δομές κυψελών, για την ακρίβεια η περιοχή κάλυψης διαιρείται σε macrocells (κυψέλες μεγάλης έκτασης), microcells (κυψέλες μικρής έκτασης), και picocells (κυψέλες περιορισμένης έκτασης κυρίως σε μεγάλα αστικά κέντρα με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση των δυνατοτήτων των δικτύων.

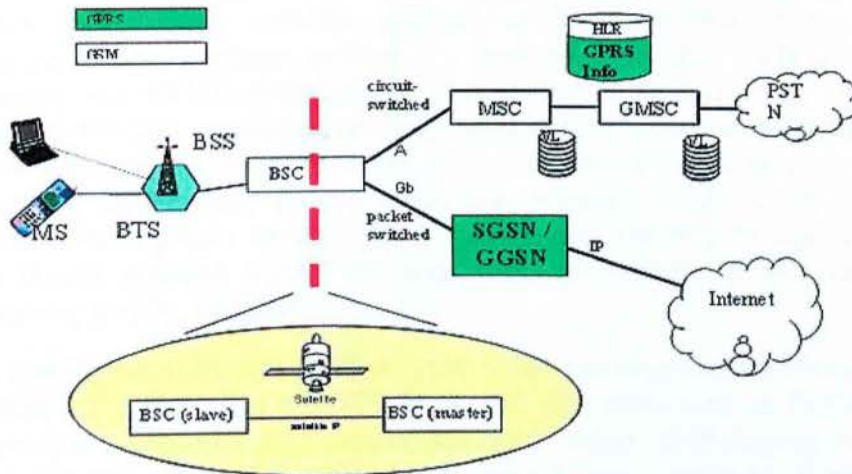
Υπάρχουν τέσσερα κύρια πρότυπα για τα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς: Το Global System for Mobile (GSM) communications, το Digital AMPS (D-AMPS), το Code Division Multiple Access (CDMA) IS-95 καθώς και το Personal Digital Cellular (PDC). Το GSM είναι μακράν το πιο επιτυχημένο και διαδεδομένο σύστημα δεύτερης γενιάς. Ξεκίνησε ως ένα ευρωπαϊκό σύστημα αλλά τελικά υιοθετήθηκε παγκοσμίως. Η μόνη ήπειρος στην οποία η διάδοση του GSM υστερεί είναι η αμερικανική. Παρόλα αυτά το 2001 η βορειοαμερικανική κοινότητα για την Time Division Multiple Access (TDMA) αποφάσισε να υιοθετήσει το σύστημα Wideband CDMA (WCDMA) που ορίστηκε από το Third Generation Partnership Project (3GPP).

Προκειμένου να προετοιμαστούν για το WCDMA πολλές αμερικάνικες εταιρίες που χρησιμοποιούσαν το D-AMPS έχουν υιοθετήσει ήδη το σύστημα GSM/GPRS.

Το βασικό σύστημα GSM χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων των 900MHz. Όμως υπάρχουν και αρκετά παράγωγα τα οποία χρησιμοποιούν τις ζώνες των 1800 ή 1900 MHz.

Το ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας DCS – 1800 (Digital Communication System) σχεδιάστηκε από το ETSI (European Telecommunication Standards Institute) το 1991, ενώ οι προδιαγραφές του στηρίζονται σε αυτές του GSM. Έτσι οι λειτουργίες και η αρχιτεκτονική των δύο συστημάτων είναι παρόμοιες. Οι σημαντικότερες διαφοροποιήσεις αφορούν τη συχνότητα λειτουργίας που για το DCS είναι η περιοχή των 1.800 MHz και η στάθμη εκπομπής που στο DCS είναι αρκετά χαμηλότερη. Έτσι τα συστήματα DCS εκπέμπουν τα μεν κινητά στην περιοχή συχνοτήτων 1790-1865 MHz (συνολικά 75 MHz) και οι σταθμοί βάσης στην περιοχή 1885-1960 MHz. Λόγω του τριπλάσιου εύρους ζώνης, ο αριθμός των καναλιών επικοινωνίας τριπλασιάζεται σε σχέση με το GSM. Ταυτόχρονα, και εδώ όπως ακριβώς και στο GSM γίνεται χρήση της τεχνικής TDMA σε κάθε κανάλι με αποτέλεσμα την εξυπηρέτηση οκτώ ζεύξεων από το ίδιο κανάλι. Έτσι η συνολική χωρητικότητα ενός συστήματος DCS ανά κυψέλη είναι τριπλάσια από αυτή ενός συστήματος GSM. Η χαμηλότερη ισχύς εκπομπής στο DCS σε συνδυασμό με την υψηλότερη απόσβεση που προκαλείται στα σήματά του λόγω της υψηλότερης

συχνότητας εκπομπής έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη εμβέλεια και άρα μικρότερο μέγεθος κυψέλης από ό,τι στο GSM. Έτσι η μέγιστη εμβέλεια ενός κινητού DCS είναι οκτώ χιλιόμετρα σε σχέση με τα 35 ενός κινητού GSM. Ταυτόχρονα όμως λόγω της υψηλότερης συχνότητας και των μικρότερων κυψελών το DCS παρουσιάζει καλύτερη απόδοση και μικρότερα κενά στην κάλυψη που προσφέρει. Τα χαρακτηριστικά των συστημάτων DCS τα κάνουν ιδανικά για πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, εμπορικά κέντρα, αεροδρόμια κτλ. Στη χώρα μας λειτουργεί ήδη ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας DCS – 1800.



Εικόνα 8 : Αρχιτεκτονική 2<sup>ης</sup> Γενιάς κινητών δικτύων

### 1.3 Η Γενιά 2,5 Κινητών Δικτύων

Με τον όρο γενιά 2,5G αναφερόμαστε στο ευρύτερο σύνολο των αναβαθμίσεων που έγιναν πάνω στα κινητά δίκτυα δεύτερης γενιάς. Πολλές από αυτές τις αναβαθμίσεις παρέχουν σχεδόν τις ίδιες δυνατότητες με αυτές των κινητών δικτύων 3<sup>ης</sup> γενιάς. Παρόλο που η διαχωριστική γραμμή μεταξύ των κινητών δικτύων δεύτερης γενιάς και αυτών της γενιάς 2,5 είναι λεπτή, υπάρχουν ορισμένες τεχνολογίες οι οποίες χαρακτηρίζουν τη γενιά 2,5. Αυτές οι τεχνολογίες είναι : η High Speed Circuit Switched Data (HSCSD), η General Packet Radio Services (GPRS) και η Enhanced Data Rates for Global Evolution (EDGE).

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που παρουσίασαν οι αρχικές μορφές του GSM ήταν οι χαμηλοί ρυθμοί μετάδοσης στον αέρα που περιορίζονταν στα 9,6 Kbps. Αργότερα τέθηκαν οι προδιαγραφές για τα 14,4 Kbps παρόλο που δεν χρησιμοποιήθηκαν ευρέως. Η λύση που προτάθηκε ήταν η τεχνολογία HSCSD. Μέσω αυτής της τεχνολογίας ένας χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί αντί μιας περισσότερων χρονοσχισμών (timeslots) για μια σύνδεση μεταφοράς δεδομένων. Συνεπώς, ο ρυθμός μετάδοσης για αυτόν το χρήστη είναι το γινόμενο των χρονοσχισμών επί τον ρυθμό μετάδοσης για μια

χρονοσχιμή. Η υλοποίηση της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι σχετικά απλή και φθηνή. Πρόσθετο λογισμικό χρειάζεται να υλοποιηθεί στα κέντρα καθώς και καινούριες φορητές συσκευές που θα υποστηρίζουν την τεχνολογία HSCSD. Το βασικότερο μειονέκτημα ήταν η χρήση μεταγωγής κυκλώματος. Αυτός ο τρόπος μεταγωγής είχε ως αποτέλεσμα τη σπατάλη πόρων του δικτύου αφού οι χρονοσχιμές δεσμεύονταν ακόμα και όταν η χωρητικότητα τους δεν χρησιμοποιούνταν.

Η επόμενη λύση που προτάθηκε ήταν η τεχνολογία GPRS. Με αυτήν την τεχνολογία μπορούν να επιτευχθούν ρυθμοί μετάδοσης των 115 Kbps. Αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία είναι ότι η τεχνολογία GPRS χρησιμοποιεί τεχνολογία μεταγωγής πακέτου. Επομένως δεσμεύει τους πόρους του δικτύου μόνο όταν υπάρχει ανάγκη για αποστολή και λήψη δεδομένων. Η υλοποίηση του GPRS είναι αρκετά πιο ακριβή από αυτή του HSCSD. Επίσης, το HSCSD συμπεριφέρεται με μεγαλύτερη συνέπεια σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Παρόλα αυτά η τεχνολογία GPRS προσφέρει πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες για την αποστολή δεδομένων μέσω των κινητών δικτύων. Είναι σίγουρο πλέον πως η αύξηση της κίνησης δεδομένων στα κινητά δίκτυα, καθιστά την GPRS τεχνολογία αναπόσπαστο στοιχείο ενός συστήματος κινητής τηλεφωνίας.

Τέλος, η τρίτη και τελευταία βελτίωση του GSM προκειμένου να εξελιχθεί σε ένα δίκτυο γενιάς 2,5 είναι η EDGE. Η βασική ιδέα πίσω από το EDGE είναι μια τεχνική διαμόρφωσης που ονομάζεται Eight-Phase Shift Keying (8-PSK). Αυτή η τεχνική επηρεάζει μόνο το λογισμικό των σταθμών βάσης και προσφέρει ρυθμό μετάδοσης που φτάνει τα 384Kbps. Επιπλέον μπορεί να συνυπάρξει με την τεχνική διαμόρφωσης Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK) η οποία χρησιμοποιείται στη βασική μορφή του GSM.

## 1.4 Η 3<sup>η</sup> Γενιά Κινητών Δικτύων 3G

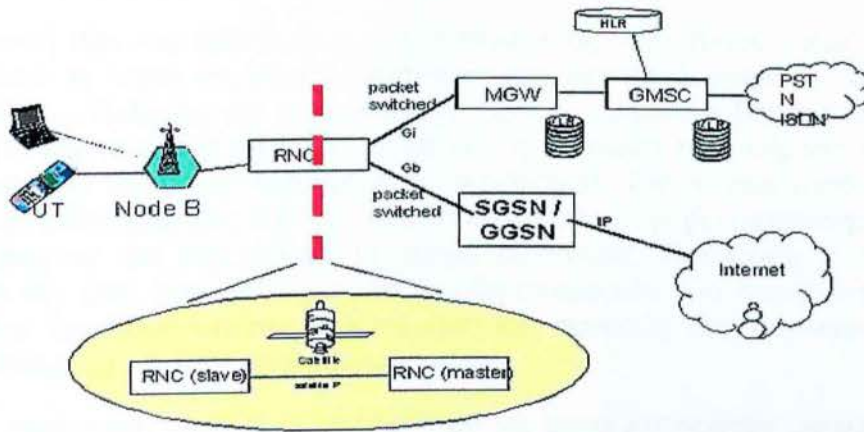
Η γρήγορη εξέλιξη των κινητών τηλεπικοινωνιών ήταν ένα από τα αναμφισβήτητα γεγονότα της δεκαετίας του 1990. Το πρώτο εμπορικό δίκτυο λειτούργησε στη Φινλανδία το 1991. Την ίδια χρονιά το ίδρυμα ETSI (European Telecommunications Standards Institute) ξεκινούσε την προτυποποίηση της επόμενης γενιάς δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών. Το σύστημα που προέκυψε από αυτή την προτυποποίηση ονομάστηκε Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Η ανάπτυξη των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς δεν έγινε μόνο στο ETSI. Υπήρξαν πολλοί οργανισμοί και ερευνητικά ιδρύματα σε παγκόσμιο επίπεδο που είχαν τον ίδιο σκοπό.

Ο βασικός στόχος της ανάπτυξης των κινητών δικτύων τρίτης γενιάς και των μετέπειτα γενεών είναι η παροχή των κινητών υπηρεσιών «οπουδήποτε» και «οποτεδήποτε». Αυτό σημαίνει ότι ένας χρήστης δικτύων κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς μπορεί να μετακινείται οπουδήποτε και να εξυπηρετείται ακόμα και σε περιοχές όπου δεν υπάρχει κάλυψη από συστήματα τρίτης γενιάς αλλά υπάρχουν άλλου είδους ασύρματα δίκτυα. Δηλαδή ο χρήστης θα μπορεί να

εξυπηρετείται από οικιακά ασύρματα συστήματα, από άλλα κυψελωτά κινητά δίκτυα καθώς και από δορυφορικά δίκτυα.

Επιπλέον, οι παρεχόμενες υπηρεσίες επεκτείνονται σε υπηρεσίες διαδικτύου και σε υπηρεσίες πολυμέσων με υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης (προβλέπονται ρυθμοί που ξεκινούν από τα 144 Kbps και φτάνουν ακόμα και σε ρυθμούς της τάξης των Mbps). Με τον όρο υπηρεσίες πολυμέσων αναφερόμαστε σε υπηρεσίες κατά τις οποίες υπάρχει συνδυασμός εικόνας, ήχου και κειμένου σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο ψηφιακό περιβάλλον. Τέλος θα πρέπει να αναφερθούν τα επικρατέστερα συστήματα τρίτης γενιάς τα οποία είναι το UMTS (Ευρώπη), το CDMA 2000 (Β.Αμερική) και το NTT Docomo (Ιαπωνία).

Το UMTS σύστημα χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων από 1900-2100 MHz.



Εικόνα 9 : Αρχιτεκτονική 3<sup>ης</sup> Γενιάς κινητών δικτύων

## 1.5 Η Γενιά 3,5 Κινητών Δικτύων

Με τον όρο γενιά 3,5 (3,5G ή 3G+) αναφερόμαστε στη νέα γενιά κινητών δικτύων τα οποία εκτός από την τεχνολογία WCDMA έχουν ενσωματώσει την τεχνολογία High Speed Packet Access (HSPA). Η ορολογία HSPA αναφέρεται σε μια γενικότερη έννοια που υιοθετήθηκε από το UMTS Forum προκειμένου να τονίσει τις αναβαθμίσεις UMTS Radio Interface στις εκδόσεις 5 και 6 του 3GPP στάνταρ και να προσδιορίσει τα δίκτυα επικοινωνιών επόμενης γενιάς.

Η HSPA είναι μια νέα τεχνολογία η οποία σχεδιάστηκε προκειμένου να αυξήσει την χωρητικότητα καταρχήν του κατερχόμενου (Downlink) και σε δεύτερη φάση του ανερχόμενου (Uplink) ασύρματου συνδέσμου για τα κινητά δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς. Το γεγονός αυτό θεωρήθηκε απαραίτητο καθώς, στην πράξη, οι μέγιστοι ρυθμοί μετάδοσης για τα κινητά δίκτυα τρίτης γενιάς αποδείχθηκαν χαμηλοί για πολυμεσικές εφαρμογές.

Ιδιαίτερα στην περίπτωση που θα υπήρχαν πολλοί χρήστες πολυμεσικών εφαρμογών στην ίδια κυψέλη, αυτό θα σήμαινε ραγδαία πτώση της απόδοσης του δικτύου στη συγκεκριμένη κυψέλη.

Το HSPA αναφέρεται σε βελτιώσεις που πραγματοποιήθηκαν τόσο στον κατερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο, μέσω του High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) όσο και στον ανερχόμενο, μέσω του High Speed Uplink Packet Access (HSUPA). Αξίζει να αναφερθεί ότι τόσο το HSDPA όσο και το HSUPA μπορούν υλοποιηθούν στο ίδιο εύρος ζώνης με το UMTS (των 5 MHz), γεγονός που επιτρέπει την παράλληλη λειτουργία τόσο του HSPA όσο και του κλασσικού UMTS. Το HSDPA προτάθηκε στην έκδοση 5 του 3GPP στάνταρ (ανακοινώθηκε το 2003 και υλοποιήθηκε το 2005) και υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως και 14,4 Mbps ανά χρήστη. Αναφορικά με τον ανερχόμενο ασύρματο σύνδεσμο το HSUPA εισήχθη στην έκδοση 6 του 3GPP στάνταρ δίνοντας την δυνατότητα υποστήριξης μέχρι και 5,8 Mbps μέσω ενός αφιερωμένου uplink καναλιού.

Η βασική ιδέα του HSPA είναι η προσθήκη ενός νέου τύπου ευρυζωνικού καναλιού το οποίο θα είναι βελτιστοποιημένο για πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Πρόκειται για το κανάλι High Speed – Downlink Shared Channel (HS-DSCH) το οποίο χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της ρυθμοαπόδοσης (throughput) μόνο του κατερχόμενου συνδέσμου. Στο κανάλι αυτό έχουν ενσωματωθεί διάφορες τεχνικές που αποσκοπούν στην βελτιστοποίηση των δυνατοτήτων του όσο αφορά το ρυθμό μετάδοσης. Προφανώς η τεχνική HSPA δεν είναι κατάλληλη για όλα τα είδη υπηρεσιών. Για παράδειγμα δεν παρέχει εγγυήσεις για την καθυστέρηση και συνεπώς δεν ενδείκνυται για απαιτητικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

Στην περίπτωση αυτή είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθούν αφιερωμένα κανάλια (όπως το dedicated channel). Αντίθετα η χρήση του HSPA ενδείκνυται προκειμένου να αυξηθεί η χωρητικότητα του δικτύου σε σημεία με υψηλή κίνηση δεδομένων.

Ανάμεσα στα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας HSPA συγκαταλέγονται οι αυξημένες ταχύτητες για τους τελικούς χρήστες, η αυξημένη διαδραστικότητα των υπηρεσιών καθώς και η παροχή υψηλής χωρητικότητας του δικτύου προς όφελος κυρίως των παρόχων. Η μείωση των καθυστερήσεων μετάδοσης παράλληλα με τις αυξημένες πλέον ταχύτητες μετάδοσης στο ασύρματο μέσο μεταφράζονται στη δυνατότητα παροχής μίας μεγάλης γκάμας πολυμεσικών εφαρμογών. Κατά συνέπεια, οι κινητοί χρήστες έχουν πλέον την ικανότητα να απολαμβάνουν υπηρεσίες που μέχρι τώρα παρέχονταν μόνο σε χρήστες με ενσύρματη ευρυζωνική σύνδεση. Τέτοιες υπηρεσίες είναι η πολύ γρήγορη ευρυζωνική σύνδεση στο διαδίκτυο, VoIP, Multi-player παιχνίδια, Mobile TV, ενισχυμένη μετάδοση video/mp3 streaming, video telephony και video conferencing για κινητούς χρήστες.

Εν κατακλείδι να σημειώσουμε ότι η περαιτέρω αναβάθμιση της τεχνολογίας HSPA ανακοινώθηκε από το 3GPP στάνταρ με την έκδοση 7 το 2007, κατά κύριο λόγο προς τον τομέα της βελτιστοποίησης του ασύρματου μέσου μετάδοσης. Όλες αυτές οι προσπάθειες αναβάθμισης προσδιορίζονται από την ορολογία HSPA+ (Evolution).

Οι βασικές προσεγγίσεις προς την κατεύθυνση αυτή είναι η χρήση της τεχνολογίας MIMO και η χρήση 64 QAM κωδικοποίησης. Η MIMO (multiple-input and multiple-output) τεχνική απαιτεί επιπρόσθετες κεραίες λήψης (συστοιχία κεραιών) καθώς και επιπλέον κεραίες μετάδοσης στους σταθμούς βάσης. Παράλληλα η εφαρμογή 64 QAM κωδικοποίησης αναμένεται να αυξήσει σημαντικά τους ρυθμούς μετάδοσης υπό την προϋπόθεση ότι επικρατούν πολύ καλές συνθήκες μετάδοσης (προβλέπονται ρυθμοί που πλησιάζουν τα 42Mbps σε θεωρητικό επίπεδο όσο αφορά την κάτω ζεύξη «downlink»).

## 1.6 Long Term Evolution (3,9G)

Το LTE που καταχρηστικά ονομάζεται «4ης Γενιάς», καθώς, με αυστηρούς όρους, δεν είναι παρά μόλις «3.9ης Γενιάς», αφού η 4η Γενιά δικτύων υλοποιείται επισήμως με το πρωτόκολλο της ITU, IMT-Advanced, κι όχι με το LTE, που παραμένει στην ευρεία οικογένεια των, υπερταχέων βέβαια, δικτύων κι υπηρεσιών της 3<sup>ης</sup> γενεάς .



Εικόνα 10 : LTE Logo

Ο όρος LTE (Long Term Evolution) εκφράζει το επόμενο σημαντικό βήμα στις κινητές ραδιοεπικοινωνίες και έχει εισαχθεί στην έκδοση 8 (Release 8) της 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project). Ο στόχος της 3GPP είναι η καθολική βελτίωση των κινητών τηλεπικοινωνιών UMTS και να παρασχεθεί μια ενισχυμένη εμπειρία χρηστών και μια απλουστευμένη τεχνολογία για την ευρυζωνική κινητή τηλεφωνία επόμενης γενιάς.

Η 3GPP είναι παγκόσμια κοινή προσπάθεια και αποτελείται από ομάδες μηχανικών και ερευνητών που εκπροσωπούν πάνω από 60 operators, προμηθευτές και κέντρα έρευνας με στόχο την τυποποίηση αυτής της καινούργιας αρχιτεκτονικής. Μεγάλο μέρος των προτύπων της Release 8 προσανατολίζονται γύρω από την αναβάθμιση του UMTS και την μετάβαση προς το 4G και την μεταμόρφωση της αρχιτεκτονικής δικτύου από ιεραρχική σε επίπεδη, βασισμένη στο πρωτόκολλο IP.

Το LTE στοχεύει στην εκπλήρωση των απαιτήσεων των δικτύων επόμενης γενιάς συμπεριλαμβανομένων των μέγιστων downlink ταχυτήτων (peak rates) 100 Mbps, στο uplink 50 Mbps και roundtrip χρόνο λιγότερο από 10ms στο δίκτυο πρόσβασης (RAN). Το LTE υποστηρίζει τα εύκαμπτα ραδιοευρυζωνικά σχήματα (flexible carrier bandwidths) από 1,4MHz μέχρι 20MHz καθώς επίσης και γνωστά ντούμπλεξ σχήματα FDD και TDD. Οι στόχοι του LTE





Η Ericsson κατετάγη στους 'Leaders' quadrant στην πρόσφατη Έκθεση Gartner Magic Quadrant για το LTE. Η Gartner, παγκόσμια ερευνητική και συμβουλευτική εταιρία IT, αξιολόγησε όλους τους πωλητές LTE εξοπλισμού, βασιζόμενη στη δυνατότητά τους να εκπληρώσουν και να ολοκληρώσουν το όραμά τους στην αγορά του LTE. Η Ericsson ήταν η πρώτη που έφερε το LTE, ενώ στα τέλη της χρονιάς του 2011 εκτιμάται ότι είχε μερίδιο αγοράς 60% συνολικά, παρέχοντας την απαραίτητη εμπειρία και έκταση για να υποστηρίξει τους παρόχους στην επόμενη φάση δημιουργίας των δικτύων LTE. Μέχρι σήμερα, επτά από τους δέκα κορυφαίους παρόχους με βάση τα έσοδα του 2012, επέλεξαν το LTE για τα δίκτυά τους, με την Ericsson να έχει υπογράψει εμπορικά συμβόλαια με έξι από τους επτά παρόχους. Στην Ελλάδα, οι πληροφορίες αναφέρουν πως είναι εκ των προμηθευτών της Cosmote για την υλοποίηση του LTE ραδιοδικτύου της τελευταίας.

Στην Ελλάδα θα αρχίσουν να λειτουργούν οι πρώτοι σταθμοί κινητής τηλεφωνίας που θα είναι ικανοί να υποστηρίξουν απαιτητικές εφαρμογές όπως η ζωντανή μετάδοση με εικόνα και ήχο υψηλής ευκρίνειας (HD streaming, με τεχνολογία ροής) και οι βιντεοδιασκέψεις στο (έξυπνο) κινητό. Cosmote και Vodafone ανακοίνωσαν τον καυτό Αύγουστο ότι ξεκινούν το ταξίδι προς τα δίκτυα 4G, τεχνολογίας LTE.

Ericsson και Nokia Siemens Networks είναι οι δύο κατασκευαστές τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού με τους οποίους συνεργάζεται η Cosmote όσον αφορά στην ανάπτυξη του δικτύου 4<sup>ης</sup> γενιάς που ξεκίνησε να υλοποιεί.

Η Cosmote ανακοίνωσε μεν την ανάπτυξη υποδομών για 4G, αλλά η εμπορική διάθεση να μην αναμένεται πριν το 2013, εκτός και αν όλα έχουν πάει τόσο καλά ώστε να «βγει» λίγο νωρίτερα.

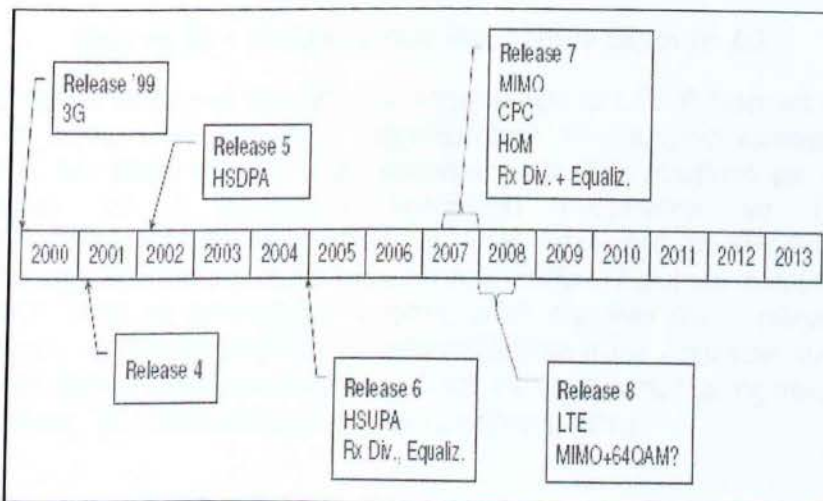
Τα δίκτυα 4ης γενιάς βασίζονται στην τεχνολογία LTE (Long Term Evolution) και προσφέρουν πολύ υψηλότερες ταχύτητες πρόσβασης στο Διαδίκτυο και βελτιωμένη εμπειρία στις υπηρεσίες δεδομένων σε σχέση με τα υφιστάμενα δίκτυα 3G. Η Cosmote υποστηρίζει πως στο υπό ανάπτυξη δίκτυο θα προσφέρει ταχύτητες αντίστοιχες με αυτές που επιτεύχθηκαν στο πιλοτικό δίκτυο που είχε υλοποιήσει πέρσι και ήταν της τάξεως των 100 Mbps όσον αφορά στη λήψη δεδομένων (download) και στα 45 Mbps για την αποστολή (upload). Σημειωτέον πάντως πως από τη μέχρι τώρα διεθνή εμπειρία τέτοιου είδους ταχύτητες δεν επιτυγχάνονται σε πραγματικές συνθήκες τουλάχιστον στην παρούσα φάση, καθώς δεν υπάρχουν και οι αντίστοιχες εμπορικά διαθέσιμες τερματικές συσκευές. Η συχνότητα που χρησιμοποιείται είναι τα 1800 MHz, κάτι που ήταν αναμενόμενο δεδομένης και της στρατηγικής της Deutsche Telekom. Η πολύ καλύτερη φασματική περιοχή των 800 MHz θα εκχωρηθεί μετά από διαγωνισμό, τον οποίο το Δημόσιο θέλει να πραγματοποιήσει εντός του 2013 αλλά οι πάροχοι προτιμούν το 2014 ή ακόμη καλύτερα το 2015. Άλλωστε, το υπάρχον φάσμα στα 900 και στα 1800 MHz θα είναι αρκετό πιθανότατα για να καλύψει τις ανάγκες για υψηλές ταχύτητες των Ελλήνων χρηστών.

Η Vodafone ανακοίνωσε ότι θα παρέχει την συχνότητα των 900MHz για χρήση σε 3G υπηρεσίες. Μέχρι σήμερα οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας στην Ελλάδα, συμπεριλαμβανομένων και της Vodafone χρησιμοποιούσαν την συχνότητα των 2100MHz για υπηρεσίες UMTS. Πρακτικά αυτό σημαίνει μεγαλύτερες ταχύτητες download και λιγότερη κίνηση στο δίκτυο της Vodafone. Με την χρήση επιπλέον φάσματος για το δίκτυο 3G οι χρήστες της Vodafone θα αποκτήσουν ποιοτικότερες υπηρεσίες στην ίδια τιμή. Όλα τα σύγχρονα smartphones υποστηρίζουν UMTS σε πολλαπλές συχνότητες με την αλλαγή να γίνεται αισθητή άμεσα από τους καταναλωτές. Ενδεικτικά μοντέλα κινητών που καλύπτουν την συχνότητα των 900MHz για UMTS είναι: iPhone 4, iPhone 4S, iPhone 5, Samsung Galaxy S2, Samsung Galaxy S3, Nokia Lumia 800, Nokia Lumia 920 κλπ.

Επίσης στις 6 Αυγούστου 2012, η Vodafone εξέδωσε ανακοίνωση σημειώνοντας ότι το δικό της δίκτυο LTE θα αρχίσει να αναπτύσσεται από επιλεγμένα αρχικά σημεία εντός του 2012. Ήδη, η Διεύθυνση Τεχνολογίας στην Vodafone Ελλάδα συμμετέχει ενεργά στις δοκιμές LTE της Vodafone στην Ευρώπη. Η «μαμά» Vodafone ξεκίνησε το 2010 την ανάπτυξη του δικτύου 4G σε ευρωπαϊκό επίπεδο και σήμερα, είναι ήδη σε εμπορική χρήση δίκτυα LTE στη Γερμανία και την Πορτογαλία, ενώ σε μία σειρά χωρών συνεχίζονται οι πιλοτικές δοκιμές, τονίζεται στην σχετική ανακοίνωση.

Η WIND σε ανακοίνωση της δηλώνει έτοιμη να υποδεχθεί το δίκτυο τεχνολογίας LTE. Όταν οι συνθήκες είναι πρόσφορες στην ελληνική τηλεπικοινωνιακή αγορά για τη λειτουργία του δικτύου LTE, η WIND με μια απλή αναβάθμιση λογισμικού στο υπάρχων δίκτυο της, που και τώρα υποστηρίζει τη συγκεκριμένη τεχνολογία, θα προσφέρει άμεσα τις αναβαθμισμένες υπηρεσίες του νέου δικτύου στους συνδρομητές της.

Συγκεντρωτικά, η χρονολογική εξέλιξη των 3GPP κυβελωτών προτύπων, ξεκινώντας από τα κινητά δίκτυα 3G έως και τα επόμενα δίκτυα επόμενης γενιάς LTE απεικονίζεται πιο κάτω. Το πρότυπο 3G/UMTS υιοθετήθηκε αρχικά στην 3GPP Release του 1999, στην Release 5 πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή του HSDPA, στην Release 6 η εισαγωγή του HSUPA, ενώ μέσω της Release 7 φθάνουμε στο LTE που περιγράφεται και αναλύεται στην Release 8 και 9 του 3GPP.

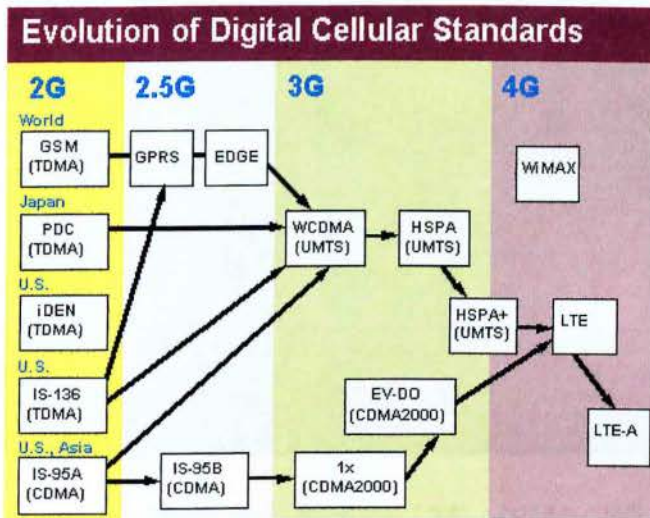


**Εικόνα 12 : Η χρονολογική εξέλιξη των κινητών δικτύων επόμενης γενιάς από το 3G έως και το LTE**

**1.7 Lte Advanced (4G)**

Τέταρτης γενιάς (4G), ασύρματο έχει προβλεφθεί εδώ και αρκετό καιρό. Ο τυπικός ορισμός των 4G ασύρματων έχει αναπτυχθεί από την ομάδα Working Party 5D της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών Τομέας Ραδιοεπικοινωνιών (ITU-R). Ένα χρονοδιάγραμμα για IMT-Advanced προγράμμα και των παράλληλων δραστηριοτήτων του 3GPP για LTE-Advanced παρουσιάζεται παρακάτω. Ο στόχος του «LTE-Advanced» είναι η περαιτέρω βελτίωση της LTE ασύρματης πρόσβασης από την άποψη της απόδοσης συστήματος και τις δυνατότητες, με ιδιαίτερο στόχο να διασφαλιστεί ότι το LTE πληροί όλες τις απαιτήσεις του «IMT-Advanced", όπως ορίζεται από την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών.

From Computer Desktop Encyclopedia  
© 2011 The Computer Language Co. Inc.



**Εικόνα 13 : Η εξέλιξη των προτύπων μέχρι το 4G**

Η Ericsson σε κινητό περιβάλλον παρουσιάζει το LTE Advanced over the air το οποίο είναι 10 φορές ταχύτερο από το σημερινό εμπορικό LTE δίκτυο. Με βάση το εμπορικό hardware που είναι συμβατό με το 3GPP Release 10 η εμπορική λειτουργία αναμένεται να ξεκινήσει το 2013. Οι βελτιώσεις που φέρνει το LTE Advanced περιλαμβάνουν το carrier aggregation και τη λειτουργικότητα multiple-input και multiple-output (MIMO). Από τη σκοπιά του χρήστη, αυτό σημαίνει ότι οι πληροφορίες μπορούν να ανακτηθούν και να αποστέλλονται πολύ ταχύτερα, ακόμα και όταν το δίκτυο είναι «φορτωμένο». Αυτό, σε συνδυασμό με τις υψηλότερες ταχύτητες, βελτιώνει σημαντικά την εμπειρία χρήστη.

Το demo σύστημα βασίστηκε στο multi-mode της Ericsson, multi -standard radio base station, RBS 6000. Η live κίνηση ήταν σε συνεχή ροή μεταξύ των RBS και ενός φορτηγού εν κινήσει από το οποίο ήταν εφικτή η παρακολούθηση της απόδοσης του δικτύου. Στην παρουσίαση, συγκεντρωτικό εύρος ζώνης 60MHz χρησιμοποιήθηκε, σε σύγκριση με το μέγιστο των 20 MHz που είναι σήμερα εφικτό χρησιμοποιώντας το δίκτυο LTE. Για downlink, χρησιμοποιήθηκε 8x8 MIMO.

Η Ericsson κατέχει ηγετική θέση στα ανοικτά πρότυπα και τη μεγαλύτερη επίδραση από κάθε άλλη εταιρεία στις προδιαγραφές του LTE που έχουν κυκλοφορήσει μέχρι σήμερα. Αναμένεται μελλοντικά να κατέχει το 25% όλων των απαραίτητων διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας για τη βιομηχανία του LTE.



**Εικόνα 14 : Μετρήσεις απόδοσης δικτύου LTE-ADVANCED που φτάνουν κοντά στο 1Gbps (downlink) στην Σουηδία**

Η Huawei κέρδισε δύο σημαντικά βραβεία που αναγνωρίζουν τα επιτεύγματα της εταιρείας στην εμπορευματοποίηση και την παροχή προϊόντικών λύσεων του LTE στο πλαίσιο του Συνεδρίου LTE World Summit 2011. Πιο συγκεκριμένα τα βραβεία που κατέκτησε η εταιρεία είναι: “Βραβείο Σημαντικής Προόδου για Εμπορική Διάθεση LTE από προμηθευτή” και “Καλύτερα Στοιχεία Δικτύου LTE.” Έως τον Μάιο του 2011, η Huawei έχει διαθέσει περισσότερα από 100 εμπορικά δίκτυα SingleRAN, τα οποία μπορούν να εξελιχτούν σε LTE. Ήδη 40 πάροχοι από αυτούς έχουν ανακοινώσει ότι ήδη διαθέτουν, ή πρόκειται στο άμεσο μέλλον να διαθέσουν υπηρεσίες LTE.

Το 2010, το eNodeB shipment LTE τηςHuawei κατέκτησε την πρώτη θέση παγκοσμίως, και έτσι ηHuawei κέρδισε το “Βραβείο Σημαντικής Προόδου για Εμπορική Διάθεση LTE από προμηθευτή” στο LTE Summit 2011. Με αυτή τη βράβευση, αναγνωρίστηκαν τα επιτεύγματα και οι προσπάθειες τηςHuawei στην εμπορική διάθεση υπηρεσιών LTE. Η λύση SingleRAN 5-Band 3-Mode 1-Cabinet της Huawei (BTS 3900L), που κέρδισε το βραβείο για τα “Καλύτερα Στοιχεία Δικτύου LTE”, αναβαθμίζει την υποστήριξη μιας απλής καμπίνας σε μέγεθος “τριών τεχνολογιών, σε πέντε μπάντες συχνοτήτων”, επιτρέποντας την συνύπαρξη και δια-λειτουργικότητα δικτύων GSM/UMTS/LTE, και κάνοντας έτσι πραγματικότητα τη σύγκλιση μεταξύ δικτύων, που μειώνει σημαντικά τα κόστη των παρόχων. Αυτή η λύση επιλέχθηκε από μερικούς από τους σημαντικότερους παρόχους παγκοσμίως, όπως οι Vodafone στη Γερμανία και η TeliaSonera στη Νορβηγία, που αντικατέστησαν τους παλαιούς σταθμούς βάσης, ενώ συγχρόνως ξεκίνησαν τη λειτουργία δικτύων LTE.

Η Huawei έχει κατορθώσει να δημιουργήσει ένα επιτυχημένο επιχειρηματικό μοντέλο, που βοηθά παρόχους παγκοσμίως να αυξήσουν την κερδοφορία τους, ενώ παράλληλα ανταποκρίνονται επιτυχώς στην ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες όπου και οποτεδήποτε.”

Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία της 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP), από το 2010 η Huawei έχει συγγράψει επιτυχώς 265LTE/LTE-Advanced προδιαγραφές κορμού. Αυτός ο αριθμός ουσιαστικά αποτελεί το 20% του συνόλου τέτοιων προδιαγραφών που έχουν απονεμηθεί σε όλες τις εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην αγορά τηλεπικοινωνιών. Η δέσμευση της Huawei στην εξάπλωση της τεχνολογικής και πνευματικής της ιδιοκτησίας, συνεχίζει να αποτελεί μοχλό ανάπτυξης για την παγκόσμια αγορά LTE.



**Εικόνα 15 : Σύμπλεγμα κεραιών LTE Advanced**

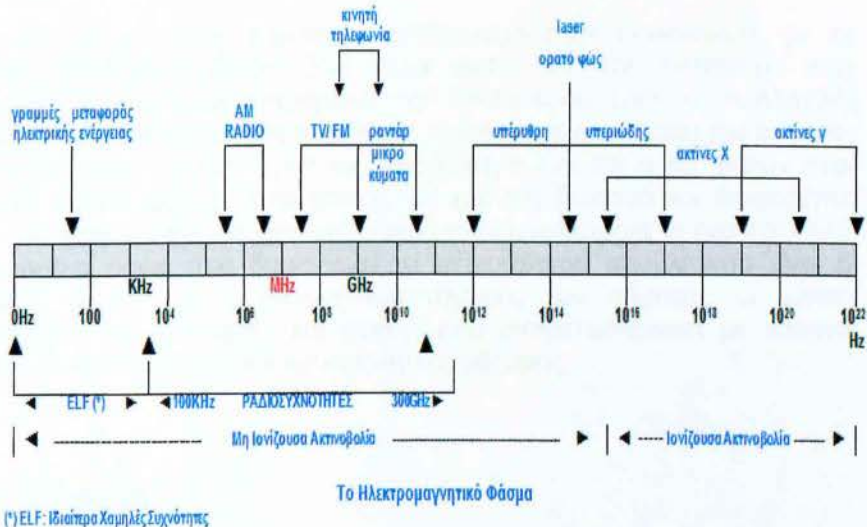
## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°**

### **ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**



## 2.1 Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Για να κάνουμε μία κλήση από το κινητό μας τηλέφωνο, η συσκευή μας και η κεραία του σταθμού βάσης, εκπέμπουν και λαμβάνουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα αποτελούν το μέσο μεταφοράς μιας συνομιλίας (φωνή), ενός μηνύματος (SMS), μιας φωτογραφίας ή μουσικής και βίντεο (δεδομένα), που θέλουμε να μοιραστούμε με έναν άλλο άνθρωπο. Στο περιβάλλον μας υπάρχουν πολλές φυσικές και τεχνητές πηγές ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας (ή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας), δηλαδή ενέργειας που μεταδίδεται με τη μορφή κυμάτων. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι στην πλειονότητα τους αόρατα και ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός. Μόνο ένα μικρό μέρος της ακτινοβολίας αυτής μπορεί να εντοπισθεί από το ανθρώπινο μάτι και είναι το ορατό φως που παράγει τα διάφορα χρώματα του ουράνιου τόξου.



**Εικόνα 16: Το φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας**

Η περιοχή συχνοτήτων που χρησιμοποιούν τα κινητά τηλέφωνα αντιστοιχεί σε συχνότητες της τάξεως των 0.7 – 2.7 GHz. Ραδιοκύματα ονομάζονται οι χαμηλές συχνότητες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, που εκτείνονται περίπου από τα 3 KHz ως τα 300 GHz. Οι ασύρματες τηλεπικοινωνίες γίνονται συνήθως με ραδιοκύματα ευρείας εκπομπής (από τα 30 MHz ως το 1 GHz), ή μικροκύματα (από τα 2 GHz ως τα 40 GHz). Τα ραδιοκύματα χαμηλότερων συχνοτήτων γενικά εξασθενούν σχετικά γρήγορα, αφού συγκριτικά μεταφέρουν λίγη ενέργεια, αλλά έχουν την ικανότητα να διαπερνούν τα φυσικά εμπόδια. Τα κύματα υψηλότερων συχνοτήτων διαδίδονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις, αλλά ανακλώνται ευκολότερα από φυσικά εμπόδια.

Επίσης, όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα ενός κύματος, τόσο μεγαλύτερη είναι η κατευθυντικότητα του (μπορεί δηλαδή να εκπεμφθεί σε μία σχετικά στενή δέσμη αντί προς πάσα κατεύθυνση). Έτσι, μιλώντας γενικά, τα μικροκύματα είναι κατευθυντικά ενώ τα ραδιοκύματα ευρείας εκπομπής όχι. Η ασύρματη μετάδοση εμπεριέχει διάφορους παράγοντες, που δημιουργούν προβλήματα στην επικοινωνία: η κατάσταση της ατμόσφαιρας και η διάθλαση επηρεάζουν το σήμα, η μεγάλη απόσταση εξασθενεί την ισχύ του σήματος κλπ.

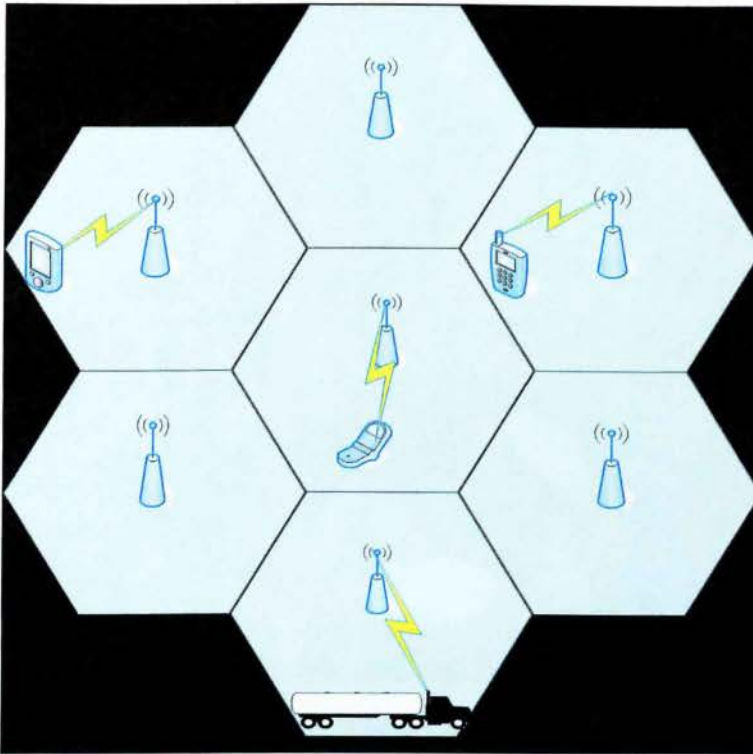
Όλοι αυτοί οι παράγοντες (απώλειες ελεύθερου χώρου) επιδρούν διαφορετικά σε σήματα διαφορετικών συχνοτήτων. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται στρέβλωση και πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπ' όψιν όταν μεταδίδονται σήματα που εμπεριέχουν διαφορετικές συχνότητες. Ότι δεν ανήκει στην προς μετάδοση πληροφορία ονομάζεται θόρυβος και είναι είτε θερμικός (προκαλείται από τις κεραίες, εξαρτάται από τη θερμοκρασία και δεν μπορεί να εξαλειφθεί), είτε από εξωτερικές πηγές (εκπομπές που προκαλούνται ακούσια από διάφορες ηλεκτρικές συσκευές λόγω κατασκευαστικών ατελειών), είτε από παρεμβολές άλλων εκπομπών σε επικαλυπτόμενες συχνότητες.

Ο θόρυβος είναι εξίσου σημαντική επιβάρυνση στην επικοινωνία, με τις απώλειες ελεύθερου χώρου. Ένα άλλο φαινόμενο που ενυπάρχει στην ασύρματη μετάδοση και επιβαρύνει την επικοινωνία είναι οι πολλαπλές οδεύσεις, που οφείλονται στην ανάκλαση, διάθλαση και σκέδαση του σήματος κατά τη διάδοση του και έχουν ως αποτέλεσμα ένα σήμα να φτάνει στον αποδέκτη πολλές φορές, ή σε δόσεις, με χρονική διαφορά και διαφορετικά σήματα να φτάνουν την ίδια χρονική στιγμή παρεμβαλλόμενα το ένα στο άλλο. Το φαινόμενο όμως που δημιουργεί τα περισσότερα προβλήματα είναι οι διαλείψεις, η απότομη μεταβολή του πλάτους του σήματος, οι οποίες διαχωρίζονται σε υψίσυχνες και αργές, ενώ αντιμετωπίζονται με κάποιες τεχνικές που εκμεταλλεύονται τις πολλαπλές οδεύσεις.

## 2.2 Η Κυψέλη

Πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή των δικτύων ίσως θα ήταν αναγκαίο να γίνει μια αναφορά στις τεχνολογίες και τη μορφή λειτουργίας του λεγόμενου κυψελοειδούς τύπου δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Όπως είναι φυσικό για να γίνει εφικτή η επικοινωνία θα πρέπει να παρέχεται ηλεκτρομαγνητική κάλυψη στους χρήστες. Για το λόγο αυτό χωρίζουμε μια περιοχή που θέλουμε να καλύψουμε ηλεκτρομαγνητικά σε κυψέλες. Οι κυψέλες αυτές αντιπροσωπεύουν μια γεωγραφική περιοχή κάλυψης του δικτύου του κάθε παρόχου κινητής τηλεφωνίας.

Σε κάθε περιοχή (κυψέλη) χρειάζεται έναν Σταθμό Βάσης ( Base Stasion, BS) για να καλύψει μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις όπου ένας σταθμός βάσης εξυπηρετεί και παραπάνω κυψέλες.



**Εικόνα 17: Μια ομάδα γειτονικών κυψελών για την ηλεκτρομαγνητική κάλυψη μιας γεωγραφικής περιοχής.**

Οι γεωγραφικές περιοχές δηλαδή, απαρτίζονται από ένα σύνολο κυψελών, η μορφή των οποίων εξαρτάται κυρίως από τη μορφολογία του εδάφους, αλλά για καθαρά υπολογιστικούς λόγους έχει υιοθετηθεί η αναπαράσταση μιας κυψέλης με εξάγωνο. Οι κλήσεις σε κάθε κυψέλη εξυπηρετούνται από διαύλους (κανάλια).

Η επικοινωνία του Base Station με τον κινητό χρήστη γίνεται αμφίδρομα. Όταν το σήμα εκπέμπεται από το σταθμό βάσης προς τον χρήστη τότε έχουμε την Κάτω Ζεύξη ( DOWNLINK ). Ενώ από το χρήστη προς τον σταθμό βάσης έχουμε την Άνω Ζεύξη ( UPLINK ).

Η δομή αυτή των κυψελών παρέχει τη δυνατότητα εκτεταμένης επαναχρησιμοποίησης συχνότητας, έτσι ώστε χιλιάδες άνθρωποι να μπορούν να χρησιμοποιούν τα κινητά τηλέφωνα ταυτοχρόνως. Σε μερικές μάλιστα περιπτώσεις όπως στα δίκτυα WCDMA όλοι οι χρήστες μπορούν να εκπέμπουν στις ίδιες συχνότητες κάτι το οποίο δεν συνέβαινε στα GSM δίκτυα. Το πλεονέκτημα αυτό της επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων από γειτονικές κυψέλες οφείλεται κατά ένα λόγο και στην μικρή ισχύ εκπομπής που έχουν πλέον οι σταθμοί βάσης.

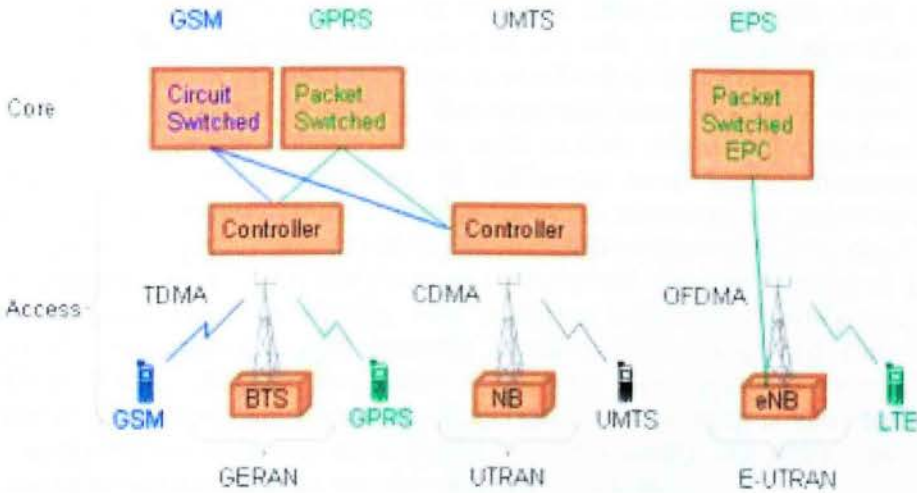


**Εικόνα 18: Μια τυπική εκδοχή Σταθμού Βάσης (B.S.)**

Η εξήγηση βρίσκεται στο γεγονός πως οι εκπομπές δεν ξεφεύγουν πλέον αρκετά έξω από την κυψέλη στην οποία βρίσκονται το κινητό τηλέφωνο κι ο σταθμός βάσης κι έτσι επιτρέπεται κι επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων από μη γειτονικές κυψέλες. Από τη άλλη, οι χαμηλής ισχύος εκπομπές δεν απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας, κατά συνέπεια, η κατανάλωση για ένα κινητό τηλέφωνο είναι μικρή, όσο χρειάζεται για μια μικρού μεγέθους μπαταρία. Ένα σημείο σημαντικό είναι ότι, προκειμένου να επιτευχθεί ένα τέτοιο σύστημα με κυψέλες, χρειάζεται στη γεωγραφική περιοχή να υπάρχουν πολλοί σταθμοί βάσης και πύργοι-κεραίες εκπομπής. Επειδή όμως είναι αρκετοί οι χρήστες των κινητών τηλεφώνων, το κόστος ανά χρήστη παραμένει χαμηλό. Να σημειώσουμε εδώ ότι και τα κινητά τηλέφωνα έχουν επίσης πλέον μικρής ισχύος πομπούς.

## 2.3 Δομικά Στοιχεία Κυψελωτών Συστημάτων

Τα συστήματα κινητών επικοινωνιών έχουν σαν στόχο την παροχή υπηρεσιών σε κινητά τερματικά τα οποία εμφανίζουν μεγάλη διασπορά σε αστικές, ημιαστικές και αγροτικές περιοχές. Η μεγαλύτερη απαίτηση για αυτά τα συστήματα είναι η εξυπηρέτηση των τερματικών τα οποία κινούνται με υψηλές ταχύτητες.



**Εικόνα 19: Δομή συστημάτων κινητής επικοινωνίας**

Ο κινητός σταθμός (Mobile Station – MS ή User Equipment – UE) επικοινωνεί με το Σταθμό Βάσης (Base Transceiver Station – BTS ή NodeB – NB ή E-NodeB–eNB) χρησιμοποιώντας τους διαθέσιμους ραδιοδιαύλους και την αντίστοιχη ραδιοεπαφή. Με τον όρο ραδιοεπαφή (air-interface ή radio-interface) εννοούμε το σύνολο των κανόνων που καθορίζουν πώς γίνεται η πρόσβαση στο ραδιοδίαυλο. Για όλα τα στοιχεία του συστήματος που επικοινωνούν μεταξύ τους, υπάρχουν συγκεκριμένες διεπαφές. Με τον όρο κινητός σταθμός εννοούμε όλα τα τερματικά, είτε χειρός είτε φορητά (π.χ Laptop, PDA, Mobile Phones, Smart Phones, Tablets). Οι Σταθμοί Βάσης είναι οι σταθεροί σταθμοί του δικτύου που χρησιμοποιούνται για τη ραδιοεπικοινωνία με τους κινητούς σταθμούς. Ένας Σταθμός Βάσης είναι εγκατεστημένος είτε στο κέντρο είτε στα όρια μιας περιοχής κάλυψης και αποτελείται από τις κεραίες εκπομπής και λήψης, συνήθως πάνω σε ιστό, καθώς και από τους αντίστοιχους πομποδέκτες.

Κάθε (BTS ή nodeB) συνδέεται με το δίκτυο κορμού (backbone network) του παροχέα, μέσω ενός ελεγκτή που καλείται BSC ή RNC (Base Station Controller ή Radio Network Controller). Πολλοί BSC ή RNC συνδέονται σε ένα κέντρο μεταγωγής (Mobile Switching Center – MSC) που διαχειρίζεται και δρομολογεί τις κλήσεις σε μια μεγάλη περιοχή εξυπηρέτησης. Συνήθως ένα από τα MSC αναλαμβάνει και τη διασύνδεση του δικτύου κινητών επικοινωνιών (Public Land Mobile Network – PLMN) με το σταθερό δίκτυο επικοινωνιών (Public Subscriber Telephone Network – PSTN) ή (Integrated Services Digital Network – ISDN) και ονομάζεται GMSC (Gateway Mobile Switching Center).

Η βασική ιδέα των κυψελωτών συστημάτων είναι ο περιορισμός της εκπεμπόμενης ισχύος του Σταθμού Βάσης, ώστε να περιοριστεί η έκταση της κάλυψης σε μια μικρή γεωγραφική περιοχή, που καλείται κυψέλη (cell), και η επαναχρησιμοποίηση των ραδιοδιαύλων του Σταθμού Βάσης από άλλους Σταθμούς Βάσης που βρίσκονται σε κάποια απόσταση.

Συνήθως κάθε κυψέλη εξυπηρετείται από ένα Σταθμό Βάσης και, κατά την μετάβαση ενός χρήστη από μια κυψέλη σε μια νέα, το σύστημα φροντίζει τη σύνδεση του τερματικού (MS ή UE) με το νέο Σταθμό Βάσης. Αν το τερματικό βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής, τότε συνήθως ανταλλάσσονται μηνύματα ελέγχου μεταξύ τερματικού και δικτύου ώστε να είναι πάντα γνωστή η κυψέλη στην οποία κινείται το τερματικό. Η διαδικασία αυτή λέγεται περιαγωγή (roaming) και καλύπτει επίσης την περίπτωση το τερματικό να βρίσκεται σε περιοχή που εξυπηρετείται από άλλο δίκτυο PLMN από εκείνο στο οποίο είναι συνδρομητής. Αν κατά τη μετάβαση του τερματικού από μια κυψέλη σε μια άλλη υπάρχει κλήση σε εξέλιξη, τότε το δίκτυο συνήθως φροντίζει για τη συνέχιση της κλήσης χωρίς διακοπή, συνδέοντας το τερματικό στο νέο Σταθμό Βάσης. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται μεταπομπή ή διαπομπή (handoff ή handover) και μπορεί να συμβεί ακόμα και μέσα στην ίδια κυψέλη, μεταφέροντας την κλήση σε ραδιοδιάυλο που παρουσιάζει καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τον εξυπηρετούμενο διάυλο.

Τα βασικά τεχνολογικά χαρακτηριστικά ενός κυψελωτού συστήματος είναι η τεχνολογία της ραδιομετάδοσης και η τεχνολογία των υπολογιστών. Οι δύο βασικές λειτουργίες ενός κυψελωτού συστήματος είναι οι εξής:

- πρέπει να εντοπίζει και να παρακολουθεί τους Κινητούς Σταθμούς.
- πρέπει πάντα να προσπαθεί να συνδέσει τους Κινητούς Σταθμούς στους βέλτιστους διαθέσιμους Σταθμούς Βάσης.

Η δεύτερη λειτουργία απαιτεί τη συνεχή αξιολόγηση της ποιότητας της ραδιοζεύξης με το Σταθμό Βάσης που εξυπηρετεί τον Κινητό Σταθμό, αλλά και με εναλλακτικούς Σταθμούς Βάσης. Αυτή η συνεχής παρακολούθηση εκτελείται από ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί τη γνώση των αξιολογήσεων της ποιότητας των ραδιοζεύξεων και σε συνδυασμό με τη γνωστή τοπολογία του συστήματος και τη ροή της τηλεπικοινωνιακής κίνησης, αποφασίζει για το βέλτιστο Σταθμό Βάσης με τον οποίο θα συνδεθεί ένας κινητός σταθμός.

Στόχος όλων των σύγχρονων ψηφιακών τεχνικών είναι η μείωση του χρόνου παρακολούθησης και ελέγχου με αποτελέσματα μεγάλης ακριβείας. Το μέγεθος των κυψελών, η δυνατότητα των ραδιοζεύξεων να αντεπεξέρχονται σε παρεμβολές και η δυνατότητα του συστήματος να αντιδρά σε μεταβολές της κίνησης, είναι οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν τη φασματική απόδοση των κυψελωτών συστημάτων.

## 2.4 Γενικές Αρχές Διάδοσης Ραδιοκυμάτων

Με τον όρο διάδοση ραδιοκυμάτων εννοούμε την όδευση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και τη μεταφορά Η/Μ ενέργειας από μια κεραία πομπού σε μια κεραία δέκτη σε περιβάλλον που συμμετέχουν τόσο το έδαφος και η τροπόσφαιρα ή η ιονόσφαιρα, όσο και διαφορετικές φυσικές ή τεχνητές κατασκευές. Στα συστήματα κινητών επικοινωνιών η ενέργεια καταφθάνει στο

δέκτη, είτε πρόκειται για Κινητό Σταθμό είτε για Σταθμό Βάσης, ακολουθώντας διαφορετικά μονοπάτια διάδοσης, με αποτέλεσμα τα αφικνούμενα ραδιοκύματα, που το καθένα καταφθάνει από διαφορετική κατεύθυνση και με διαφορετική χρονική καθυστέρηση, να αθροίζονται διανυσματικά στην κεραία του δέκτη. Το φαινόμενο αυτό της άφιξης πολλαπλών εκδόσεων του εκπεμπόμενου σήματος ονομάζεται πολυδιαδρομική διάδοση (multipath propagation) και έχει σαν αποτέλεσμα την αφαιρετική ή την αθροιστική συμβολή των ραδιοκυμάτων, ανάλογα με την κατανομή των φάσεων στα επιμέρους κύματα.

Οι μηχανισμοί διάδοσης των ραδιοκυμάτων, εκτός της απευθείας συνιστώσας είναι τρεις:

- Η ανάκλαση (reflection), που συμβαίνει όταν ένα εκπεμπόμενο ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσκρούει σε μια λεία επιφάνεια με πολύ μεγάλες διαστάσεις συγκρινόμενες με το μήκος κύματος του RF σήματος.
- Η περίθλαση (diffraction), που συμβαίνει όταν ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη υπάρχει φυσικό ή τεχνητό εμπόδιο με μεγάλες διαστάσεις συγκρινόμενες με το μήκος κύματος, το οποίο προκαλεί την εμφάνιση δευτερευόντων κυμάτων πίσω από το εμπόδιο σύμφωνα με την αρχή του Huygens. Η περίθλαση είναι ένα φαινόμενο που ερμηνεύει τη μεταφορά Η/Μ ενέργειας από τον πομπό στο δέκτη χωρίς την απαραίτητη ύπαρξη απευθείας μονοπατιού μεταξύ τους.
- Η σκέδαση ή διάχυση (diffuse scattering) που συμβαίνει όταν ένα σήμα προσκρούει είτε σε μια μεγάλη τραχιά επιφάνεια ή σε επιφάνεια της οποίας οι διαστάσεις είναι της τάξης του μήκους κύματος ή μικρότερες, με αποτέλεσμα η ανακλώμενη ενέργεια να διασκορπίζεται σε όλες τις κατευθύνσεις.

Οι τρεις αυτοί μηχανισμοί είναι υπεύθυνοι για την ύπαρξη των πολλαπλών αντιτύπων του εκπεμπόμενου σήματος στην κεραία του δέκτη. Οι πολυδιαδρομικές συνιστώσες καταφθάνουν στο δέκτη με χαρακτηριστικά (πλάτος, φάση και χρόνο άφιξης) ολισθημένα ως προς τα χαρακτηριστικά της απευθείας συνιστώσας. Η επίδραση του ραδιοδιαύλου στο εκπεμπόμενο σήμα είναι πολλαπλή και γίνεται αισθητή κυρίως με τις απώλειες διάδοσης (path loss) και το φαινόμενο των διαλείψεων μικρής κλίμακας (small scale fading) και των διαλείψεων μεγάλης κλίμακας (large scale fading).

Οι απώλειες διάδοσης στις οποίες έχει αποδοθεί ο όρος εξασθένιση, καθορίζουν την εξάρτηση της μείωσης της μέσης ισχύος του λαμβανόμενου σήματος από την απόσταση πομπού-δέκτη. Το λαμβανόμενο όμως σήμα δεν μπορεί να περιγράψει αποκλειστικά και ντετερμινιστικά μόνο από την απόσταση πομπού-δέκτη. Η σκίαση από φυσικά ή τεχνητά εμπόδια και η χωρικά μεταβαλλόμενη πολυδιαδρομική διάδοση είναι οι κύριες αιτίες για την εμφάνιση του φαινομένου των διαλείψεων μικρής και μεγάλης κλίμακας, δηλαδή της μεταβολής του πλάτους ή της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος με τη μικρή ή και μεγάλη μετατόπιση του δέκτη. Ανάλογα δε με την ένταση των φαινομένων, μπορούμε να παρατηρήσουμε απλά τυχαίες μεταβολές στο πλάτος του λαμβανόμενου σήματος, δηλαδή επίπεδες διαλείψεις (flat fading)

ή ακόμη και διασυμβολική παρεμβολή (intersymbol interference) ή διαλείψεις επιλεκτικές ως προς τη συχνότητα (frequency selective fading).

Τέλος, οι παρεμβολές από χρήστες του ίδιου ή άλλου συστήματος που λειτουργεί στην ίδια ζώνη συχνοτήτων, αποτελούν ένα εξίσου σημαντικό πρόβλημα κατά τη διάδοση στο ραδιοδίαυλο.

## 2.5 Τεχνικές Διπλεξίας (DUPLEX)

### 2.5.1 Δίαυλοι Επικοινωνίας

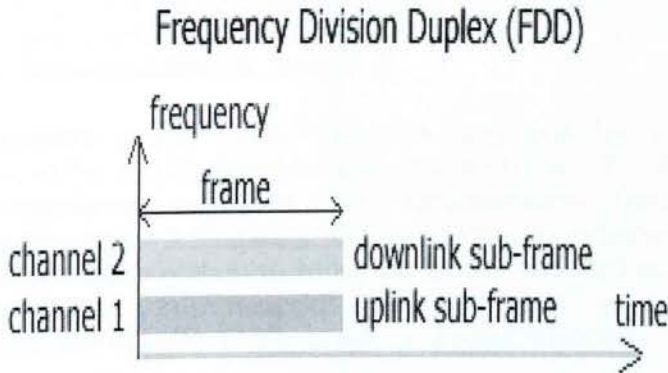
Τα ασύρματα συστήματα ραδιομετάδοσης χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την κατεύθυνση μετάδοσης της πληροφορίας. Τα simplex, τα half-duplex και τα full-duplex συστήματα. Στα simplex η επικοινωνία είναι δυνατή μόνο στη μια κατεύθυνση, με κλασικό παράδειγμα τα συστήματα τηλειδιοποίησης. Στα half-duplex συστήματα έχουμε αμφίδρομη αλλά όχι ταυτόχρονη επικοινωνία, χρησιμοποιείται δηλαδή ένας δίαυλος και για τις δύο κατευθύνσεις και συνεπώς ο χρήστης, μια δεδομένη χρονική στιγμή μπορεί μόνο να εκπέμπει ή μόνο να λαμβάνει. Κλασικά παραδείγματα είναι τα ραδιοσυστήματα των οργανισμών κοινής ωφέλειας (π.χ. ΕΚΑΒ, ΔΕΗ, ΟΤΕ, ΥΠΑ) τα οποία καλύπτουν ανάγκες για ασύρματη επικοινωνία από διασκορπισμένους Κινητούς Σταθμούς προς το κέντρο επιχειρήσεων. Στα full-duplex συστήματα έχουμε ταυτόχρονη εκπομπή και λήψη μεταξύ χρηστών και Σταθμών Βάσης. Το σύστημα παρέχει δύο ταυτόχρονους διαύλους για την επικοινωνία στις δύο κατευθύνσεις. Η κατεύθυνση από τον Σταθμό Βάσης προς τον κινητό σταθμό καλείται και ευθεία (forward) ή κάτω-ζεύξη (down link-DL), ενώ από τον κινητό σταθμό προς τον Σταθμό Βάσης καλείται αντίστροφη (reverse) ή άνω-ζεύξη (up link-UL). Οι δύο δίαυλοι είτε χρησιμοποιούν διαφορετική συχνότητα για την ευθεία και την αντίστροφη ζεύξη, οπότε προκύπτει σύστημα Frequency Division Duplex (FDD), είτε χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα αλλά γειτονικές χρονοσχισμές (timeslot), οπότε προκύπτει σύστημα Time Division Duplex (TDD).

### 2.5.2 Frequency Division Duplex (FDD)

Στα FDD συστήματα για την υποστήριξη της πλήρους αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ του σταθμού βάσης και του χρήστη, διατίθεται μια συχνότητα για το uplink και μια διαφορετική συχνότητα για downlink. Για την μείωση των παρεμβολών μεταξύ των δυο ταυτόχρονων εκπομπών (άνω και κάτω ζεύξης) οι δύο συχνότητες που χρησιμοποιούνται, διαχωρίζονται με ένα συγκεκριμένο διάστημα φύλαξης στο πεδίο των συχνοτήτων.



Το γεγονός ότι το εύρος ζώνης που έχει αποδοθεί σε κάθε κανάλι στο FDD είναι ίσο και σταθερό, καθιστά το σύστημα ιδανικό για την εξυπηρέτηση συμμετρικών υπηρεσιών, όπως η μετάδοση φωνής όπου η ίδια η παρόμοια πληροφωρία μεταφέρεται και στις δύο κατευθύνσεις.



**Εικόνα 20 : Λειτουργία FDD**

Τα σημαντικά πλεονεκτήματα της FDD τεχνικής είναι η συνεχής εκπομπή τόσο στην UL όσο και στην DL ζεύξη. Ένα δεύτερο πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της FDD τεχνικής είναι η μεγάλη ανοχή στις παρεμβολές λόγω της μεγάλης συνήθως φασματικής απόστασης της UL και της DL ζεύξης. Στα κυβελωτά συστήματα υπάρχει πάντα ομοδιαυλική παρεμβολή από το Σταθμό Βάσης στον Κινητό Σταθμό και αντίστροφα.

Η FDD τεχνική έχει όμως ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα. Πρώτον, οι δίαυλοι στην UL και DL ζεύξη είναι ασυσχέτιστοι και έχουν διαφορετικές συναρτήσεις μεταφοράς. Δεύτερον, με την FDD τεχνική δεν είναι δυνατή η μεταβλητή απόδοση εύρους ζώνης των διαύλων στις δύο ζεύξεις UL και DL. Δηλαδή, δεν υποστηρίζεται η ασυμμετρία των ζεύξεων που αναμένεται να κυριαρχήσει ως χαρακτηριστικό με την εισαγωγή των υπηρεσιών δεδομένων, όπως στην πρόσβαση στο διαδίκτυο.

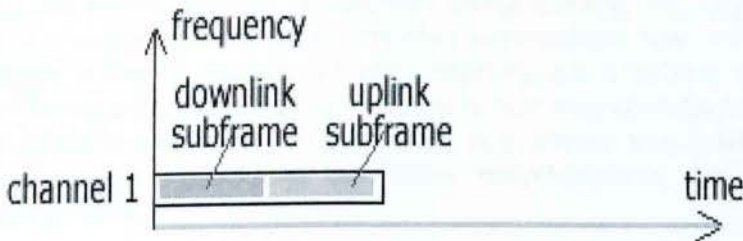
Τέλος, λόγω του ζευγαρώματος των διαύλων στις δύο ζεύξεις DL και UL, είναι δύσκολη έως αδύνατη η ευέλικτη απόδοση φάσματος στο σύστημα, ιδιαίτερα στα πλαίσια των γνωσιακών ραδιοσυστημάτων (cognitive radios), όπου η απόδοση γίνεται δυναμικά με βάση τη διαθεσιμότητα και τις υπάρχουσες υπηρεσίες.

### 2.5.3 Time Division Duplex (TDD)

Η υλοποίηση των TDD συστημάτων είναι δυνατή μόνο με ψηφιακές τεχνικές και απαιτεί τη χρήση χρονικών διαστημάτων φύλαξης (guard times) μεταξύ των χρονικών σχισμών σε ένα χρονοπλαίσιο. Με τη TDD τεχνική γίνεται δυνατή η ευέλικτη απόδοση πόρων στις δύο ζεύξεις. Σε κάθε κανάλι συνυπάρχουν ένα υποπλαίσιο DL και ένα UL.

Τα TDD συστήματα χρησιμοποιούν δύο διαστήματα φύλαξης, ένα κατά τη μετάβαση από τη DL στη UL ζεύξη και ένα από την UL στη DL. Αυτά τα δύο διαστήματα ονομάζονται αντίστοιχα TTG (Transmit/receive Transition Gap) και RTG (Receive/transmit Transition Gap). Τα δύο διαστήματα πρέπει να είναι ικανά να απορροφούν τόσο το χρόνο μετάβασης του εξοπλισμού από τη λειτουργία εκπομπής στη λειτουργία λήψης, όσο και την καθυστέρηση διάδοσης μεταξύ των Κινητών Σταθμών και του Σταθμού Βάσης.

#### Time Division Duplex (TDD)



Εικόνα 21 : Λειτουργία TDD

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της TDD τεχνικής είναι η αμοιβαιότητα (reciprocity) του διαύλου. Όταν το τερματικό εκτιμά το δίαυλο στη μια κατεύθυνση, μπορεί να χρησιμοποιήσει την πληροφορία για την κατάσταση του διαύλου στην άλλη κατεύθυνση, χωρίς σφάλμα. Ένα άλλο πολύ σημαντικό είναι η δυνατότητα που προσφέρει για δυναμική απόδοση του φάσματος μεταξύ των δύο κατευθύνσεων UL και DL. Στα TDD συστήματα, τα σήματα τόσο στην UL όσο και στην DL ζεύξη χρησιμοποιούν μεγαλύτερο εύρος ζώνης, γεγονός που βελτιώνει το πλεονέκτημα διαφορισμού στη συχνότητα. Επιπλέον, το γεγονός ότι δεν απαιτούνται ζευγάρια διαύλων για τις δύο κατευθύνσεις κάνει πιο εύκολη την απόδοση φάσματος και πάντως πολύ πιο εύκολη από τα αντίστοιχα FDD συστήματα. Τέλος, το κόστος υλικού των TDD συστημάτων είναι μειωμένο εξαιτίας αφενός μεν της χρήσης ενός τοπικού ταλαντωτή για τις δύο ζεύξεις, αφετέρου δε της απουσίας του διπλέκτη λόγω της μη ταυτόχρονης ύπαρξης των δύο ζεύξεων στο τερματικό. Περιληπτικά, χρησιμοποιούμε FDD συστήματα σε περιπτώσεις που θέλουμε κάλυψη μεγάλων αποστάσεων με υψηλή ισχύ εκπομπής και TDD συστήματα σε περιπτώσεις όπου έχουμε περιορισμένο εύρος ζώνης και πυκνή δομή

επαναχρησιμοποίησης. Επίσης το TDD είναι μια πιο επιθυμητή τεχνική αμφιδρόμησης, καθώς επιτρέπει στο χειριστή του δικτύου να εκμεταλλευτεί στο έπακρο το διαθέσιμο εύρος ζώνης και τον τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό, καθώς καλύπτει τις ανάγκες του κάθε χρήστη ξεχωριστά.

## 2.6 Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης

Ένα θεμελιώδες αποτέλεσμα της θεωρίας των τηλεπικοινωνιών είναι ότι διαφορετικοί χρήστες μπορούν να μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης, όταν τα σήματα τους είναι ορθογώνια μεταξύ, δηλαδή η ετεροσυσχέτιση τους, που δίνει το μέτρο της ομοιότητας τους, είναι μηδενική. Η ορθογωνιότητα των συστημάτων μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση των βασικών ιδιοτήτων των σημάτων. Η κατανομή του εύρους ζώνης με απόδοση αποκλειστικών διαύλων καλείται πολλαπλή πρόσβαση. Μια καλή τεχνική μπορεί να βελτιώσει τη χωρητικότητα του συστήματος, να ελαττώσει το κόστος και να κάνει τις υπηρεσίες περισσότερο ελκυστικές στους χρήστες. Όσον αφορά τη σχεδίαση της πολλαπλής πρόσβασης των συστημάτων κινητών επικοινωνιών, υπάρχουν τρεις βασικές παράμετροι: ευελιξία, ποιότητα και χωρητικότητα. Η ευελιξία έχει να κάνει με τη δυνατότητα ολοκληρωμένης κίνησης φωνής, δεδομένων και βίντεο και στη δυνατότητα αντιμετώπισης της περιαγωγής (roaming) του τερματικού. Ποιότητα σημαίνει ικανοποίηση των απαιτήσεων της υπηρεσίας όπως οι περιορισμοί καθυστέρησης και απώλειας πακέτων. Χωρητικότητα σημαίνει ότι ο αριθμός των χρηστών που εξυπηρετούνται θα πρέπει να μεγιστοποιηθεί για το εύρος ζώνης συχνοτήτων που διατίθεται. Οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης αποδίδουν αποκλειστικούς διαύλους σε πολλαπλούς χρήστες.

Κυριώτερο σύστημα	Τεχνική Πολλαπλής Πρόσβασης
Advanced Mobile Phone System (AMPS)	FDMA FDD
Global System for Mobile (GSM)	TDMA FDD
U.S Digital Cellular (USDC)	TDMA FDD
Digital European Cordless Telephone (DECT)	TDMA TDD
cdma 2000	CMDA FDD
UMTS (UTRA-FDD)	WCDMA FDD
UMTS (UTRA-TDD)	WCDMA TDD

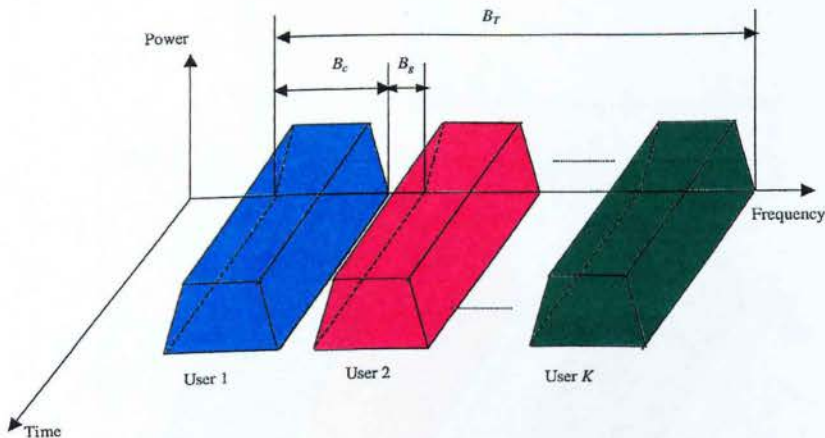
**Εικόνα 22 : Χρησιμοποιούμενες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης από διάφορα συστήματα κινητών επικοινωνιών παγκοσμίως**

Ο στόχος της πολυπλεξίας είναι το δίκτυο να μπορεί να εξυπηρετήσει όσο το δυνατόν περισσότερους χρήστες με χρήση του ίδιου bandwidth. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνικές multiplexing είναι :

- Σύστημα Πολλαπλής Πρόσβασης με Διαίρεση Συχνότητας (FDMA)
- Σύστημα Πολλαπλής Πρόσβασης με Διαίρεση Χρόνου (TDMA)
- Σύστημα Πολλαπλής Πρόσβασης με Διαίρεση Κώδικα (CDMA)
- Σύστημα Πολλαπλής Πρόσβασης με Διαίρεση Χώρου (SDMA)
- Σύστημα Ορθογώνιας Πολλαπλής Πρόσβασης με Διαίρεση συχνότητας (OFDMA)
- Σύστημα Πολλαπλής Πρόσβασης με Διαίρεση Συχνότητας Μονού Φέροντος (SC-FDMA)

## 2.6.1 FDMA

Στα FDMA (Frequency Division Multiple Access) κάθε κλήση τοποθετείται σε ξεχωριστή συχνότητα (κυρίως αφορά στα αναλογικά συστήματα). Στην FDMA τεχνολογία τα φάσμα ( $B_T$ ) διαιρείται σε ευδιάκριτα κανάλια φωνής, όπου το κάθε κανάλι έχει το ίδιο bandwidth ( $B_c$ ) με τα υπόλοιπα. Για την σωστή λειτουργία του συστήματος, ανάμεσα σε κάθε κανάλι που δημιουργήθηκε από τη διαίρεση αφήνεται ένα guard band ( $B_g$ ). Το Guard band είναι ένα μέρος του bandwidth ανάμεσα σε δύο συνεχόμενα κανάλια το οποίο δεν χρησιμοποιείται από κανένα κανάλι ώστε να αποφευχθεί η επικάλυψη συχνοτήτων δύο γειτονικών καναλιών. Λειτουργεί παρόμοια με τους ραδιοφωνικούς σταθμούς, κάθε σταθμός στέλνει το σήμα του σε διαφορετική συχνότητα μέσα στην διαθέσιμη μπάντα/ ζώνη. Στην αρχή κάθε κλήσης παραχωρείται στο χρήστη ένα κανάλι το οποίο και χρησιμοποιεί αποκλειστικά αυτός για όλο το χρονικό διάστημα της κλήσης του.

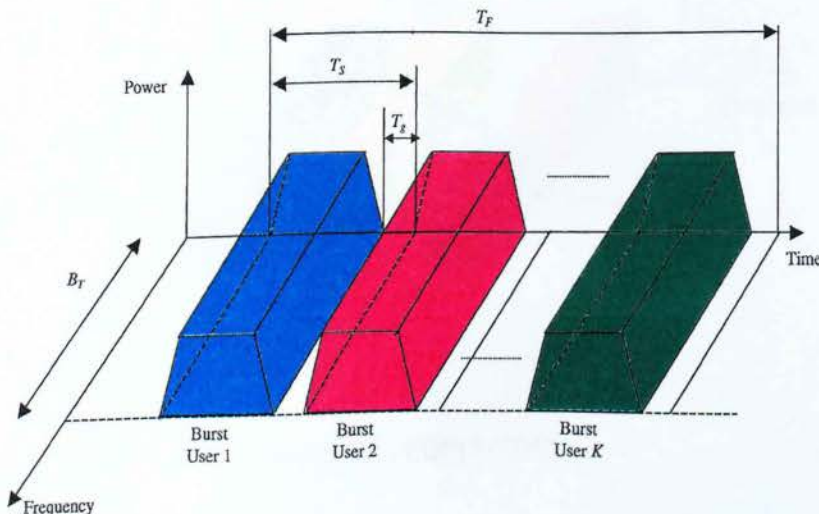


Εικόνα 23 : FDMA

Επίσης δεν είναι απαραίτητος ο συγχρονισμός μεταξύ του σταθμού εκπομπής και αυτού της λήψης και ο κάθε χρήστης δεν δημιουργεί παρεμβολή στους υπόλοιπους χρήστες γύρω του. Το FDMA είναι ικανό να μεταφέρει ψηφιακή πληροφορία, ωστόσο δεν είναι η πιο αποδοτική μέθοδος για ψηφιακή μετάδοση, γι' αυτό χρησιμοποιήθηκε κατά κύριο λόγο στις αναλογικές τεχνολογίες. Τέλος παρόλο που η FDMA τεχνική είναι σχετικά η πιο απλή δεν είναι πολύ ευέλικτη καθώς για να προσθέσουμε ένα νέο χρήστη χρειάζονται τροποποιήσεις στον εξοπλισμό του συστήματος.

### 2.6.2 TDMA

Στα TDMA (Time division multiple access) εκχωρείται σε κάθε κλήση μια συγκεκριμένη μερίδα χρόνου (χρονοθυρίδα) σε μια οριζόμενη συχνότητα. Στην TDMA τεχνολογία, ο πόρος είναι ο χρόνος. Η πληροφορία από όλους τους χρήστες μαζί στέλνεται σε frames, τα οποία έχουν προκαθορισμένο μέγεθος. Υπάρχει λοιπόν ένα κανάλι, ή αλλιώς μια στενή ζώνη εύρους, το frame το οποίο διαιρείται ισόχρονα σε χρονοθυρίδες (time slots). Ο κάθε χρήστης εκπέμπει σε μία προκαθορισμένη χρονοθυρίδα και χρησιμοποιεί όλο το διαθέσιμο εύρος του καναλιού. Μεταξύ δύο συνεχόμενων time slot ( $T_s$ ) μέσα σε ένα frame πρέπει να έχουμε αφήσει ένα μικρό χρονικό διάστημα ελεύθερο, το guard period ( $T_g$ ) για να αποφεύγονται τυχών επικαλύψεις. Αυτή η τεχνική είναι εφικτή πλέον επειδή η ομιλία-ήχος μπορεί να μετατραπεί σε ψηφιακά δεδομένα και αυτά να συμπιεστούν, κι έτσι να δεσμεύουν λιγότερο χρόνο εκπομπής. Σε ένα χρήστη μπορεί να δοθούν και παραπάνω της μίας χρονοθυρίδας. Με αυτόν τον τρόπο, το TDMA σύστημα προσφέρει πολλαπλάσια χωρητικότητα από ένα αντίστοιχο αναλογικό σύστημα, που χρησιμοποιεί τον ίδιο αριθμό καναλιών.

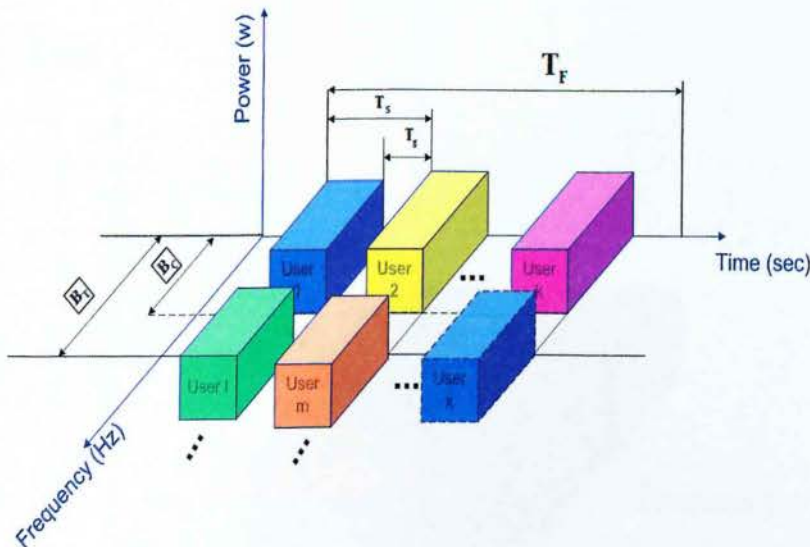


Εικόνα 24 : TDMA

Ένα από τα μειονεκτήματα αυτής της τεχνικής είναι ότι το κάθε time slot έχει συγκεκριμένη χρονο-απόσταση μέσα στο frame, ανεξάρτητα αν μεταφέρει δεδομένα ή όχι. Επίσης χρειάζεται συγχρονισμός μεταξύ του εκπομπού και του δέκτη. Στα πλεονεκτήματα της τεχνικής αυτής ανήκει το γεγονός πως δεν χρειάζεται να γίνεται έλεγχος της εκπεμπόμενης ισχύος από τους χρήστες, όπως και το ότι ένα τέτοιο σύστημα ρυθμίζεται σχετικά εύκολα. Καθώς όλοι οι χρήστες λαμβάνουν και εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα. Ψηφιακά συστήματα όπως το GSM χρησιμοποιούν την TDMA τεχνική. Στο GSM κάθε κανάλι είχε εύρος 200 KHz. Ενώ κάθε frame αποτελείται από 8 time slots. Οπότε το σύστημα μπορεί να εξυπηρετήσει μέχρι και 8 χρήστες ανά κανάλι με full-rate speech. Κάθε TDMA frame είναι 4.615 ms. Κάθε slot είναι 0.577 ms από τα οποία τα 0.03462ms είναι guard period.

### 2.6.3 FDMA-TDMA

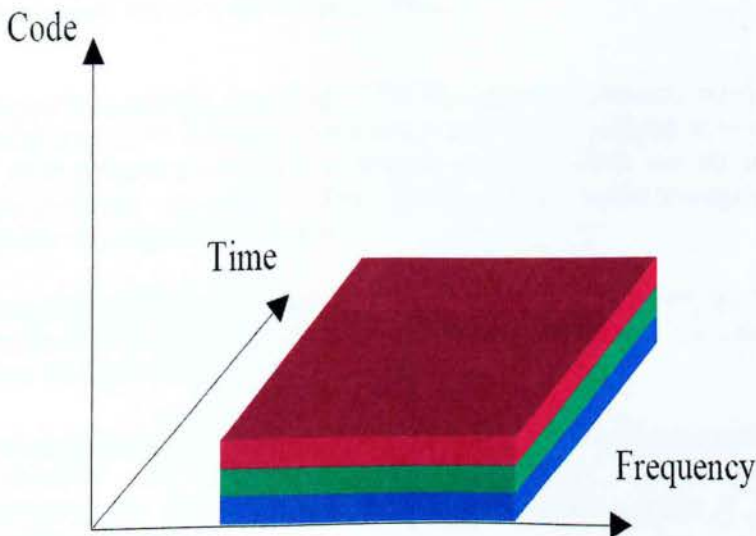
Εκτός των τριών βασικών μεθόδων, μπορούμε να προσθέσουμε και μία τέταρτη η οποία είναι απλά ένας συνδυασμός των TDMA και FDMA τεχνικών. Όπως φαίνεται και από το σχήμα κάθε χρήστης εκπέμπει σε συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων και σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Από τη στιγμή που χρησιμοποιείται μέρος της τεχνικής TDMA καταλαβαίνουμε ότι η τεχνική αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε ψηφιακά συστήματα καθώς απαιτείται ο συγχρονισμός πομπού και δέκτη. Με την τεχνική αυτή μπορούμε να αυξήσουμε αρκετά την κίνηση που διεκπεραιώνεται από μια κυψέλη, σε σχέση με τις δύο προηγούμενες τεχνικές.



Εικόνα 25 : FDMA-TDMA

## 2.6.4 CDMA/WCDMA

Στα CDMA (Code division multiple access) η κάθε κλήση αποκτά έναν μοναδικό κωδικό και διασπείρεται σε όλες τις διαθέσιμες συχνότητες. Στα συστήματα πολλαπλής πρόσβασης κώδικα (CDMA), όλοι οι χρήστες χρησιμοποιούν το ίδιο φέρον και μπορεί να μεταδίδουν ταυτόχρονα, ενώ ο κάθε χρήστης χρησιμοποιεί όλο το διαθέσιμο φάσμα. Προς τούτο το στενής ζώνης σήμα πληροφορίας κάθε χρήστη πολλαπλασιάζεται με ένα σήμα πολύ μεγάλου εύρους ζώνης, που ονομάζεται σήμα εξάπλωσης (spreading signal). Το σήμα εξάπλωσης είναι μια κωδική ακολουθία ψευδοθορύβου, η οποία έχει ρυθμό chip που είναι τάξεις μεγέθους μεγαλύτερος από τον ρυθμό bit του σήματος πληροφορίας. Το σήμα πληροφορίας κάθε χρήστη διαμορφώνεται από μία μοναδική κωδική ακολουθία, η οποία καλείται ακολουθία υπογραφής, και έχει ανατεθεί στον υπόψη χρήστη. Έτσι η διάκριση των σημάτων των χρηστών γίνεται με βάση την ακολουθία υπογραφής. Στην πλευρά του δέκτη, χρησιμοποιείται μια κωδική ακολουθία προσαρμογής για την επανασυμπύεση του εύρους ζώνης και τη λήψη των αρχικών δεδομένων. Με αυτήν τη διαδικασία εξάπλωσης και επανασυμπύεσης όλες οι άλλες ταυτόχρονες μεταδόσεις στον δίαυλο θα δρουν ως πρόσθετη παρεμβολή στο επιθυμητό σήμα και μπορούν να απομακρυνθούν εντελώς, εάν οι κώδικες είναι ορθογώνιοι. Εάν υπάρχουν αρκετοί δέκτες στον σταθμό βάσης, είναι δυνατό να έχουμε πολλαπλές επιτυχείς λήψεις. Η CDMA έχει ήδη υιοθετηθεί για επικοινωνία φωνής, αλλά μπορεί ταυτόχρονα να υποστηρίξει και μετάδοση δεδομένων. Δεν χρειάζεται συντονισμός μεταξύ των διαφόρων χρηστών.



Εικόνα 26 : CDMA

Η τεχνική CDMA διαθέτει ορισμένα εγγενή χαρακτηριστικά, που την κάνουν πολύ χρήσιμη στις κινητές επικοινωνίες. Πρώτον, στη CDMA χρησιμοποιείται όλο το εύρος ζώνης σε κάθε κυψέλη. Δεύτερον, το εγγενές χαρακτηριστικό του να λαμβάνεται η μέση τιμή των παρεμβολών στη CDMA επιτρέπει τη σχεδίαση συστημάτων με βάση κάποιον μέσο όρο παρεμβολών, γεγονός που εξασφαλίζει μεγαλύτερη χωρητικότητα από τη σχεδίαση με βάση τη χειρότερη περίπτωση. Τρίτον, η εκμετάλλευση της δραστηριότητας της φωνής και η διαφορική λήψη συχνότητας είναι εγγενή χαρακτηριστικά της CDMA και επομένως δεν χρειάζεται επιπλέον προσπάθεια για τη χρησιμοποίησή τους, ώστε να βελτιώνεται η απόδοση του φάσματος. Τέταρτον, πιστεύεται ότι είναι δυνατόν να συνυπάρξουν τα συστήματα CDMA με τα υπάρχοντα μικροκυματικά συστήματα. Αυτό είναι ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό, ειδικά όταν οι επικαλύψεις είναι αναπόφευκτες. Τέλος, τα συστήματα CDMA προσφέρουν ήπια χαρακτηριστικά ως προς τη χωρητικότητα και τη διαπομπή, γεγονός που τα κάνει προτιμότερα για τις εφαρμογές των κινητών επικοινωνιών.

Τα δίκτυα CDMA πρωτοχρησιμοποιήθηκαν το 1996 από το σύστημα IS-95 αλλά θεωρείται η τεχνική του μέλλοντος καθώς η IMT-2000 έθεσε το WCDMA ως την τεχνική που χρησιμοποιείται για τα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς. Η μόνη διαφορά που έχει η WCDMA τεχνική, είναι ότι ενώ το CDMA χρησιμοποιεί εύρος ζώνης 1.25 MHz, το WCDMA έχει εύρος ζώνης 5 MHz.

Η WCDMA (Wideband Code-Division Multiple Access) τεχνική μπορεί να υποστηρίξει πολλές υπηρεσίες ταυτόχρονα, με διαφορετικές απαιτήσεις και με πολύ καλή ποιότητα. Τα χαρακτηριστικά που έχει αυτή η τεχνική την καθιστούν ιδανική για περιπτώσεις όπου το data-rate των χρηστών ποικίλει στο χρόνο (όπως δηλαδή συμβαίνει στην πραγματικότητα). Υπάρχουν πολλές spread spectrum τεχνικές διαθέσιμες, όπως:

Direct sequence spread spectrum (DSSS). Στην περίπτωση αυτή το σήμα κωδικοποιείται με ένα ορθογώνιο κώδικα μεγαλύτερου ρυθμού πριν σταλεί, ο οποίος είναι γνωστός μόνο στον πομπό και τον δέκτη για να μπορεί να αποκωδικοποιήσει το σήμα. Στη συνέχεια το κωδικοποιημένο σήμα διαμορφώνει την carrier συχνότητα.

Frequency-Hopping spread spectrum (FH-SS). Στην περίπτωση αυτή το σήμα που μεταδίδεται αλλάζει συχνότητα ανά τακτά χρονικά διαστήματα με έναν αλγόριθμο που τον γνωρίζει μόνο ο πομπός και ο δέκτης.

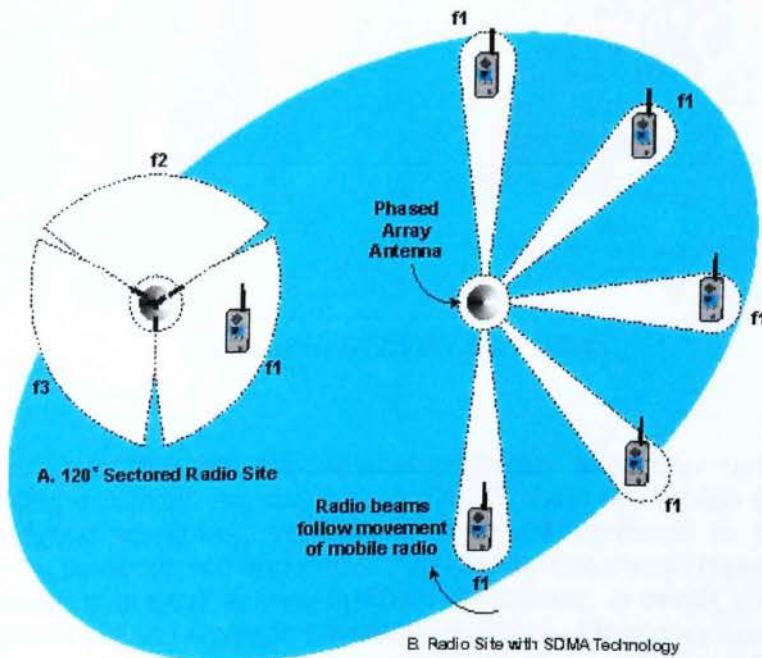
Time-hopping spread spectrum (TH-SS). Είναι μια ακόμη τεχνολογία που δεν χρησιμοποιείται όσο οι δύο πρώτες. Βασίζεται στην τεχνική της ενεργοποίησης και απενεργοποίησης της συχνότητας φορέα με βάση μια ψευδοτυχαία ακολουθία.

Επειδή η direct sequence τεχνική έχει υπερισχύσει και είναι αυτή που χρησιμοποιείται κυρίως στα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς, όταν αναφερόμαστε από εδώ και πέρα στο WCDMA θα εννοούμε την τεχνική DS-WCDMA.



## 2.6.5 SDMA

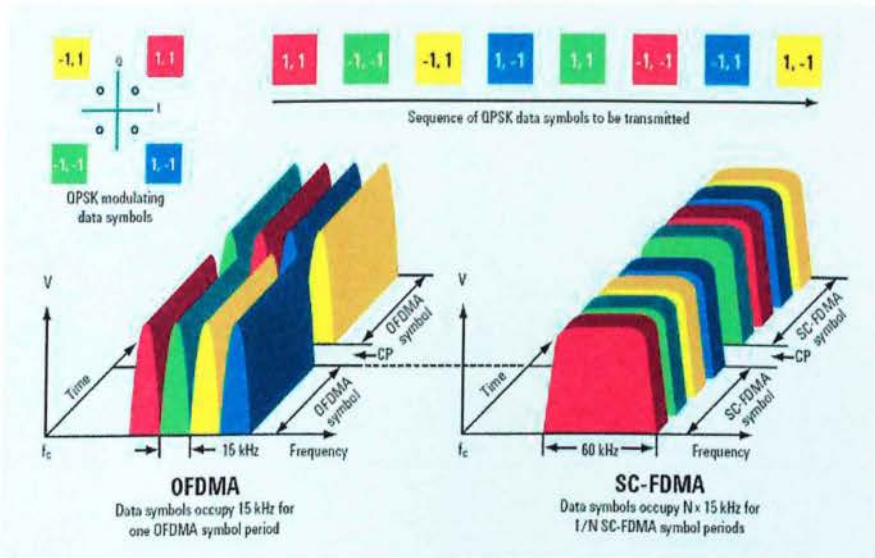
Στα SDMA (Space-Division Multiple Access) πραγματοποιείται χωρικός διαχωρισμός των χρηστών από το σταθμό βάσης ανάλογα με την θέση που κατέχει την κάθε στιγμή ο κινητός χρήστης. Η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χώρου (SDMA) ελέγχει την ακτινοβολούμενη ενέργεια από κάθε χρήστη στο χώρο. Η SDMA εξυπηρετεί διάφορους χρήστες χρησιμοποιώντας κεραίες σημειακής δέσμης. Οι διάφορες περιοχές που καλύπτονται από τις δέσμες της κεραίας μπορεί να εξυπηρετούνται από την ίδια συχνότητα (στα συστήματα TDMA ή CDMA) ή από διαφορετικές συχνότητες (στα συστήματα FDMA). Οι κεραίες με τομείς μπορεί να θεωρηθεί ως πρώτη εφαρμογή της SDMA. Αν χρησιμοποιηθούν προσαρμοστικές κεραίες στους σταθμούς βάσης, θα μπορούσαν να μετριαστούν μερικά από τα προβλήματα της ζεύξης ανόδου. Στην οριακή περίπτωση, που έχουμε δέσμες με ελάχιστο άνοιγμα και δυνατότητα ταχύτατης παρακολούθησης, οι προσαρμοστικές κεραίες υλοποιούν βέλτιστη SDMA παρέχοντας διαύλους ελεύθερους από παρεμβολές. Με την SDMA, όλοι οι χρήστες του συστήματος θα μπορούν να επικοινωνούν την ίδια χρονική στιγμή χρησιμοποιώντας τον ίδιο ραδιοδίαυλο.



Εικόνα 27 : SDMA

## 2.6.6 (OFDMA / SC-FDMA)

Η υιοθέτηση μίας προσέγγισης πολλαπλών φερουσών για την πολλαπλή πρόσβαση στο LTE ήταν η πρώτη βασική επιλογή σχεδιασμού. Τα υποψήφια σχήματα για το downlink ήταν το OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) και το Multiple WCDMA, ενώ για το uplink ήταν το SC-FDMA (Single-carrier Frequency-Division Multiple Access), OFDMA και Multiple WCDMA. Η τελική επιλογή του σχήματος πολλαπλής πρόσβασης έγινε το Δεκέμβριο του 2005 επιλέγοντας το OFDMA για το downlink και το SC-FDMA για το uplink. Και τα δύο αυτά σχήματα άνοιξαν νέες διαστάσεις ευελιξίας στο πεδίο των συχνοτήτων.



**Εικόνα 28 : OFDMA / SC-FDMA**

Η OFDMA επεκτείνει την τεχνολογία πολλαπλών φερουσών ορθογώνιας πολυπλεξίας στο πεδίο της συχνότητας (OFDM) ώστε να παρέχει ένα πολύ ευέλικτο σχήμα πολλαπλής πρόσβασης. Η OFDM υποδιαιρεί το διαθέσιμο εύρος για τη μετάδοση του σήματος σε ένα πλήθος από στενού εύρους ζώνης υποφερουσες, έτσι ώστε να είναι αμοιβαία ορθογώνιες, οι οποίες είτε η κάθε μια ξεχωριστά είτε σε μικρότερα σύνολα μπορούν να μεταφέρουν ανεξάρτητες ροές πληροφορίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μοιράζεται το διαθέσιμο εύρος μέσω των υποφερουσών σε πολλαπλούς χρήστες. Αυτή η ευελιξία μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους:

- Διαφορετικά φάσματα λειτουργίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς να απαιτούνται αλλαγές στις παραμέτρους του συστήματος ή στο σχεδιασμό των κινητών συσκευών.

- Οι πόροι μετάδοσης μπορούν να ανατεθούν σε διαφορετικούς χρήστες με την χρονοδρομολόγηση να γίνεται στο πεδίο της συχνότητας.
- Διευκολύνεται η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων και οι τεχνικές διαχείρισης της παρεμβολής μεταξύ των κυψελών.

Στο uplink η τεχνολογία SC-FDMA, που έχει πολλά κοινά ως προς την λειτουργία της με την OFDMA, παρέχει ελαφρώς υποδεέστερες επιδόσεις σε σχέση με αυτές του downlink επιλύοντας το δίλημμα του πως μπορεί το uplink να ωφεληθεί από τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας πολλαπλών φερουσών. Ταυτόχρονα αποφεύγεται το υπερβολικό κόστος για τους κινητούς τερματικούς πομπούς, πετυχαίνοντας σημαντικά χαμηλότερο Μέγιστο-προς-Μέσο λόγο ισχύος (Peak-to-average Power Ratio-PAPR) σε σχέση με την OFDMA και διατηρώντας ένα βαθμό ομοιότητας μεταξύ των τεχνολογιών του uplink και του downlink.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°**

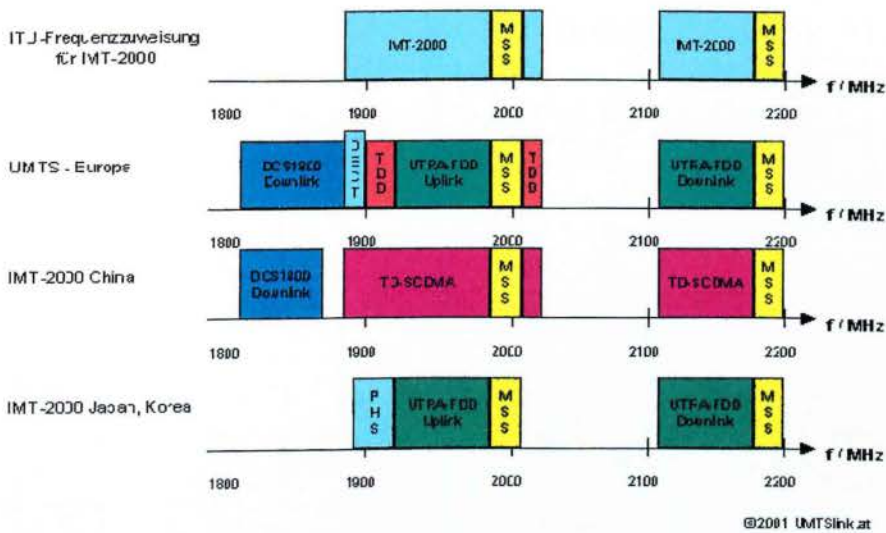
### **ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ UMTS**

### 3.1 Εισαγωγικά Στοιχεία

Το *UMTS* ( *Universal Mobile Telecommunications System* ) αποτελεί για την Ευρώπη ένα νέο σύστημα, όσον αφορά στα κινητά 3<sup>ης</sup> γενιάς (3G) και ένα από τα 3G-πρότυπα που υπάρχουν σε παγκόσμια κλίμακα. Το πρότυπο αυτό δεν έχει καθολική εφαρμογή, όπως άλλωστε δεν είχε και το GSM στα κινητά 2<sup>ης</sup> γενιάς . Η αντίστοιχη πρόταση από την πλευρά της Αμερικής είναι το CDMA-2000.

Το νέο αυτό σύστημα ανακαλύφθηκε από τη μία, προκειμένου να γίνει πιο αποτελεσματική εκμετάλλευση των είδη υπάρχουσων συχνοτήτων και από την άλλη προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις των χρηστών για υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων. Την ίδια περίοδο που εμφανίστηκαν οι παραπάνω ανάγκες, έχουμε την «έκρηξη» μιας δεύτερης τεχνολογίας, του Internet, το οποίο απαιτεί υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Έτσι οι βιομηχανίες αρχίζουν να αναζητούν ένα νέο πρότυπο, που θα είναι ικανό να ανταποκριθεί στις νέες απαιτήσεις. Άλλοι δυο λόγοι που συνέβαλαν στην αναζήτηση ενός νέου συστήματος ήταν η ανάγκη για μεγαλύτερη ασφάλεια, έναντι απειλών προερχόμενων από παρείσακτους χρήστες «hackers», καθώς και η επιθυμία για τη δημιουργία ενός ενιαίου παγκόσμιου προτύπου, στόχος που τελικά δεν επιτεύχθηκε. Στην περίπτωση των κινητών 2<sup>ης</sup> γενιάς το GSM κυριαρχεί μεν, αλλά πολλές χώρες όπως η Ιαπωνία, μεγάλο τμήμα της Αμερικής, καθώς και άλλες χώρες χρησιμοποιούν ανταγωνιστικά προς το GSM συστήματα.

Έτσι το 1992 η ITU (International Telecommunications Union), αναγνώρισε την περιοχή συχνοτήτων γύρω από τα 2GHz, ως την περιοχή όπου θα μπορούσαν να λειτουργήσουν τα κινητά τρίτης γενιάς. Τα συστήματα κινητών επικοινωνιών 3<sup>ης</sup> γενιάς αναφέρθηκαν στην ITU ορολογία ως IMT-2000 (International Mobile Telecommunications at 2000MHz). Ο ρόλος λοιπόν μιας καινούριας γενιάς κινητών είναι η δημιουργία μιας δομής που θα ανταποκρίνεται στις ανάγκες της εποχής. Και ακριβώς αυτό το ρόλο επιτελεί και το UMTS. Υιοθετεί ένα νέο τμήμα δικτύου, το *UTRAN* (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*), του οποίου η τεχνολογία διαφοροποιείται σε σχέση με αυτή του GSM συστήματος και μέσω αυτού ικανοποιούμε τις 2 πρώτες απαιτήσεις, αποδοτικότερη χρήση των συχνοτήτων και γρηγορότερη μεταφορά δεδομένων.



**Εικόνα 29 : Κατανομή συχνοτήτων για τα κινητά 3<sup>ης</sup> γενιάς**

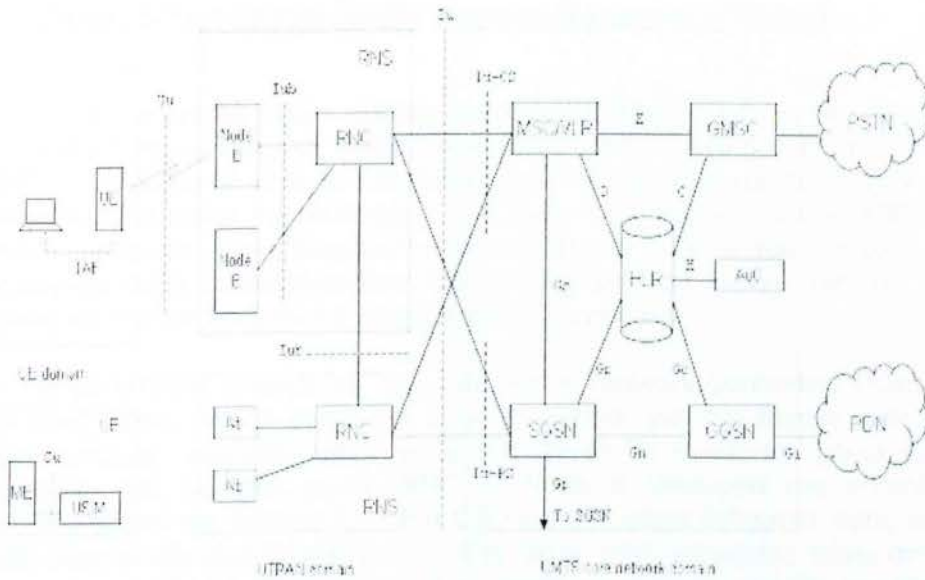
Όπως μπορούμε να διακρίνουμε από το σχήμα, η Ευρώπη έχει επιλέξει να αφιερώσει για το επίγειο κομμάτι του UMTS δικτύου (UMTS Terrestrial Radio Access Network – UTRAN):

- για τη λειτουργία FDD: την περιοχή συχνοτήτων από 1920 – 1980 MHz για την άνω ζεύξη. την περιοχή συχνοτήτων από 2110 – 2170 MHz για την κάτω ζεύξη.
- για τη λειτουργία TDD: την περιοχή συχνοτήτων 1900 – 1920 MHz την περιοχή συχνοτήτων 2010 – 2025 MHz

### 3.2 Η Αρχιτεκτονική Του Συστήματος

Ένα δίκτυο UMTS αποτελείται από 3 πεδία:

1. **User Equipment (UE)**
2. **UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)**
3. **Core Network (CN)**



**Εικόνα 30 : Γενική αρχιτεκτονική UMTS δικτύου**

Τα πεδία UE και UTRAN αποτελούνται από καινούρια πρωτόκολλα, τα οποία σχεδιάστηκαν με βάση τις ανάγκες του WCDMA. Αντίθετα το CN έχει υιοθετηθεί από το GSM. Ακολουθεί η περιγραφή του κάθε πεδίου.

### 3.2.1 User Equipment (UE)

Ο όρος User Equipment (UE) θα λέγαμε ότι ταυτίζεται με την έννοια της φορητής συσκευής. Για παράδειγμα, UE μπορεί να αποτελέσει ένα κινητό τηλέφωνο, μία συσκευή Personal Digital Assistant (PDA) ή ένας φορητός υπολογιστής. Το UE είναι συνδεδεμένο μέσω της διεπαφής Uu, που είναι βασισμένη στην τεχνολογία WCDMA, με το UTRAN. Ένα UE μπορεί να συνδεθεί ταυτόχρονα με περισσότερα του ενός κελιά. Το UE αποτελείται από δύο τμήματα:

- **Mobile equipment (ME):** είναι το τερματικό που χρησιμοποιείται για τη ραδιοεπικοινωνία. Αυτή πραγματοποιείται μέσω της διεπαφής Uu η οποία χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλές ταχύτητες (πάνω από 2Mbps).
- **UMTS Subscriber Identity Module (USIM):** πρόκειται για μία έξυπνη κάρτα που περιέχει την ταυτότητα του συνδρομητή, εκτελεί αλγορίθμους πιστοποίησης, παρέχει κλειδιά πιστοποίησης και κρυπτογράφησης όπως και κάποιες απαραίτητες πληροφορίες συνδρομής. Η κάρτα USIM είναι μία κάρτα αντίστοιχη της κάρτας SIM των δικτύων GSM. Όμως, ενώ η χωρητικότητα μίας κάρτας SIM είναι 8 ή 32 Kbytes, η χωρητικότητα της κάρτας USIM είναι τέτοια ώστε να μπορεί να αποθηκεύει προσωπικά δεδομένα της τάξης των Mbytes.

### 3.2.2 UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)

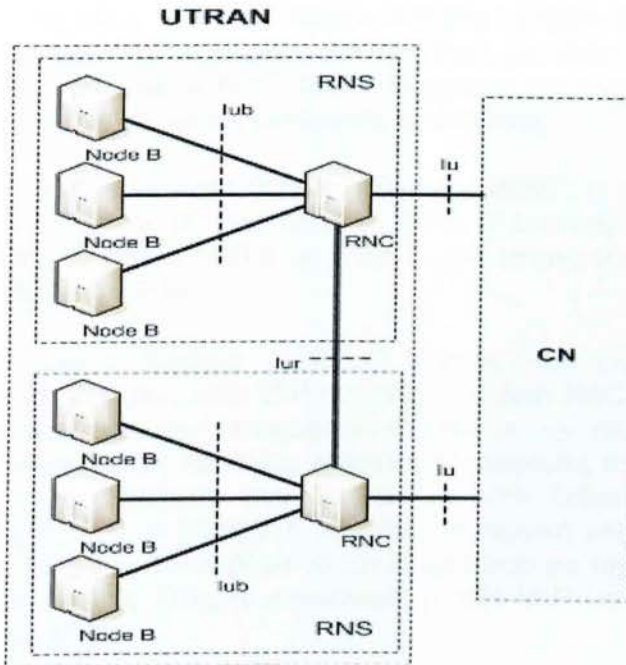
Το UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) είναι ένα νέο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης το οποίο είναι ειδικά σχεδιασμένο για το σύστημα UMTS. Διαχωρίζεται από το UE μέσω της διεπαφής Uu και από το Core Network (CN) μέσω της διεπαφής Iu. Η βασικότερη λειτουργία του UTRAN είναι η εποπτεία και η διαχείριση των ασύρματων πόρων του δικτύου. Η λειτουργία αυτή συμπεριλαμβάνει την ευθύνη για τον έλεγχο της ισχύος καθώς και την υποστήριξη και διαχείριση των handovers.

Το δίκτυο UTRAN αποτελείται από τους Radio Network Controllers (RNCs) και τους Node Bs. Οι Node Bs είναι υπεύθυνοι για τον έλεγχο ενός ή περισσοτέρων κυψελών. Μία ομάδα από Node Bs συνδέεται, μέσω των διεπαφών Iub, με έναν κόμβο RNC. Ο Node B λειτουργεί στο επίπεδο φυσικού μέσου και δικτύου (μοντέλο OSI) και μεταφέρει δεδομένα προς τον RNC στον οποίο είναι συνδεδεμένος. Επιπλέον, κάνει μετρήσεις πάνω στην ποιότητα και την ισχύ των ασύρματων συνδέσεων προς τα UEs και δίνει αναφορές στον RNC.

Κάθε κόμβος RNC ελέγχει έναν ή περισσότερους Node Bs. Ένας κόμβος RNC μαζί με τους συνδεδεμένους σε αυτόν Node Bs αποτελούν ένα Radio Network Subsystem (RNS). Ο RNC λαμβάνει τις πληροφορίες που συλλέγουν οι Node Bs του δικού του RNS και προσαρμόζει τις παραμέτρους του ασύρματου υποσυστήματος. Μία τέτοια παράμετρος μπορεί να είναι η ισχύς του ασύρματου σήματος στο UE ή στον Node B. Επίσης, ο RNC είναι υπεύθυνος για την ανάθεση του κώδικα που θα χρησιμοποιήσουν ο Node B και το UE στη μεταξύ τους επικοινωνία, έτσι ώστε να μην υπάρξουν παρεμβολές από άλλους ασύρματους συνδέσμους. Τέλος, μία άλλη λειτουργία των κόμβων RNC είναι ο έλεγχος των handovers που λαμβάνουν χώρα μεταξύ διαφορετικών RNSs. Προκειμένου να υλοποιηθεί η συγκεκριμένη διαδικασία οι RNCs είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους μέσω της διεπαφής Iur. Πρόκειται για μία διεπαφή η οποία είναι υλοποιημένη με δίκτυο Asynchronous Transfer Mode.

Ένας κόμβος RNC συνδέεται με το CN μέσω της διεπαφής Iu. Η συγκεκριμένη διεπαφή έχει δύο συνιστώσες: τη συνιστώσα Iu-Circuit Switched (Iu-CS) που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος (φωνή) και τη συνιστώσα Iu-Packet Switched (Iu-PS) που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων (υπηρεσίες δεδομένων).





**Εικόνα 31 : Η δομή του UTRAN**

Ένας κόμβος RNC συνδέεται με το CN μέσω της διεπαφής Iu. Η συγκεκριμένη διεπαφή έχει δύο συνιστώσες: τη συνιστώσα Iu-Circuit Switched (Iu-CS) που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος (φωνή) και τη συνιστώσα Iu-Packet Switched (Iu-PS) που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων (υπηρεσίες δεδομένων).

### 3.2.3 Core Network (CN)

Το CN είναι το δίκτυο κορμού του συστήματος UMTS. Είναι συνδεδεμένο με άλλα δίκτυα όπως τηλεφωνικά δίκτυα Public Telephone Switched Network (PSTN), δίκτυα δεδομένων Public Data Networks (PDNs) όπως το Internet καθώς και με άλλα κινητά δίκτυα. Το CN είναι υπεύθυνο για τη δρομολόγηση, την ταυτοποίηση, τον εντοπισμό των χρηστών καθώς και για άλλες πολλές βασικές λειτουργίες. Το CN διαιρείται σε δύο πεδία: το πεδίο μεταγωγής κυκλώματος (CS) και το πεδίο μεταγωγής πακέτων (PS).

Όσον αφορά το πεδίο CS, αυτό περιλαμβάνει τους εξής κόμβους:

- Mobile Services Switching Center (MSC): ο κόμβος MSC αποτελεί έναν κόμβο μεταγωγής ο οποίος δρομολογεί τα δεδομένα των υπηρεσιών μεταγωγής κυκλώματος εντός του δικτύου UMTS. Κάθε κόμβος MSC διαχειρίζεται πολλά RNCs τα οποία συνδέονται σε αυτόν μέσω της διεπαφής Iu-CS. Επίσης, είναι συνδεδεμένος με τις βάσεις δεδομένων

του δικτύου όπως τη βάση δεδομένων Home Location Register (HLR) και τη Visitor Location Register (VLR). Τέλος, μία άλλη πολύ χρήσιμη λειτουργία του κόμβου MSC είναι η διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών για τις υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος.

- **Gateway Mobile Services Switching Center (GMSC):** Ο κόμβος GMSC είναι συνδεδεμένος με τους κόμβους MSC. Η λειτουργία του είναι να διασυνδέει το δίκτυο UMTS με άλλα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος όπως PSTN και ISDN.
- **Visitor Location Register (VLR):** Ο κόμβος VLR είναι μία βάση δεδομένων. Συνήθως κάθε VLR αντιστοιχεί σε έναν MSC. Η βάση VLR αποθηκεύει προσωρινή πληροφορία σχετικά με την ταυτοποίηση και την ασφάλεια καθώς και άλλες χρήσιμες πληροφορίες που σχετίζονται με όλους τους χρήστες που διαχειρίζεται κάθε δεδομένη στιγμή ο αντίστοιχος MSC. Η βάση VLR λαμβάνει την αρχική πληροφορία από τη βάση HLR και αναλαμβάνει να την ενημερώσει για τυχόν μεταβολές στα δεδομένα της. Όλες οι συναλλαγές μεταξύ VLR και HLR γίνονται μέσω ενός MSC.

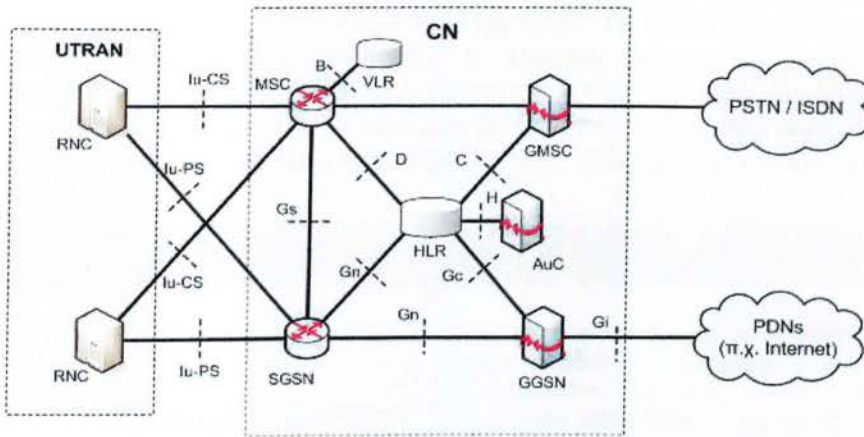
Όσον αφορά το πεδίο PS, αυτό αποτελείται από τους παρακάτω κόμβους:

- **Serving GPRS Support Node (SGSN):** Ο SGSN αποτελεί τον αντίστοιχο κόμβο του MSC στο πεδίο CS. Αυτό σημαίνει ότι αναλαμβάνει τη δρομολόγηση δεδομένων των υπηρεσιών μεταγωγής πακέτων εντός του δικτύου UMTS. Επιπλέον, διαχειρίζεται τους κόμβους RNCs οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι σε αυτόν μέσω της διεπαφής Iu-PS. Επίσης, αλληλεπιδρά με βάσεις δεδομένων, όπως η βάση HLR. Τέλος, ο κόμβος SGSN είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών για τις υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων.
- **Gateway GPRS Support Node (GGSN):** Πρόκειται για έναν κόμβο αντίστοιχο του GMSC του πεδίου CS. Διασυνδέει τους κόμβους SGSNs με εξωτερικά δίκτυα μεταγωγής πακέτων όπως το X.25 και το Internet.

Τέλος, υπάρχουν ορισμένοι κόμβοι του CN οι οποίοι είναι κοινοί, δηλαδή τους χρησιμοποιούν και τα δύο πεδία. Παρακάτω, αναφέρονται οι δύο σημαντικότεροι από αυτούς:

- **Home Location Register (HLR):** Πρόκειται για μία βάση δεδομένων η οποία αποθηκεύει δεδομένα των χρηστών τα οποία μένουν σχετικά σταθερά στο χρόνο. Αυτά τα δεδομένα είναι αναγνωριστικά, πληροφορίες για τις υπηρεσίες του δικτύου στις οποίες συμμετέχει ο συνδρομητής κ.α.
- **Authentication Center (AuC):** Αποτελεί έναν κόμβο που είναι συσχετισμένος με έναν HLR. Ο κόμβος αυτός αποθηκεύει πληροφορίες ταυτοποίησης και κρυπτογράφησης για τους συνδρομητές. Οι

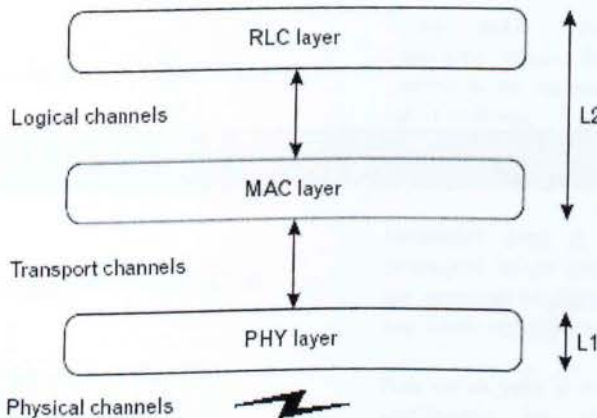
πληροφορίες αυτές φορτώνονται στον κόμβο κατά την έναρξη της συνδρομής από το χρήστη.



Εικόνα 32 : Η δομή του CN

### 3.3 Τα Κανάλια Του UTRAN

Στο UTRAN υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι καναλιών: τα λογικά κανάλια, τα κανάλια μεταφοράς και τα φυσικά κανάλια. Τα κανάλια μεταφοράς είναι το interface μεταξύ του MAC και του WCDMA, ενώ τα λογικά κανάλια είναι το interface μεταξύ του MAC και του RLC. Τα λογικά κανάλια και τα μεταφορές καθορίζουν τι δεδομένα μεταφέρονται ενώ τα φυσικά κανάλια καθορίζουν το πώς και με τι φυσικά χαρακτηριστικά μεταφέρονται τα δεδομένα.



Εικόνα 33 : Τα 3 είδη καναλιών σε σχέση με τα επίπεδα κατά OSI

### 3.3.2 Κανάλια Μεταφοράς

Τα κανάλια μεταφοράς είναι αυτά που προσδιορίζουν τον τρόπο με τον οποίο θα μεταφερθούν τα δεδομένα από το επίπεδο φυσικού μέσου. Ουσιαστικά, τα κανάλια αυτά χρησιμοποιούνται στη διεπαφή που βρίσκεται μεταξύ του MAC πρωτοκόλλου και του αμέσως κατώτερου επιπέδου L1. Υπάρχουν δύο κατηγορίες καναλιών μεταφοράς: τα κοινά κανάλια (common channels) και τα αφιερωμένα (dedicated).

Κανάλια Κοινά	Περιγραφή
Broadcast Channel (BCH)	Downlink κανάλι που χρησιμοποιείται για broadcast πληροφοριών κελιού και συστήματος.
Paging Control Channel (PCCH)	Downlink κανάλι που μεταφέρει paging πληροφορίες. Το κανάλι αυτό χρησιμοποιείται όταν το δίκτυο δεν γνωρίζει το κελί της κινητής μονάδας.
Random Access Channel (RACH)	Uplink κανάλι που χρησιμοποιείται για την αρχική πρόσβαση στο σύστημα.
Common Packet Channel (CPCH)	Uplink κανάλι που χρησιμοποιείται για μετάδοση bursty δεδομένων. Υπάρχει μόνο στο FDD (Frequency Division Duplex) mode. Αποτελεί ένα κοινό κανάλι δηλαδή είναι μοιραζόμενος πόρος στα πλαίσια του κελιού. Το CPCH ενσωματώνει fast power control.
Forward Access Channel (FACH)	Downlink κανάλι το μισό ενός καναλιού μεταφοράς. Χρησιμοποιείται για downlink signalling και μεταφορά μικρών ποσοτήτων πληροφορίας.
Downlink Shared Channel (DSCH)	Downlink κοινό κανάλι που χρησιμοποιείται για μεταφορά αφιερωμένων πληροφοριών ελέγχου αλλά και δεδομένων, από το SRNC (Serving Radio Network Controller). Υπάρχει και εκδοχή του καναλιού βελτιστοποιημένη για ταχύτατες μεταφορές αλλά και μεταβλητό ρυθμό μετάδοσης (HS-DSCH)
Κανάλια Αφιερωμένα	Περιγραφή
Dedicated Transport Channel (DTCH)	Αφιερωμένο κανάλι διπλής κατεύθυνσης το οποίο κάθε φορά δεσμεύεται για ένα μόνο χρήστη

**Εικόνα 35 : Τα κανάλια μεταφοράς του UTRAN**

Τα κοινά κανάλια είναι κανάλια μονής κατεύθυνσης τα οποία χρησιμοποιούνται από όλους τους χρήστες σε ένα κελί. Τα σημαντικότερα από τα κανάλια αυτά είναι το Forward Access Channel (FACH) για τον κατερχόμενο σύνδεσμο και το Random Access Channel (RACH) για τον ανερχόμενο. Επίσης, στην κατηγορία των κοινών καναλιών ανήκει το Downlink Shared Channel (DSCH) καθώς και το High-Speed DSCH (HS-DSCH). Τα συγκεκριμένα κανάλια είναι πάντα συσχετισμένα με ένα αφιερωμένο κανάλι. Ειδικότερα, το HS-DSCH αποτελεί ένα κανάλι που υλοποιεί την τεχνολογία High-Speed Downlink Packet Access (HSPDA). Είναι ένα βελτιστοποιημένο κανάλι για ταχύτατη μετάδοση δεδομένων το οποίο ενσωματώνει έναν ευέλικτο μηχανισμό προσαρμογής του ρυθμού μετάδοσης. Από την άλλη πλευρά, υπάρχει μόνο ένα είδος αφιερωμένου καναλιού. Πρόκειται για το Dedicated Channel (DCH) το οποίο είναι διπλής κατεύθυνσης και δεσμεύεται για ένα μόνο χρήστη. Αυτό σημαίνει ότι αν ένα DCH δεσμευθεί είτε ως ανερχόμενος είτε ως κατερχόμενος σύνδεσμος, τότε πρέπει να δεσμευθεί και για την αντίθετη κατεύθυνση. Στην αντίθετη κατεύθυνση όμως, ο ρυθμός μετάδοσης μπορεί να διαφέρει.

### 3.3.3 Φυσικά Κανάλια

Τα φυσικά κανάλια είναι αυτά που προσδιορίζουν τα ακριβή χαρακτηριστικά του φυσικού μέσου. Αυτό γιατί αποτελούν τα κανάλια τα οποία χρησιμοποιούνται στο επίπεδο φυσικού μέσου της ασύρματης διεπαφής.

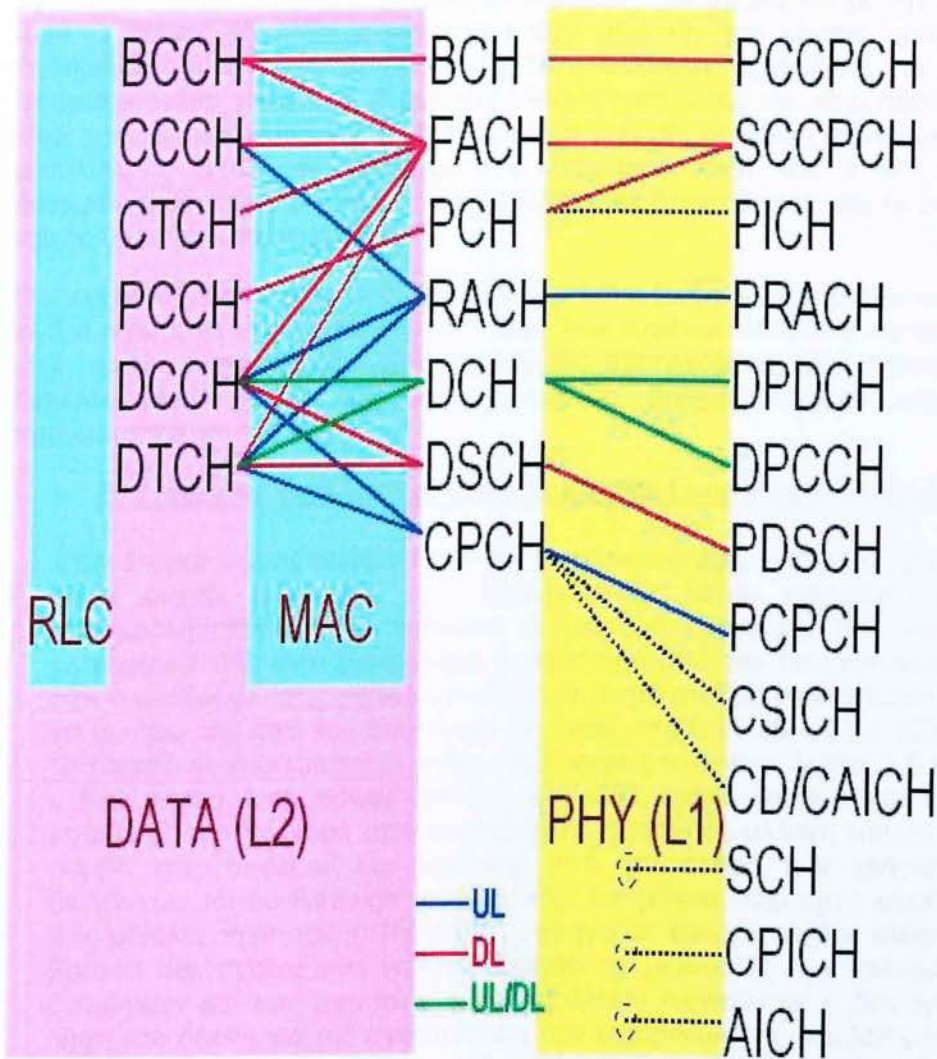
Κανάλια Κοινά	Περιγραφή
Primary Common Control Physical Channel (PCCPCH)	Κυρίως κοινό downlink κανάλι που μεταφέρει paging πληροφορίες. Το κανάλι αυτό χρησιμοποιείται όταν το δίκτυο δεν γνωρίζει το κελί της κινητής μονάδας.
Secondary Common Control Physical Channel (SCCPCH)	Δευτερεύον κοινό downlink κανάλι που μεταφέρει paging πληροφορίες. Το κανάλι αυτό χρησιμοποιείται όταν το δίκτυο δεν γνωρίζει το κελί της κινητής μονάδας.
Physical Random Access Channel (PRACH)	Uplink κανάλι που χρησιμοποιείται από την κινητή μονάδα για έναρξη της μεταφοράς δεδομένων ή signalling πληροφοριών.

Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)	Downlink κανάλι που χρησιμοποιείται απλά για την μεταφορά του DSCH (Downlink Shared Channel).
Physical Common Packet Channel (PCPCH)	Uplink κανάλι που χρησιμοποιείται απλά για την μεταφορά του CPCH (Common Packet Channel).
Synchronisation Channel (SCH)	Το Synchronisation Channel είναι ένα downlink κανάλι σημάτων, που χρησιμοποιείται για αναζήτηση κελιών και επίτευξη συγχρονισμού πληροφορίας.
Common Pilot Channel (CPICH)	Χρησιμοποιείται για να επιτρέπει την εκτίμηση καναλιών. Χρησιμοποιεί προκαθορισμένο bit sequence. Έχει σταθερό rate 30Kbps με SF (Spreading Factor) 256. Αυτό επιτρέπει στην κινητή μονάδα να εξισώσει το κανάλι επιτύχει συγχρονισμό φάσης με το SCH (Synchronisation Channel), και επίσης επιτρέπει εκτιμήσεις σε σχέση με την ισχύ.
Acquisition Indicator Channel (AICH)	Είναι ένα κανάλι με σταθερό rate 32Kbps και SF 256. Χρησιμοποιείται για την μεταφορά δεικτών λήψης που αντιστοιχούν σε υπογραφές στο PRACH (Physical Random Access Channel).
Paging Indication Channel (PICH)	Είναι ένα κανάλι με σταθερό rate που χρησιμοποιείται για την μεταφορά δεικτών.
CPCH Status Indication Channel (CSICH)	Είναι ένα κανάλι με σταθερό rate και SF 256 που χρησιμοποιείται για μεταφορά πληροφοριών κατάστασης του CPCH (Common Packet Channel).
Collision Detection/Channel Assignment Indication Channel (CD/CA-ICH)	Είναι ένα κανάλι με σταθερό rate που χρησιμοποιείται για μεταφορά του CDΙ (CD Indicator) ή του CDΙ/CAΙ (CD Indicator/CA Indicator) ταυτόχρονα.

Κανάλια Αφιερωμένα	Περιγραφή
Dedicated Physical Data Channel (DPDCH)	Τύπος uplink αφιερωμένος για τη μεταφορά του DTCH (Dedicated Transport Channel). Μπορεί να υπάρχουν, ένα, πολλά ή κανένα uplink DPDCH σε κάθε ζεύξη.
Dedicated Physical Control Channel (DPCCH)	Ότι και το προηγούμενο, μόνο που μεταφέρει πληροφορίες ελέγχου.

**Εικόνα 36 : Τα φυσικά κανάλια του UTRAN**

Το φάσμα συχνοτήτων που διατίθεται σε αυτά τα κανάλια μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους. Στη λειτουργία FDD, οι ανερχόμενοι και οι κατερχόμενοι σύνδεσμοι έχουν το δικό τους κανάλι συχνοτήτων. Αντίθετα, στη λειτουργία TDD υπάρχει μόνο ένα κανάλι συχνοτήτων το οποίο χωρίζεται σε χρονοσχισμές. Στη συνέχεια οι χρονοσχισμές μοιράζονται στον ανερχόμενο και τον κατερχόμενο σύνδεσμο. Με βάση τον τρόπο διαχείρισης του φάσματος συχνοτήτων τα φυσικά κανάλια διαχωρίζονται σε FDD και TDD φυσικά κανάλια. Κάθε κατηγορία διαιρείται περαιτέρω σε άλλες δύο κατηγορίες ανάλογα με το αν το συγκεκριμένο φυσικό κανάλι χρησιμοποιείται στον ανερχόμενο ή στον κατερχόμενο σύνδεσμο.



Εικόνα 37 : Αντιστοιχία Λογικών, Μεταφοράς και Φυσικών καναλιών στο UTRAN



### 3.4 Power Control (Έλεγχος Ισχύος)

Στο CDMA το πρόβλημα αντιμετωπίζεται καθορίζοντας την ισχύ που πρέπει να εκπέμπει κάθε κινητό, ώστε ο δέκτης να λαμβάνει σχεδόν τον ίδιο SIR από όλους τους χρήστες.

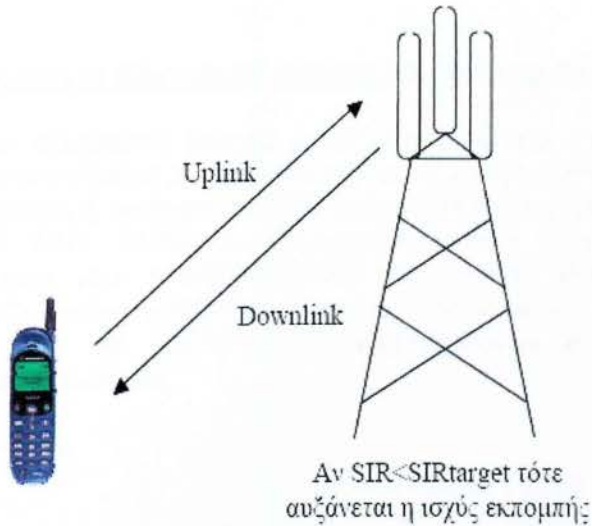
Στην άνω ζεύξη ο έλεγχος ισχύος χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση του near-far problem το οποίο έχει ως εξής :

Ας θεωρήσουμε ένα δέκτη και 2 χρήστες, έναν κοντά στο δέκτη και τον άλλο αρκετά πιο μακριά. Αν οι 2 χρήστες εκπέμπουν ταυτόχρονα και με την ίδια ισχύ, ο δέκτης θα λάβει περισσότερη ισχύ από τον πιο κοντινό χρήστη. Δεδομένου ότι η ισχύς αυτού του χρήστη αποτελεί παρεμβολή για τον απομακρυσμένο χρήστη, ο  $A$  (signal-to-interference ratio) του τελευταίου θα είναι αρκετά μικρότερος. Αν ο κοντινός χρήστης τώρα, μεταδίδει σήμα αρκετά μεγαλύτερης ισχύος σε σχέση με τον απομακρυσμένο, τότε ο SIR του δεύτερου πιθανότατα θα πάρει τιμή μικρότερη της απαιτούμενης και το σήμα του δε θα μπορεί να ανιχνευθεί.

Ο έλεγχος ισχύος πραγματοποιείται και στην κάτω ζεύξη. Ο λόγος είναι ότι τα κινητά τερματικά που βρίσκονται στα όρια των κυψελών απαιτούν επιπλέον ισχύ, καθώς «υποφέρουν» από παρεμβολές προερχόμενες από γειτονικές κυψέλες. Στην κάτω ζεύξη ο εξωτερικός βρόχος ελέγχου ισχύος πραγματοποιείται στο UE.

- **Έλεγχος Ισχύος Κλειστού Βρόχου (Closed Loop Power Control)**

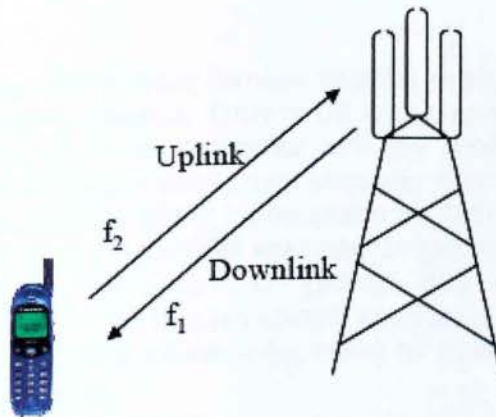
Στον έλεγχο ισχύος κλειστού βρόχου στην άνω ζεύξη, ο σταθμός βάσης κάνει συχνές εκτιμήσεις του λαμβανόμενου λόγου σήματος προς παρεμβολή (SIR) και το συγκρίνει με μια τιμή κατωφλίου SIR. Αν το μετρούμενο SIR είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο από την τιμή κατωφλίου, τότε ο σταθμός βάσης στέλνει εντολή στον κινητό σταθμό να ελαττώσει και να αυξήσει την ισχύ του αντίστοιχα (με βήμα από 0,25 dB ως 0,5 dB). Η διαδικασία αυτή εκτελείται με ρυθμό 1500 φορές το δευτερόλεπτο (1.5 kHz - fast closed loop power control) για κάθε κινητό σταθμό και είναι επομένως πιο γρήγορη από οποιαδήποτε σημαντική αλλαγή μπορεί να συμβεί στις απώλειες και ταχύτερη από τον ρυθμό των γρήγορων διαλείψεων τύπου Rayleigh για χαμηλές και μέτριες ταχύτητες κινητών. Στις μεγάλες ταχύτητες (>100km/h), ο γρήγορος έλεγχος ισχύος κλειστού βρόχου δεν προλαβαίνει να ακολουθήσει τις μεταβολές των γρήγορων διαλείψεων και τότε απαιτείται η χρήση άλλων τεχνικών (π.χ. διαφορική λήψη στο δέκτη) για την αντιστάθμιση των μεταβολών της λαμβανόμενης ισχύος και τη διατήρηση της επιθυμητής ποιότητας επικοινωνίας. Στην κάτω ζεύξη, ο σταθμός βάσης μειώνει περιοδικά την ισχύ εκπομπής προς τον κινητό σταθμό. Ο κινητός σταθμός μετράει το ρυθμό λανθασμένων πλαισίων (FER) και αν αυτός ξεπερνάει ένα προκαθορισμένο όριο, τυπικά 1%, ζητάει από τον σταθμό βάσης επιπρόσθετη ισχύ. Η διαδικασία αυτή εκτελείται κάθε 15 με 20 ms (slow closed loop power control).



**Εικόνα 38: Έλεγχος Ισχύος Κλειστού Βρόχου**

• **Έλεγχος Ισχύος Ανοικτού Βρόχου (Open Loop Power Control)**

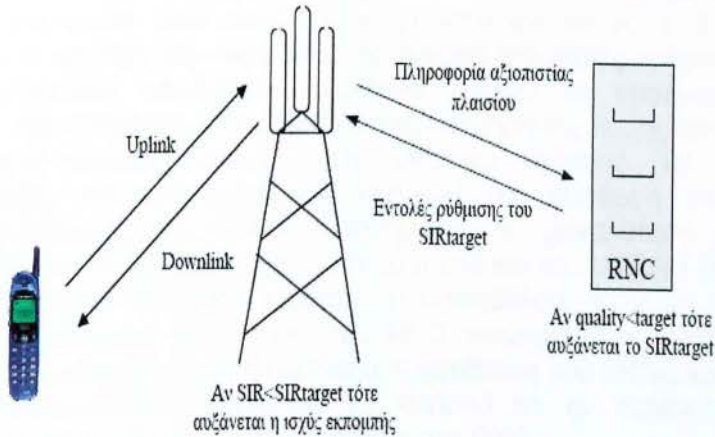
Με τον έλεγχο ισχύος ανοικτού βρόχου γίνεται μια εκτίμηση των απωλειών διάδοσης μέσω ενός ραδιοφάρου (beacon signal) που εκπέμπεται από το σταθμό βάσης και ανάλογα προσαρμόζεται η ισχύς εκπομπής από τους κινητούς σταθμούς. Δεδομένου ότι οι γρήγορες διαλείψεις στην άνω και την κάτω ζεύξη είναι ουσιαστικά ασυσχέτιστες μεταξύ τους, λόγω της μεγάλης απόστασης αυτών στο φάσμα των συχνοτήτων (στο WCDMA FDD), η μέθοδος ανοικτού βρόχου είναι σχετικά ανακριβής γιατί η ρύθμιση της ισχύος εκπομπής πραγματοποιείται με βάση τα χαρακτηριστικά της κάτω ζεύξης. Βρίσκει όμως εφαρμογή στην αρχική ρύθμιση της ισχύος, κατά την εκκίνηση της σύνδεσης.



**Εικόνα 39: Έλεγχος ισχύος ανοικτού βρόχου**

- **Έλεγχος Ισχύος Εξωτερικού Βρόχου (Outer Loop Power Control)**

Ο έλεγχος ισχύος εξωτερικού βρόχου ρυθμίζει το SIR που έχει οριστεί σαν τιμή κατωφλίου στον σταθμό βάσης ανάλογα με τις ανάγκες της ραδιοζεύξης και στοχεύει σε σταθερή ποιότητα η οποία ορίζεται από μια συγκεκριμένη τιμή κατωφλίου BER, FER, BLER. Αν διαπιστωθεί κάποια υποβάθμιση στην ποιότητα εκπομπής τότε ο ελεγκτής του ραδιοδικτύου (Radio Network Controller – RNC) στέλνει εντολή στον σταθμό βάσης να αυξήσει την τιμή κατωφλίου SIR. Με τον τρόπο αυτό αντισταθμίζονται οι ενδεχόμενες μεταβολές του περιβάλλοντος.



**Εικόνα 40: Έλεγχος Ισχύος Εξωτερικού Βρόχου**

### 3.5 Handover (Διαπομπή)

Η σταθερή υποδομή των κινητών δικτύων περιέχει σταθμούς βάσης σε όλη την περιοχή κάλυψης του δικτύου. Όταν το UE είναι ενεργό τότε χρησιμοποιεί ένα ραδιοκάναλι το οποίο του παρέχεται από τον σταθμό βάσης που το εξυπηρετεί. Σε κάποιες περιπτώσεις είναι αναγκαίο ή επιθυμητό να αλλάξει κανάλι ή ακόμα και σταθμό βάσης προκειμένου να διατηρηθεί η αποδεκτή ποιότητα υπηρεσίας ή να παρασχεθεί καλύτερη υπηρεσία. Η λειτουργία αυτή ονομάζεται διαπομπή (handover). Ο χρόνος που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί η διαπομπή είναι μία κρίσιμη παράμετρος, καθότι θα πρέπει να διατηρηθεί η ποιότητα της επικοινωνίας ειδικά αν πρόκειται για interactive επικοινωνία, όπως φωνή.

Τα κριτήρια με βάση τα οποία πραγματοποιείται διαπομπή είναι:

- Η ποιότητα του σήματος
- Η ανάγκη αποσυμφόρησης υπερφορτωμένων σταθμών βάσης
- Η κινητικότητα του χρήστη

Βασικές απαιτήσεις που αφορούν τη διαδικασία της διαπομπής είναι:

- Από άποψη χρήστη, η διαπομπή δε θα πρέπει να γίνεται αντιληπτή
- Από άποψη δικτύου, η διαδικασία διαπομπής δε θα πρέπει να αυξάνει σημαντικά το φορτίο σηματοδότησης

Στο UMTS υπάρχουν διάφοροι τύποι handover για την αντιμετώπιση τόσο της κινητικότητας όσο και άλλων απαιτήσεων, όπως ο έλεγχος του φορτίου, η παροχή κάλυψης και η προσφορά ποιότητας υπηρεσιών. Ένας αποτελεσματικός αλγόριθμος handover μπορεί να εφαρμοστεί με τη βοήθεια των κατάλληλων πόρων και της διαχείρισης θέσης του χρήστη. Η διαχείριση πόρων σημαίνει ότι υπάρχει τρόπος να εδραιωθεί, συντηρηθεί, απελευθερωθεί και ελεγχθεί μία σύνδεση στο επίπεδο ραδιοπρόσβασης. Στα UMTS συστήματα, το μεγαλύτερο μέρος της σηματοδότησης ελέγχου μεταξύ του τερματικού και του UTRAN γίνεται μέσω του RRC (Radio Resource Control) πρωτοκόλλου. Κάποιες σημαντικές για τα handovers λειτουργίες του RRC πρωτοκόλλου είναι η επιλογή κυψέλης, οι μετρήσεις του τερματικού, η μετάθεση του SRNS και ο έλεγχος των διαφόρων καναλιών. Πρέπει να τονιστεί ότι οι περισσότερες από τις λειτουργίες του RRC εφαρμόζονται στο RNC.

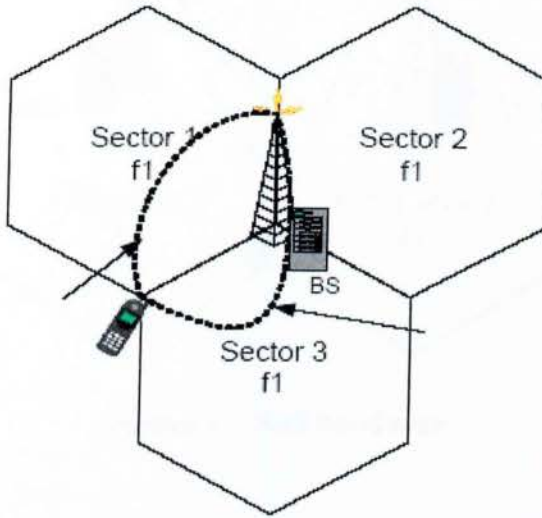
Ανάλογα με τις απαιτήσεις, υπάρχουν τέσσερα είδη Handovers: Hard Inter-system, Hard Inter-frequency, Soft και Softer. Τα δύο τελευταία υποστηρίζονται μόνο από UTRA FDD mode, ενώ τα δύο πρώτα υποστηρίζονται τόσο σε TDD όσο και σε FDD συστήματα. Παρακάτω θα δούμε αναλυτικά τους τέσσερις αυτούς τύπους μεταπομπής, περιγράφοντας τον τρόπο εκτέλεσής τους, καθώς και τις οντότητες δικτύου που λαμβάνουν μέρος κατά τη διάρκεια διεξαγωγής τους.

### 3.5.1 Softer Handover (Ηπιότερη Διαπομπή)

Στην περίπτωση αυτή το κινητό τερματικό βρίσκεται στην επικαλυπτόμενη περιοχή 2 τομέων που εξυπηρετούνται από τον ίδιο σταθμό βάσης. Η επικοινωνία μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού τερματικού πραγματοποιείται μέσω 2 καναλιών, ένα για κάθε τομέα χωριστά. Έτσι όσον αφορά στην κάτω ζεύξη απαιτείται η χρήση 2 κωδικών εξάπλωσης. Για να γίνει η σωστή λήψη των σημάτων ο χρήστης θα πρέπει να γνωρίζει τους κώδικες εξάπλωσης των τομέων και να τροφοδοτήσει τη γεννήτρια κωδικών του δέκτη με αυτούς. Παρόμοια διαδικασία επιτελείται και στην άνω ζεύξη.

Εδώ τα σήματα λαμβάνονται από τον σταθμό βάσης και συνδυάζονται σε αυτόν. Κατά τη διάρκεια της ηπιότερης διαπομπής εκτελείται έλεγχος ισχύος

μόνο σε μία σύνδεση. Softer handover εκτελείται σε ποσοστό 5-15% των συνδέσεων.

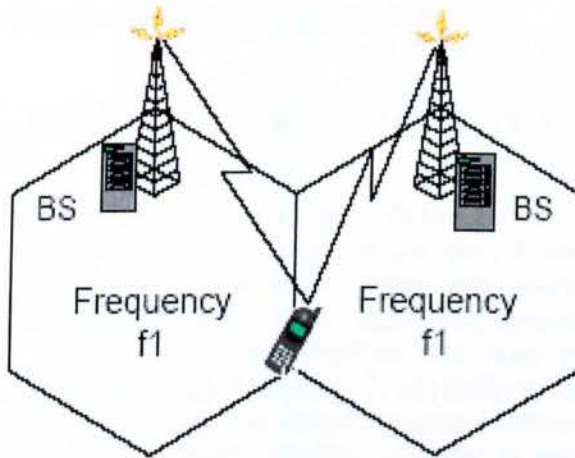


Εικόνα 41: Softer handover

### 3.5.2 Soft Handover (Ήπια Διαπομπή)

Ήπια διαπομπή συμβαίνει όταν το κινητό τερματικό βρίσκεται στην περιοχή κάλυψης δύο τομέων που εξυπηρετούνται από διαφορετικούς σταθμούς βάσης. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει αυτό το σενάριο. Και στην περίπτωση αυτή η επικοινωνία μεταξύ του κινητού και των σταθμών βάση πραγματοποιείται μέσω δύο καναλιών. Στην πλευρά του κινητού δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές σε σχέση με την ηπιότερη διαπομπή. Σημαντική διαφοροποίηση έχουμε στην άνω ζεύξη. Το σήμα λαμβάνεται και από τους 2 σταθμούς βάσης και προωθούνται στον RNC από τον οποίο συνδυάζονται.

Αυτό συμβαίνει ώστε να μπορεί ο ελεγκτής RNC να συλλέξει πληροφορίες για την αξιοπιστία στη λήψη των frames από τους δύο σταθμούς βάσης και να επιλέξει το καταλληλότερο frame από τα δύο υποψήφια. Αυτός είναι και ο λόγος που ο εξωτερικός έλεγχος ισχύος πραγματοποιείται στον RNC. Το πλεονέκτημα αυτό καλείται μακροσκοπική διαφορική λήψη (macro-diversity) και είναι το κέρδος που παρέχεται από τη λήψη περισσοτέρων του ενός σημάτων. Κατά τη διάρκεια της ήπιας διαπομπής πραγματοποιείται έλεγχος ισχύος για κάθε σύνδεση χωριστά. Επίσης πραγματοποιείται σε ποσοστό 20-40% των συνδέσεων.



**Εικόνα 42: Soft handover**

Σε γενικές γραμμές, το Soft handover αποτελείται από δύο βασικές λειτουργίες:

- Λήψη και επεξεργασία μετρήσεων
- Εκτέλεση του HO αλγορίθμου

Όσον αφορά στην πρώτη λειτουργία, τρεις παράμετροι μπορούν να υπολογιστούν: ο λόγος ενέργειας σήματος προς παρεμβολή ( $E/I$ ), η RSCP (Received Signal Code Power) και η RSSI (Received Signal Strength Indicator). Η RSCP είναι η ισχύς που μεταφέρεται από το αποκωδικοποιημένο κανάλι, ενώ η RSSI είναι η συνολική ευρυζωνική λαμβανόμενη ισχύς. Η σχέση που συνδέει τα τρία αυτά μεγέθη είναι:

$$E/I = RSCP/RSSI.$$

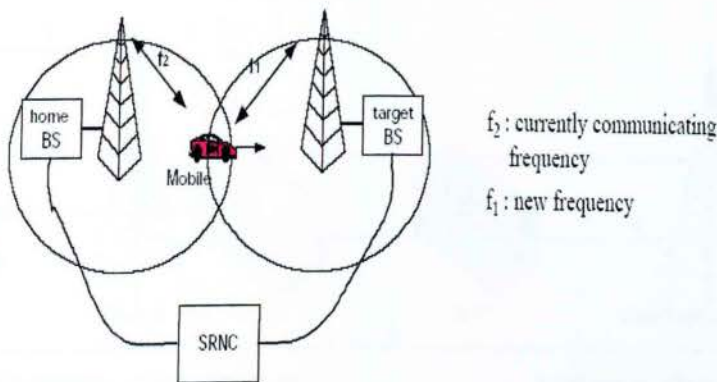
Βασισμένο στις  $E/I$  μετρήσεις των κυψελών που παρακολουθεί, το τερματικό αποφασίζει ποιες από τις τρεις βασικές λειτουργίες να εκτελέσει: προσθήκη (Radio Link Addition), αφαίρεση (Radio Link Removal) ή αντικατάσταση (Combined Radio Link Addition and Removal) ενός Node B στην κυψέλη, και ανάλογα με το αποτέλεσμα της απόφασης, προχωρά στην εκτέλεση του HO αλγορίθμου.

Κατά την προσθήκη ενός Node B, ο RNC πρώτα το ελέγχει και αφού λάβει τις κατάλληλες επιβεβαιώσεις από αυτό, προχωρά στην αποστολή ενημερωτικού μηνύματος στο RRC (Radio Resource Control) του UE. Το μήνυμα αυτό περιέχει όλες τις απαραίτητες για το τερματικό πληροφορίες ώστε αυτό να ξεκινήσει να λαμβάνει τα εκπεμπόμενα σήματα μέσω του νέου Node B. Κατά την αφαίρεση ενός Node B από την άλλη, διαγράφεται το τρέχον Node B, και στέλνεται στο τερματικό εντολή να απενεργοποιήσει την λήψη των σημάτων του. Μόλις γίνει αυτό, σταματά και το Node B να εκπέμπει προς και να λαμβάνει από το UE.

### 3.5.3 Hard Handover (Σκληρή Διαπομπή)

- Σκληρή διαπομπή σε άλλη συχνότητα (Inter-frequency hard handover)

Πραγματοποιείται στην περίπτωση που θέλουμε να μεταφέρουμε τη λειτουργία του κινητού από μία συχνότητα σε μία άλλη. Είναι το είδος του HO που χρησιμοποιείται και στα GSM δίκτυα, όπου κάθε σύνδεση χρησιμοποιεί διαφορετική μπάντα συχνοτήτων. Η μετακίνηση ενός χρήστη σε νέα κυψέλη, για παράδειγμα, συνεπάγεται την αποσύνδεσή του πριν εγκαταστήσει νέα σύνδεση σε διαφορετική target κυψέλη. Ο αλγόριθμος του HO αυτού του τύπου, λοιπόν, είναι πολύ απλός: το κινητό τερματικό εκτελεί ένα HO μόλις η ισχύς του σήματος μίας γειτονικής κυψέλης υπερβεί το κατώφλι της ισχύος σήματος της τρέχουσας κυψέλης. Στο UMTS τα Hard HOs χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται η αλλαγή της μπάντας συχνοτήτων μεταξύ του τερματικού και του UTRAN. Παράλληλα, το Hard HO επιλέγεται όταν ένας κινητός σταθμός σε συγκεκριμένο κανάλι παράγεται σε νέα κυψέλη την ώρα που τα Soft ή Softer HOs είναι αδύνατο να εφαρμοστούν.



**Εικόνα 43:** Inter-frequency hard handover

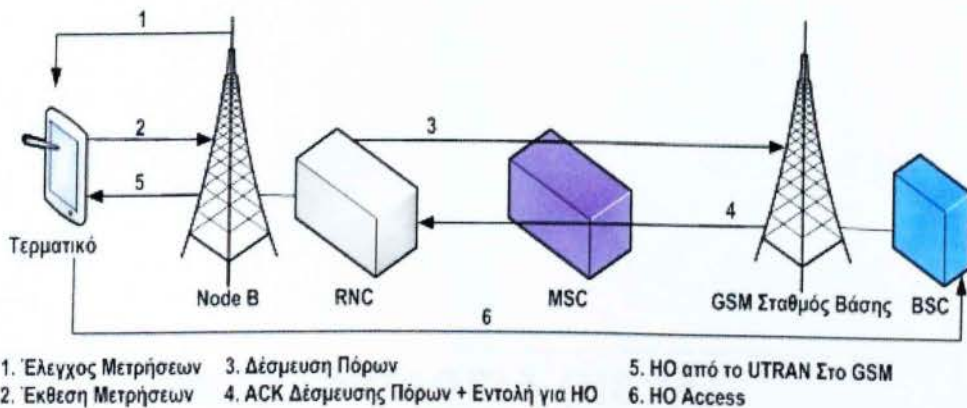
Το κυριότερο πρόβλημα που υφίσταται στα Hard HOs είναι τα υψηλά blocking – probabilities για χρήστες που εισέρχονται σε νέα κυψέλη. Η πιθανότητα αυτή μπορεί να μειωθεί αν δοθεί προτεραιότητα σε χρήστες που περιφέρονται όντας ήδη σε κατάσταση επικοινωνίας με το δίκτυο, δεσμευοντάς τους συγκεκριμένο μέρος της χωρητικότητας μίας κυψέλης. Από την άλλη, αυτό συχνά συνεπάγεται υψηλότερες blocking probabilities και λιγότερο αποτελεσματική χρήση της χωρητικότητας για τους νέους χρήστες. Τα προβλήματα αυτά οδήγησαν στη δημιουργία αλγορίθμων Soft και Softer HO χάρη στους οποίους αυξάνεται η συνολική απόδοση του δικτύου. Πλέον, τα Hard HO χρησιμοποιούνται μόνο για λόγους κάλυψης και φορτίου, ενώ η κινητικότητα υποστηρίζεται από τα Soft και Softer HOs. Αξίζει, τέλος, να επισημανθεί ότι τα HHOs είναι αρκετά δύσκολα για ένα τερματικό σε CDMA

συστήματα, καθώς αυτό εκπέμπει και λαμβάνει συνεχώς, χωρίς να έχει τα απαραίτητα χρονικά κενά για μετρήσεις. Έτσι, οι μετρήσεις λαμβάνονται από το δίκτυο, το οποίο αποφασίζει ποια κυψέλη είναι πιο κατάλληλη για το UE. Μόλις ληφθούν και γνωστοποιηθούν οι απαραίτητες μετρήσεις στο δίκτυο, το τερματικό ξεκινά τη διαδικασία της μεταπομπής.

• **Σκληρή διαπομπή σε άλλο σύστημα (Inter-system Hard Handover)**

Αυτού του είδους η διαπομπή λαμβάνει συνήθως χώρα μεταξύ των συστημάτων WCDMA FDD και ενός άλλου συστήματος όπως είναι το WCDMA TDD ή GSM. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει την περίπτωση διαπομπής μεταξύ περιοχών με UMTS και GSM /GPRS κάλυψη. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της σύνδεσης, στην περίπτωση που το κινητό εισέρχεται σε περιοχή χωρίς UMTS κάλυψη.

Σε γενικές γραμμές, η διαδικασία αυτή αποτελείται από τη λήψη μετρήσεων, τη δέσμευση πόρων και την εκτέλεση του HO αλγορίθμου.



**Εικόνα 44:** Intersystem hard handover

Ας δούμε, λίγο πιο αναλυτικά, τί συμβαίνει κατά το Inter-System HO. Όταν απαιτηθεί η μεταγωγή ενός χρήστη από το UTRAN στο GSM, το Node B του τερματικού αιτεί από το τελευταίο τις μετρήσεις του. Το τερματικό του τις παρέχει, και το Node B στέλνει αίτηση στο RNC ώστε αυτό με τη σειρά του να ζητήσει τη δέσμευση πόρων από το σταθμό βάσης του GSM δικτύου. Εάν όλα πάνε καλά, ο BS του GSM επιστρέφει στον RNC επιβεβαίωση (ACK) δέσμευσης των πόρων, και μία εντολή για Handover. Στο σημείο αυτό, ο RNC ενημερώνει καταλλήλως το Node B, ο οποίος εκτελεί το HO από το UTRAN στο GSM για το τερματικό. Μετά από τη διαδικασία αυτή, το τερματικό έχει πλέον πρόσβαση στο BSC του GSM συστήματος, και το Handover έχει ολοκληρωθεί.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°**

### **Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ (HSPA)**

## 4.1 High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)

Με την έκδοση 3GPP Release 5, οι προδιαγραφές του WCDMA εμπλουτίστηκαν με ένα νέο δίαυλο μεταφοράς, το High Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH). Ένας σημαντικός σχεδιαστικός στόχος ήταν να διατηρηθεί όσο τον δυνατόν περισσότερο ο λειτουργικός διαχωρισμός μεταξύ των επιπέδων πρωτοκόλλου και των κόμβων, ώστε οι όποιες αλλαγές στην αρχιτεκτονική να επιτρέπουν την ομαλή αναβάθμιση και λειτουργία του HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) ακόμη και σε ανομοιογενή περιβάλλοντα ραδιοκάλυψης.

Το χαρακτηριστικό που κάνει το HSDPA να ξεχωρίζει είναι η χρησιμοποίηση ενός κοινού καναλιού μετάδοσης. Επιπρόσθετα χαρακτηριστικά της HSDPA τεχνολογίας είναι η ταχεία προσαρμογή στις αλλαγές του ραδιοπεριβάλλοντος και η γρήγορη αναμετάδοση των εσφαλμένων δεδομένων.

## 4.2 High Speed Uplink Packet Access (HSUPA)

Η τεχνολογία HSUPA βασίζεται στο σχήμα πρόσβασης WCDMA, χρησιμοποιεί το σχήμα αμφιδρόμησης FDD και λειτουργεί στην μπάντα IMT-2000 με εύρος ζώνης 5MHz. Η τεχνολογία HSUPA αποτελεί το ανάλογο της τεχνολογίας HSDPA στην ανερχόμενη ζεύξη, επομένως κατ' αντιστοιχία, η χωρητικότητα ενός δικτύου HSUPA εξαρτάται από αντίστοιχους παράγοντες όπως στην περίπτωση του HSDPA.

Ο πρωταρχικός στόχος εισαγωγής του HSUPA στο 3GPP standard ήταν να αυξήσει την κάλυψη και το συνολικό throughput και ταυτόχρονα να μειώσει τις συνολικές καθυστερήσεις στον ανερχόμενο σύνδεσμο. Τα σημεία κλειδιά για την επιτυχία του HSUPA ήταν η εισαγωγή ενός νέου αφιερωμένου καναλιού στον ανερχόμενο σύνδεσμο με αυξημένη λειτουργικότητα και απόδοση, η χρήση HARQ και το fast scheduling, όπως και στην περίπτωση του HSDPA.

Όπως προαναφέρθηκε, η τεχνολογία HSUPA προτυποποιήθηκε αρχικά στην έκδοση 6 του 3GPP στάνταρ, το Δεκέμβριο του 2004. Σε αυτή καθορίστηκε ως μέγιστη θεωρητική ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων κατά την ανοδική ζεύξη τα 5,76Mbps, ενώ κατά τη διάρκεια επιδείξεων της συγκεκριμένης τεχνολογίας έχουν πρακτικά πραγματοποιηθεί μεταφορές δεδομένων με ρυθμούς μεταφοράς που φθάνουν τα 1,4 Mbps.

- **Βασικά Χαρακτηριστικά HSUPA Τεχνολογίας**

1. Υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων, μικρότερες χρονικές καθυστερήσεις, πιο αποδοτική χρήση του φάσματος
2. Νέο σύστημα προγραμματισμού στο Node B
3. HSUPA τερματικά που υποστηρίζουν HSDPA

4. Κανάλια παρόμοια με το HSDPA, αλλά χρησιμοποιούν ένα ειδικό, μη διαμοιραζόμενο κανάλι
5. Σε αντίθεση με το HSDPA, δεν χρησιμοποιείται το Adaptive Modulation
6. Έξι κατηγορίες για το HSUPA σε αντίθεση με τις δώδεκα για το HSDPA

Όπως με το HSDPA, το HSUPA έχει στόχο να αυξήσει την χωρητικότητα μειώνοντας ταυτόχρονα τις καθυστερήσεις. Μια σειρά από βελτιώσεις που έχουν εισαχθεί για να επιτευχθεί αυτό, συμπεριλαμβανομένου και ενός ειδικού uplink καναλιού μεταφοράς (E-DCH), το οποίο λειτουργεί σε συνδυασμό με ένα νέο μηχανισμό προγραμματισμού που βρίσκεται στον κόμβο Β. Όπως με το HSDPA, το HARQ και η χρήση TTI ίσου με 2ms χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν την ταχύτητα του uplink καναλιού. Προσοχή έχει δοθεί στα πρότυπα για τον περιορισμό της πολυπλοκότητας του uplink καναλιού, εξασφαλίζοντας ότι οι πρακτικές εφαρμογές είναι δυνατές. Επίσης, οι βασικότερες αλλαγές στο φυσικό επίπεδο εντοπίζονται στην εισαγωγή ενός ενισχυμένου uplink καναλιού, του E-DCH, ενώ παράλληλα διατηρείται και το κανάλι DCH της Release '99 έκδοσης του 3GPP.

#### • Οι ιδιότητες του E-DCH καναλιού μεταφοράς

1. Νέα φυσικά κανάλια: E-DPDCH και E-DPCCH. Πιλοτικά σύμβολα που ανακτώνται από το E-DPCCH χρησιμοποιούνται από τον δέκτη για να βοηθήσουν την αποκωδικοποίηση του E-DPDCH, το οποίο μεταφέρει το EDCH κανάλι μεταφοράς δεδομένων.
2. Το E-DPCCH επίσης μεταφέρει το E-TFCI (E-DCH πρότυπο μεταφοράς με συνδυασμό δείκτη), το RSN (retransmission sequence number) και "ένα χαρούμενο" bit, το οποίο χρησιμοποιείται για να δηλώσει αν ο UE είναι ικανοποιημένος με τους πόρους που χορηγούνται.
3. Ταχύτητες δεδομένων έως και 5.76Mbps μπορεί να επιτευχθούν με διαφοροποίηση του Spreading Factor και του αριθμού των κωδικών που χρησιμοποιούνται στα κανάλια.
4. Τόσο 2ms όσο και 10ms TTI είναι διαθέσιμα σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Ένα 2ms TTI επιτρέπει αποδοτικότερο έλεγχο και μεταφορά ενός προσαρμοσμένου μεγέθους block.
5. Ένα μπλοκ μεταφορών αποστέλλεται ανά TTI

Σημειώνεται ότι υπάρχει μόνο ένα E-DCH ανά UE, και ότι το DCH περιορίζεται σε 64Kbps όποτε το E-DCH εκκινεί. Σε αντίθεση με το HSDPA, το HSUPA δεν κάνει χρήση της προσαρμοστικής διαμόρφωσης κωδικοποίησης. Για να

υποστηριχθεί το ενισχυμένο uplink κανάλι, εισάγονται τρία νέα downlink κανάλια σηματοδότησης :

1. E-HICH - E-DCH HARQ κανάλι δεικτοδότησης. Αυτό το downlink κανάλι φυσικού επιπέδου χρησιμοποιείται από το HARQ για να βεβαιώνει τις E-DCH μεταδόσεις από τον UE.
2. E-AGCH – E-DCH Absolute Grant Channel. Αυτό το διαμοιραζόμενο downlink κανάλι φυσικού επιπέδου χρησιμοποιείται για να υποδείξει στον UE πόσα δεδομένα μπορούν να σταλούν στο uplink κανάλι επιτρέποντας να προσδιορίσει το E-DCH TFC (Traffic Format Combination) και τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ.
3. E-RGCH - E-DCH Relative Grant Channel. Αυτό το διαμοιραζόμενο downlink κανάλι φυσικού επιπέδου χρησιμοποιείται για να αυξήσει ή να μειώσει τους πόρους του uplink καναλιού σε σύγκριση με αυτούς που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν.

Για να καταστεί το uplink κανάλι ανθεκτικό σε λάθη σήματος, μπορεί να ζητηθεί από τον κόμβο Node B αναμετάδοση ελαττωματικών πακέτων, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο HARQ. Αυτός ο μηχανισμός 'stop and wait' στηρίζεται σε βεβαιώσεις/ αρνητικές βεβαιώσεις, οι οποίες ανατροφοδοτούν τον UE σχετικά με το νέο E-HICH κανάλι. Το πρωτόκολλο αυτό, που βρίσκεται στο Node B και όχι στο RNC, μπορεί να εξασφαλίσει ταχεία ανάκτηση των χαμένων ή κατεστραμμένων πακέτων.

### 4.3 HSPA+

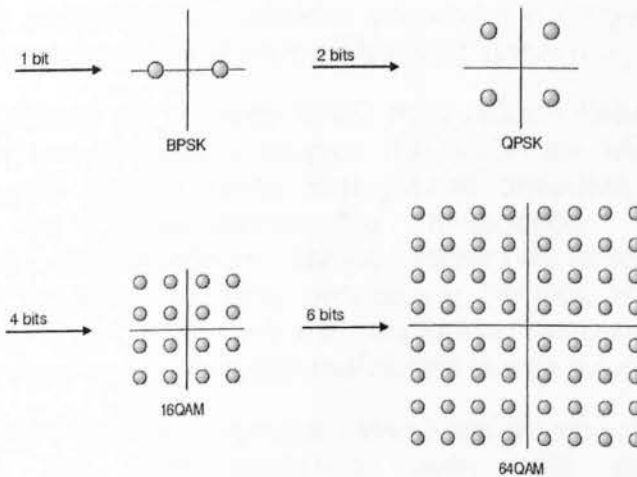
Η συνεχής εξέλιξη των επιδόσεων στις ταχύτητες της ανερχόμενης (HSUPA) και κατερχόμενης (HSDPA) ζεύξης οδήγησε σε μεγάλες αυξήσεις στην κίνηση πακέτων δεδομένων, δίνοντας έτσι στους χρήστες την εμπειρία της ασύρματης ευρυζωνικότητας που μπορεί πλέον να συγκριθεί με τη στατική ADSL τεχνολογία, καθιστώντας πλέον το HSPA ως το κυρίαρχο είδος κίνησης στα 3G δίκτυα.

Οι τελευταίες προδιαγραφές των εκδόσεων 3GPP Release 7 και 8 αναφέρονται στην εξέλιξη του HSPA ή αλλιώς HSPA+, εισάγοντας νέα χαρακτηριστικά που υποστηρίζουν ακόμα υψηλότερες ταχύτητες, μικρότερη καθυστέρηση και με μεγαλύτερη χωρητικότητα.

### 4.3.1 Ανώτερες τεχνικές διαμόρφωσης (Higher-order Modulation)

Η μέθοδος ψηφιακής διαμόρφωσης καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο η πληροφορία (bits) κατανέμεται στη φάση και το πλάτος των εκπεμπόμενων σημάτων. Κάθε σειριακή ακολουθία από bit αντιστοιχίζεται σε ένα σύμβολο του οποίου η διαμόρφωση πλάτους και φάσης αντιστοιχεί σε ένα από τα σημεία-στίγματα του διαγράμματος. Ο αριθμός των bit που μεταφέρονται ανά διαμορφωμένο σύμβολο έχει ως εξής: 1 για BPSK, 2 για QPSK, 4 για 16QAM και 6 για 64QAM. Ως εκ τούτου, οι ανώτερες μέθοδοι διαμόρφωσης επιτρέπουν μεγαλύτερους ρυθμούς δεδομένων (bit rate) για ένα δεδομένο ρυθμό συμβόλων (symbol rate). Έως την έκδοση 3GPP Release 6, το HSPA υποστήριζε τις QPSK και 16QAM τεχνικές διαμόρφωσης στην κατερχόμενη ζεύξη (downlink) και τις BPSK και QPSK τεχνικές διαμόρφωσης για την ανερχόμενη ζεύξη (uplink). Η έκδοση 3GPP Release 7 εισάγει ανώτερες τεχνικές διαμόρφωσης που αυξάνουν το ρυθμό δεδομένων. Στην κατερχόμενη ζεύξη χρησιμοποιείται η τεχνική διαμόρφωσης 64QAM, η οποία αυξάνει την ταχύτητα αιχμής κατά 50%, από 14Mbps σε 21Mbps. Στην ανερχόμενη ζεύξη χρησιμοποιείται η τεχνική διαμόρφωσης 16QAM, η οποία διπλασιάζει το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης από 5,76 Mbps σε 12 Mbps (σε θεωρητικό επίπεδο).

Στο πρακτικό κομμάτι οι τεχνικές υψηλότερης διαμόρφωσης βοηθούν τους χρήστες να βιώσουν σημαντικά μεγαλύτερες ταχύτητες υπο ευνοϊκές συνθήκες ραδιοδιάδοσης. Ενώ ο προσεκτικός σχεδιασμός του ραδιοδικτύου αποτελεί προϋπόθεση για την επίτευξη αυτών των συνθηκών.



Εικόνα 45: Εξέλιξη των τεχνικών διαμόρφωσης

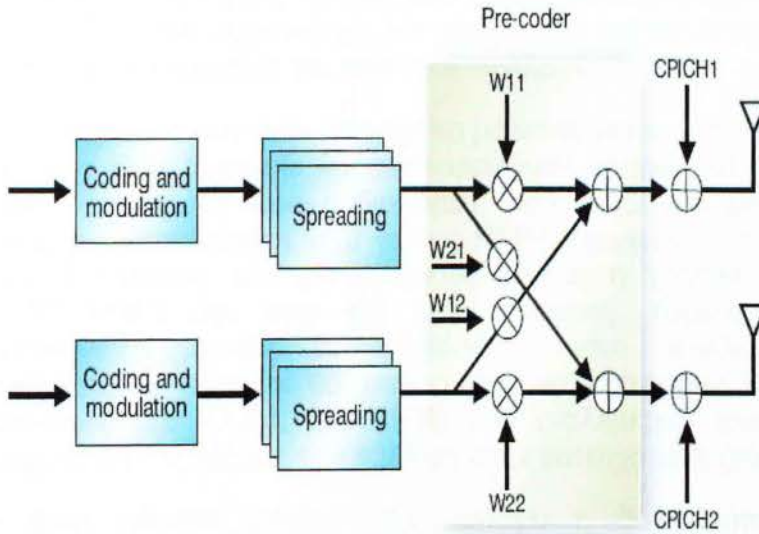
### 4.3.2 Εισαγωγή στις τεχνικές κεραιών (MIMO) στο HSPA+

Υπάρχει η δυνατότητα να αυξηθεί ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων με την παράλληλη διαβίβαση πολλαπλών μπλόκ μεταφοράς (transport block) χρησιμοποιώντας πολλαπλές κεραιές ανά χρήστη. Η τεχνική αυτή ονομάζεται MIMO (Multiple input-Multiple output) με πολυπλεξία χώρου (spatial multiplexing) όπου ένα μοναδιαίο μπλοκ μεταφοράς αποστέλλεται ή λαμβάνεται από πολλαπλές κεραιές σε αντίθεση με την απλή τεχνική διαφορικής εκπομπής/λήψης (transmit/receive diversity). Ο δέκτης χρησιμοποιεί τα χαρακτηριστικά του καναλιού μετάδοσης και την πληροφορία της μεθόδου κωδικοποίησης για να διαχωρίσει τις ροές δεδομένων (data streams). Απαραίτητη προϋπόθεση για την τεχνική MIMO είναι η προτυποποίηση του πολυστρωματικού συστήματος μετάδοσης.

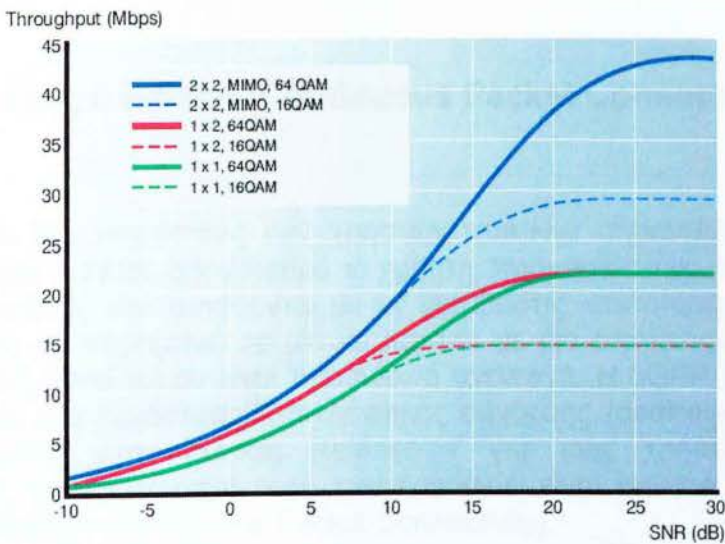
Συγκεκριμένα, για την HSPA τεχνολογία η 3GPP επέλεξε μια τεχνική MIMO που βασίζεται σε προ-κωδικοποιημένη και προσαρμοστική μετάδοση πολλαπλών κωδικών (precoded, rank-adaptive multi-codeword transmission). Αυτό σημαίνει ότι κάθε ροή (substream) μεταφέρει διαφορετικά μπλόκ μεταφοράς, ενώ ο αριθμός των παράλληλων ροών μπορεί να προσαρμοστεί στις τρέχουσες συνθήκες καναλιού (rank adaptation). Πριν διαβιβαστούν τα δεδομένα, το διαμορφωμένο σήμα προ-κωδικοποιείται (pre-coding) ώστε να υποστεί χωρική στάθμιση (spatial weighting), ή με απλά λόγια οι ροές δεδομένων μεταδίδονται μέσω διαφορετικών κεραιών χρησιμοποιώντας διαφορετικές στάθμες μετάδοσης. Οι προτιμώμενες στάθμες (weights) επεξεργάζονται από τον τερματικό εξοπλισμό (ue) και διοχετεύονται πίσω στο δίκτυο μαζί με το δείκτη ποιότητας καναλιού (CQI). Ακόμη με τη διαφορική κωδικοποίηση (separate encoding) επιτρέπεται η χρήση διαδοχικών δεκτών με δυνατότητα ακύρωσης παρεμβολών, γεγονός που ενισχύει τις επιδόσεις του συστήματος σε σύγκριση με τους υπάρχοντες γραμμικούς δέκτες.

Για την ενσωμάτωση της τεχνικής MIMO στην έκδοση Release 7, η 3GPP αναβάθμισε τα φυσικά κανάλια ελέγχου (HS-SCCH και HS-DPCCH) τόσο στην ανερχόμενη όσο και στην κατερχόμενη ασύρματη ζεύξη για να υποστηρίξει την προκωδικοποιημένη πληροφορία στάθμης, την αναβαθμισμένη μορφή μετάδοσης (transport format) και τις παραμέτρους ανά ροή υβριδικής αυτόματης αίτησης επανάληψης (HARQ). Η τεχνική HARQ αναγνωρίζει κάθε ροή ξεχωριστά και ανεξάρτητα, συνεπώς η εσφαλμένη πληροφορία μπορεί να αναμεταδοθεί ανεξάρτητα μεταξύ των δύο ροών.

Στην έκδοση 3GPP Release 7, η τεχνική MIMO ορίζεται για μετάδοση έως δύο ροών (MIMO 2x2). Στην περίπτωση αυτή, κάθε ροή μπορεί να χρησιμοποιήσει QPSK ή 16QAM διαμόρφωση, ανεβάζοντας τις ταχύτητες αιχμής του HSDPA σε περίπου 28 Mbps. Στη έκδοση 3GPP Release 8, κάθε ροή μπορεί να χρησιμοποιήσει 64QAM διαμόρφωση, επεκτείνοντας και άλλο τη δυνατότητα λήψης δεδομένων με ταχύτητες που αγγίζουν τα 42 Mbps.



**Εικόνα 46: Λογική αλυσίδα MIMO πομπού**



**Εικόνα 47: Σύγκριση επιδόσεων HSPA+ Τεχνικών**

### 4.3.3 Συνδυασμός πολλαπλών φορέων (Multi Carrier Operation)

Η τεχνική πολλαπλού ραδιοφορέα (Multi-Carrier operation) σχεδιάζεται να συμπεριληφθεί στις επόμενες προδιαγραφές του WCDMA ξεκινώντας με την τελευταία έκδοση 3GPP Release 8. Δίδεται έτσι η δυνατότητα στους

τηλεπικοινωνιακούς παρόχους κινητής που έχουν άδεια χρήσης πολλαπλών παρακείμενων WCDMA συχνοτήτων, να κάνουν πιο αποτελεσματική χρήση του φάσματος με τη λειτουργία του HSPA σε πολλαπλούς 5MHz ραδιοφορείς.

Αυτό μπορεί να γίνει με συντονισμένο τρόπο μάλιστα, ώστε τα φυσικά κανάλια ελέγχου να μην είναι αναγκαίο να αναπαραχθούν πλήρως σε όλους τους ραδιοφορείς. Έχοντας ένα κύριο ραδιοφέρα, για παράδειγμα, μπορεί κανείς να εξοικονομήσει περισσότερη ισχύ για τις HSPA εφαρμογές στους άλλους ραδιοφορείς. Επομένως, εάν για κάποιους λόγους η χρησιμοποίηση της τεχνικής 2X2 MIMO δεν είναι και τόσο πρακτική, κυρίως λόγω των κατασκευαστικών εργασιών στα ευαίσθητα από πολλές απόψεις κεραιοσυστήματα, οι πάροχοι θα μπορούσαν να εξετάσουν σοβαρά την τεχνική διπλού φορέα (DUAL CARRIER) σαν εναλλακτικό τρόπο για την επίτευξη ταχυτήτων της τάξεως των 42Mbps στην κατερχόμενη ζεύξη.

Από την άλλη πλευρά ωστόσο, θα υπάρχει η δυνατότητα πλήρους εκμετάλλευσης όλων των τεχνικών, όπου με το συνδυασμό 2X2 MIMO και 64QAM αγγίζουμε ταχύτητες δεδομένων αιχμής έως και 84 Mbps χωρίς να απαιτείται το βαρύ 4X4 MIMO κεραιοσύστημα. Ωστόσο, υπάρχει πάντα το πλάνο χρήσης περισσότερων των δύο ραδιοφορέων όπου σε συνδυασμό με μεγαλύτερες συστοιχίες MIMO θα εκτοξευθούν και άλλο οι ταχύτητες δεδομένων.

#### 4.3.4 Συνεχής σύνδεση (Continuous Packet Connectivity)

Το επίπεδο δραστηριότητας των χρηστών ποικίλλει σημαντικά μέσα στον χρόνο. Ακόμα και έτσι, όσον αφορά το χρήστη, προκειμένου να αποφευχθούν οι καθυστερήσεις που συνδέονται με τις μεταβάσεις κατάστασης, είναι ίσως προτιμότερο να παραμείνει σε μια κατάσταση με μια αποκλειστική σύνδεση (CELL\_DCH) έστω και αν είναι προσωρινά ανενεργή. Η 3GPP έχει εργαστεί για να κάνει την κατάσταση αποκλειστικής σύνδεσης (dedicated state) πιο αποτελεσματική στην έκδοση Release 7 για τους χρήστες πακέτων δεδομένων. Το αποτέλεσμα αυτό των εργασιών είναι γνωστό ως συνεχής σύνδεση πακέτων (Continuous Packet Connectivity).

Η τεχνική CPC αποτελείται από δύο κύρια χαρακτηριστικά που ονομάζονται UE DTX/DRX και HS-SCCH-less λειτουργία.

- **UE DTX/DRX**

Η τεχνική ασυνεχούς μετάδοσης UE DTX (UE discontinuous transmission) επιτρέπει στα τερματικά να απενεργοποιήσουν τη συνεχή μετάδοση πάνω από το φυσικό κανάλι ελέγχου (DPCCH) όταν δεν υπάρχουν δεδομένα για διαβίβαση στην ανερχόμενη ζεύξη. Όταν συμβαίνει αυτό, ένα ελάχιστο ποσοστό των πόρων μετάδοσης είναι απαραίτητο για να διατηρηθεί ο συγχρονισμός και η σηματοδότηση ελέγχου. Δύο άμεσα οφέλη από την απενεργοποίηση μετάδοσης είναι η μειωμένη κατανάλωση μπαταρίας και η



μείωση των παρεμβολών, γεγονός που αυξάνει τη χωρητικότητα ως προς τον αριθμό των χρηστών στην ανερχόμενη ζεύξη.

Με την ίδια λογική, η τεχνική ασυνεχούς λήψης UE DRX (UE discontinuous reception) επιτρέπει στα τερματικά να απενεργοποιήσουν τους δέκτες τους όταν δεν υπάρχουν δεδομένα λήψης στην κατερχόμενη ζεύξη. Η τεχνική αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί για την περαιτέρω μείωση της κατανάλωσης της μπαταρίας. Τα τερματικά χρειάζεται να κάνουν μόνο ένα περιοδικό έλεγχο για το αν θα πρέπει να μεταβούν σε μια ενεργητική κατάσταση.

- **HS-SCCH-less λειτουργία**

Όταν πολλά μικρά πακέτα μεταφέρονται στην κατερχόμενη ζεύξη, η επιβάρυνση (overhead) από το κανάλι ελέγχου HS-SCCH αυξάνεται σημαντικά. Η έκδοση 3GPP Release 7 εισάγει την HS-SCCH-less λειτουργία η οποία μειώνει την επιβάρυνση (over-head) με την πλήρη αφαίρεση της HS-SCCH σηματοδοσίας κατά την πρώτη HARQ μετάδοση. Η HS-SCCH-less λειτουργία βασίζεται στην τυφλή αποκωδικοποίηση (blind decoding) έως και τεσσάρων διαφορετικών τύπων (formats) του κατερχόμενου καναλιού δεδομένων, HS-DSCH, στο τερματικό ώστε να εξαλειφθεί η ανάγκη HS-SCCH μετάδοσης. Εν ολίγοις αυξάνεται η χωρητικότητα στην κατερχόμενη ζεύξη με τη μείωση χρήσης των κωδικών καναλιού καθώς επίσης και τη μείωση των παρεμβολών από τη σηματοδοσία ελέγχου.

Προσομοιώσεις αποκαλύπτουν ότι η CPC τεχνική στην έκδοση 3GPP Release 7 βελτιώνει τη VoIP χωρητικότητα περίπου 40% στην ανερχόμενη και κατά 10% στην κατερχόμενη ζεύξη. Η προσθήκη της τεχνολογίας προηγμένων δεκτών βελτιώνει την απόδοση ακόμη περισσότερο.

#### 4.3.5 Προηγμένοι δέκτες (Advanced Receivers)

Η τεχνολογία των δεκτών, τόσο στα τερματικά όσο και στους σταθμούς βάσης, βελτιώνεται συνεχώς καθώς τα προϊόντα εξελίσσονται και καθώς πιο απαιτητικές λειτουργίες προστίθενται στο HSPA. Το αποτέλεσμα είναι η βελτιωμένη απόδοση του συστήματος και οι υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων ανά χρήστη. Η τάση αυτή αντικατοπτρίζεται στις συνεχώς μεταβαλλόμενες προδιαγραφές των τερματικών δεκτών από τη 3GPP. Αναβαθμίσεις στις προδιαγραφές των τερματικών δεκτών εισήχθησαν στις 3GPP εκδόσεις Release 6 και Release 7, υιοθετώντας τη χρήση:

- Διαφορικού κεραιοσυστήματος τερματικών δεκτών (Antenna Diversity, UE Receiver type-1)
- Γραμμικών ισοσταθμιστών τύπου G-RAKE (Linear Equalizers G-RAKE, UE receiver type-2)
- Γραμμικών ισοσταθμιστών σε συνδυασμό με διαφορεικά κεραιοσυστήματα τερματικών δεκτών, τύπου G-RAKE 2, κατάλληλη λύση για MIMO (UE receiver type-3i).

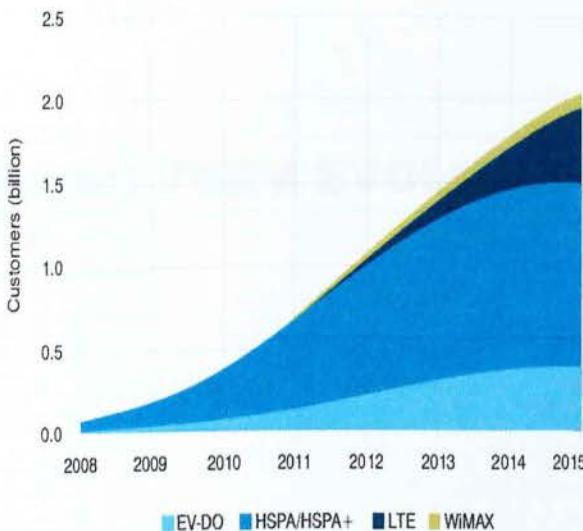
### 4.3.6 Επιπτώσεις στο δίκτυο και εναλλακτικά σενάρια υλοποίησης HSPA+

Η ανάπτυξη ενός δικτύου HSPA+ μπορεί να είναι για έναν πάροχο κινητής τηλεφωνίας μια αποδοτική λύση, καθώς η τεχνολογία HSPA+, ως εξέλιξη του HSPA, επωφελείται της υπάρχουσας HSPA υποδομής, ενώ παράλληλα επαναχρησιμοποιεί το υπάρχον αδειοδοτημένο φάσμα, αφού το HSPA+ λειτουργεί στην IMT μπάντα συχνοτήτων με εύρος ζώνης 5 ή 10 MHz. Η τεχνολογία HSPA+ περιλαμβάνει βελτιώσεις τόσο στο τομέα της ραδιοεπαφής όσο και της αρχιτεκτονικής δικτύου, οι οποίες είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Ένας HSPA πάροχος έχει την δυνατότητα να ακολουθήσει διάφορα σενάρια υλοποίησης HSPA+ και να προσφέρει διάφορους μέγιστους θεωρητικούς ρυθμούς δεδομένων μέσω της υιοθέτησης κατάλληλων HSPA+ χαρακτηριστικών ραδιοεπαφής λαμβάνοντας υπόψη την 3GPP έκδοση προτυποποίησης των HSPA+ χαρακτηριστικών (Release 7,8,9), την διαθεσιμότητα τερματικών, το απαιτούμενο κόστος για την εισαγωγή των χαρακτηριστικών HSPA+ και φυσικά τη στρατηγική του. Για παράδειγμα, ένας πάροχος μπορεί να επιλέξει είτε να αποκομίσει επιπρόσθετα οφέλη από την εκμετάλλευση της υπάρχουσας HSPA υποδομής του, αναπτύσσοντας HSPA+ πριν προβεί στην ανάπτυξη ενός LTE δικτύου (ώστε να επιλυθούν κάποια τεχνικά θέματα του LTE όπως είναι η επιλογή τρόπου παροχής υπηρεσιών φωνής), είτε να προχωρήσει σε μια γρήγορη ανάπτυξη δικτύου LTE.

Ανεξάρτητα από ποιό σενάριο για την εισαγωγή και εξέλιξη της παροχής HSPA+ θα επιλέξει να υλοποιήσει ένας πάροχος κινητής τηλεφωνίας, προκειμένου να υποστηριχθούν οι εκτιμώμενοι υψηλοί ρυθμοί δεδομένων, είναι αναγκαία η επαύξηση της χωρητικότητας του δικτύου μετάδοσης και κατ'επέκταση ο πάροχος θα πρέπει να μελετήσει για την κάθε περίπτωση χωριστά την αντικατάσταση της υφιστάμενης τεχνολογίας με κοστολογικά αποδοτική και μελλοντικά προσανατολισμένη αναβάθμιση του δικτύου μετάδοσης διατηρώντας τον δείκτη ποιότητας των προσφερόμενων υπηρεσιών. Επιπρόσθετα, ο πάροχος βασιζόμενος στις υπάρχουσες και μελλοντικές ανάγκες χωρητικότητας θα πρέπει να αποφασίσει εάν μια αναβάθμιση του δικτύου κορμού είναι απαραίτητη και στην περίπτωση που είναι, ποία είναι η βέλτιστη αρχιτεκτονική λύση. Εν τέλει, ένας πάροχος θα πρέπει να αποφασίσει ποιές εξελίξεις της ραδιοεπαφής είναι ωφέλιμο να εισαχθούν στο δίκτυο του έχοντας ως απώτερο στόχο τη βελτίωση της απόδοσης του τελικού χρήστη (πχ. MIMO, υψηλότερης τάξης διαμόρφωσης) λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τη διαθεσιμότητα των τερματικών, καθώς θα πρέπει τα τερματικά με τη σειρά τους να υποστηρίζουν τις αντίστοιχες HSPA+ εξελίξεις της ραδιοεπαφής. Για παράδειγμα εάν αναπτυχθούν οι υψηλότερης τάξης διαμορφώσεις και η τεχνική MIMO, τα νέα HSPA+ τερματικά θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από προηγμένους δέκτες που θα υποστηρίζουν Rx-diversity και ισοστάθμιση καναλιού.

Η εξέλιξη του HSPA+ μέσα από τις 3GPP εκδόσεις επιτρέπει στους παρόχους κινητών υπηρεσιών να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των επενδύσεων τους στα WCDMA δίκτυα με τη συνεχή βελτίωση της απόδοσης. Τα αποτελέσματα γίνονται εμφανή σήμερα καθώς οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι υιοθετούν και

αναπτύσουν τις αναβαθμισμένες 3GPP τεχνικές, καθιστώντας έτσι το HSPA+ σημαντική ευρυζωνική τεχνολογία και υπολογίσιμη. Το HSPA+ φαίνεται να είναι μια δελεαστική λύση για τις βραχυπρόθεσμες απαιτήσεις σε χωρητικότητα και να προτιμάται σε σχέση με το LTE. Στην πραγματικότητα οι τεχνολογίες HSPA και HSPA+ αναμένονται να κυριαρχήσουν στην παροχή ασύρματων ευρυζωνικών υπηρεσιών αφού μέχρι τα τέλη του 2015 εκτιμάται ότι 1,1 δισεκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως θα εξυπηρετούνται μέσω των τεχνολογιών HSPA και HSPA+. Παρόλα αυτά, καθώς το κόστος αναβάθμισης σε HSPA+ είναι σημαντικό, ειδικά εάν ληφθεί υπόψη το γεγονός πως οι περισσότεροι πάροχοι θα κάνουν παράλληλα τις απαραίτητες επενδύσεις προκειμένου τα δίκτυα πρόσβασης και κορμού τους να είναι σε θέση να υποστηρίξουν τις τεχνολογίες LTE και EPC αντίστοιχα, οι 3G/HSPA πάροχοι βρίσκονται σε ένα σημαντικό δίλημμα σχετικά με το αν θα πρέπει να επενδύσουν σημαντικά στην ανάπτυξη του HSPA+ δικτύου τόσο με υλισμικές όσο και με λογισμικές αναβαθμίσεις ή να υιοθετήσουν μόνο εκείνα τα HSPA+ χαρακτηριστικά που είναι υλοποιήσιμα μέσω λογισμικών αναβαθμίσεων. Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται ότι η πλειοψηφία των παρόχων κινητής τηλεφωνίας έχει επιλέξει σαν αρχικό και εύκολα υλοποιήσιμο στάδιο να αναπτύξει την διαμόρφωση 64QAM. Στη συνέχεια οι πάροχοι θα κληθούν να αποφασίσουν εάν θα αναπτύξουν την τεχνική MIMO ή την τεχνική διπλού φορέα (DC), οι οποίες αποτελούν χαρακτηριστικά της έκδοσης 3GPP Release 8, προκειμένου να προσφέρουν μέγιστο θεωρητικό ρυθμό δεδομένων στην κατερχόμενη ζεύξη της τάξεως των 42 Mbps, λαμβάνοντας υπόψη διαθεσιμότητα χαρακτηριστικών και τερματικών, την διαθεσιμότητα φορέων, την προσπάθεια που πρέπει να γίνει από την πλευρά των μηχανικών δικτύου, το κόστος επένδυσης και την προοπτική ανάπτυξης μιας τεχνικής που θα μπορούσε είτε να αποτελέσει ένα σημαντικό θεμέλιο για μια μελλοντικά πιθανή επέκταση είτε να επαναχρησιμοποιηθεί κατά την διάρκεια ανάπτυξης LTE δικτύου.



**Εικόνα 48: Ασύρματοι ευρυζωνικοί πελάτες παγκοσμίως ανα τεχνολογία (2008-2015)**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

## LONG TERM EVOLUTION

## 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η πρόσφατη αύξηση της κινητής χρήσης δεδομένων και η εμφάνιση νέων εφαρμογών όπως MMOG (Multimedia Online Gaming), mobile TV, Web 2.0, περιεχόμενα streaming έχουν παρακινήσει το 3rd Generation Partnership Project (3GPP) για να εργαστεί πάνω στο Long Term Evolution(LTE).

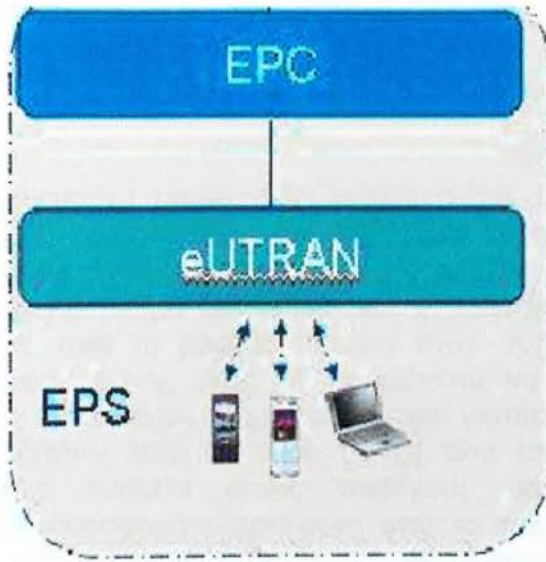
Το Long Term Evolution του είναι ένα από τα πιο πρόσφατα βήματα σε μια σειρά προώθησης κινητών συστημάτων τηλεπικοινωνιών. Ο σκοπός του προγράμματος, το οποίο ξεκίνησε τον Νοέμβριο του 2004, ήταν να καθορίσει την μακροπρόθεσμη εξέλιξη του Universal Mobile Telephone System του 3GPP. Το UMTS ήταν επίσης ένα 3GPP πρόγραμμα που μελέτησε διάφορες υποψήφιες τεχνολογίες πριν επιλεγεί το Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA) για το Radio Access Network (RAN).

Οι όροι UMTS και WCDMA είναι τώρα συμβατοί παρόλο που δεν ήταν σε καμία περίπτωση πριν επιλεγθεί αυτή η τεχνολογία. Με τον ίδιο τρόπο το πρόγραμμα LTE είναι αναπόφευκτα συνδεδεμένο με την υποκείμενη τεχνολογία η οποία περιγράφεται ως εξέλιξη του UMTS παρόλο που το LTE και το UMTS έχουν πολύ λίγα κοινά.

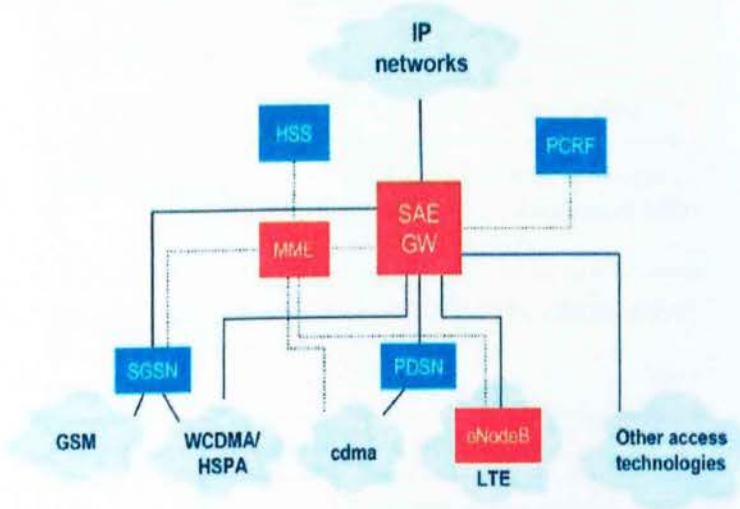
Το UMTS RAN έχει δύο κυρίως στοιχεία :

1. Το UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA), το οποίο είναι το air interface περιλαμβάνοντας το εξοπλισμό του χρήστη (UE) ή κινητό τηλέφωνο
2. Το UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) το οποίο περιλαμβάνει το Radio Network Controller (RNC) και τον σταθμό βάσης που είναι γνωστό ως Node B (NB).

Επειδή το LTE είναι η εξέλιξη του UMTS, τα ισοδύναμα στοιχεία του LTE συνεπώς ονομάζονται Evolved UTRA (E-UTRA) και Evolved UTRAN (E-UTRAN). Ωστόσο το σύστημα είναι κάτι περισσότερο από το RAN δεδομένου ότι υπάρχει ένα παράλληλο 3GPP πρόγραμμα ονομαζόμενο System Architecture Evolution (SAE), το οποίο ορίζει όλα τα νέα IP πακέτα του Core Network (CN) γνωστό ως Evolved Packet Core (EPC). Ο συνδυασμός του EPC και του evolved RAN (E-UTRA, E-UTRAN) είναι το Evolved Packet System (EPS). Το LTE έχει τεθεί σε απαιτήσεις απόδοσης που στηρίζονται στις τεχνολογίες του φυσικού επιπέδου όπως την ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)) και τα συστήματα πολλαπλής εισόδου-πολλαπλής εξόδου (Multiple-Input Multiple-Output -MIMO)), έξυπνες κεραιές για να επιτύχουν αυτούς τους στόχους.



**Εικόνα 49: EPS**



**Εικόνα 50: LTE σε επίπεδο κόμβων**

Οι κύριοι στόχοι του LTE είναι ο υψηλότερος ρυθμός απόδοσης, χαμηλότερο κόστος και χαμηλότερο latency, να επιτρέπει ευέλικτη επέκταση φάσματος στο υπάρχον ή στο νέο φάσμα συχνότητας και να επιτρέπει την συνύπαρξη με άλλες 3GPP ράδιο τεχνολογίες πρόσβασης (Radio Access Technologies-RATs).

## 5.2 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΟΥ LTE/SAE

Το E-UTRA αναμένεται να υποστηρίξει διαφορετικούς τύπους υπηρεσιών συμπεριλαμβανομένου του web browsing, FTP, video streaming, VoIP, online gaming, real time video, push-to-talk και push-to-view. Επομένως το LTE είναι σχεδιασμένο για υψηλό ρυθμό δεδομένων και χαμηλή latency συστήματος όπως υποδεικνύεται από τα βασικά κριτήρια στον παρακάτω πίνακα. Η ικανότητα του εύρους ζώνης ενός UE αναμένεται να είναι 20MHz για μετάδοση και λήψη. Ο πάροχος υπηρεσιών μπορεί ωστόσο να αναπτύξει τις κυψέλες με οποιοδήποτε από τα εύρη ζώνης που απαριθμούνται στον πίνακα. Αυτό δίνει ευελιξία στους παρόχους υπηρεσιών για να προσαρμόσουν την προσφορά εξαρτώμενη από το ποσό του διαθέσιμου φάσματος ή την δυνατότητα να αρχίσει με το περιορισμένο φάσμα για χαμηλότερο άμεσο κόστος και αύξηση του φάσματος για πρόσθετη χωρητικότητα.

Metric	Requirement
Peak data rate	DL: 100Mbps UL: 50Mbps (for 20MHz spectrum)
Mobility support	Up to 500kmph but optimized for low speeds from 0 to 15kmph
Control plane latency (Transition time to active state)	< 100ms (for idle to active)
User plane latency	< 5ms
Control plane capacity	> 200 users per cell (for 5MHz spectrum)
Coverage (Cell sizes)	5 – 100km with slight degradation after 30km
Spectrum flexibility	1.25, 2.5, 5, 10, 15, and 20MHz

**Εικόνα 51: Βασικές απαιτήσεις του LTE**

Πέρα από τις μετρικές το LTE στοχεύει επίσης στην ελαχιστοποίηση του κόστους και της κατανάλωσης ισχύος εξασφαλίζοντας την αντίστροφη συμβατότητα και οικονομικώς αποδοτική μετακίνηση από τα συστήματα UMTS. Οι ενισχυμένες πολλαπλής διανομής υπηρεσίες, η υποστήριξη για το Quality of Service (QoS) και η ελαχιστοποίηση του αριθμού των επιλογών και

περιπτώσεων χαρακτηριστικών στην αρχιτεκτονική είναι μέσα στους στόχους. Η φασματική απόδοση στην κατερχόμενη σύνδεση (DL) του LTE θα είναι 3 έως 4 φορές αυτή της έκδοσης 6 HSDPA ενώ η ανερχόμενη σύνδεση (UL) θα είναι 2 έως 3 φορές αυτής της έκδοσης 6 HSUPA. Επιπλέον περισσότερες μεταβιβάσεις στα συστήματα 2G/3G από το LTE έχουν σχεδιαστεί να είναι ομοιόμορφες.

Κατηγορία Υπηρεσίας	Περιβάλλον GSM	Περιβάλλον LTE
Φωνή	Μετάδοση ήχου σε πραγματικό χρόνο	VoIP και τηλεδιάσκεψη υψηλής ποιότητας
Συναλλαγές Peer to Peer	SMS, MMS και ηλεκτρονικό ταχυδρομείο χαμηλής προτεραιότητας	Συναλλαγές πολυμέσων υψηλής ποιότητας και αξιοπιστίας
Browsing	Πρόσβαση σε online πληροφορίες μέσω GPRS και 3G WAP	Ταχύτερο browsing με υπερταχείες μεταφορτώσεις σε και από ιστούς κοινωνικών δικτύων.
Πληρωτές υπηρεσίας Περιεχομένου	Κανονικό περιεχόμενο με πάνω από κανονικές χρεώσεις	Ε-περιοδικά, audio streaming υψηλής ποιότητας
Προσωπικοποίηση	Ringtones, Screensavers, Ringbacks	Προσωπικοποιημένες ιστοσελίδες και βίντεο
Παιχνίδια	Μεταφορτωμένα και online	Συνεχόμενη online εμπειρία μεταξύ σταθερών και κινητών δικτύων
TV/Video on Demand	Μετάδοση μέσω εκπομπών ή μεταφορτωμένο περιεχόμενο	Εικονογράφηση υψηλής ποιότητας, κινητή on demand τηλεόραση.
Μουσική	Μεταφορτωμένα tracks και αναλογική ραδιοφωνική εκπομπή	Υψηλής ποιότητας downloading και αποθήκευση
M commerce	Ποσοστό σε εμπορικές συναλλαγές και τζόγο, μέσω μηχανισμών που λειτουργούν πάνω από το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας	Τα τερματικά λειτουργούν ως μηχανισμοί πληρωμής, και οι συναλλαγές εκτελούνται με αξιοπιστία και εντοπιστική ταχύτητα
Συναλλαγές περιεχομένου και cross media	Πρόσβαση σε intranets και βάσεις δεδομένων, χρήση εφαρμογών τύπου CRM	P2P file transfer, χρήση επιχειρησιακών εφαρμογών με sharing, M2M επικοινωνίας, δυνατότητα κινητού intra/extranet

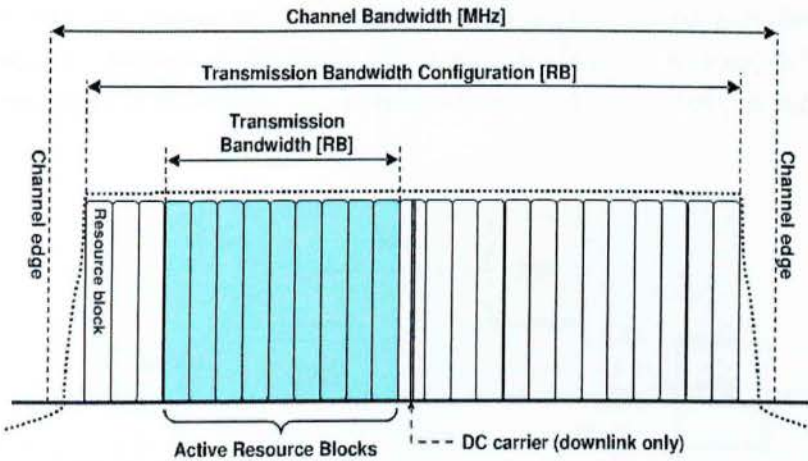
**Εικόνα 52: Σύγκριση υπηρεσιών GSM και LTE**

### 5.3 ΣΥΧΝΟΤΙΚΕΣ ΜΠΑΝΤΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Το E-UTRAN σχεδιάστηκε για να λειτουργεί σε συχνοτικές μπάντες όπως ορίζεται από τον πίνακα 1. Οι απαιτήσεις ορίζονται σε εύρη ζώνης 1.4, 3, 5,



10, 15 και 20MHz με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όσο αφορά τον αριθμό των resource blocks (6, 15, 25, 50 και 100 RB). Η εικόνα 2.12 απεικονίζει τη σχέση μεταξύ του σχηματισμού του συνολικού εύρους ζώνης του καναλιού, δηλαδή τον αριθμό των resource blocks. Η περιοχή αναπαραγωγής του καναλιού είναι 100 KHz (η κεντρική συχνότητα πρέπει να είναι πολλαπλάσια του 100).



**Εικόνα 53 : Σχέση μεταξύ εύρους ζώνης καναλιού και σχηματισμό εύρους ζώνης μετάδοσης**

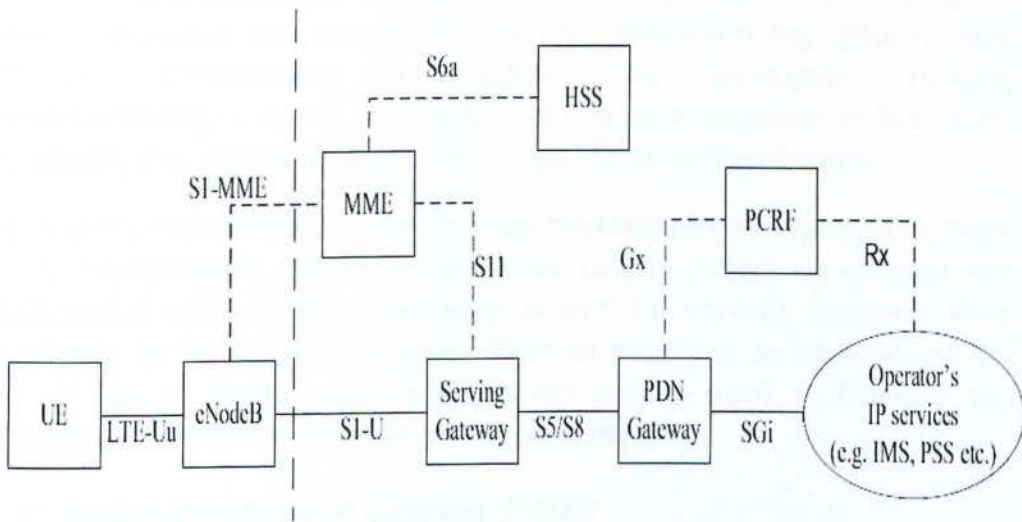
Για να υποστηρίζεται η μετάδοση σε paired και unpaired φάσματα, δύο αμφίδρομες καταστάσεις ορίζονται με διαίρεση Συχνότητας (Frequency Division Duplex FDD), η οποία μπορεί να υποστηρίξει πλήρη αμφίδρομη και ημι-αμφίδρομη λειτουργία και η με διαίρεση χρόνου (Time Division Multiplexing TDD).

E-UTRA Band	Uplink (UL) eNode B receive UE transmit	Downlink (DL) eNode B transmit UE receive	UL-DL Band separation $F_{DL, low} - F_{UL, high}$	Duplex Mode
	$F_{UL, low} - F_{UL, high}$	$F_{DL, low} - F_{DL, high}$		
1	1920 MHz - 1980 MHz	2110 MHz - 2170 MHz	130 MHz	FDD
2	1850 MHz - 1910 MHz	1930 MHz - 1990 MHz	20 MHz	FDD
3	1710 MHz - 1785 MHz	1805 MHz - 1880 MHz	20 MHz	FDD
4	1710 MHz - 1755 MHz	2110 MHz - 2155 MHz	355 MHz	FDD
5	824 MHz - 849 MHz	869 MHz - 894 MHz	20 MHz	FDD
6	830 MHz - 840 MHz	875 MHz - 885 MHz	35 MHz	FDD
7	2500 MHz - 2570 MHz	2620 MHz - 2690 MHz	50 MHz	FDD
8	880 MHz - 915 MHz	925 MHz - 960 MHz	10 MHz	FDD
9	1749.9 MHz - 1784.9 MHz	1844.9 MHz - 1879.9 MHz	60 MHz	FDD
10	1710 MHz - 1770 MHz	2110 MHz - 2170 MHz	340 MHz	FDD
11	1427.9 MHz - 1452.9 MHz	1475.9 MHz - 1500.9 MHz	23 MHz	FDD
12	[TBD] - [TBD]	[TBD] - [TBD]	[TBD]	FDD
13	777 MHz - 787 MHz	746 MHz - 756 MHz	21	FDD
14	788 MHz - 798 MHz	758 MHz - 768 MHz	20	FDD
...				
33	1900 MHz - 1920 MHz	1900 MHz - 1920 MHz	N/A	TDD
34	2010 MHz - 2025 MHz	2010 MHz - 2025 MHz	N/A	TDD
35	1850 MHz - 1910 MHz	1850 MHz - 1910 MHz	N/A	TDD
36	1930 MHz - 1990 MHz	1930 MHz - 1990 MHz	N/A	TDD
37	1910 MHz - 1930 MHz	1910 MHz - 1930 MHz	N/A	TDD
38	2570 MHz - 2620 MHz	2570 MHz - 2620 MHz	N/A	TDD
39	1880 MHz - 1920 MHz	1880 MHz - 1920 MHz	N/A	TDD
40	2300 MHz - 2400 MHz	2300 MHz - 2400 MHz	N/A	TDD

**Εικόνα 54 : E-UTRAN συχνοτικές μπάντες**

## 5.4 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Όπως προαναφέρθηκε το EPS δίκτυο αποτελείται από το δίκτυο κορμού (EPC) και το δίκτυο πρόσβασης (E-UTRAN). Όπως φαίνεται και στην Εικόνα, όσο αφορά στο δίκτυο κορμού αυτό αποτελείται από πολλές λογικές οντότητες, ενώ αντίθετα το δίκτυο πρόσβασης συντελείται από ένα και μοναδικό στοιχείο, τον evolved NodeB (eNodeB), ο οποίος συνδέεται με τους UEs. Επίσης απεικονίζονται οι διεπαφές που συνδέουν τις οντότητες αυτές μεταξύ τους.



Εικόνα 55: Στοιχεία του EPS δικτύου

### 5.4.1 ΔΙΚΤΥΟ ΚΟΡΜΟΥ

Οι βασικές οντότητες του δικτύου κορμού (Core Network) είναι οι εξής :

- **Serving Gateway (S-GW)**

Η Serving Gateway (S-GW) δρομολογεί και προωθεί τα πακέτα δεδομένων του χρήστη, ενώ επίσης ενεργεί ως σημείο αναφοράς όταν ο χρήστης κινείται μεταξύ των eNodeBs ή μεταξύ του LTE και άλλων 3GPP τεχνολογιών (handover). Η Mobility Management Entity (MME) δίνει εντολή στη S-GW να αλλάξει τη σύνδεση από τον ένα eNodeB στον άλλο. Επίσης, μπορεί να ζητήσει από τη S-GW να παρέχει πόρους σύνδεσης για τη διαβίβαση δεδομένων, αν υπάρχει ανάγκη, από τον αρχικό eNodeB στον επόμενο. Άλλο ένα σενάριο είναι η αλλαγή από μια S-GW σε άλλη, με την MME να ελέγχει τη μετακίνηση αυτή αναλόγως με την κατάργηση συνδέσεων στην παλιά S-GW και την εγκατάστασή τους στην νέα S-GW.

Για όλες τις ροές δεδομένων που ανήκουν σε ένα UE ο οποίος βρίσκεται σε λειτουργία, η S-GW μεταβιβάζει τα δεδομένα μεταξύ του eNodeB και της Packet Data Network Gateway (P-GW). Ωστόσο, όταν ένας UE είναι σε κατάσταση αδράνειας οι πόροι στον eNodeB απελευθερώνονται και η πορεία των δεδομένων τερματίζει στην S-GW. Εάν η S-GW λάβει πακέτα δεδομένων από την P-GW, τότε θα αποθηκεύσει τα πακέτα και θα ζητήσει από την MME να αρχικοποιήσει τη διαδικασία τηλεϊδοποίησης του UE. Αυτό θα παρακινήσει τον UE να ξανασυνδεθεί και όταν οι συνδέσεις ξαναπραγματοποιηθούν, τα αποθηκευμένα πακέτα θα σταλούν.

Η S-GW παρακολουθεί τα δεδομένα στις συνδέσεις και μπορεί επίσης να συλλέγει δεδομένα που απαιτούνται για τον υπολογισμό της χρέωσης των χρηστών. Επιπρόσθετα περιλαμβάνει τη λειτουργία νόμιμης παρακολούθησης, η οποία δίνει τη δυνατότητα να παρέχονται τα δεδομένα, του χρήστη που παρακολουθείται, στις αρχές για περαιτέρω έλεγχο.

Μια S-GW μπορεί να εξυπηρετεί μόνο μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή με ένα περιορισμένο σύνολο eNodeBs και επίσης μπορεί να υπάρχει ένα περιορισμένο σύνολο MMEs που ελέγχουν αυτή την περιοχή. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι θα πρέπει να είναι σε θέση να συνδέεται με οποιαδήποτε P-GW σε όλο το δίκτυο, αφού η P-GW δεν αλλάζει κατά τη διάρκεια της μετακίνησης, αντιθέτως το S-GW μπορεί να μεταφερθεί.

- **Packet Data Network Gateway (P-GW)**

Η P-GW παρέχει δυνατότητα σύνδεσης του UE με εξωτερικά δίκτυα πακέτων δεδομένων με το να δρα ως σημείο εξόδου και εισόδου της κυκλοφορίας για τον UE. Ένας UE μπορεί να έχει ταυτόχρονη σύνδεση με περισσότερες από μια P-GW για πρόσβαση σε πολλαπλά Packet Data Networks (PDNs).

Επίσης, είναι το σημείο όπου δίνεται η IP σε κάθε UE. Συνήθως διανέμει μια IP διεύθυνση στον UE, και αυτός τη χρησιμοποιεί για να επικοινωνεί με άλλους IP hosts σε εξωτερικά δίκτυα, π.χ. στο Διαδίκτυο.

Ένας άλλος βασικός ρόλος της P-GW είναι να ενεργεί ως σημείο αναφοράς για την κινητικότητα μεταξύ 3GPP και μη τεχνολογίες (όπως το WiMAX και 3GPP2). Όταν ένας UE μετακινείται από μια S-GW σε άλλη, οι φορείς/κανάλια πρέπει να αλλάξουν στο P-GW. Η P-GW θα λάβει ένδειξη για να αλλάξει τις ροές δεδομένων από το νέο S-GW. Τέλος, περιλαμβάνει το PCEF (Policy Control Enforcement Function), πράγμα που σημαίνει ότι εκτελεί gating και filtering λειτουργίες όπως απαιτείται από τις πολιτικές που καθορίζονται για τον UE και την εν λόγω υπηρεσία, ενώ συλλέγει και αναφέρει και τις σχετικές πληροφορίες χρέωσης.

- **Mobility Management Entity (MME)**

Η οντότητα MME είναι ο κόμβος κλειδί για τον έλεγχο πρόσβασης στο LTE δίκτυο. Είναι υπεύθυνη για την παρακολούθηση των συσκευών που βρίσκονται σε αδράνεια και για τη διαδικασία τηλεειδοποίησης, συμπεριλαμβανομένων των αναμεταδόσεων. Συμμετέχει στη διαδικασία ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του φορέα/καναλιού και επίσης είναι υπεύθυνη για την επιλογή του S-GW για ένα UE κατά την αρχική σύνδεση και τη στιγμή του ενδο-LTE handover συμπεριλαμβάνοντας τη μετεγκατάσταση του CN.

Επίσης, είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο ταυτότητας των χρηστών (μέσω αλληλεπίδρασης με το HSS). Οι Non Access Stratum (NAS) διαδικασίες τερματίζουν στο MME και είναι υπεύθυνες για την παραγωγή και την κατανομή προσωρινών ταυτοτήτων για τους UEs. Ελέγχουν την άδεια του UE για το αν μπορεί να συμμετέχει στην υπηρεσία που προσφέρει ο πάροχος (Public Land Mobile Network) και επιβάλλει περιορισμούς περιαγωγής στον UE. Η MME είναι το τελικό σημείο του δικτύου για κρυπτογράφηση/προστασία ακεραιότητας για τις NAS διαδικασίες και αναλαμβάνει την διαχείριση του κλειδιού ασφαλείας. Επίσης παρέχει τη λειτουργία control plane για κινητικότητα μεταξύ LTE και 2G/3G δικτύων μέσω της S3 διεπαφής. Τέλος τερματίζει την διεπαφή S6a προς το HSS για τις συσκευές χρηστών με περιαγωγή.

- **Policy and Charging Resource Function (PCRF)**

Το Policy and Charging Resource Function (PCRF) είναι ένα στοιχείο του δικτύου που είναι υπεύθυνο για την Πολιτική και τον Έλεγχο Χρέωσης (Policy Control and Charging). Λαμβάνει αποφάσεις σχετικά με το πώς να δρουν οι υπηρεσίες όσον αφορά στο QoS και παρέχει πληροφορίες στο PCEF, που βρίσκεται στο P-GW, έτσι ώστε κατάλληλοι φορείς και ανάλογη τακτική να μπορούν να οριστούν. Οι πληροφορίες που παρέχει το PCRF στην PCEF ονομάζονται κανόνες PCC. Το PCRF θα στείλει τους κανόνες PCC κάθε φορά που ένας νέος φορέας/κανάλι θα πρέπει να εγκατασταθεί. Για παράδειγμα, όταν ο UE συνδέεται για πρώτη φορά στο δίκτυο και ο αρχικός φορέας εγκατασταθεί και στην συνέχεια ένας ή περισσότεροι αφιερωμένοι φορείς εγκαθίστανται.

- **Home Subscription Server (HSS)**

Ο Home Subscription Server (HSS) είναι η “αποθήκη” δεδομένων με τις εγγραφές όλων των μόνιμων χρηστών. Είναι μια βάση δεδομένων αποθηκευμένη σε κάποιο εξυπηρετητή, ο οποίος βρίσκεται σε κεντρικό σημείο στις εγκαταστάσεις του παρόχου. Ο HSS κρατάει το κύριο αντίγραφο του προφίλ του συνδρομητή, το οποίο περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις υπηρεσίες που ισχύουν για το χρήστη, καθώς και σχετικά με τις επιτρεπόμενες PDN συνδέσεις και το αν επιτρέπεται ή όχι περιαγωγή σε ένα

δίκτυο που έχει επισκεφθεί. Για την υποστήριξη handover μεταξύ των μη-3GPP δικτύων, ο HSS αποθηκεύει επίσης τις ταυτότητες των P-GWs που είναι διαθέσιμες προς χρήση.

Ακόμα μία οντότητα που μπορεί να είναι ενσωματωμένη στο HSS είναι το Κέντρο Ταυτοποίησης (Authentication Centre) το οποίο παράγει τα διανύσματα για την ταυτοποίηση και τα κλειδιά ασφαλείας. Σε όλες τις διαδικασίες που σχετίζονται με αυτές τις λειτουργίες ο HSS αλληλεπιδρά με την MME, επομένως θα πρέπει να είναι σε θέση να συνδέεται με κάθε MME σε όλο το δίκτυο, προκειμένου να παρέχεται στο χρήστη η δυνατότητα να μετακινείται. Για κάθε UE, οι εγγραφές του HSS θα δείχνουν σε ένα MME που του προσφέρει υπηρεσίες κάθε στιγμή, και μόλις ένα νέο MME αναφέρει ότι προσφέρει υπηρεσίες στον UE, το HSS θα ακυρώσει την τοποθεσία της προηγούμενης MME.

## 5.4.2 ΔΙΚΤΥΟ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

- **Evolved NodeB**

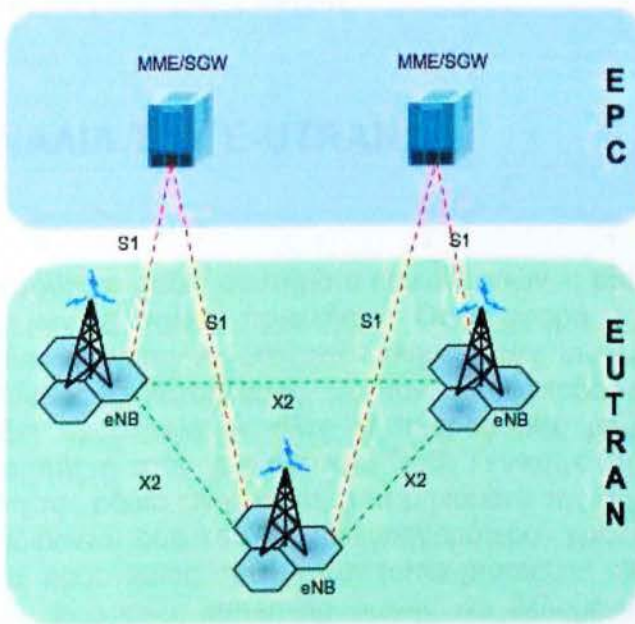
Ο μόνος κόμβος στο E-UTRAN είναι ο evolved NodeB (eNodeB). Με απλά λόγια, ο eNodeB είναι ένας σταθμός βάσης που ελέγχει όλες τις ραδιολειτουργίες που συνδέονται με το σταθερό μέρος του συστήματος. Οι σταθμοί βάσης, όπως ο eNodeB, κατανομούνται συνήθως σε όλη την περιοχή κάλυψης των δικτύων και κάθε eNodeB είναι τοποθετημένος κοντά στις ραδιοκεραίες (radio antennas).

Λειτουργικά ο eNodeB ενεργεί ως μια γέφυρα επιπέδου 2 μεταξύ του UE και του EPC, αφού είναι το σημείο τερματισμού όλων των ραδιο-πρωτοκόλλων προς το UE ενώ ταυτόχρονα αναμεταδίδει τα δεδομένα προς το EPC, μεταξύ των ραδιο-συνδέσεων και της αντίστοιχης σύνδεσης που είναι βασισμένη σε IP. Σε αυτό το ρόλο ο eNodeB εκτελεί κρυπτογράφηση / αποκρυπτογράφηση των δεδομένων του UE, καθώς επίσης συμπίεση / αποσυμπίεση των IP κεφαλίδων, πράγμα που σημαίνει την αποφυγή επανειλημμένης αποστολής των ίδιων ή διαδοχικών δεδομένων στην κεφαλίδα IP.

Ο eNodeB είναι επίσης υπεύθυνος για πολλές λειτουργίες του Control Plane (CP). Είναι υπεύθυνος για το Radio Resource Management (RRM), δηλαδή τον έλεγχο της χρήσης της ραδιο-επαφής, το οποίο περιλαμβάνει, για παράδειγμα, την κατανομή των πόρων με βάση τις αιτήσεις, την ιεράρχηση και τον προγραμματισμό της κίνησης των δεδομένων με βάση το απαιτούμενο QoS και τη συνεχή παρακολούθηση της χρησιμοποίησης των πόρων.

Επιπλέον, ο eNodeB έχει σημαντικό ρόλο στη διαχείριση κινητικότητας. Ελέγχει και αναλύει τις μετρήσεις της έντασης του ραδιοσήματος (radio signal) που πραγματοποιούνται από τον UE, κάνει παρόμοιες μετρήσεις ο ίδιος, και με βάση αυτές λαμβάνεται η απόφαση για το handover των UEs μεταξύ των κελιών. Όταν ένας νέος UE ενεργοποιείται υπό κάποιον eNodeB και κάνει αίτηση σύνδεσης στο δίκτυο, ο eNodeB είναι υπεύθυνος για τη δρομολόγηση αυτού του αιτήματος στην MME η οποία προηγουμένως εξυπηρετούσε το συγκεκριμένο UE. Σε περίπτωση που η δρομολόγηση προς την προηγούμενη MME δεν είναι διαθέσιμη ή λείπουν κάποιες πληροφορίες δρομολόγησης, επιλέγεται μία νέα MME.

Χρήζει αναφοράς το γεγονός ότι ανά πάσα στιγμή ένας eNodeB μπορεί να εξυπηρετεί πολλαπλούς UEs στην περιοχή κάλυψής του, ωστόσο κάθε UE μπορεί να είναι συνδεδεμένος με ένα μόνο eNodeB. Επίσης, γειτονικοί eNodeBs πρέπει να είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους. Τέλος, κάθε στιγμή σε ένα UE προσφέρονται υπηρεσίες από μία μόνο MME και S-GW, και ο eNodeB πρέπει να παρακολουθεί αυτή την συσχέτιση. Αυτό σημαίνει ότι ένας eNodeB είναι πιθανό να πρέπει να συνδεθεί με πολλές MMEs και S-GWs.



Εικόνα 56: Το δίκτυο πρόσβασης

### 5.4.3 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΧΡΗΣΤΗ

Ο εξοπλισμός χρήστη (User Equipment) είναι η συσκευή την οποία ο τελικός χρήστης χρησιμοποιεί για επικοινωνία. Συνήθως πρόκειται για μια συσκευή χειρός όπως είναι ένα smart phone ή ακόμα και ένα laptop. Επίσης περιλαμβάνει την Universal Subscriber Identity Module (USIM), που είναι μια ξεχωριστή μονάδα από τον υπόλοιπο UE, που συχνά αποκαλείται Τερματικός Εξοπλισμός (Terminal Equipment). Η USIM είναι μια εφαρμογή που τοποθετείται σε μια αφαιρούμενη έξυπνη κάρτα που λέγεται Universal Integrated Circuit Card (UICC) και χρησιμοποιείται για να προσδιορίζει και να ελέγχει την ταυτότητα του χρήστη καθώς και να παράγει κλειδιά ασφαλείας για την προστασία της μετάδοσης στη ραδιοδιεπαφή.

Ο UE είναι μια πλατφόρμα για εφαρμογές επικοινωνίας που επιτελεί λειτουργίες διαχείρισης κινητικότητας όπως handover και αναφορά της τοποθεσίας όπου βρίσκεται ο τερματικός σταθμός. Όλες αυτές οι λειτουργίες εκτελούνται όπως του επιβάλλει το δίκτυο. Ίσως το πιο σημαντικό είναι το γεγονός ότι ο UE παρέχει τη διεπαφή για τον τελικό χρήστη, έτσι ώστε εφαρμογές όπως VoIP να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πραγματοποίηση μιας φωνητικής κλήσης.

## 5.5 ΤΑ ΚΑΝΑΛΙΑ ΤΟΥ E-UTRAN

Όπως στα περισσότερα ραδιο συστήματα επικοινωνιών, η ράδιο-διεπαφή του EUTRAN αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις. Όσον αφορά τις απαιτήσεις, το EUTRAN θα είναι σε θέση να εκπέμπει πληροφορίες υψηλών ρυθμών και χαμηλής λανθάνουσας κατάστασης με τον πιο αποδοτικό τρόπο, δεν απαιτείται η ίδια προστασία σε όλες οι πληροφορίες ροών ενάντια στα σφάλματα εκπομπής ή στον χειρισμό του QoS. Γενικά, είναι κρίσιμο, ειδικά στην περίπτωση της ράδιο κινητικότητας τα μηνύματα της σηματοδότησης του E-UTRAN μεταδίδονται όσο το δυνατόν γρηγορότερα, χρησιμοποιώντας το καλύτερο σχήμα προστασίας σφαλμάτων (error-protection scheme). Από την άλλη πλευρά οι εφαρμογές streaming φωνής και δεδομένων μπορούν να δεχτούν μια λογική απώλεια πλαισίων κατευθείαν στο ραδιο εκπομπή. Interactive connection-oriented applications (όπως το Web browsing) είναι επίσης διαφορετικά όπως η end to end επανεκπομπή μπορεί να βοηθήσει να ανακτήσει ζητήματα ράδιο διάδοσης. Προκειμένου να είναι ευέλικτες και να επιτρέπουν διαφορετικά σχήματα για την εκπομπή δεδομένων, οι προδιαγραφές του E-UTRAN εισάγουν διάφορους τύπους καναλιών:

- Τα λογικά κανάλια
- Τα κανάλια μεταφοράς
- Τα φυσικά κανάλια.

### 5.5.1 Λογικά Κανάλια

Τα λογικά κανάλια αντιστοιχούν με υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων προτεινόμενων από τα πρωτόκολλα ράδιο διεπαφής στα υψηλά επίπεδα. Βασικά υπάρχουν μόνο δύο τύποι λογικών καναλιών : το κανάλια ελέγχου (για την μεταφορά πληροφοριών του επιπέδου ελέγχου) και τα κανάλια κίνησης (για την μεταφορά πληροφοριών του επιπέδου χρήστη). Καθένα από τα κανάλια αυτών των δύο κατηγοριών αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο τύπο ροής πληροφορίας.

Τα λογικά κανάλια ελέγχου του E-UTRAN είναι:

- Το BCCH (Broadcast Control Channel): αυτό το κανάλι είναι ένα κοινό κατερχόμενο κανάλι, χρησιμοποιημένο από το δίκτυο για να μεταδώσει πληροφορίες του EUTRAN συστήματος στα τερματικά στα radio cells. Αυτή η πληροφορία είναι χρήσιμη από το τερματικό πχ για να γνωρίζει ο χειριστής του δικτύου εξυπηρέτησης κυψέλης, να παίρνει πληροφορίες για τη διαμόρφωση των κοινών καναλιών κυψέλης, πως να έχει πρόσβαση στο δίκτυο κλπ.
- Το PCCH (Paging Control Channel): Το PCCH είναι ένα κοινό κατερχόμενο κανάλι το οποίο μεταφέρει πληροφορίες ειδοποίησης (paging) στα τερματικά στοιχεία στην κυψέλη.
- Το CCCH (Common Control Channel): το CCCH είναι ιδιαίτερο είδος καναλιού μεταφοράς χρήσιμο για επικοινωνία μεταξύ του τερματικού και E-UTRAN όταν καμία RRC σύνδεση είναι διαθέσιμη. Τυπικά αυτό το κανάλι χρησιμοποιείται σε μια πρόωρη φάση δημιουργίας μιας επικοινωνίας.
- Το MCCH (Multicast Control Channel): αυτό το κανάλι είναι χρήσιμο για την μετάδοση πληροφοριών του MBMS (Multimedia Broadcast and Multicast Service) από το δίκτυο σε ένα ή περισσότερα τερματικά.
- Το DCCH (Dedicated Control Channel): το DCCH είναι ένα point-to-point διπλής κατεύθυνσης κανάλι υποστηρίζοντας έλεγχο πληροφοριών μεταξύ ενός λαμβανόμενου τερματικού και το δίκτυο. Οι πληροφορίες ελέγχου περιλαμβάνουν μόνο το RRC και την σηματοδότηση NAS.

Τα λογικά κανάλια κίνησης του E-UTRAN είναι:

- DTCH (Dedicated Traffic Channel): το DTCH είναι ένα point-to-point διπλής κατεύθυνσης κανάλι, χρησιμοποιείται μεταξύ ενός λαμβανόμενου τερματικού και του δικτύου. Μπορεί να υποστηρίξει την μετάδοση δεδομένων χρήστη, τα οποία περιλαμβάνουν τα δεδομένα



τους όπως επίσης σηματοδότηση επιπέδου εφαρμογών συνδεδεμένα με την ροή δεδομένων.

- Το MTCH (Multicast Traffic Channel): ένα point-to-multipoint κανάλι δεδομένων για την εκπομπή της κίνησης δεδομένων απο το δίκτυο σε ένα ή περισσότερα τερματικά. Όπως για το MCCH, αυτό το κανάλι είναι συνδεδεμένο με τις υπηρεσίες MBMS (Multimedia Broadcast and Multicast Service).

### 5.5.2 Κανάλια μεταφοράς

Τα κανάλια μεταφοράς περιγράφουν το πως και με ποιά χαρακτηριστικά τα δεδομένα μεταφέρονται πάνω στη ράδιο διεπαφή. Για παράδειγμα, τα κανάλια μεταφορών περιγράφουν το πώς τα δεδομένα είναι προστατευμένα από τα σφάλματα μετάδοσης, τον τύπο κωδικοποίησης του καναλιού, προστασία CRC ή interleaving τα οποία χρησιμοποιούνται στο μέγεθος των πακέτων δεδομένων που στέλνονται πάνω στη ράδιο διεπαφή κλπ. Όλο αυτό το σύστημα πληροφοριών είναι γνωστό ως Transport Format. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές, τα κανάλια μεταφοράς είναι ταξινομημένα σε δύο κατηγορίες: τα κανάλια κατερχόμενης μεταφοράς (από το δίκτυο στο τερματικό) και τα κανάλια ανερχόμενης μεταφοράς (από το τερματικό στο δίκτυο).

Τα κανάλια κατερχόμενης μεταφοράς στο E-UTRAN είναι:

- Το BCH (Broadcast Channel), ενωμένο με τα λογικά κανάλια BCCH. Το BCH έχει ένα σταθεροποιημένο και προκαθορισμένο Transport Format και θα καλύψει όλη την περιοχή της κυψέλης.
- Το PCH (Paging Channel), ενωμένο με το BCCH.
- Το DL-SCH (Downlink Shared Channel), το οποίο χρησιμοποιείται στον έλεγχο μεταφοράς χρήστη ή στα δεδομένα κυκλοφορίας.
- Το MCH (Multicast Channel), το οποίο είναι ενωμένο στον χρήστη MBMS της μεταφοράς πληροφοριών ελέγχου.

Τα κανάλια ανερχόμενης μεταφοράς του E-UTRAN είναι:

- Το UL-SCH (Uplink Shared Channel), το οποίο είναι ανερχόμενη σύνδεση ισοδύναμη του DL-SCH.
- Το RACH (Random Access Channel), το οποίο είναι ειδικό κανάλι μεταφοράς που υποστηρίζει περιορισμένες πληροφορίες ελέγχου πχ. Κατά την διάρκεια πρόωρων φάσεων δημιουργίας των επικοινωνιών ή στην περίπτωση αλλαγής της κατάστασης του RRC.

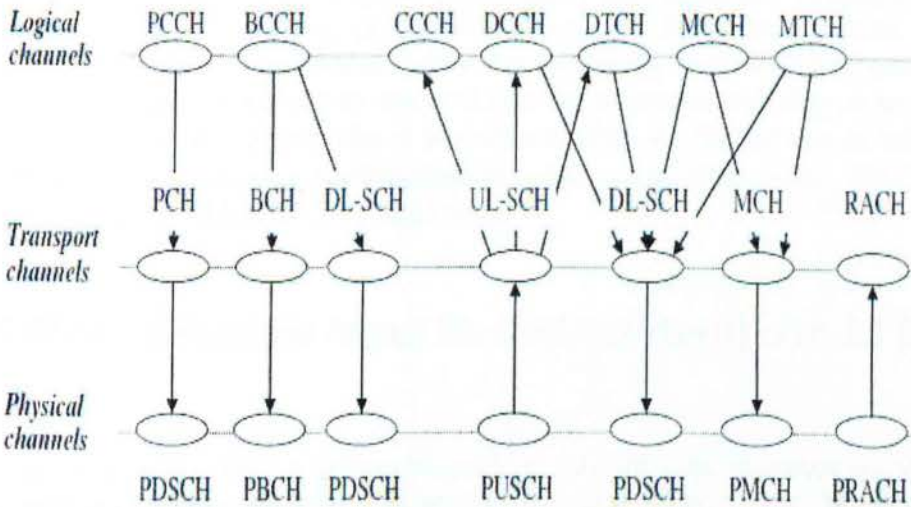
### 5.5.3 Φυσικά κανάλια

Τα φυσικά κανάλια είναι πραγματική εφαρμογή του καναλιού μεταφορών πάνω στην ράδιο διεπαφή. Τα φυσικά κανάλια που καθορίζονται στην κατερχόμενη σύνδεση είναι:

- Physical Downlink Shared Channel (PDSCH) – το οποίο μεταφέρει δεδομένα του χρήστη και σηματοδοσία υψηλού επιπέδου.
- Physical Downlink Control Channel (PDCCH) – αυτό το κανάλι μεταφέρει προγραμματισμένες εντολές για την ανερχόμενη σύνδεση.
- Physical Multicast Channel (PMCH) – το οποίο μεταφέρει πληροφορίες Multicast/Broadcast.
- Physical Broadcast Channel (PBCH) – το οποίο μεταφέρει πληροφορίες συστήματος.
- Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH) – το οποίο πληροφορεί το UE για τον αριθμό των OFDM συμβόλων που χρησιμοποιούνται για το PDCCH.
- Physical Hybrid ARQ Indicator Channel (PHICH) – το οποίο μεταφέρει τις απαντήσεις του eNodeB, ACK και NACK στην μετάδοση της ανερχόμενης σύνδεσης, σχετικά με το μηχανισμό HARQ.

Τα φυσικά κανάλια που καθορίζονται στην ανερχόμενη σύνδεση είναι:

- Physical uplink Shared Channel (PUSCH) – το οποίο μεταφέρει δεδομένα του χρήστη και σηματοδοσία υψηλού επιπέδου.
- Physical Uplink Control Channel (PUCCH) – αυτό το κανάλι μεταφέρει πληροφορίες ελέγχου της ανερχόμενης σύνδεσης, περιλαμβάνοντας τις απαντήσεις ACK και NACK από το τερματικό στην μετάδοση κατερχόμενης σύνδεσης σχετικά με τον μηχανισμό HARQ.
- Physical Random Access Channel (PRACH) – το οποίο μεταφέρει την εισαγωγή τυχαίας πρόσβασης που στέλνεται από τα τερματικά για πρόσβαση στο δίκτυο.



**Εικόνα 57: Χαρτογράφηση καναλιών**

Τα λογικά κανάλια PCCH και BCCH έχουν συγκεκριμένα μεταφορικά και φυσικά χαρακτηριστικά έτσι η αντιστοιχία του μεταφορικού και φυσικού καναλιού είναι ειδική γι αυτά. Η αντιστοιχία για το BCCH στο BCH και DL-SCH καναλιών μεταφοράς δεν είναι επιλογή. Αυτό έρχεται από το γεγονός ότι οι πληροφορίες συστήματος είναι αποτελούμενες από δύο μέρη:

- Κρίσιμες πληροφορίες του συστήματος οι οποίες έχουν ένα σταθερό σχήμα και απαιτούν συχνή ενημέρωση- αυτό αντιστοιχεί με το PBCH.
- Δυναμικές και λιγότερες κρίσιμες πληροφορίες οι οποίες αντιστοιχούν στο κανάλι μεταφοράς προσφέροντας περισσότερη ευελιξία με καθορισμένο εύρος συχνοτήτων και επανάληψη περιόδου – το DL-SCH.

Από την άλλη μερικά λογικά κανάλια μπορούν να ωφεληθούν από διαφορετικές πιθανές επιλογές όσον αφορά την αντιστοιχία στο κανάλι μεταφοράς. Τυπικά, αυτό συμβαίνει για τα MCCH και MTCH Multicast κανάλια, τα οποία χαρτογραφούνται σε συγκεκριμένο MCH κανάλι μεταφορών σε περίπτωση παροχής υπηρεσιών πολύκυψελών MBMS. Όταν μια υπηρεσία MBMS παρέχεται σε μια κυψέλη, τα κανάλια MCCH και MTCH χαρτογραφούνται πάνω από τα συμβατικά κανάλια DL-SCH.

Τα άλλα φυσικά κανάλια ( όπως το PUCCH, PDCCH, PCFICH και PHICH) δεν μεταφέρουν πληροφορίες από τα υψηλότερα επίπεδα (όπως η σηματοδότηση RRC ή δεδομένα χρήστη). Προορίζονται μόνο για το σκοπό του φυσικού επιπέδου, δεδομένου ότι μεταφέρουν πληροφορίες σχετικές με την κωδικοποίηση των φυσικών ομάδων, ή πληροφορίες σχετικές με το HARQ.

Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο εκείνα τα κανάλια δεν χαρτογραφούνται σε οποιοδήποτε από τα κανάλια μεταφορών της ράδιο διεπαφής.

Το RACH είναι μια συγκεκριμένη περίπτωση του καναλιού μεταφοράς, που δεν έχει καμιά ισοδυναμία με το λογικό κανάλι. Αυτό προέρχεται από το γεγονός ότι το RACH μεταφέρει μόνο την εισαγωγή του RACH (η οποία είναι βασικά το πρώτο σύνολο bits που στέλνει το τερματικό στο δίκτυο για αίτηση πρόσβασης). Μόλις χορηγηθεί η πρόσβαση από το δίκτυο και οι πόροι του φυσικού uplink είναι κατανομημένοι στο τερματικό, το RACH δεν χρησιμοποιείται πλέον από το τερματικό.

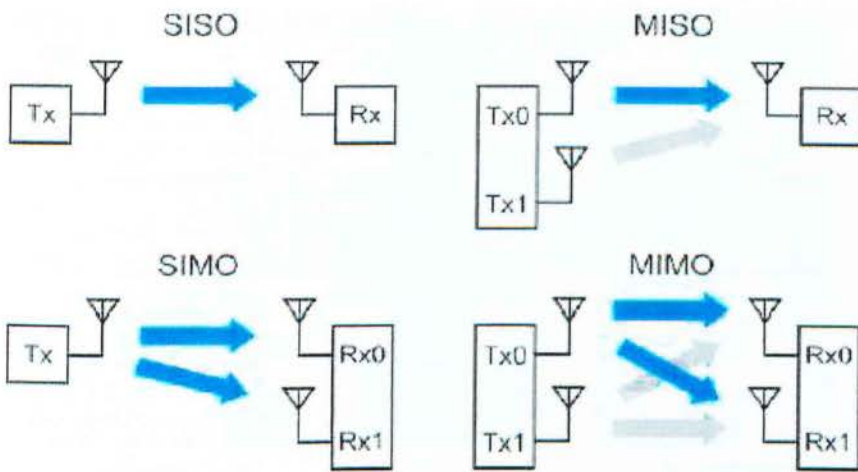
## 5.6 MIMO (Multiple Input Multiple Output) στο LTE

Σε μια ασύρματη ζεύξη, η χρήση περισσότερων της μιας κεραιών στον πομπό και στον δέκτη προσφέρει την δυνατότητα εκμετάλλευσης της διάστασης του χώρου για τη βελτίωση της επίδοσης αυτής. Τα συστήματα MIMO χρησιμοποιούν την ταυτόχρονη επεξεργασία του σήματος στο πεδίο του χώρου και του χρόνου (space – time processing). Ένα ασύρματο σύστημα MIMO ορίζεται ως εξής :

Σε ένα τυχαίο ασύρματο σύστημα, θεωρούμε μία ζεύξη, στην οποία ο πομπός και ο δέκτης είναι εφοδιασμένοι με πολλαπλές κεραιές. Η βασική θεώρηση είναι ότι τα σήματα συνδυάζονται στις κεραιές του πομπού στο ένα άκρο και στις κεραιές του δέκτη στο άλλο, κατά κατάλληλο τρόπο ώστε η ποιότητα (bit error rate) ή ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων (bits/sec) στην ζεύξη να βελτιωθούν σημαντικά. Τα συστήματα MIMO χρησιμοποιούν την ταυτόχρονη επεξεργασία του σήματος στο πεδίο του χώρου και του χρόνου (space – time processing). Μείζονος σημασίας στα MIMO συστήματα αποτελεί η κατάλληλη επιλογή των διεργασιών (αλγόριθμοι κωδικοποίησης, διαμόρφωσης και ανάθεσης) που προηγούνται της εκπομπής και έπονται της λήψης, ώστε η απόδοση της ασύρματης ζεύξης να είναι βέλτιστη.

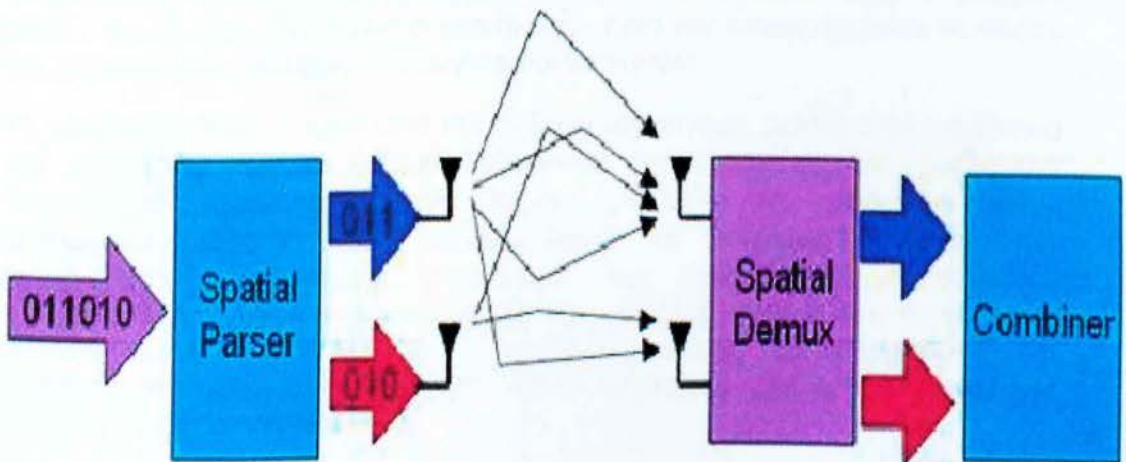
Τα συστήματα MIMO αποτελούν ουσιαστικό κομμάτι των LTE δικτύων και στρατηγικό πλεονέκτημα στη διέλευση υψηλών ταχυτήτων και στην αποδοτικότητα φάσματος ή Spectral Efficiency.

Παρακάτω ακολουθούν οι βασικότεροι συνδυασμοί κεραιοσυστημάτων που ισχύουν μέχρι σήμερα, από άποψη αριθμού κεραιών σε πομπό και δέκτη.



**Εικόνα 58 : Διαθέσιμοι συνδυασμοί αριθμού κεραιών σε πομπό και δέκτη**

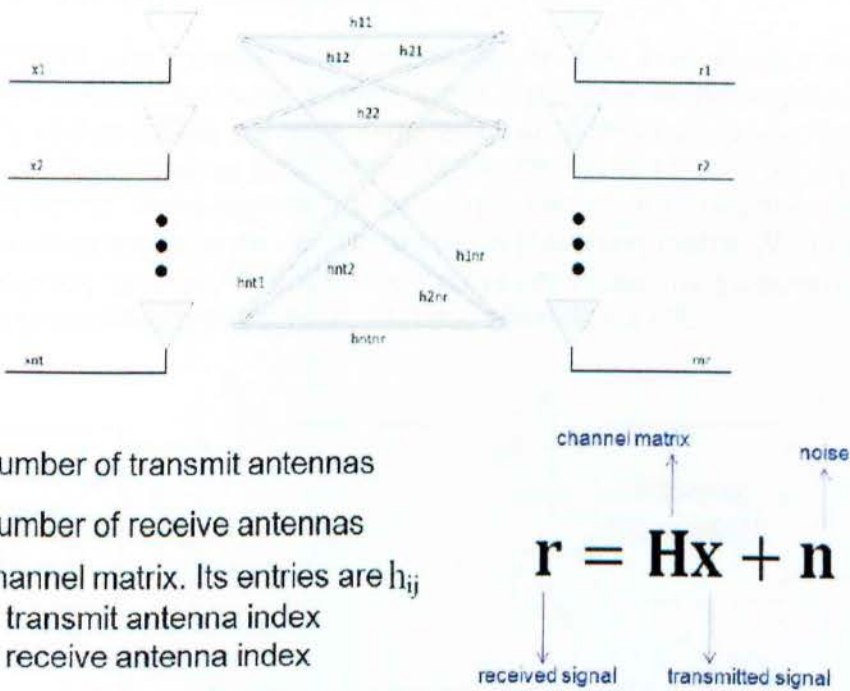
Η χωρική πολυπλεξία (Spatial Multiplexing) η οποία υφίσταται μόνο με την υποστήριξη της ασύρματης σύνδεσης, επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση διαφορετικών ρευμάτων δεδομένων σε κοινό μπλόκ πόρων, μέσω εκμετάλλευσης της διάστασης του χώρου της ασύρματης σύνδεσης. Η πολυπλεξία επιτυγχάνεται με την επεξεργασία του πίνακα των διαλείψεων ώστε να στείλουμε τα δεδομένα από ανεξάρτητα κανάλια. Τα ρεύματα δεδομένων ανήκουν σε μοναδικό χρήστη (SU-MIMO) ή σε πολλαπλούς χρήστες (MU-MIMO). Οι περιπτώσεις SU-MIMO διευκολύνουν την ανάπτυξη υψηλών ρυθμών δεδομένων του χρήστη ενώ οι περιπτώσεις MU-MIMO βελτιώνουν σε ουσιαστικό βαθμό την συνολική χωρητικότητα του συγκεκριμένου δικτύου.



**Εικόνα 59 : Χωρική Πολυπλεξία**

Η κάθε κεραία στην πλευρά του δέκτη δέχεται ρεύματα δεδομένων από το σύνολο των κεραιών του πομπού (transmit antenna) οδηγώντας στην μοντελοποίηση του ασύρματου καναλιού (ανα συγκεκριμένου delay) από τον πίνακα  $H$ , στην εικόνα παρακάτω. Στον πίνακα  $H$  ο μεταβλητής  $N_t$  εκπροσωπεί τον αριθμό των transmit antenna και ο μεταβλητής  $N_r$  τον αριθμό των receive antenna. Οι συντελεστές καναλιού  $h_{ij}$  ή channel coefficients

περιγράφουν το σύνολο των πιθανών πορειών σήματος μεταξύ του πομπού και του δέκτη.



- $n_t$  = number of transmit antennas
- $n_r$  = number of receive antennas
- $\mathbf{H}$  = channel matrix. Its entries are  $h_{ij}$ 
  - $i$  = transmit antenna index
  - $j$  = receive antenna index

**Εικόνα 60 : Πίνακας H**

Το σύνολο των ρευμάτων δεδομένων που μεταδίδονται ταυτόχρονα μέσω του καναλιού MIMO περιέχονται στο  $\min\{N_t, N_r\}$  και περιορίζονται από την βαθμίδα του πίνακα  $H$ . Η ποιότητα μετάδοσης περιορίζεται σημαντικά στις περιπτώσεις χαμηλού ισχύος των μοναδικών τιμών του πίνακα  $H$ , πχ σε περιπτώσεις αδύνατου συσχετισμού μεταξύ δύο κεραιών. Αρα η βαθμίδα ( $\text{rank}$ ) του πίνακα  $H$  αποτελεί σημαντικό κριτήριο του επιτρεπόμενου επιπέδου της χωρικής πολυπλεξίας στο συγκεκριμένο κανάλι.

Οι τοπολογίες MIMO εκτός από την αύξηση ταχυτήτων, βελτιώνουν σημαντικά την αξιοπιστία των ρευμάτων δεδομένων λειτουργώντας ως συστήματα διαφορισμού κεραιών. Η κάθε κεραία μεταδίδει το αντίστοιχο ρεύμα δεδομένων ώστε η κάθε κεραία δέκτη να λαμβάνει αντίτυπα των μεταδοθέντων δεδομένων μειώνοντας την πιθανότητα λανθασμένων στοιχείων και βελτιώνοντας σημαντικά την ολική αξιοπιστία του συστήματος δηλαδή αυξάνει το SNR σε περιπτώσεις fading και διευκολύνει την αποκωδικοποίηση σε προβλήματα time alignment (όπως στις ανάλογες περιπτώσεις του (WCDMA 99).

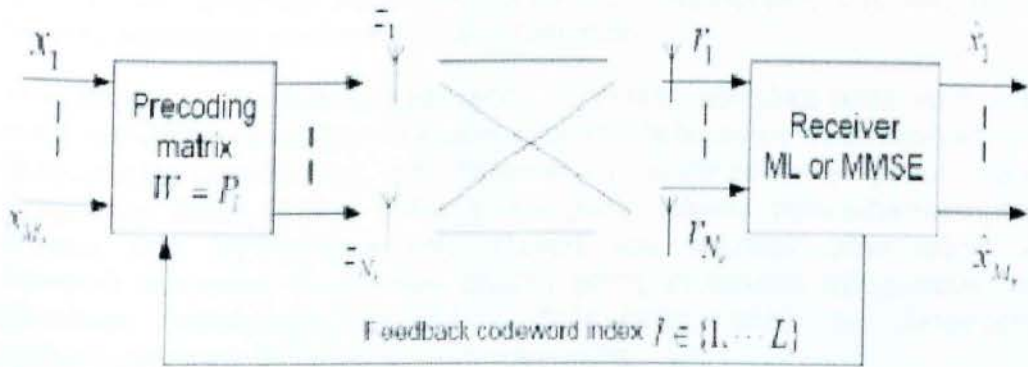
Τυπικά, η διαδικασία περιλαμβάνει antenna specific space time coding πριν την μετάδοση έτσι βελτιώνοντας την επίδραση διαφορισμού.

**Τα δίκτυα LTE υποστηρίζουν τα ακόλουθα σενάρια μετάδοσης:**

- Μετάδοση μέσω μοναδικής κεραιάς, χωρίς MIMO
- Διαφορισμό στην μεριά του πομπού
- Χωρική πολυπλεξία τύπου ανοιχτού και κλειστού βρόγχου

- Precoding πρώτης βαθμίδας τύπου κλειστού βρόγχου
- Beam forming (δημιουργία δέσμης)

Η χωρική πολυπλεξία οδηγεί στην χαρτογράφηση των έως και δύο code words σε διαφορετικά στρώματα χώρου, όπου η μια code work εκπροσωπεί το output του κωδικοποιητή και όπου ο αριθμός των διαθέσιμων transmission στρωμάτων ισοδυναμεί με τη βαθμίδα (rank) του πίνακα  $H$ . Η υποστήριξη του spatial multiplexing πραγματοποιείται από την πλευρά του πομπού μέσω precoding, πολλαπλασιάζοντας το στρώμα με το precoding matrix  $W$  όπου ο βελτιστοποιημένος πίνακας  $W$  ο πίνακας που μεγιστοποιεί την χωρητικότητα προαποφασίζεται μέσω codebook στις πλευρές eNodeB και UE.



**Εικόνα 61 : Precoding Principle**

Το βιβλίο κωδικών (codebook) περιέχει πληροφορίες που αφορούν τα διάφορα στρώματα μετάδοσης. Η πολυπλεξία χώρου απουσιάζει από την ειδική περίπτωση του ενός στρώματος, και για τα συστήματα πολυπλεξίας χώρου κλειστού βρόγχου το codebook index περιέχει το 0. Τα συστήματα 4X4 περιέχουν εμπλουτισμένο codebook μεγαλύτερων διαστάσεων.

Codebook Index	Number of layers $\nu$	
	1	2
0	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$
1	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$
2	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix}$	$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ j & -j \end{bmatrix}$
3	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix}$	-

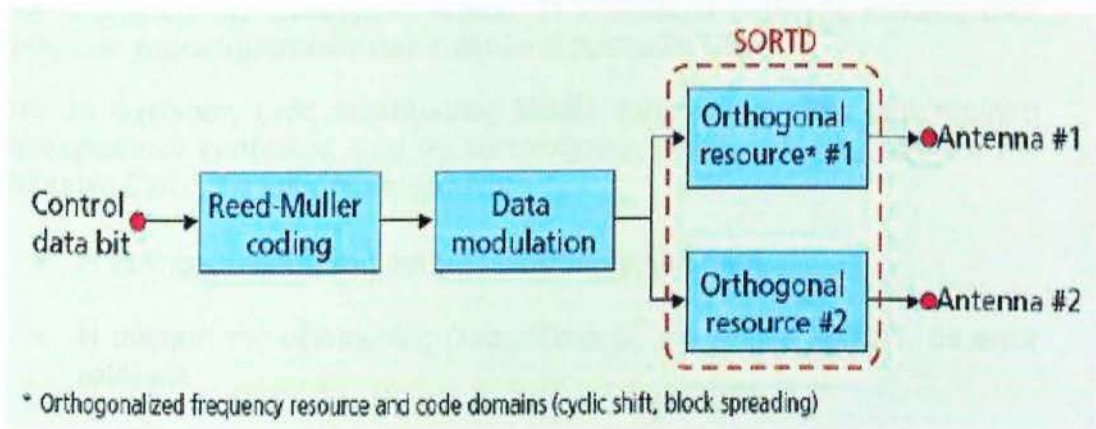
**Εικόνα 62 : 2X2 Transmit codebook**

Το UE προσδιορίζει την κατάσταση της ασύρματης σύνδεσης και επιλέγει με την καθοδήγηση του eNodeB το βελτιστοποιημένο precoding matrix. Η πληροφορία μεταφέρεται ανάλογα με το διαθέσιμο εύρος ζώνης ανά μοναδικό μπλόκ πόρων ή ομάδες μπλόκ πόρων. Το δίκτυο θα διαμορφώσει το υποσύνολο των codebooks που θα επιλεγθούν από το UE.

Η πολυπλεξία χώρου ανοιχτού βρόγχου επιλέγεται στις περιπτώσεις τερματικών αυξημένης ταχύτητας με τον κίνδυνο επιδείνωσης του σήματος στην περίπτωση 4Χ4 οι διάφοροι precoders διανέμονται κυκλικά στους διαθέσιμους πόρους.

Το eNodeB θα επιλέξει το βελτιστοποιημένο MIMO mode και configuration προκωδικοποίησης και θα μεταφέρει την πληροφορία στο UE ως τμήμα του downlink control information (DCI) στο PDCCH με το format 2 να επιδιώκει την ανάθεση των 2 code words συμπεριλαμβάνοντας πληροφορίες σχετικές με την προκωδικοποίηση πχ. 2a στην περίπτωση πολυπλεξίας ανοιχτού βρόγχου, 1b στην περίπτωση 1 code word συμπεριλαμβάνοντας πληροφορίες σχετικές με την προκωδικοποίηση και 1d για spatial multiplexing πολλαπλών χρηστών συμπεριλαμβάνοντας πληροφορίες σχετικές με την προκωδικοποίηση και power offset information.

Η μετάδοση σε transmit diversity mode περιπλέκει μοναδικό code word με την κάθε κεραία να μεταδίδει πανόμοια ρεύματα δεδομένων υποστηρίζοντας το διαφορισμό μεταδόσεως με διαφορετική κωδικοποίηση μέσω Space Frequency Block Coding (SFBC), και μέσω ειδικού προκωδικοποιημένου πίνακα που εφαρμόζεται στη πλευρά του πομπού στην φάση της προκωδικοποίησης. Στην συγκεκριμένη φάση, οι κεραίες προχωρούν στην μετάδοση πανόμοιων σύμβολων δεδομένων, αλλά με διαφορετική κωδικοποίηση και σε διαφορετικά υποφέροντα.



**Εικόνα 63 : MIMO Transmit Diversity Mode**

Ο διαφορισμός κυκλικής καθυστέρησης Cyclic Delay Diversity (CDD), ένας πρόσθετος τρόπος διαφορισμού (diversity) εφαρμόζεται σε συνδυασμό με την πολυπλεξία χώρου. Αυτός ο τύπος του antenna specific delay εφαρμόζεται στα σήματα της μεριάς του πομπού εισάγοντας αποτελεσματικά τεχνητό multipath στο σήμα όπως αντιλαμβάνεται από τον δέκτη. Το αποτέλεσμα βελτιώνει τον διαφορισμό συχνότητας του καναλιού.

Οι αρχιτεκτονικές MIMO απαιτούν από το UE προς τον σταθμό βάσης, την συνεχή ενημέρωση σχετικά με την κατάσταση και ποιότητα της ασύρματης σύνδεσης. Οι απαιτούμενες πληροφορίες και παράμετροι ενημέρωσης προσαρμόζονται στον τύπο και συγκεκριμένη κατάσταση του δικτύου και



ενσωματώνουν περιοδικές ενημερώσεις π.χ. μέσω PUCCH και απρογραμματίστες ενημερώσεις πχ. μέσω του PUSCH.

Οι μεταβλητές που αποκτούν κύριο ρόλο στη ενημέρωση προς το σταθμό βάσης συμπεριλαμβάνουν τη μεταβλητή CQI (Channel Quality Indicator), τη PMI (Precoding Matrix Indicator), και την RI (Rank Indication).

Η λειτουργία του MIMO όσον αφορά την ζεύξη ανόδου (uplink) πάντα λαμβάνει υπόψη τις παραμέτρους πολυπλοκότητας του τερματικού. Η χρήση του MU-MIMO στην ζεύξη ανόδου είναι χαρακτηριστική, και πολλαπλά τερματικά μεταδίδουν ταυτόχρονα μέσω κοινού resource block δηλαδή η εφαρμογή του SDMA. Η τεχνική κατέχει ως σημαντικό πλεονέκτημα την ανάγκη μιας και μοναδικής κεραίας μετάδοσης (single transmit antenna) και τα τερματικά (UE) που μοιράζονται τον ίδιο μπλόκ πόρων εφαρμόζουν αμοιβαίες ορθογωνικές πιλοτικές διατάξεις (manually orthogonal pilot patterns). Η δυναμική επιλογή των κεραιών μετάδοσης επωφελή το UE στα θέματα διαφορισμού και στη βελτιστοποίηση του κόστους κρατώντας τα κόστη σε προσιτά επίπεδα προς το καταναλωτικό κοινό. Το UE στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιεί δύο κεραίες transmit συνδεδεμένες με μια αλυσίδα μετάδοσης και μοναδικό ενισχυτή, όπου μέσω switch εκτελείται η επιλογή κεραίας που παρέχει την βέλτιστη σύνδεση με το σταθμό βάσεως eNodeB. Η απόφαση εκτελείται με γνώμονα τις λαμβανόμενες πληροφορίες από τον σταθμό βάσεως eNodeB, όπου τα CRCparity bits (DCI Format) επεξεργάζονται με επιλεγμένη από το UE selection mask με αποτέλεσμα το 0 ή το 1, δηλαδή την επιλεγμένη κεραία. Η διαδικασία επιλογής κεραίας είναι μέρος των χαρακτηριστικών των κινητών τερματικών UE.

Κατά τη σχεδίαση ενός συστήματος MIMO στοχεύουμε στην ικανοποίηση συγκεκριμένων κριτηρίων, που θα καταστήσουν αποδοτική και χρηστική την ασύρματη ζεύξη. Τα κριτήρια αυτά είναι :

- Η βελτιστοποίηση του ρυθμού μετάδοσης (bit rate),
- Η αύξηση της αξιοπιστίας (εκφράζεται με τον ρυθμό λαθών - bit error rate) και
- Η μειωμένη πολυπλοκότητα υλοποίησης του συστήματος

**Ο ρυθμός μετάδοσης** μπορεί να εκφραστεί ως το μέγεθος της φασματικής απόδοσης (spectral efficiency) του συστήματος, που ορίζεται ως ο ρυθμός bits ανά μονάδα εύρους ζώνης (bits /s/ Hz). Ο Shannon καθόρισε πρώτος τον μέγιστο δυνατό ρυθμό μετάδοσης μιας ζεύξης παρουσία λευκού θορύβου. Για την εκτίμηση της επίδοσης ενός συστήματος χρησιμοποιείται συχνά η χωρητικότητα Shannon (Shannon capacity).

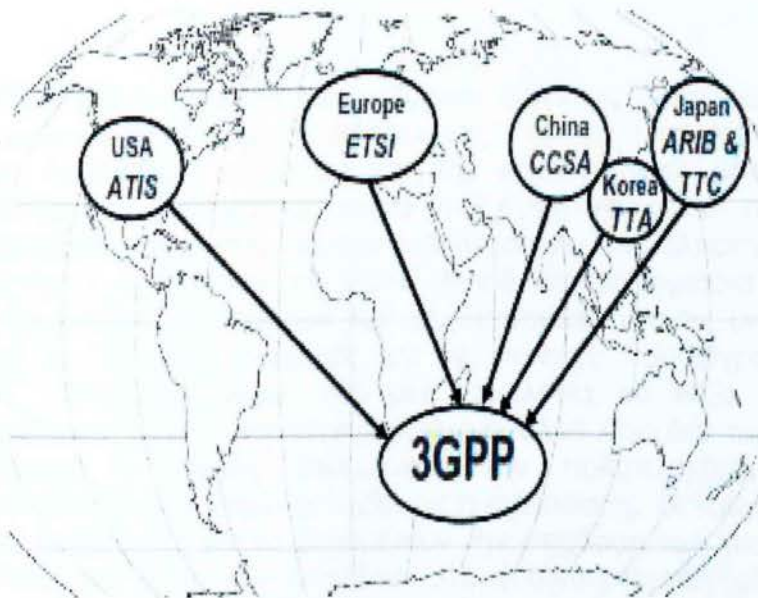
**Η αξιοπιστία** μιας ζεύξης έρχεται συχνά σε σύγκρουση με τον μεγάλο ρυθμό μετάδοσης. Λόγω του ότι τα ασύρματα συστήματα είναι κατά κανόνα χρονομεταβλητά, είναι απαραίτητο να σχεδιάζονται με στόχο την ελαχιστοποίηση του μέσου ρυθμού λαθών.

**Η πολυπλοκότητα του συστήματος**, είναι επιθυμητό να είναι όσο το δυνατό χαμηλότερη καθώς υπάρχει περιορισμένη διαθέσιμη ισχύς σε κάθε άκρο μιας ασύρματης ζεύξης. Αυξημένη πολυπλοκότητα συνεπάγεται μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος και η ανάγκη για περιορισμό της πολυπλοκότητας γίνεται περισσότερο αντιληπτή στην περίπτωση των κινητών τερματικών, που λειτουργούν με μπαταρίες.

Εύκολα κανείς κατανοεί ότι στην πλειονότητα των περιπτώσεων ασύρματων υλοποιήσεων, τα παραπάνω τρία κριτήρια, έρχονται σε σύγκρουση μεταξύ τους και δεν είναι δυνατόν να ικανοποιηθούν ταυτόχρονα κατά βέλτιστο τρόπο.

## 5.7 Η ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΟΥ 3GPP

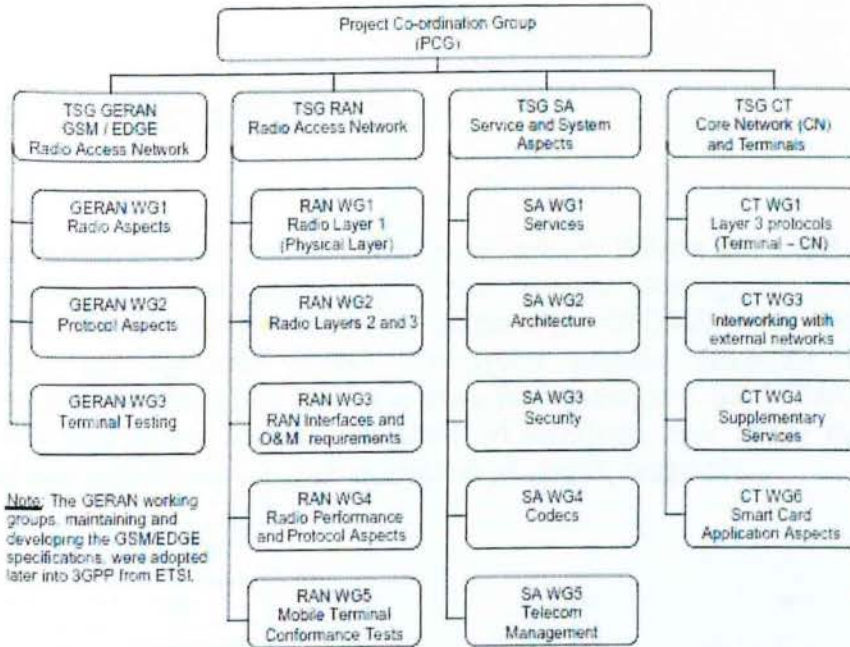
Το συνεργάσιμο πρότυπο τυποποίησης που τόσο επιτυχώς παρήγαγε το σύστημα GSM έγινε η βάση για την ανάπτυξη του συστήματος UMTS. Προς όφελος της παραγωγής των παγκόσμιων προτύπων, η συνεργασία του UMTS και του GSM επεκτάθηκε πέρα από το ETSI για περιβάλει τις τοπικές Οργανώσεις Ανάπτυξης Προτύπων (Standards Development Organizations (SDOs) ) από την Ιαπωνία (ARIB και TTC), την Κορέα (TTA), την Βόρεια Αμερική (ATIS) και την Κίνα (CCSA).



**Εικόνα 64:** Το 3GPP είναι μια παγκόσμια συνεργασία από έξι τοπικά SDOs

Έτσι γεννήθηκε το 3GPP, το οποίο μέχρι το 2008 υπερηφανευόταν για πάνω από 300 μεμονωμένες επιχειρήσεις-μέλη. Η επιτυχής δημιουργία μιας τέτοιας

μεγάλης και σύνθετης προδιαγραφής συστημάτων όπως αυτή για το UMTS ή το LTE απαιτεί ένα καλά δομημένο οργανισμό με πραγματικές εργασιακές διαδικασίες. Το 3GPP διαιρείται σε τέσσερις ομάδες τεχνικών προδιαγραφών (Technical Specification Groups-TSGs ), κάθε μια από τις οποίες αποτελείται από ένα αριθμό ομάδων εργασίας (Working Groups-WGs ) με την ευθύνη για μια συγκεκριμένη πτυχή των προδιαγραφών όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.



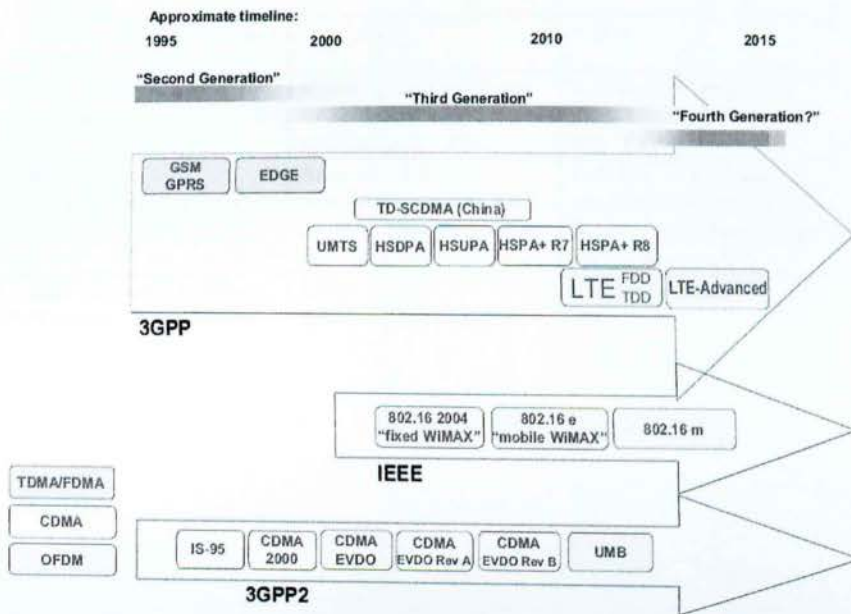
**Πίνακας 65: Η δομή της ομάδας εργασίας του 3GPP.**

Ένα διακριτικό χαρακτηριστικό των μεθόδων εργασίας αυτών των ομάδων είναι η με συναίνεση οδηγημένη προσέγγιση στη λήψη αποφάσεων. Αυτό διευκολύνει την ανοιχτή συζήτηση και την επαναληπτική βελτίωση των τεχνικών προσφορών, οδηγώντας συχνά στην συγχώνευση των προσφορών των πολλαπλάσιων επιχειρήσεων στην αναζήτηση για την βέλτιστη λύση. Όλα τα έγγραφα που υποβάλλονται στο 3GPP είναι διαθέσιμα δημόσια στη σελίδα του 3GPP, συμπεριλαμβανομένων των συνεισφορών από τις μεμονωμένες επιχειρήσεις, τις τεχνικές αναφορές και τις τεχνικές προδιαγραφές. Στην επίτευξη της συναίνεσης γύρω από μια τεχνολογία, τα WGs λαμβάνουν υπόψη ποικίλες εκτιμήσεις που περιλαμβάνουν αλλά που δεν περιορίζονται στην απόδοση, το κόστος εφαρμογής, την πολυπλοκότητα και τη συμβατότητα με τις προηγούμενες εκδόσεις ή επεκτάσεις. Οι προσομοιώσεις συχνά χρησιμοποιούνται για να συγκρίνουν την απόδοση των διαφορετικών τεχνικών, ειδικά στα WGs που εστιάζουν στο φυσικό επίπεδο (air interface) και στις απαιτήσεις της απόδοσης. Αυτό απαιτεί την συναίνεση των εμπλεκόμενων για τις τιμές των παραμέτρων προσομοίωσης που χρησιμοποιούνται για την σύγκριση, με σκοπό να υλοποιηθούν τα σενάρια που θα ενδιαφέρουν τους παρόχους των δικτύων.

Η διαδικασία τυποποίησης του LTE εγκαινιάστηκε σε ένα εργαστήριο στο Τορόντο τον Νοέμβριο του 2004, όταν μια ευρεία σειρά των επιχειρήσεων που συμμετέχουν στην επιχείρηση κινητής επικοινωνίας παρουσίασαν τα οράματά τους για την μελλοντική εξέλιξη των προδιαγραφών που αναπτύσσονται στο 3GPP. Αυτά τα οράματα περιέλαβαν και τις δύο αρχικές αντιλήψεις για τις απαιτήσεις οι οποίες έπρεπε να ικανοποιηθούν και οι προτάσεις για τις κατάλληλες τεχνολογίες να ανταποκρίνονται με εκείνες τις απαιτήσεις.

## 5.8 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ 4G

Οι αρμοδιότητες των ραδιοδιεπαφών για κινητά WiMax και UMB είναι πολύ παρόμοιες με εκείνους του LTE. Και τα τρία συστήματα υποστηρίζουν ευέλικτα εύρη ζώνης, FDD/TDD duplexing, OFDMA στην κατερχόμενη σύνδεση και σχήματα MIMO. Υπάρχουν μερικές διαφορές όπως στη ανερχόμενη σύνδεση του LTE που είναι βασισμένη στο SC-FDMA έναντι του OFDMA στα κινητά WiMax και UMB. Η απόδοση των τριών συστημάτων επομένως αναμένεται να είναι παρόμοια με μικρές διαφορές.



**Εικόνα 66 : Χρονοδιάγραμμα εξέλιξης των κινητών προτύπων**

Παρόμοια με την πρωτοβουλία IMT-2000, η ομάδα εργασίας ITU-R 5D έχει εκφράσει τις απαιτήσεις για IMT-προηγμένα συστήματα. Μεταξύ των άλλων αυτές οι απαιτήσεις περιλαμβάνουν μέσους όρους ρυθμών δεδομένων κατερχόμενης σύνδεσης 100Mbit/s στο δίκτυο ευρείας περιοχής και μέχρι 1Gbit/s για τα σενάρια τοπικής πρόσβασης ή χαμηλής κινητικότητας. Επίσης στην διάσκεψη παγκόσμιων ραδιοεπικοινωνιών το 2007 (WRC-2007), το μέγιστο ενός νέου φάσματος 428MHz προσδιορίζεται για τα IMT συστήματα

που περιλαμβάνουν επίσης ένα φάσμα 136MHz καταμετρημένο σε συνολική βάση. Και το 3GPP και το IEEE 802LMSC αναπτύσσουν τα πρότυπά τους για την υποβολή τους στο IMT-advanced.

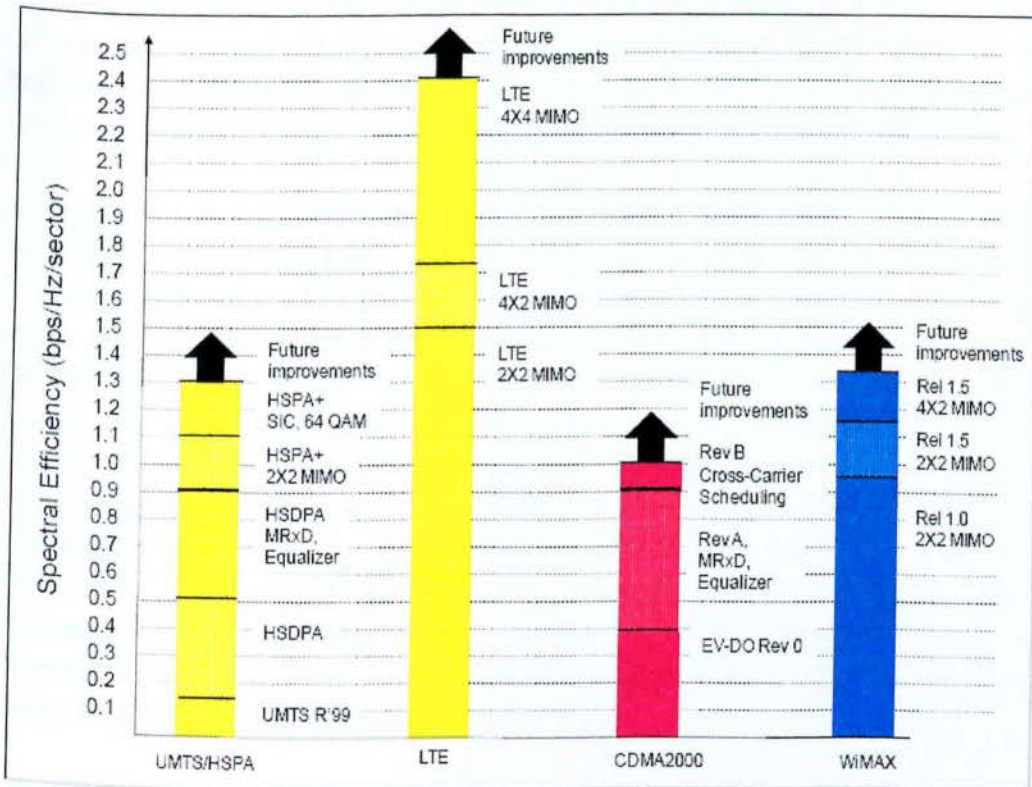
Ο στόχος των προτύπων, του IMT-advanced και του IEEE 802.16m είναι να ενισχυθούν περαιτέρω τα φασματικά ποσοστά αποδοτικότητας και των δεδομένων εφόσον υποστηρίζουν την συμβατότητα με προηγούμενες εκδόσεις. Τα μέρη των εξελίξεων των προτύπων του LTE-advanced και του IEEE 802.16, διάφορες ενισχύσεις συμπεριλαμβανομένης της υποστήριξης για ένα μεγαλύτερο εύρος ζώνης από 20 MHz και την υψηλότερη τάξη του MIMO συζητούνται για να καλύψουν τις απαιτήσεις του IMT-advanced.

Απόδοση Συστήματος	LTE Advanced	LTE
Μέγιστοι Ρυθμοί Ζεύξης Ανόδου	1000Mbps στα 100 MHz	100 Mbps στα 20 MHz
Μέγιστοι Ρυθμοί Ζεύξης Καθόδου	500 Mbps στα 100 MHz	50 Mbps στα 20 MHz
Καθυστέρηση του πλάνου ελέγχου Idle to Connected	< 50 ms	< 100 ms
Καθυστέρηση του πλάνου ελέγχου Dormant to Active	< 10 ms	< 50 ms
Καθυστέρηση στο πλάνο χρήστη	<<<< 5 ms	< 5ms
Μέγιστη Αποδοτικότητα φάσματος	Κάθοδος : 30 bps/Hz στα < 8X8, Ανόδος :15 bps/Hz στα < 4X4	Κάθοδος : 5 bps/Hz στα 2X2, Ανόδος: 2.5 bps/Hz στα 1X2
Μέγιστη απόδοτικότητα φάσματος	Κάθοδος : 3,7 bps/Hz κωδίκηση στα 4X4, Ανόδος :2 bps/Hz κωδίκηση στα 2X4	Κάθοδος : 3 μ. 4 φορές του HSPA R6 στα 2X2 Ανόδος : 2 μ. 3 φορές του HSPA R6 στα 1X2
Αποδοτικότητα φάσματος στα όρια της κωδίκησης	Κάθοδος : 0,12 bps/Hz κωδίκηση χρήστη στα 4X4, Ανόδος :0,7 bps/Hz κωδίκηση χρήστη στα 2X4	Δεν προβλέπεται
Κινητικότητα	< 350 χλμ/ώρα, < 500 χλμ/ώρα στη συγκεκριμένη μόνια φάσματος	< 350 χλμ/ώρα
Ευκαρίσια χρήση φάσματος	Συνεχές φάσμα > 20 MHz με δυνατότητα σύγκλισης φάσματος (spectral convergence)	1,4,3,5,10,15,20 MHz

**Εικόνα 67 : Συγκριτικοί πίνακες LTE – LTE Advanced**

### 5.8.1 Σύγκριση του LTE με άλλες τεχνολογίες

Η εικόνα δείχνει με σαφήνεια τη σχετική απόδοση του HSPA έναντι του LTE όπου το HSPA στην έκδοση 3 εφαρμόζοντας την τεχνική Mobile Receive Diversity (MRxD) αυξάνει τη φασματική απόδοση, αγγίζοντας το HSDPA (διπλό HSPA) από 0,5bps/Hz/τομέα στο 0,9bps/Hz/τομέα, ενώ το LTE με 2X2 MIMO παρέχει 1,5 bps/Hz/τομέα. Το 2X2 MIMO παρέχει στο HSPA αύξηση κατά 20% πέρα από το MRxD, αλλά μία συσκευή που υποστηρίζει 64QAM και η τεχνική Successive Interference Cancellation (SIC) μπορούν να αυξήσουν την αποδοτικότητα του HSPA έως και τα 1,3 bps/Hz/τομέα. Περαιτέρω βελτιώσεις μπορούν να επιτευχθούν με την έκδοση 9 του HSPA με τη λειτουργία διπλής μεταφοράς με τη χρήση MIMO. Η αναβάθμιση σε 64QAM μπορεί να υλοποιηθεί με μια αναβάθμιση λογισμικού στους περισσότερους σταθμούς βάσης, ενώ η αναβάθμιση των MIMO απαιτεί αλλαγή στις κεραίες, αν και η συμβολή της διαμόρφωσης 64QAM είναι μικρή, λόγω της σπανιότητας με την οποία χρησιμοποιείται αυτή τη στιγμή στην τυπική κυψελοειδή λειτουργία του δικτύου.



**Εικόνα 68 : Σύγκριση στις φασματικές αποδόσεις στο downlink ανάμεσα σε διάφορες διεπαφές αέρα και συστήματα κεραιών (3G Americas & Rysavy Research, September 2009)**

Οι τιμές για το LTE δείχνουν ότι τα 2X2 MIMO με 1,5 bps/Hz/τομέα κινούνται προς τα 1,73 με τη χρήση του SIC. Η λειτουργία του 4X2 χρησιμοποιεί μια πιο απλή προσέγγιση μεταγωγής δέσμης η οποία τυποποιήθηκε στην έκδοση 8. Μελλοντικές μελέτες, οι οποίες γίνονται ήδη στην 3GPP για τις μελλοντικές

εκδόσεις του προτύπου, δείχνουν να βελτιώνεται η απόδοση πέρα από τα 2,4 brs/Hz/τομέα με 4Χ4 MIMO, αν και η εφαρμογή αυτών των τύπων προσαρμοστικών κεραιών και αλγορίθμων διαμόρφωσης δεσμών βασίζονται σε ιδιόκτητους αλγορίθμους πράγμα που σημαίνει ότι τα κέρδη είναι άμεσα εξαρτημένα από το ποσοστό εφαρμογής τους.

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

### Κοιτάζοντας το Παρόν και το Μέλλον

Η τρέχουσα οικονομική κρίση η οποία επιβαρύνει τρομακτικά τους κρατικούς και εταιρικούς προϋπολογισμούς, προσφέρει καρπερό έδαφος για εταιρίες που επιδιώκουν καινοτόμους τρόπους και λύσεις που οδηγούν σε μείωση κόστους, ιδίως των σταθερών δαπανών. Αναμφισβήτητα, ο χώρος εργασίας ή το κτίριο που στεγάζει το συγκεκριμένο χώρο εργασίας ή την εταιρία, αποτελεί ένα από τα πιο δαπανηρά σημεία του συνολικού σταθερού κόστους μιας επιχείρησης. Σε γενικές γραμμές, οι εργαζόμενοι μετακινούνται μέσω ΙΧ ή δημόσιας συγκοινωνίας σε κάποιο μόνιμο χώρο εργασίας και ο υπάλληλος γραφείου συνήθως συναναστρέφεται γύρω από τέτοιους παρόμοιους χώρους.

Η χαρακτηριστική εργασία υπάλληλου γραφείου περιλαμβάνει επεξεργασία εγγράφων, επικοινωνία μέσω τηλεφώνου ή ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, ενώ οι καθημερινές αλληλεπιδράσεις με τους συναδέλφους πραγματοποιούνται μέσω των καθορισμένων ή έκτακτων συνεδριάσεων σε κτηριακές αίθουσες συνεδριάσεων ή άλλες σταθερές προαναγγελθείσες τοποθεσίες. Οι συναλλαγές με τους πελάτες και τους προμηθευτές αξιοποιούνται μέσω των σταθερών "assets" συμπεριλαμβανομένων των συσκευών επικοινωνίας και των υπολογιστών όπως και τους χώρους συνεδρίασης. Η επιβάρυνση της διαχείρισης της αποθήκης εμπορευμάτων επίσης προσθέτει στα σταθερά κόστη της επιχείρησης όπως και οι γενικές δαπάνες κτηρίου που απεικονίζονται στις εισοδηματικές δηλώσεις του έτους παραγωγής, και οι οποίες πάντα επιβαρύνουν τα βραχυπρόθεσμα έξοδα της αναπτυσσόμενης ή επιβραδυμένης – χρεοκοπημένης επιχείρησης.

Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας κινούνται προς αρχιτεκτονικές βασισμένες στο διαδικτυακό πρωτόκολλο IP η οποία αρχιτεκτονική θα διευκολύνει τελικά την πανταχού παρούσα κάλυψη, ομαλή αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών προτύπων (anytime-anywhere-any device) και των υπηρεσιών επικοινωνίας που υποστηρίζονται από ένα κοινό δίκτυο. Η τεχνολογική εξέλιξη θα μετατραπεί σε μειωμένες λειτουργικές δαπάνες για την εταιρεία παροχής υπηρεσιών, υπονοώντας χαμηλότερες τιμές για προσφερόμενες υπηρεσίες.

Η πανταχού παρούσα ασύρματη πρόσβαση και η διασύνδεση με το σταθερό τηλεπικοινωνιακό δίκτυο οδηγεί σε ακέραιη και ανεξάρτητη εργασιακή ροή. Η επεξεργασία των εγγράφων, τα e-mails, η συνάρτηση ντοκουμέντων, η υποβολή προσφορών εκτελούνται εξ αποστάσεως όπως και οι φωνητικές κλήσεις, ενώ οι διασκέψεις μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσω του συστήματος τηλεδιασκέψεων. Οι διάφορες κρατήσεις κλείνονται από το σπίτι ή το αμάξι και οι συνεδριάσεις πραγματοποιούνται σε κομψά café, ωραία εστιατόρια ή αριστοκρατικά σαλόνια ξενοδοχείων. Φυσικά οι κρατήσεις αερογραμμών και ξενοδοχείων εκτελούνται ήδη μέσω του Ιστού ενώ τα εισιτήρια ρυθμίζονται εύκολα μέσω κινητού γραφείου.

Οι παγκόσμιες οικονομικές συγκυρίες επιβάλουν αποδοτικότερες οικονομικές πρακτικές και μέγιστη βελτίωση των διαφόρων εταιρικών διαδικασιών. Η ανάπτυξη της αγοράς κινητών υπηρεσιών προχωράει με εντυπωσιακούς ρυθμούς και η τεχνολογική εξέλιξη επιταχύνετε σε τέτοιο βαθμό, όπου αν οι παρούσες τάσεις κινητικότητας συνεχιστούν, το κινητό γραφείο θα γίνει αναπόφευκτος παράγοντας της καθημερινής επιχείρησης, με συνέπεια τη σημαντικά βελτιωμένη παραγωγικότητα. Τελικά το πλήρες κινητό εργασιακό περιβάλλον θα ενισχύσει την οικονομική αποδοτικότητα και θα μειώσει την βραχυπρόθεσμη ανεργία, δεδομένου ότι η γεωγραφική τοποθεσία του εργαζομένου δεν θα αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την απασχόληση.

Δεδομένου ότι όλο και περισσότερες εταιρείες παροχής κινητών υπηρεσιών οδεύουν προς την μακροπρόθεσμη εξέλιξη του (LTE), οι μεγάλοι προμηθευτές εξοπλισμού εμπλέκονται σε ενδιαφέρουσες τακτικές για να κερδίσουν τις προσοδοφόρες συμβάσεις υποδομής.

Οι εταιρίες παροχών κινητών επικοινωνιών, ευαισθητοποιώντας τις απαιτήσεις των χρηστών για υψηλής ποιότητας και ταχύτερης ασύρματης διασύνδεσης, επιταχύνουν τις εγκαταστάσεις των δικτύων ευρυζωνικής πρόσβασης.

**It's A Connected World  
Anytime, Anywhere, Any Device!  
Connecting Business & Opportunities**

**Εικόνα 69: Η πραγματικότητα σήμερα**



Στο παρελθόν χρειάστηκαν τέσσερα χρόνια για την εγκατάσταση 100 σταθμών WCDMA ενώ πρόσφατα χρειάστηκε μόνο ένας χρόνος για την εγκατάσταση του αντίστοιχου αριθμού σταθμών HSPA. Το HSPA+ παίρνει την σκυτάλη και αναμένεται να επικρατήσει μέχρι το 2013, όπου σιγά σιγά θα επακολουθήσει το LTE ως το κύριο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας.

Η πρόσφατη μελέτη της Analysis Mason βασιζόμενη σε γκάμα περίπου 10.000 σταθμών βάσεων, συμπέρανε ότι η ασύρματη πρόσβαση του WCDMA κοστίζει περίπου 0.06 Ευρώ ανά bit, ενώ η αντίστοιχη πρόσβαση HSPA+ κατεβαίνει στο 0.03 Ευρώ ανά bit. Το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας παίρνοντας υπόψιν και τις βελτιστοποιημένες ικανότητες συντονισμού (self tuning self optimizing) των δικτύων LTE αυξάνει το όφελος σε 0.01 Ευρώ ανά bit.

Οι προκλήσεις φωνητικών υπηρεσιών υψηλών αποδοχών και ευρυζωνικής αναβάθμισης για την εξασφάλιση της αναπτυσσόμενης αγοράς πολυμέσων επαναφέρει σαν δίλλημα το αν οι υπηρεσίες θα ακολουθήσουν την αναβάθμιση δικτύων ή αν η αναβάθμιση θα επακολουθήσει σαν λογικό αποτέλεσμα την ανάπτυξη πολυμέσων.

Ιστορικά η ευρυζωνικότητα χέρι-χέρι με τους ισχυρούς υπολογιστές διαμορφώνει ένα αποτελεσματικό οικοσύστημα το οποίο επωάζει καινοτομίες και ριζοσπαστικές ιδέες, εντυπωσιακές τεχνολογίες και εφαρμογές. Πχ οι ισχυροί μικροεπεξεργαστές και μικρουπολογιστές άνοιξαν το δρόμο για εφαρμογές πολυμέσων και άλλα βαριά προγράμματα πολλαπλών χρήσεων τα οποία εμπλουτίζουν και την παραγωγή και την ψυχαγωγία.

Στην περίπτωση των τηλεπικοινωνιών, τα δίκτυα ευζωνικής ασύρματης πρόσβασης όπως το LET, τεχνολογίες σταθερής ενδοτικότητας σαν τις οπτικές ίνες και τα συστήματα DSL, και εφαρμοσμένες πρακτικές μείωσης τεχνολογικού και οικονομικού κόστους όπως τα συγκλίνοντα δίκτυα, network sharing, η εναρμόνιση φάσματος, co-sitting και outsourcing δικτύων, τα managed services ( με την αντίστοιχη νομοθετική υποστήριξη για την προστασία δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας και παραγωγής ιδεών) θα εκπορευόσουν περιβάλλον δημιουργικότητας, ευνοϊκό προς τον οραματιστή, τον καινοτόμο επιχειρηματία και τον ονειροπόλο.

Αυτό επίσης σημαίνει ότι οι επιτυχημένοι μελλοντικοί φορείς θα είναι εκείνοι (ανεξάρτητα από το αν μιλάμε για εταιρίες τηλεπικοινωνιών, εταιρίες ιστού, άτομα ή ένα υγιές μίγμα όλων) που αποτελεσματικά και με φαντασία θα συνδυάσουν την εφευρετική επιχειρηματικότητα με το απαραίτητο ομαδικό πνεύμα για να εξασφαλίσουν στη συνδρομητική βάση τις καλύτερες υπηρεσίες, σε αντιπροσωπευτικότερη τιμή.

Η σωστή χρήση της τεχνολογίας, δηλαδή η εφαρμογή της γνώσης αυξάνει το βιοτικό επίπεδο και θεμελιώνει ισχυρές βάσεις για θετική εξέλιξη για ένα καλύτερο κόσμο, προς ένα αξιόλογο μέλλον. Η εσφαλμένη, εγωιστική, ανεύθυνη ή αλαζονική χρήση της γνώσης επανδρώνει το μίσος, την αρνητικότητα και λειτουργεί ως καταλύτης της καταστροφής.

Εργαλεία όπως το Facebook, το Twitter, το Skype και το Msn διευκολύνουν την αλληλεπίδραση προσθέτοντας πολλαπλές διαστάσεις στην έκφραση και στην κοινωνικοποίηση. Η διαθεσιμότητα πολυάριθμων εργαλείων πολυμέσων ενισχύουν σήμερα την εμπειρία επικοινωνίας, η οποία στο παρελθόν ήταν αποκλειστικά περιοχή της βιομηχανίας των τηλεπικοινωνιών.

Οι τηλεπικοινωνίες δεν πληρούν πια ρόλο πρωταρχικής εφαρμογής της εξ αποστάσεως επικοινωνίας, αλλά μία από τις υπάρχουσες κινητήριες δυνάμεις. Υπό αυτήν τη μορφή, το μέλλον των τηλεπικοινωνιών θα καθοριστεί ως μέρος μίας ορχήστρας κατάλληλα μισθωμένων επικοινωνιακών "οργάνων" όπου καθήκοντα μαέστρου θα εκπληρώνει ο καταναλωτής.



Εικόνα 70 : Ένα δείγμα από λογότυπα εταιρειών στο χώρο των επικοινωνιών

Τα σημερινά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας βρίσκονται σε σταυροδρόμι. Οι τρέχουσες απαιτήσεις των συνδρομητών για κλήσεις υψηλής ποιότητας υπονοούν την ανάγκη συνεχούς συντήρησης και βελτιώσεις των υπαρχόντων μεταγωγών και δομών δικτύου φωνής. Ταυτόχρονα οι αυξανόμενες απαιτήσεις για τις υπηρεσίες επικοινωνίας πολυμέσων απαιτούν την υψηλής ποιότητας ευζωνική διαθεσιμότητα με ευέλικτους παραμέτρους δραστηριοποίησης και αντοχής ώστε το δίκτυο να θεωρηθεί οικονομικώς αποδοτικό.

Κλείνοντας λοιπόν την παρούσα μελέτη, τα γενικά συμπεράσματα που βγαίνουν από τη συνολική έρευνα που έγινε, τόσο θεωρητική όσο και πρακτική είναι ότι από την 3<sup>η</sup> Απριλίου του 1973 που έγινε η πρώτη κλήση μέσω κινητού τηλεφώνου, έως και το 2020 που θα έρθει στη ζωή μας η “5<sup>η</sup> τεχνολογική γενιά των κινητών επικοινωνιών”, η τεχνολογία των επικοινωνιών δε σταματά ποτέ και η εξέλιξή της πάντα θα μας δημιουργεί πόλο έλξης.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΑΝΑΦΟΡΕΣ - ΠΗΓΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ**

- 1) <http://www.sansimera.gr/articles/241>
- 2) [http://www.vodafone.gr/portal/resources/media/AboutUs/CorporateResponsibility/apple\\_of\\_discord\\_gr.pdf](http://www.vodafone.gr/portal/resources/media/AboutUs/CorporateResponsibility/apple_of_discord_gr.pdf)
- 3) <http://www.sepe.gr/default.aspx?pid=34&la=1&artID=3667>
- 4) <http://www.adslgr.com/forum/threads/522817>
- 5) <http://www.pestola.gr/vodafone-lte-4g-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1-3g-900mhz/>
- 6) <http://www.infocom.gr/2012/03/21/beyond-lte-huawei/3423/>
- 7) <http://pacific.jour.auth.gr/kinita/page4.htm>
- 8) <http://www.comsol.gr/dat/54B2DA6D/file.pdf>
- 9) [http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed\\_Downlink\\_Packet\\_Access](http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed_Downlink_Packet_Access)
- 10) [http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed\\_Uplink\\_Packet\\_Access](http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed_Uplink_Packet_Access)

- 11) <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%83%CF%8D%CF%81%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%B1>
- 12) <http://mpl.med.uoa.gr/wp-content/uploads/2011/03/halkiotis.pdf>
- 13) <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/4038/1/diplomatiki.pdf>
- 14) <http://www.scribd.com/doc/107153769/%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%B1-4%CE%B7%CF%82-%CE%B3%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CE%AC%CF%82-4g-lte>
- 15) <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Administrator/%CE%95%CF%80%CE%B9%CF%86%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B1%20%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82/in.gr%20-%20%CE%91%CE%BD%CE%BF%CE%AF%CE%B3%CE%B5%CE%B9%20%CE%BF%20%CE%B4%CF%81%CF%8C%CE%BC%CE%BF%CF%82%20%CE%B3%CE%B9%CE%B1%20%CF%84%CE%BF%204G%20-%20%CE%A4%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1%20-%20%CE%95%CE%B9%CE%B4%CE%AE%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82.htm>
- 16) <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Administrator/%CE%95%CF%80%CE%B9%CF%86%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B1%20%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82/in.gr%20-%20%CE%9A%CE%BF%CF%8D%CF%81%CF%83%CE%B1%20%CE%B3%CE%B9%CE%B1%20%CF%84%CE%B7%CE%BD%20%CE%B1%CE%BD%CE%AC%CF%80%CF%84%CF%85%CE%BE%CE%B7%20%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CF%84%CF%8D%CE%BF%CF%85%204G%20%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD%20%CE%95%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1%20%CE%B1%CF%80%CF%8C%20Cosmote%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20Vo-dafone%20-%20%CE%A4%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1%20-%20%CE%91%CE%BD%CE%B1%CE%BB%CF%8D%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82.htm>
- 17) [file:///C:/Documents%20and%20Settings/Administrator/%CE%95%CF%80%CE%B9%CF%86%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B1%20%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%](file:///C:/Documents%20and%20Settings/Administrator/%CE%95%CF%80%CE%B9%CF%86%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B1%20%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82/in.gr%20-%20%CE%91%CE%BD%CE%B1%CE%BB%CF%8D%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82.htm)

[CE%B1%CF%82/in.gr%20-%20%CE%A4%CE%B9%20%CE%BC%CE%B1%CF%82%20%CE%B5%CE%A%CF%80%CE%B5%20%CE%B7%20Wind%20%CE%B3%CE%B9%CE%B1%20%CF%84%CE%BF%20iPhone%205%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CF%84%CE%BF%20%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF%204G%20LTE%20-%20%CE%A4%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1%20-%20%CE%95%CE%B9%CE%B4%CE%AE%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82.htm](http://www.in.gr/2014/09/20/BCB1CF8220CEB5CACF80B520CEB720Wind20CEB3CEB9CEB120CF84CEBF20iPhone20520CEBA%CE%B1%CE%B920CF84CEBF20CE%B4CEAF%CE%BA%CF84CF85CEBF204G20LTE20-20CE%A4CE%B5CF87CE%BD%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3CE%AF%CE%B120-20CE%95CE%B9CE%B4CE%AE%CF83CE%B5CE%B9CF82.htm)

- 18) <http://static.diavgeia.gov.gr/doc/4577639-%CE%A5%CE%9E%CE%93>
- 19) [http://medianetlab.gr/~katia/BSc\\_Thesis.pdf](http://medianetlab.gr/~katia/BSc_Thesis.pdf)
- 20) Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Μεσολογγίου, Σχολή Διοίκησης και Οικονομίας, Τμήμα Εφαρμογών Πληροφορικής στη Διοίκηση & στην Οικονομία, **Πτυχιακή Εργασία: Ασύρματα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς ( 3G ),** Σπουδαστής: Τριανταφυλλοπούλου Χριστίνα, Εισηγητής Καθηγητής: Συρμακέσης Σπυρίδων
- 21) Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Σχολή τεχνολογικών εφαρμογών, Τμήμα τεχνολογίας πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών, **Πτυχιακή Εργασία: Long Term Evolution,** Σπουδαστής: Θεόδωρος Παναγόπουλος, Εισηγητής Καθηγητής: Χαικάλης Κωνσταντίνος
- 22) Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας συστημάτων μετάδοσης πληροφορίας και τεχνολογίας υλικών, **Διπλωματική εργασία: Μελέτη παρεμβολής προτύπου DVB-T επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης με κινητές υπηρεσίες τέταρτης γενιάς (4G) LTE FDD,** Σπουδαστής: Ιωάννης Δ. Σταυρόπουλος, Εισηγητής Καθηγητής: Χρήστος Καψάλης
- 23) Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας συστημάτων μετάδοσης πληροφορίας και τεχνολογίας υλικών, **Διπλωματική εργασία: Ανάλυση και μέτρηση παρεμβολών στην επίγεια ψηφιακή τηλεόραση από κινητές υπηρεσίες WCDMA, TD-SCDMA, GSM-EDGE,** Σπουδαστής: Ραδαμάνθους Δερεδάκης, Εισηγητής Καθηγητής: Χρήστος Καψάλης
- 24) Πανεπιστήμιο Πατρών, **Διπλωματική εργασία: Διερεύνηση παραμέτρων σύγκλισης μεταξύ δικτύων κινητής τηλεφωνίας και δικτύων δεδομένων,** Σπουδαστής: Ζαφειρόπουλος Διονύσης, Εισηγητής Καθηγητής: Κωτσόπουλος
- 25) Πανεπιστήμιο Πατρών, **Διπλωματική εργασία: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ WCDMA 3<sup>ης</sup> ΓΕΝΙΑΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΙΑΣ WCDMA ΚΥΨΕΛΗΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΩ ΖΕΥΞΗ,**

Σπουδαστής: ΔΑΣΚΑΛΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, Εισηγητής Καθηγητής:  
Μιχαήλ Λογοθέτης

- 26) Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας συστημάτων μετάδοσης πληροφορίας και τεχνολογίας υλικών, **Διπλωματική εργασία: ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ WCDMA**, Σπουδαστής: ΣΙΩΖΟΠΟΥΛΟΥ ΘΕΟΔΩΡΑ, Εισηγητής Καθηγητής: Δήμητρα Κακλαμάνη
- 27) Πανεπιστήμιο Πατρών, **ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ**, Καθηγητής: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ
- 28) Πανεπιστήμιο Πατρών, **Δίκτυα Υψηλών Ταχυτήτων UMTS**, Καθηγητής: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ
- 29) Πανεπιστήμιο Πατρών, **Διπλωματική εργασία: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΠΡΟΣ ΤΟ LTE**, Σπουδαστής: ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ Π. ΜΠΟΧΡΙΝΗ, Εισηγητής Καθηγητής: ΧΡΗΣΤΟΣ Ι. ΜΠΟΥΡΑΣ
- 30) Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Σχολή τεχνολογικών εφαρμογών, Τμήμα τεχνολογίας πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών, **Πτυχιακή Εργασία: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (4G NETWORKS)**, Σπουδαστής: ΜΠΟΜΠΟΤΗ ΑΝΤΩΝΙΟ, Εισηγητής Καθηγητής: ΣΑΜΑΡΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
- 31) Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, **Διπλωματική εργασία: Ολοκληρωμένο Σύστημα Συλλογής και Διαχείρισης Δεδομένων Ποιότητας Δικτύων Κινητών Επικοινωνιών**, Σπουδαστής: Χαρούλα Γ. Ρεμούνδου - Γεώργιος Δ. Ριζοθανάσης, Εισηγητής Καθηγητής: Μιχαήλ Ε. Θεολόγου
- 32) Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης παράρτημα Χανίων τμήμα Ηλεκτρονικής, **Πτυχιακή Εργασία: Long Term Evolution**, Σπουδαστής: ΠΛΥΤΑΣ Α. ΑΝΤΩΝΙΟΣ, Εισηγητής Καθηγητής: (Ph.D.) Κόκκινος Ευάγγελος
- 33) Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Σχολή τεχνολογικών εφαρμογών, Τμήμα τεχνολογίας πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών, **Πτυχιακή Εργασία: Ασύρματη Ευρυζωνική Πρόσβαση μέσω Wimax**, Σπουδαστής: Παρούτης Σπυρίδων - Πιτσιάβας Ιωάννης, Εισηγητής Καθηγητής: Τσουκάτος Κωνσταντίνος

- 34) Πανεπιστήμιο Πατρών, **Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία:**  
**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΚΑΝΑΛΙΟΥ ΚΑΤΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΖΕΥΞΗΣ**  
**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ LTE**, Σπουδαστής: Μπουργάνη Ευαγγελία, Εισηγητής  
 Καθηγητής: Οικονόμου Γεώργιος-Λούβρος Σπυρίδων
- 35) Πανεπιστήμιο Πατρών, **Διπλωματική Εργασία:**  
**ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΙΝΗΤΑ ΟΡΘΟΜΑ**  
**ΔΙΚΤΥΑ**, Σπουδαστής: Γεώργιος Καβούργιας, Εισηγητής Καθηγητής:  
 Χρήστος Μπούρας
- 36) Πανεπιστήμιο Πατρών, **Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία:**  
**ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ FORWARD ERROR**  
**CORRECTION ΣΕ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**  
**LTE**, Σπουδαστής: ΝΙΚΟΛΑΟΣ Δ. ΚΑΝΑΚΗΣ, Εισηγητής Καθηγητής:  
 Χρήστος Μπούρας

