



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

***Long Term Evolution***  
***(L.T.E.)***

**ΠΑΥΤΑΣ Α. ΑΝΤΩΝΙΟΣ**

**A.M. 3419**

***ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:***

Δρ. (Ph.D.) Κόκκινος Ευάγγελος

**ΧΑΝΙΑ 2011**

Copyright © Πλυτάς Αντώνιος, 2011

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

## Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Η τεχνολογία των κινητών επικοινωνιών εξελίχθηκε ραγδαία τα τελευταία χρόνια λόγω των αυξανόμενων απαιτήσεων , όπως η πρόσβαση σε υπηρεσίες Διαδικτύου στα κινητά τηλέφωνα με καλύτερη ποιότητα των προσφερόμενων υπηρεσιών. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο η βιομηχανία ασύρματων επικοινωνιών εργάστηκε σκληρά και όρισε ένα νέο air interface για τις κινητές επικοινωνίες το οποίο αυξάνει την χωρητικότητα του συστήματος μαζί με την βελτίωση του φάσματος καθώς και μείωση των latencies (χρόνοι απόκρισης) καταστάσεων.

Το υπάρχων πρότυπο 3G, Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) έχει αναβαθμιστεί με το High Speed Packed Access (HSPA) για καλύψει τις τρέχουσες ανάγκες. Ωστόσο σε μακροπρόθεσμη βάση αυτό δεν θα είναι επαρκείς.

Το 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP) έχει ερευνήσει το long term evolution του UMTS (LTE) για την κάλυψη μελλοντικών απαιτήσεων και την διασφάλιση της ανταγωνιστικότητας του προτύπου. Ο στόχος του είναι η radio access τεχνολογία με υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, χαμηλότερες λανθάνουσες καταστάσεις και βέλτιστη υποστήριξη για τις υπηρεσίες πακέτων, όπως multimedia, παιχνίδια και υπηρεσίες διαδικτύου. Η τηλεφωνία θα υποστηριχθεί από το Voice over IP (VoIP) με τουλάχιστον εξίσου καλή ποιότητα όπως στο κύκλωμα μεταγωγής τηλεφωνίας.

Ο σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας είναι να καλύψει την τεχνολογία και την αρχιτεκτονική του LTE. Εστιάζεται στη λειτουργικότητα του Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) όπως επίσης γίνεται ανάλυση στην αρχιτεκτονική του συστήματος, στην αρχιτεκτονική των πρωτοκόλλων, στο QoS, στο SC-FDMA και στο OFDMA καθώς επίσης στην τεχνολογία MIMO και στην τεχνολογία MBMS.

## ABSTRACT

Mobile communication technology evolved rapidly over the last few years due to increasing demands such as accessing Internet services on mobile phones with a better quality of offered services. In order to fulfil this, wireless telecommunication industry worked hard and defined a new air interface for mobile communications which enhances the overall system performance by increasing the capacity of the system along with improving spectral efficiencies while reducing latencies.

The existing 3G standard, Universal Mobile Telecommunication System (UMTS), is currently being upgraded with High Speed Packed Access (HSPA) to meet current demands. However, in the longer term this will not be sufficient.

The 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP) has investigated the long term evolution of UMTS (LTE) to meet future demands and ensure the competitiveness of the standard. The objective is a radio access technology with higher data rates, lower latencies and optimal support for packet services such as multimedia, games and internet services. Telephony shall be supported by means of Voice over IP (VoIP) with at least as good quality as circuit switched telephony.

The main target of this thesis is to cover the technology and architecture of LTE. The focus is on Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) functionality as well as an analysis of system architecture, protocols architecture, QoS, SC-FDMA and OFDMA and also in technology of MIMO and MBMS technology.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. Εισαγωγή.....</b>	<b>13</b>
1.1 Η Εξέλιξη απο το UMTS στο LTE.....	15
1.2 Η Εξέλιξη στο 4G.....	16
1.3 Οι Απαιτήσεις του LTE/SAE.....	18
1.4 Καναλωτικές απαιτήσεις.....	19
1.5 Η Διαδικασία τυποποίησης του 3GPP.....	21
<b>2. Αρχιτεκτονική Δικτύου &amp; Πρωτόκολλα.....</b>	<b>23</b>
2.1 Εισαγωγή.....	24
2.2 Συνολική επισκόπηση της αρχιτεκτονικής.....	26
2.3 The Core Network .....	26
2.3.1 Policy and Charging Resource Function (PCRF).....	28
2.3.2 Home Subscription Server (HSS).....	29
2.3.3 Packet Data Network Gateway (P-GW).....	30
2.3.4 Serving Gateway (S-GW).....	31
2.3.5 Mobility Management Entity (MME).....	31
2.4 Δίκτυο Πρόσβασης.....	33
2.5 Αρχιτεκτονική Roaming.....	34
2.6 Ενδοεπικοινωνία με άλλα δίκτυα.....	34
2.7 Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλων.....	36
2.7.1 User Plane.....	36
2.7.2 Control Plane.....	37
2.8 Οι Διεπαφές του Δικτύου E-UTRAN.....	38
2.9 Πρωτόκολλα ραδιοδιεπαφής.....	42
2.9.1 Packet Data Convergence Protocol (PDCP).....	43
2.9.2 Radio Link Controller (RLC).....	44
2.9.3 Medium Access Control (MAC).....	45
2.9.4 Physical layer (PHY).....	45
<b>3. Κανάλια</b>	
3.1 Εισαγωγή.....	48
3.2 Λογικά κανάλια.....	48
3.3 Κανάλια μεταφοράς.....	49
3.4 Φυσικά κανάλια.....	50
3.5 Χαρτογράφηση μεταξύ των καναλιών.....	50
<b>4. QoS and Bearers.....</b>	<b>53</b>
4.1 Διαδικασία αποκατάστασης φορέων.....	56

## 5. Φυσικό Επίπεδο

5.1	Γενική περιγραφή.....	59
5.2	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM).....	60
5.3	Επισκόπηση του φυσικού επιπέδου.....	62
5.4	LTE Multiple Access Background.....	62
5.5	OFDMA Basics.....	66
5.6	Cyclic Prefix (CP).....	71
5.7	SC-FDMA.....	73
5.7.1	Evolution Physical Layer.....	73
5.7.2	Subcarrier mapping.....	75
5.8	Σύγκριση OFDMA με SC-FDMA.....	77
5.9	PAPR.....	78
5.10	FDD & TDD Duplexing.....	79
5.10.1	Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα.....	81
5.11	TD-SCDMA.....	82

## 6. MIMO

6.1	Εισαγωγή.....	86
6.1.1	Single Input Single Output (SISO).....	87
6.1.2	Single Input Multiple Output (SIMO).....	87
6.1.3	Multiple Input Single Output (MISO).....	87
6.1.4	Multiple Input Multiple Output (MIMO).....	88
6.2	Πλεονεκτήματα του MIMO.....	89
6.2.1	Κέρδος συστοιχίας (Array gain).....	89
6.2.2	Χωρικός διαφορισμός κέρδους (Spatial diversity gain).....	89
6.2.3	Μείωση και αποφυγή παρεμβολών.....	90
6.3	BS ANTENNA.....	90
6.4	MIMO σε ασύρματα δίκτυα.....	93
6.4.1	MIMO σε κυψελωτά δίκτυα.....	93
6.4.2	MIMO σε ad hoc δίκτυα.....	94

## 7. Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS)

7.1	Εισαγωγή.....	98
7.2	MBMS στο LTE.....	100
7.2.1	Single Frequency Network MBMS (SFN MBMS).....	100
7.2.2	E-MBMS.....	101

## 8. LTE Advanced

8.1	Κοιτάζοντας το μέλλον.....	104
8.2	Απαιτήσεις του LTE-Advanced.....	104
8.3	Προτάσεις για λύσεις του LTE-Advanced.....	106
8.3.1	Υποστηρίζει ευρύτερο bandwidth.....	106
8.3.2	Συντονισμός Πολλαπλών Σημείων Μετάδοσης και Λήψης.....	107
8.3.3	Αντικατάσταση Λειτουργικότητας.....	107

8.3.4	Ενισχυμένη εκπομπή MIMO.....	108
8.4	Το LTE στην Ελλάδα και στην Ευρώπη.....	109
8.4.1	TeliaSonera 4G.....	110
8.4.2	Telefonica.....	111
	Βιβλιογραφία.....	112



## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

*Εικόνα 1: Αρχιτεκτονική δικτύου*

*Εικόνα 2: Τοπογραφία δικτύου LTE*

*Εικόνα 3 : Εξέλιξη των κυψελωτών συστημάτων*

*Εικόνα 4: Ανάπτυξη broadband 2007-2014*

*Εικόνα 5: Μεγάλη ανάπτυξη της κίνησης δεδομένων στα WCDMA δίκτυα παγκοσμίως*

*Εικόνα 6 :Το 3GPP είναι μια παγκόσμια συνεργασία από έξι τοπικά SDOs*

*Εικόνα 7:Τα στοιχεία του EPS δικτύου*

*Εικόνα 8: Λειτουργικός διαχωρισμός μεταξύ E-UTRAN και EPC*

*Εικόνα 9: Συνολική αρχιτεκτονική EPC*

*Εικόνα 10: Συνδέσεις του PCRF με άλλους λογικούς κόμβους και οι βασικές λειτουργίες*

*Εικόνα 11: Συνδέσεις του P-GW με άλλους λογικούς κόμβους και οι βασικές λειτουργίες*

*Εικόνα 12: MME και Serving Gateway*

*Εικόνα 13:Το δίκτυο πρόσβασης*

*Εικόνα 14: Αρχιτεκτονική roaming για προσβάσεις 3GPP με P-GW*

*Εικόνα 15: Αρχιτεκτονική της συνεργασίας του 3G UMTS*

*Εικόνα 16: Ο σωρός του πρωτοκόλλου του επιπέδου χρήστη*

*Εικόνα 17:Ο σωρός πρωτοκόλλων επιπέδου ελέγχου*

*Εικόνα 18: Διεπαφή S1-MME*

*Εικόνα 19: Διεπαφή S1-U*

*Εικόνα 20: Διεπαφή S3*

*Εικόνα 21: Διεπαφή S4*

*Εικόνα 22: Διεπαφή S5*

*Εικόνα 23: Διεπαφή S6a*

*Εικόνα 24: Διεπαφή Gx*

*Εικόνα 25: Διεπαφή S11*

*Εικόνα 26: Δομή επιπέδων πρωτοκόλλου σε eNodeB για τα downlink κανάλια*

*Εικόνα 27: LTE PDCP – Layer View*

*Εικόνα 28: Λειτουργίες PDCP Layer*

*Εικόνα 29: Μη αναγνωρίσιμος τρόπος εκπομπής και συνολική λήψη.*

*Εικόνα 30: Αναγνωρισμένος τρόπος εκπομπής και συνολική λήψη.*

*Εικόνα 31: Το διαμοιρασμένο κανάλι downlink του μοντέλου του PHY επιπέδου*

*Εικόνα 32: Χαρτογράφηση του E-UTRAN μεταξύ τύπων καναλιών*

*Εικόνα 33: Αρχιτεκτονική υπηρεσιών EPS φορέα*

*Εικόνα 34: LTE/SAE bearers κατά μήκος διαφορετικών διεπαφών.*

*Εικόνα 35: Παράδειγμα ροής μηνύματος για δημιουργία LTE/SAE bearer*

*Εικόνα 36: Αρχιτεκτονική πρωτοκόλλου ράδιο-διεπαφής στο φυσικό επίπεδο.*

*Εικόνα 37: Orthogonal Frequency Division Multiplexing*

*Εικόνα 38: Οι φυσικοί πόροι του LTE downlink βασισμένοι στο OFDM*

*Εικόνα 39: Αρχές του FDMA*

*Εικόνα 40: Αρχές πολλαπλών φερόντων*

*Εικόνα 41: Διατήρηση της ορθογωνιότητας των υποφερόντων*

*Εικόνα 42: Τα αποτελέσματα από την λειτουργία FFT με διαφορετικές εισόδους.*

*Εικόνα 43: Πομπός και δέκτης OFDMA*

*Εικόνα 44: Δημιουργία ζωνών προστασίας για το σύμβολο OFDMA*

*Εικόνα 45: Σύμβολα αναφοράς διασκορπισμένα πάνω στα OFDMA υποφέροντα και σύμβολα*

*Εικόνα 46: Ζώνες προστασίας μπροστά από τα σύμβολα SC-FDMA*

*Εικόνα 47: Το κυκλικό πρόθεμα εφαρμόζει μπροστά από τα δύο σύμβολα*

*Εικόνα 48: Block διάγραμμα του SC-FDMA και του OFDMA*

Εικόνα 49: Μέθοδοι κατανομής υποφερόντων για πολλαπλούς χρήστες ( $Q=3$  χρήστες,  $M=12$  υποφορείς και  $N=4$  κατανεμημένοι υποφορείς ανά χρήστη)

Εικόνα 50: Σύμβολα χρόνου διαφορετικής απεικόνισης υποφορέα.

Εικόνα 51: Σύμβολα εκπομπής SC-FDMA στο πεδίο συχνότητας για  $N=4$ ,  $Q=4$  και  $M=16$

Εικόνα 52: Σύγκριση OFDMA και SC-FDMA

Εικόνα 53: Σύγκριση του CCDF του PARP για IFDMA, DFDMA, LFDMA και OFDMA με συνολικούς αριθμούς υποφερόντων  $M=512$ , αριθμούς συμβόλων εισόδου  $N=128$

Εικόνα 54 : Αρχές της λειτουργίας των FDD και TDD.

Εικόνα 55 : Τρόποι λειτουργίας

Εικόνα 56 : Ασύμμετρη λειτουργία του TDD

Εικόνα 57: Τρόποι πρόσβασης ραδιοκαναλιών

Εικόνα 58: MIMO  $2 \times 2$ , no precoding

Εικόνα 59: Κεραίες προηγούμενης τεχνολογίας

Εικόνα 60: Κεραίες τωρινής τεχνολογίας

Εικόνα 61: Κεραίες προηγμένης τεχνολογίας

Εικόνα 62: Κεραία MIMO

Εικόνα 63: MIMO κυψελωτό δίκτυο. Ο σταθμός βάσης με  $L$  κεραίες επικοινωνεί με  $P$  χρήστες καθένας εξοπλισμένος με  $M$  κεραίες.

Εικόνα 64: Ad hoc δίκτυο

Εικόνα 65: Κατανεμημένο MIMO

Εικόνα 66: Η εξέλιξη της MBMS τεχνολογίας

Εικόνα 67: Αρχιτεκτονική του e-MBMS

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

*Πίνακας 1- Οι προδιαγραφές της εξέλιξης του UMTS*

*Πίνακας 2 – Χαρακτηριστικά του LTE*

*Πίνακας 3- Βασικές απαιτήσεις του LTE*

*Πίνακας 4- Η δομή της ομάδας εργασίας του 3GPP.*

*Πίνακας 5- Τυποποιημένοι QoS Class Identifiers (QCIs) για το LTE*

## *Εισαγωγή*

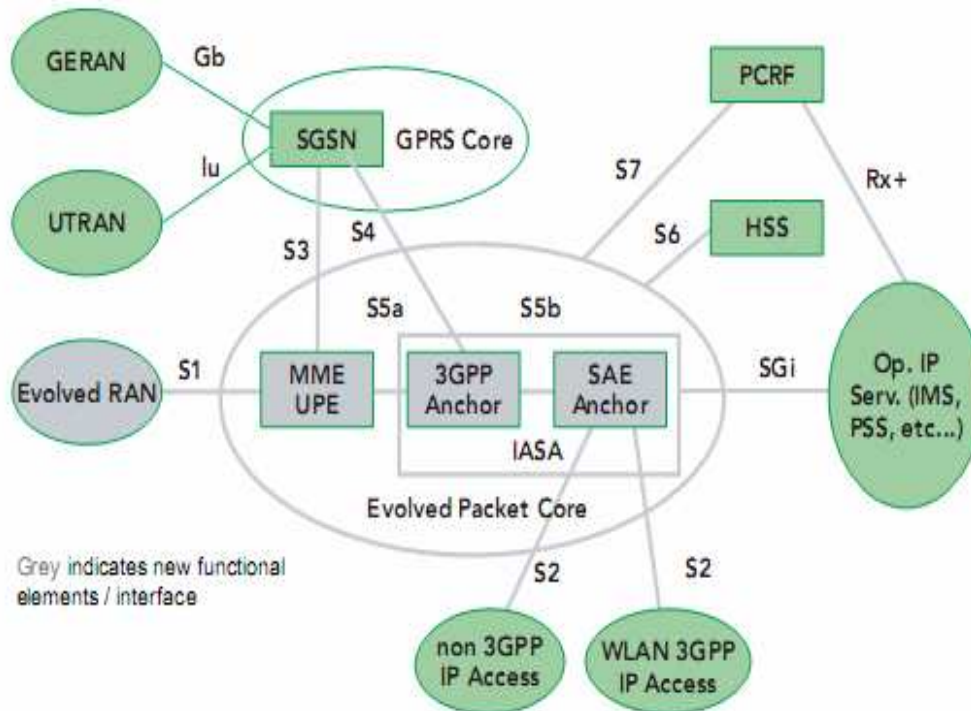
## 1. Εισαγωγή

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 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP) για να εργαστεί πάνω στο Long Term Evolution(LTE).

Το Long Term Evolution του UMTS 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 επιλεγεί 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, και
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).

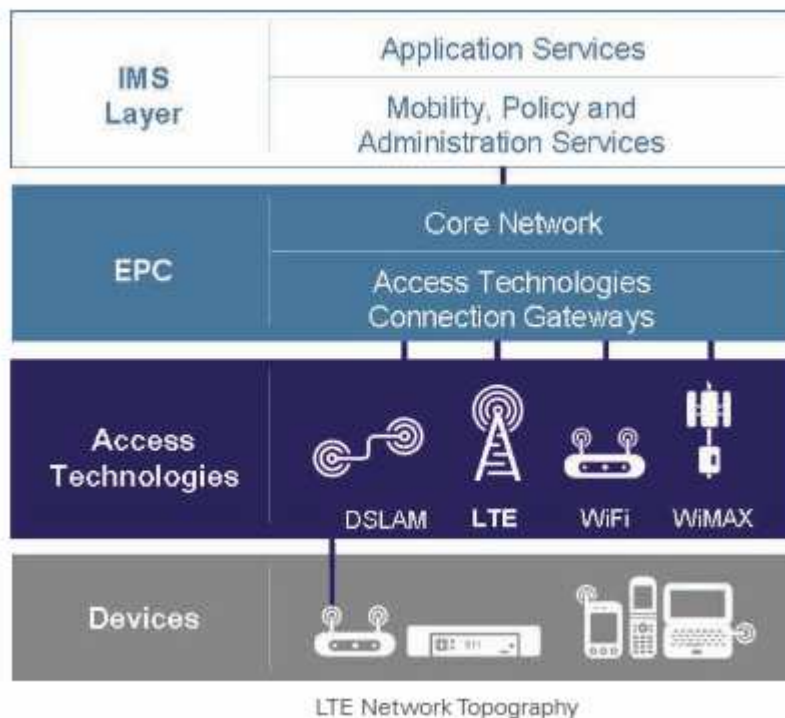


Εικόνα 1-Αρχιτεκτονική δικτύου

Επειδή το LTE είναι η εξέλιξη του UMTS , τα ισοδύναμα στοιχεία του LTE συνεπώς ονομάζονται Evolved UTRA (E-UTRA) και Evolved UTRAN (E-UTRAN). Αυτοί είναι οι επίσημοι όροι που χρησιμοποιούνται για να περιγραφεί το RAN [2] και αναμένεται να βελτιώσουν την απόδοση του τελικού χρήστη, τον τομέα της χωρητικότητας και την μείωση του latency στο επίπεδο του χρήστη με αποτέλεσμα να βελτιωθεί σημαντικά η εμπειρία των χρηστών με πλήρη κινητικότητα [1] . 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) [2].

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 2: Τοπογραφία δικτύου LTE

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 ραδιο τεχνολογίες πρόσβασης (Radio Access Technologies-RATs ) [1].

### 1.1 Η εξέλιξη από το UMTS στο LTE.

Μετά την έκδοση 99, το 3GPP μετά από ένα χρόνο σταμάτησε την ονοματοδοσία εκδόσεων και επέλεξε ένα νέο σχήμα που ξεκίνησε με την έκδοση 4. Η έκδοση 4 παρουσίασε την 1.28 Mcps περιορισμένης ζώνης έκδοση του W-CDMA γνωστή ως Time Domain Synchronous Code Division Multiple Access (TD-SCDMA). Μετά από αυτό ήταν η έκδοση 5 στην οποία το High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) εισήγαγε τις packet-based υπηρεσίες δεδομένων στο UMTS με τον ίδιο τρόπο που το GPRS έκανε για το GSM στην έκδοση 97.



Release	Functional freeze	Main UMTS feature of release
Rel-99	March 2000	Basic 3.84 Mcps W-CDMA (FDD & TDD)
Rel-4	March 2001	1.28 Mcps TDD (aka TD-SCDMA)
Rel-5	June 2002	HSDPA
Rel-6	March 2005	HSUPA (E-DCH)
Rel-7	December 2007	HSPA+ (64QAM downlink, MIMO, 16QAM uplink) LTE and SAE feasibility study
Rel-8	December 2008	LTE work item – OFDMA/SC-FDMA air interface SAE work item – new IP core network Further HSPA improvements

Πίνακας 1- Οι προδιαγραφές της εξέλιξης του UMTS

Η ολοκλήρωση των πακέτων δεδομένων για το UMTS επιτεύχθηκε στην έκδοση 6 με την προσθήκη του High Speed Uplink Packet Access (HSUPA), αν και ο επίσημος όρος για αυτή την τεχνολογία είναι Enhanced Dedicated Channel (E-DCH). HSDPA και HSUPA είναι πλέον γνωστά ως High Speed Packet Access (HSPA).

Η έκδοση 7 περιείχε την πρώτη εργασία πάνω στο LTE/SAE με την ολοκλήρωση των μελετών σκοπιμότητας και τις περαιτέρω βελτιώσεις που έγιναν στο HSPA όπως η κατερχόμενη σύνδεση MIMO, 64QAM στην κατερχόμενη σύνδεση και 16QAM στην ανερχόμενη σύνδεση.

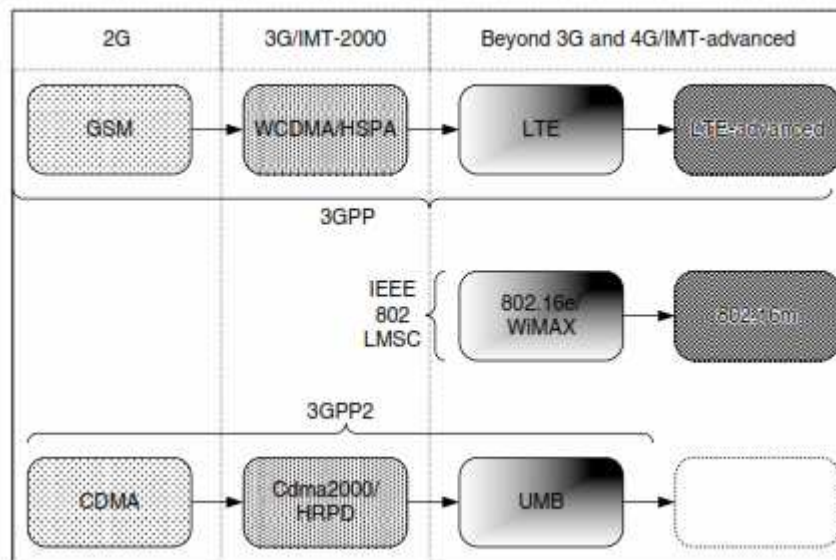
Η έκδοση 8 συνεχίζει να εξελίσσεται με την προσθήκη μικρότερων χαρακτηριστικών όπως το dual cell HSDPA και 64QAM με MIMO. Η κύρια εργασία της έκδοσης 8 ωστόσο είναι η προδιαγραφή των LTE και SAE.

Η εργασία πέρα από την έκδοση 8 είναι υπό εξέλιξη με την οποία το LTE θα ενισχυθεί με την έκδοση 10 και προωθείται ως LTE-Advanced, μια υποψήφια τεχνολογία για την διεθνή ένωση τηλεπικοινωνιών (ITU) το πρόγραμμα IMT-Advanced, γνωστό ως 4G.

## 1.2 Η εξέλιξη του 4G

Οι αρμοδιότητες των ραδιοδιεπαφών για κινητά WiMax και UMB είναι πολύ παρόμοιες με εκείνους του LTE που δίνονται στον πίνακα 2. 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 2 –Εξέλιξη των κυψελωτών συστημάτων

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 κατανεμημένο 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. Ως τμήμα 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 [3].

Bandwidth	1.25–20 MHz
Duplexing	FDD, TDD, half-duplex FDD
Mobility	350 km/h
Multiple access	Downlink OFDMA
	Uplink SC-FDMA
MIMO	Downlink $2 \times 2, 4 \times 2, 4 \times 4$
	Uplink $1 \times 2, 1 \times 4$
Peak data rate in 20 MHz	Downlink 173 and 326 Mb/s for $2 \times 2$ and $4 \times 4$ MIMO, respectively
	Uplink 86 Mb/s with $1 \times 2$ antenna configuration
Modulation	QPSK, 16-QAM and 64-QAM
Channel coding	Turbo code
Other techniques	Channel sensitive scheduling, link adaptation, power control, ICIC and hybrid ARQ

Πίνακας 2 – Χαρακτηριστικά του LTE

### 1.3 Απαιτήσεις 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 3. 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

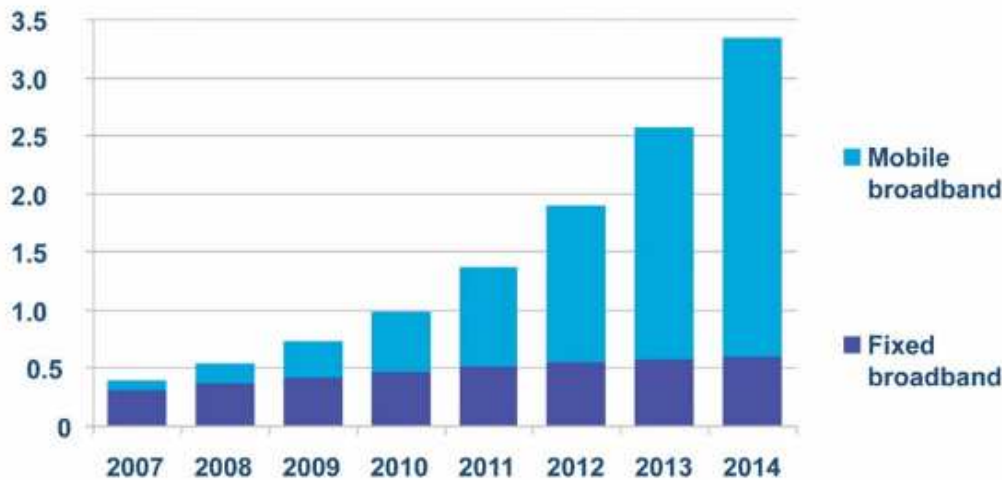
Πίνακας 3- Βασικές απαιτήσεις του LTE

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 [1].

## 1.4 Καταναλωτικές απαιτήσεις

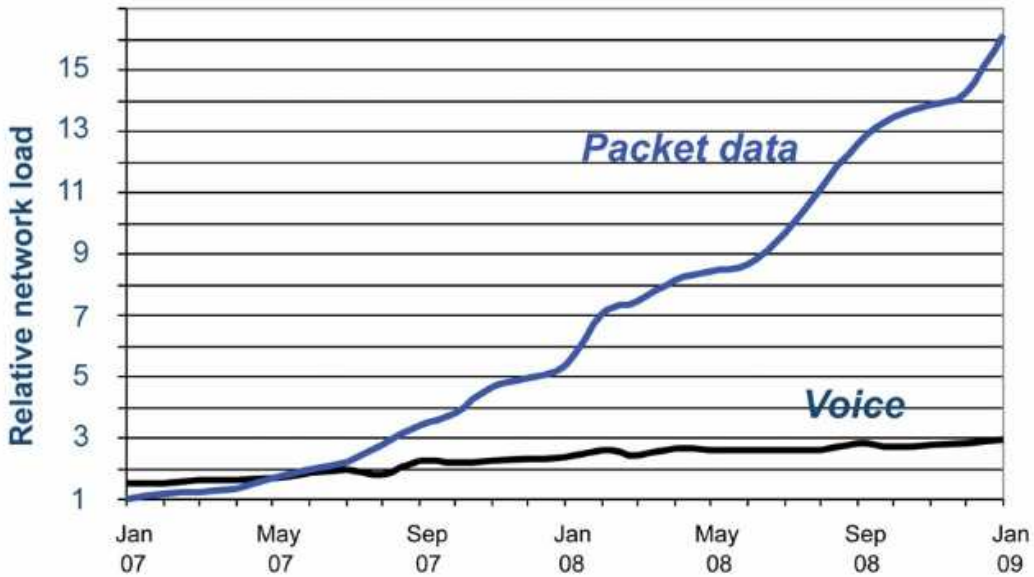
Οι ευρυζωνικές συνδρομές αναμένονται να φτάσουν στα 3,4 δισεκατομμύρια μέχρι το 2014 και περίπου 80% των καταναλωτών που θα χρησιμοποιήσουν την mobile broadband (Εικόνα 4). Υπάρχουν ενισχυτικές προβλέψεις ισχυρών στοιχείων της αυξανόμενης ευρυζωνικής χρήσης. Οι καταναλωτές καταλαβαίνουν και εκτιμούν τα πλεονεκτήματα της

κινητής ευρείας ζώνης. Οι περισσότεροι άνθρωποι χρησιμοποιούν ήδη τα κινητά τους τηλέφωνα και πολλοί συνδέουν τα notebooks στα ασύρματα LANs.



Εικόνα 4 – Ανάπτυξη broadband 2007-2014

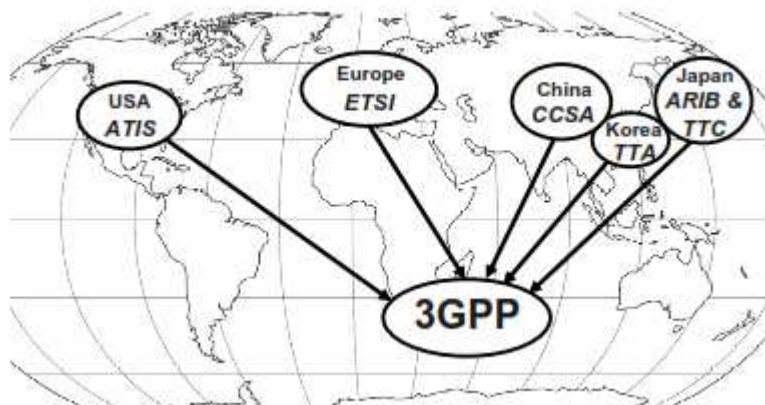
Το βήμα προς την πλήρη κινητή ευρεία ζώνη είναι διαισθητικό και απλό, ειδικά με το LTE που προσφέρει τη παντού κάλυψη και περιαγωγή με την ύπαρξη των 2G και 3G δικτύων. Η εμπειρία με την τεχνολογία HSPA δείχνει ότι όταν οι χειριστές παρέχουν καλή κάλυψη υπηρεσιών και τερματικών, η κινητή ευρυζωνική χρήση απογειώνεται. Η κυκλοφορία των πακέτων δεδομένων προσπέρασε την κυκλοφορία φωνής κατά την διάρκεια του Μαΐου 2007, βασισμένο σε ένα παγκόσμιο μέσο όρο φορτίου του WCDMA δικτύου. Αυτό ήταν κυρίως λόγω της εισαγωγής του HSPA στα δίκτυα (Εικόνα 5). Σε πολλές περιπτώσεις η κινητή ευρεία ζώνη μπορεί να ανταγωνιστεί με τη σταθερή ευρεία ζώνη στην τιμή, στην απόδοση, στην ασφάλεια και στην ευκολία. Οι χρήστες μπορούν να ξοδέψουν τη λιγότερη χρονική οργάνωση της σύνδεσης WLAN, ανησυχώντας για την ασφάλεια ή χάνοντας την κάλυψη και περισσότερο χρόνο χρησιμοποιώντας την υπηρεσία. Διάφορες ευρυζωνικές εφαρμογές ενισχύονται σημαντικά με την κινητικότητα. Τα κοινοτικά sites, οι μηχανές αναζήτησης, εφαρμογές παρουσιάσεων και οι σελίδες με περιεχόμενο διανομής όπως το YouTube είναι μερικά παραδείγματα. Με την κινητικότητα, αυτές οι εφαρμογές γίνονται σημαντικά πολυτιμότερες στους χρήστες. Το περιεχόμενο που παράγεται από τον χρήστη είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον, επειδή αλλάζει τα σχέδια της κυκλοφορίας που καθιστούν τη δυνατότητα της ανερχόμενης σύνδεσης πιο σημαντική από ποτέ. Οι υψηλοί ρυθμοί και το σύντομο latency του LTE επιτρέπουν επίσης τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπως το gaming και η τηλεδιάσκεψη [5].



Εικόνα 5  
Μεγάλη ανάπτυξη της κίνησης δεδομένων στα WCDMA δίκτυα παγκοσμίως.

#### 1.4 Η τυποποιημένη διαδικασία του 3GPP.

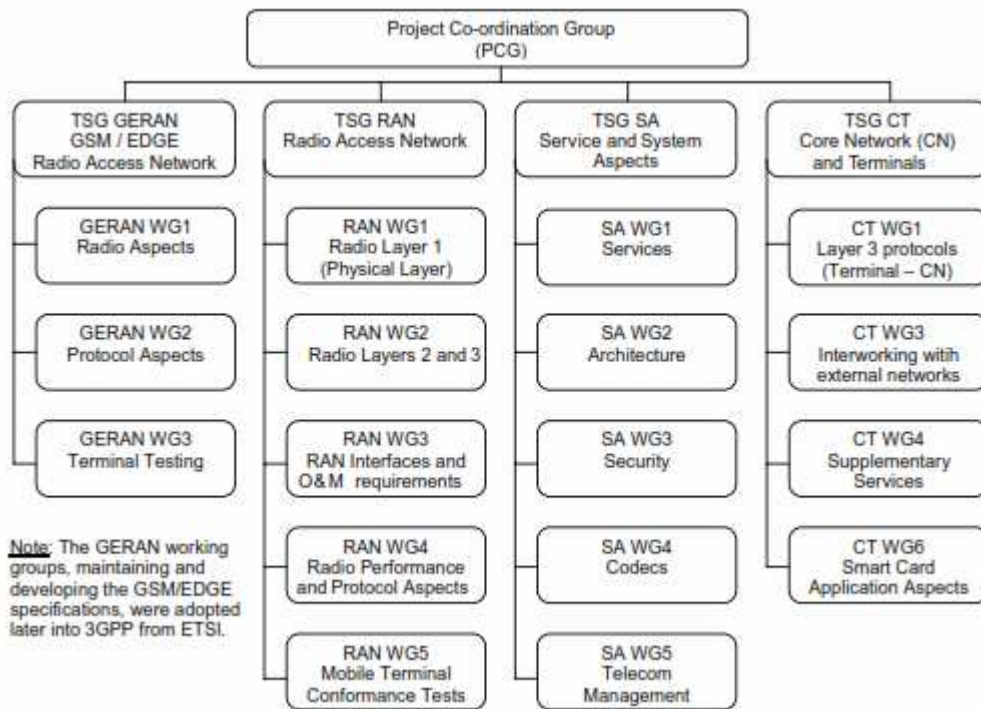
Το συνεργάσιμο πρότυπο τυποποίησης που τόσο επιτυχώς παρήγαγε το σύστημα GSM έγινε η βάση για την ανάπτυξη του συστήματος UMTS. Προς όφελος της παραγωγής των παγκόσμιων προτύπων, η συνεργασία του UMTS και του GSM επεκτάθηκε πέρα από το ETSI για περιβάλει τις τοπικές Οργανώσεις Ανάπτυξης Προτύπων (Standards Development Organizations (SDOs) ) από την Ιαπωνία (ARIB και TTC), την Κορέα (TTA), την Βόρεια Αμερική (ATIS) και την Κίνα (CCSA), όπως φαίνεται στην εικόνα 6.



Εικόνα 6 –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 4- 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 [6].



*Αρχιτεκτονική Δικτύου  
&  
Πρωτόκολλα.*

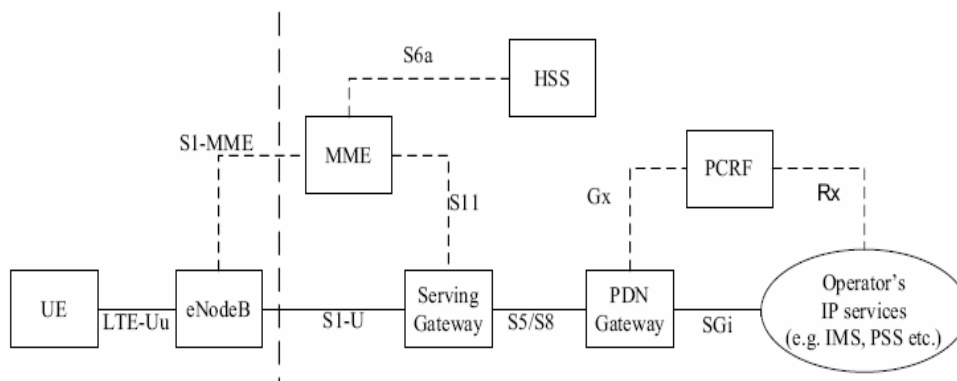
## 2 Αρχιτεκτονική δικτύου και πρωτόκολλα.

### 2.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέραμε , το LTE έχει σχεδιαστεί να υποστηρίζει μόνο packets switched υπηρεσίες σε αντίθεση με το circuit-switched μοντέλο προηγούμενων κυψελωδών συστημάτων. Σκοπός του είναι να παρέχει συνδεσιμότητα Internet Protocol (IP) μεταξύ User Equipment (UE) και του Packet Data Network (PDN) χωρίς καμία διακοπή στις εφαρμογές τελικών χρηστών κατά την διάρκεια κινητικότητας. Ενώ ο όρος LTE περιλαμβάνει την εξέλιξη του radio access μέσω του Evolved-UTRAN (E-UTRAN), συνοδεύεται από μια εξέλιξη της non-radio access υπό τον όρο του System Architecture Evolution (SAE), το οποίο περιλαμβάνει το Evolved Packet Core (EPC) δίκτυο. LTE και SAE αποτελούν το Evolved Packet System (EPS).

Το EPS χρησιμοποιεί την έννοια των EPS φορέων (*bearers*) για να δρομολογήσουν την IP κίνηση από μία πύλη μέσα στο PDN στον UE. Ένας φορέας είναι μία ροή IP πακέτου με καθορισμένο Quality of Service (QoS) μεταξύ της πύλης και του UE. Το E-UTRAN και το EPC προετοιμάζουν και ελευθερώνουν φορείς σαν προαπαιτούμενα από τις εφαρμογές.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε την αρχιτεκτονική του δικτύου EPS, δίνοντας μια επισκόπηση των παρεχόμενων λειτουργιών από το Core Network (CN) και το E-UTRAN [6].



## 2.2 Συνολική επισκόπηση αρχιτεκτονικής

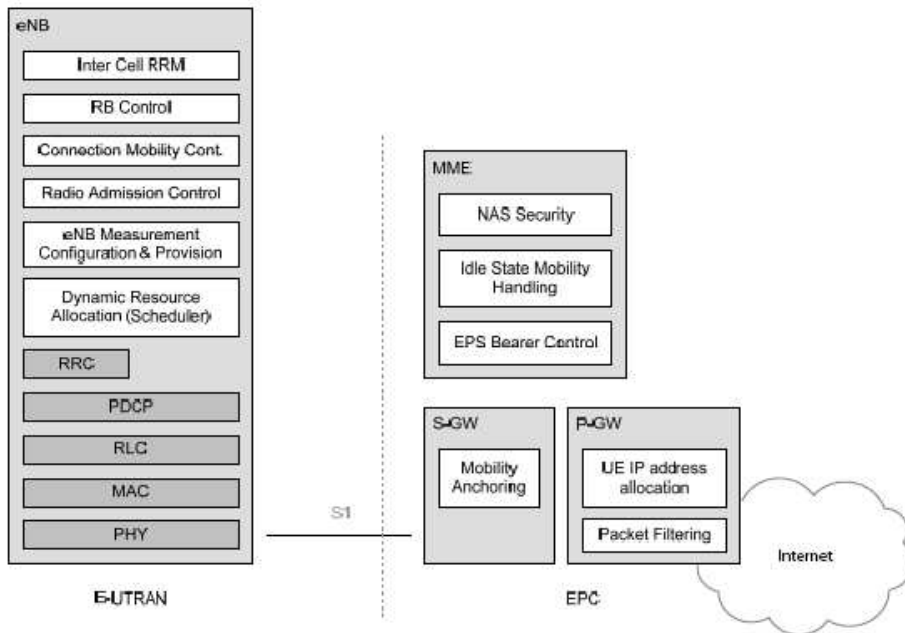
Το EPS παρέχει στον χρήστη συνδεσιμότητα IP σε ένα PDN για πρόσβαση στο διαδίκτυο όπως και για *running services* όπως το Voice over IP (VoIP). Ένα EPS φορέας είναι ενωμένος με ένα QoS. Πολλαπλοί φορείς μπορούν να δημιουργηθούν από ένα χρήστη για να παρέχουν διαφορετικό QoS streams ή συνδεσιμότητα με διαφορετικά PDNs. Για παράδειγμα, ένας χρήστης μπορεί να συμμετέχει σε μια κλήση φωνής (VoIP) εκτελώντας την ίδια στιγμή *web browsing* ή File Transfer Protocol (FTP) download. Ένας VoIP φορέας μπορεί να παρέχει το απαραίτητο QoS για κλήση φωνής, ενώ ένας άλλος φορέας μπορεί να είναι κατάλληλος για *web browsing* ή FTP session.

Το δίκτυο μπορεί ωστόσο να παρέχει ικανοποιητική ασφάλεια και μυστικότητα για τον χρήστη και προστασία του δικτύου έναντι κακόβουλης χρήσης. Αυτό επιτεύχθηκε από διάφορα στοιχεία του δικτύου EPS τα οποία έχουν διαφορετικούς ρόλους. Η παραπάνω εικόνα δείχνει τη συνολική αρχιτεκτονική δικτύου περιλαμβάνοντας τα στοιχεία δικτύου και τα τυποποιημένες διεπαφές. Στο υψηλό επίπεδο, το δίκτυο αποτελείται από το CN (EPC) και στο *access network* (E-UTRAN) ενώ το CN αποτελείται από πολλούς λογικούς κόμβους, το δίκτυο πρόσβασης αποτελείται ουσιαστικά από μόνο έναν κόμβο, το Evolved NodeB (eNodeB) που συνδέει με το UEs. Το καθένα από αυτά τα στοιχεία δικτύου είναι συνδεδεμένα με την βοήθεια των διεπαφών που είναι τυποποιημένες για να επιτραπεί η δυνατότητα να δουλεύουν μαζί. Αυτό δίνει την δυνατότητα στους παρόχους δικτύου, να αντλούν διαφορετικά στοιχεία από διαφορετικούς παρόχους. Στην πραγματικότητα οι πάροχοι δικτύων μπορούν να επιλέξουν να χωρίσουν τις φυσικές εφαρμογές ή να συγχωνεύσουν αυτά τα λογικά στοιχεία δικτύων ανάλογα με τις εμπορικές εκτιμήσεις. Η λειτουργική διάσπαση μεταξύ του EPC και του E-UTRAN παρουσιάζεται παρακάτω. Τα στοιχεία δικτύων EPC και το E-UTRAN περιγράφονται λεπτομερέστερα πιο κάτω. [6]

## 2.3 The Core Network

Το CN (ονομάζεται EPC στο SAE) είναι υπεύθυνο για το συνολικό έλεγχο του UE και την ανάπτυξη των φορέων. Τα κύρια λογικά nodes του EPC είναι :

- PDN Gateway (P-GW)
- Serving Gateway (S-GW)
- Mobility Management Entity (MME).



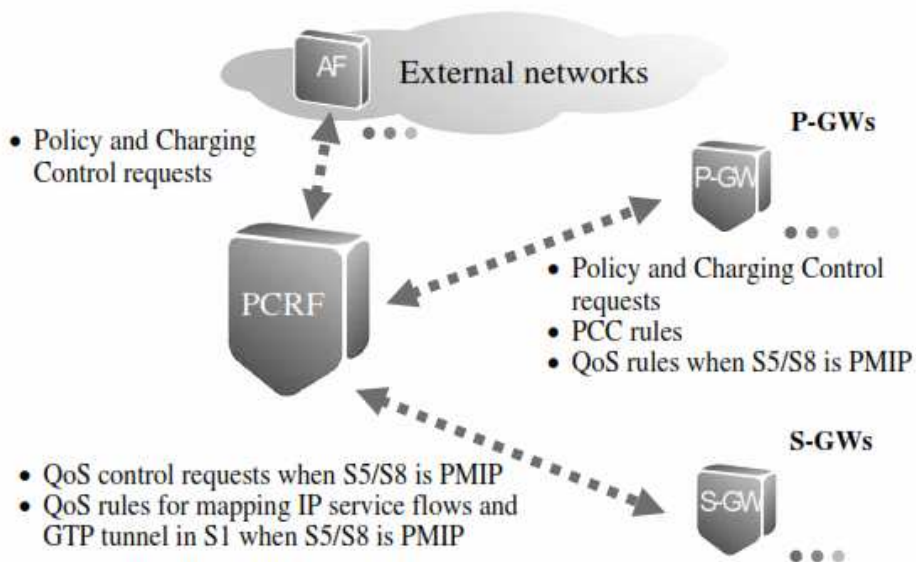
Εικόνα 8- Λειτουργικός διαχωρισμός μεταξύ E-UTRAN και EPC

Επιπλέον , το EPC περιλαμβάνει επίσης άλλα λογικά nodes και λειτουργίες όπως το Home Subscriber Server (HSS) και το Policy Control και Charging Rules Function (PCRF). Από το EPS μόνο παρέχεται ένα bearer path από συγκεκριμένο QoS, ο έλεγχος των multimedia εφαρμογών όπως το VoIP παρέχεται από το IP Multimedia Subsystem (IMS) το οποίο θεωρείται ότι είναι εκτός του EPS.

Τα λογικά CN nodes φαίνονται στην παραπάνω εικόνα και περιγράφονται με περισσότερες λεπτομέρειες παρακάτω [6].



Οι πληροφορίες του PCRF που παρέχονται στο PCEF ονομάζονται κανόνες PCC . Το PCRF θα στείλει τους κανόνες PCC οπότε ένας νέος φορέας πρόκειται να δημιουργηθεί. Η ίδρυση των φορέων απαιτείται, για παράδειγμα



Εικόνα 10 – Συνδέσεις του PCRF με άλλους λογικούς κόμβους και οι βασικές λειτουργίες

όταν το UE αρχικά συνδέεται με το δίκτυο και ο προεπιλεγμένος φορέας θα είναι έτοιμος για λειτουργία και στη συνέχεια όταν ένας ή περισσότεροι αφιερωμένοι φορείς είναι τακτοποιημένοι. Το PCRF θα είναι σε θέση να παρέχει τους κανόνες PCC που βασίζονται κατόπιν αιτήσεως καθενός από την P-GW και επίσης από την S-GW στη περίπτωση PMIP, όπως στην περίπτωση συνδέσεων, και που βασίζονται επίσης κατόπιν αιτήσεως από την Application Function (AF) που βρίσκεται στο Service Domain.

Σε αυτό το σενάριο το UE έχει κάνει σήμα άμεσα με την περιοχή υπηρεσιών, πχ με το IMS και το AF ωθεί τις πληροφορίες του QoS σε PCRF το οποίο λαμβάνει μια απόφαση PCC και ωθεί του κανόνες PCC στην P-GW και τις πληροφορίες χαρτογράφησης φορέων στην S-GW στην περίπτωση PMIP S5/S8. Οι φορείς EPC τακτοποιούνται μετά βασισμένοι σε εκείνους.

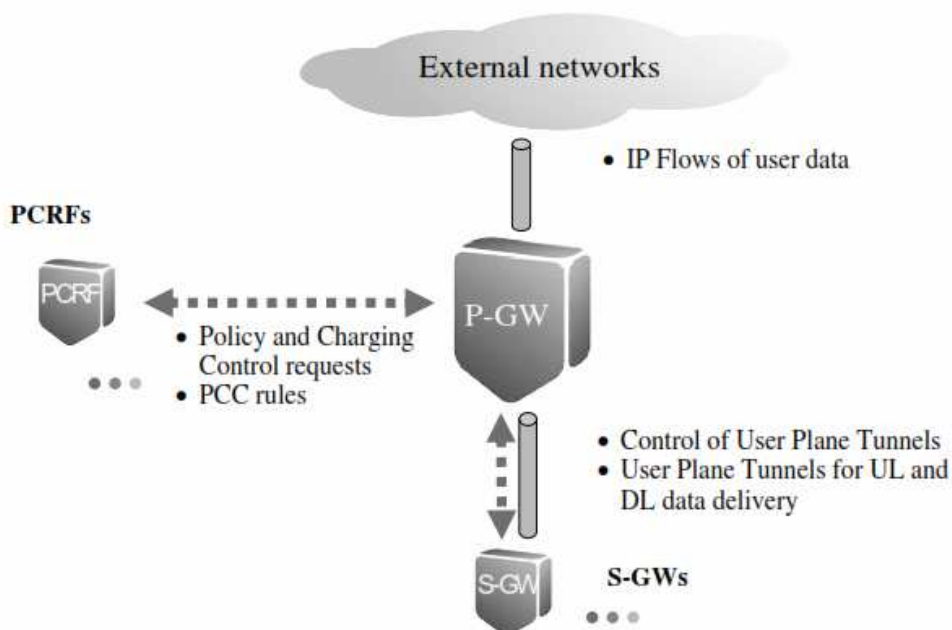
Οι συνδέσεις μεταξύ του PCRF και των άλλων κόμβων φαίνονται παραπάνω. Κάθε PCRF μπορεί να συνδεθεί με ένα ή περισσότερα AF, P-GW, και S-GW. Υπάρχει μόνο ένα PCRF που συνδέεται με κάθε σύνδεση PDN που έχει ένα απλό UE.

### 2.3.2 Home Subscription Server (HSS)

Το Home Subscription Server (HSS) είναι η αποθήκευση στοιχείων συνδρομής για όλα τα μόνιμα στοιχεία χρηστών. Καταγράφει επίσης την θέση του χρήστη στο επίπεδο του επισκεπτόμενου κόμβου όπως οι MME. Είναι ένας δρομολογητής βάσης δεδομένων που διατηρείται στις κεντρικές εγκαταστάσεις του εγχώριου παρόχου. Το HSS αποθηκεύει το πρωτότυπο profile του συνδρομητή, το οποίο περιέχει τις πληροφορίες για τις υπηρεσίες που είναι κατάλληλες για τον χρήστη, συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών για τις επιτρεπόμενες PDN συνδέσεις και εάν η περιαγωγή σε ένα συγκεκριμένο επισκεπτόμενο δίκτυο επιτρέπεται ή όχι. Για την υποστήριξη της κινητικότητας μεταξύ non-3GPP ANS, το HSS αποθηκεύει επίσης τις ταυτότητες εκείνου του P-GW που είναι σε χρήση. Το μόνιμο κλειδί που χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την αυθεντικότητα του φορέα που στέλνεται σε ένα επισκεπτόμενο δίκτυο για την επικύρωση του χρήστη και την παραγωγή των επόμενων κλειδιών για την κρυπτογράφηση και την προστασία, είναι αποθηκευμένα στο Authentication Center (AuC) το οποίο είναι χαρακτηριστικό μέρος του HSS. Σε όλη τη σχετική σηματοδότηση με αυτές τις λειτουργίες το HSS αλληλεπιδρά με το MME.

Το HSS θα πρέπει να είναι ικανό να συνδεθεί με κάθε MME σε ολόκληρο το δίκτυο, όπου το UEs του επιτρέπεται να κινηθεί. Για κάθε UE τα αρχεία HSS θα δείξουν μια εξυπηρέτηση MME το χρόνο και μόλις αναφέρει η νέα MME ότι εξυπηρετεί το UE, το HSS θα ακυρώσει την θέση από την προηγούμενη MME.

### 2.3.3 Packet Data Network Gateway (P-GW)



Εικόνα 11- Συνδέσεις του P-GW με άλλους λογικούς κόμβους και οι βασικές λειτουργίες

Η Packet Data Network Gateway (P-GW) είναι ο δρομολογητής μεταξύ του EPS και των εξωτερικών δικτύων πακέτων δεδομένων. Είναι το συντονιστής κινητικότητας του πιο υψηλού επιπέδου στο σύστημα και συνήθως ενεργεί ως σημείο IP της σύνδεσης για το UE. Εκτελεί έλεγχο κίνησης και λειτουργίες φιλτραρίσματος όπως απαιτείται από την εν λόγω υπηρεσία. Ομοίως στη S-GW το P-GW διατηρείται στις εγκαταστάσεις των παρόχων σε μια κεντρική τοποθεσία. Τυπικά το P-GW διαθέτει τη IP διεύθυνση στο UE και το UE χρησιμοποιεί αυτό για να επικοινωνήσει με τους άλλους IP hosts στα εξωτερικά δίκτυα πχ το διαδίκτυο. Είναι επίσης πιθανό ότι το εξωτερικό PDN με το οποίο το UE συνδέεται να διαθέτει την διεύθυνση που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί από το UE και η P-GW ανοίγει όλη την κυκλοφορία σε εκείνο το δίκτυο. Η διεύθυνση IP διατίθεται πάντα όταν το UE ζητά μια σύνδεση PDN, η οποία συμβαίνει τουλάχιστον όταν το UE συνδέεται με το δίκτυο και μπορεί να συμβεί στην συνέχεια όταν μια νέα συνδεσιμότητα PDN απαιτείται

Η P-GW εκτελεί την απαραίτητη λειτουργία Dynamic Configuration Protocol (DHCP) ή ρωτά έναν εξωτερικό DHCP εξυπηρετητή και παραδίδει την διεύθυνση στο UE. Μόνο IPv4, IPv6 ή και τις δύο διευθύνσεις μπορούν να διατεθούν ανάλογα με την ανάγκη και το UE μπορεί να επισημάνει εάν θέλει να λάβει τη διεύθυνση στην σηματοδότηση συνδέσεων, ή εάν επιθυμεί να εκτελέσει την διαμόρφωση των διευθύνσεων αφότου συνδεθεί το link layer.

Το P-GW περιλαμβάνει το PCEF το οποίο σημαίνει ότι εκτελεί τις λειτουργίες των πυλών έλεγχου και το φιλτράρισμα όπως απαιτείται από τις πολιτικές που τίθενται για το UE και την εν λόγω υπηρεσία και συλλέγει και εκθέτει τις σχετικές πληροφορίες χρέωσης.

Η P-GW είναι ο συντονιστής κινητικότητας του υψηλότερου επιπέδου στο σύστημα. Όταν ένα UE κινείται από μια S-GW σε μια άλλη οι φορείς πρέπει να μεταστραφούν σε P-GW. Η P-GW θα λάβει μια ένδειξη να μετατρέψει την ροή από την νέα S-GW. Η εικόνα παρουσιάζει τις συνδέσεις P-GW που έχουν στους περιβάλλοντες λογικούς κόμβους, και απαριθμεί τις κύριες λειτουργίες σε αυτές τις διεπαφές. Η κάθε P-GW μπορεί να συνδεθεί με ένα ή περισσότερα PCRF, S-GW και το εξωτερικό δίκτυο. Για ένα δεδομένο UE που συνδέεται με την P-GW υπάρχει μόνο μια S-GW, αλλά οι συνδέσεις σε πολλά εξωτερικά δίκτυα και αντίστοιχα σε πολλά PCRFs μπορεί να πρέπει να υποστηριχθούν, αν η συνδεσιμότητα σε πολλαπλό PDN υποστηρίζεται μέσω μιας P-GW [7].

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

Όλα τα πακέτα IP των χρηστών μεταφέρονται μέσω της S-GW, η οποία χρησιμεύει ως συντονιστής κινητικότητας για τους φορείς δεδομένων όταν οι UE κινούνται μεταξύ των κόμβων. Διατηρεί επίσης τις πληροφορίες για τους φορείς όταν το UE είναι σε κατάσταση αδράνειας και αποθηκεύει προσωρινά τα δεδομένα της κατερχόμενης σύνδεσης ενώ το MME αρχίζει το paging του UE για να επανεγκαθιδρύσει τους φορείς. Επιπλέον, η S-GW



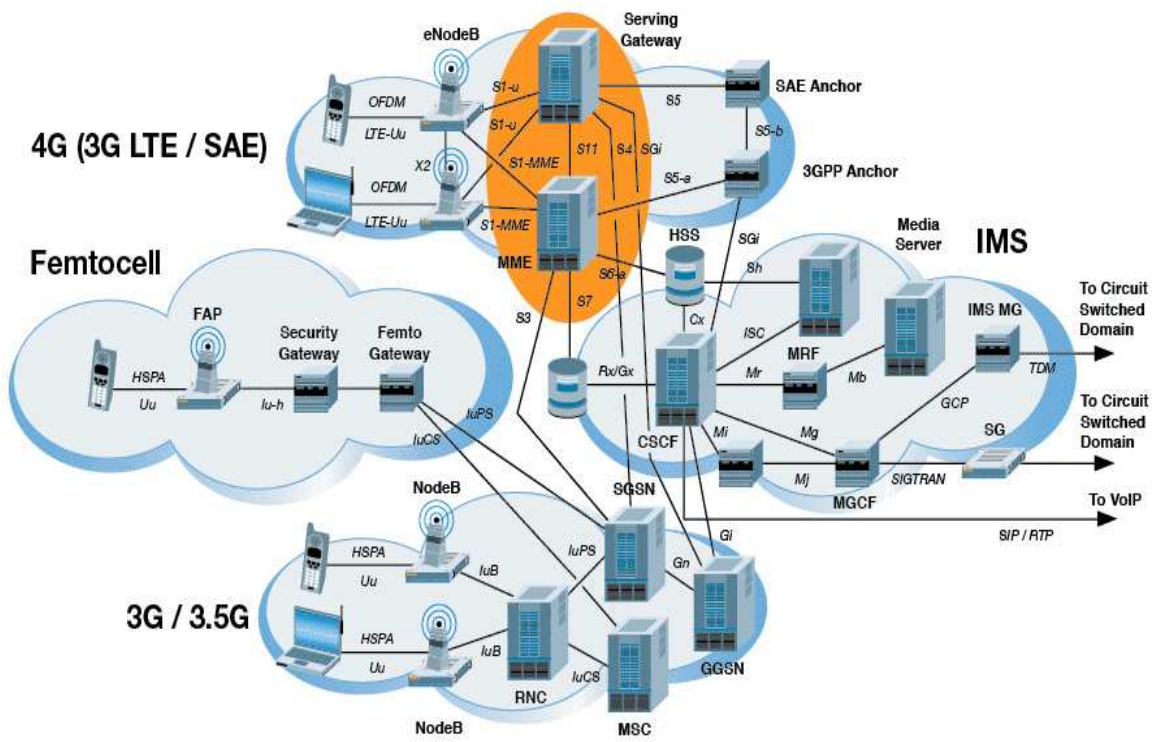
εκτελεί διαχειριστικές λειτουργίες στο επισκεπτόμενο δίκτυο όπως η συλλογή πληροφοριών για την χρέωση (πχ ο όγκος των δεδομένων που στέλνονται ή λαμβάνονται από τον χρήστη), και νόμιμη παρεμπόδιση. Εξυπηρετεί επίσης ως συντονιστής κινητικότητας για την αλληλεπίδραση με άλλες 3GPP τεχνολογίες όπως GPRS και το UMTS.

### **2.2.5 Mobility Management Entity (MME)**

Το MME είναι ο βασικός κόμβος ελέγχου για το δίκτυο πρόσβασης του LTE.

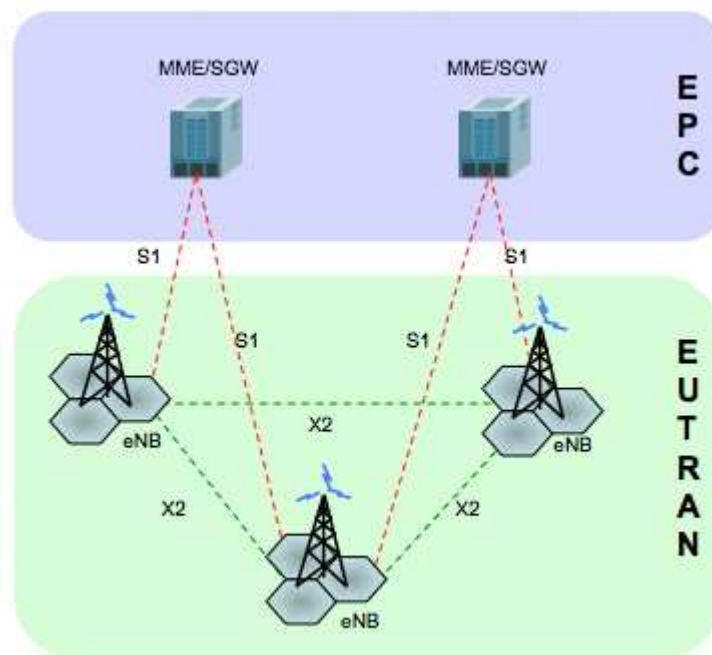
Είναι υπεύθυνο για τον αργό τρόπο ανίχνευσης του UE και διαδικασία τηλεειδοποίησης συμπεριλαμβανομένων των αναμεταδόσεων. Περιλαμβάνεται στην διαδικασία ενεργοποίησης/απενεργοποίησης των φορέων και είναι επίσης υπεύθυνο για την επιλογή του S-GW για ένα UE στην αρχική σύνδεση και στο χρόνο του intra-LTE handover που περιλαμβάνει τον επανεντοπισμό κόμβων Core Network (CN). Είναι υπεύθυνο για την αυθεντικότητα του χρήστη (από την αλληλεπίδραση με το HSS).

Η σηματοδότηση Non-Access Stratum (NAS) ολοκληρώνεται στο MME και είναι επίσης αρμόδια για την δημιουργία και την κατανομή των προσωρινών ταυτοτήτων των UE. Ελέγχει την έγκριση του UE για να εγκατασταθεί στην υπηρεσία του πάροχου Public Land Mobile Network (PLMN) και να επιβάλει περιορισμούς περιαγωγής του UE. Το MME είναι το σημείο τερματισμού στο δίκτυο για την προστασία του λογαριασμού/ακεραιότητας για σηματοδότηση NAS και χειρίζεται τη βασική διαχείριση ασφάλειας. Η νόμιμη παρεμβολή της σηματοδότησης υποστηρίζεται επίσης από το MME. Το MME παρέχει επίσης τη λειτουργία ελέγχου επιπέδου για την κινητικότητα μεταξύ των δικτύων πρόσβασης LTE και 2G/3G με την S3 διεπαφή που τερματίζει στην MME από την SGSN. Το MME επίσης τερματίζει την S6a διεπαφή προς το HSS για περιαγωγή του UE.



Εικόνα 12- MME και Serving Gateway

## 2.4 Δίκτυο Πρόσβασης (The Access Network)



Εικόνα 13-Το δίκτυο πρόσβασης

Το δίκτυο πρόσβασης του LTE, E-UTRAN αποτελείται απλά από ένα δίκτυο eNodeBs, όπως φαίνεται στην εικόνα. Για μια κανονική χρήση (σε αντίθεση με το broadcast) δεν υπάρχει κανένας κεντρικός ελεγκτής σε E-UTRAN. Ως εκ τούτου η αρχιτεκτονική E-UTRAN λέγεται ότι είναι επίπεδη. Τα eNodeBs διασυνδέονται κανονικά το ένα με το άλλο μέσω μιας διεπαφής γνωστής ως X2 και στο EPC μέσω της διεπαφής S1-ιδιαίτερα στην MME μέσω της S1-MME διεπαφής και στην S-GW μέσω της S1-U. Τα πρωτόκολλα που τρέχουν μεταξύ των eNodeBs και του UE είναι γνωστά ως Access Stratum (AS) πρωτόκολλα. Το E-UTRAN είναι υπεύθυνο για όλες τις ραδιοσυνδεδεμένες λειτουργίες οι οποίες μπορούν να είναι συνοψισμένες εν συντομία όπως:

*Radio Resource Management:* Αυτό καλύπτει όλες τις λειτουργίες σχετικές με τους φορείς όπως ο ράδιο-έλεγχος φορέων, ο ράδιο-έλεγχος αποδοχής, ο ράδιο-έλεγχος κινητικότητας, ο σχεδιασμός και η δυναμική κατανομή των πόρων στους UE και στην ανερχόμενη και κατερχόμενη σύνδεση.

*Header Compression:* Αυτό βοηθά να εξασφαλίζει αποδοτική χρήση του radio interface με την συμπίεση των headers των IP πακέτων οι οποίες θα μπορούσαν διαφορετικά να αντιπροσωπεύουν μία ενδεικτική δαπάνη, ειδικά για τα μικρά πακέτα όπως το VoIP.

*Security:* Όλα τα πακέτα στέλνονται πάνω σε μια κρυπτογραφημένη ράδιο διεπαφή.

*Συνδεσιμότητα στο EPC:* Αυτό περιέχει την σηματοδότηση προς το MME και το διαδρομής φορέα προς το S-GW.

Από την πλευρά των δικτύων, όλες αυτές οι λειτουργίες βρίσκονται στα eNodeBs , κάθε ένα από αυτά μπορεί να είναι υπεύθυνο για την διαχείριση πολλαπλών κυψελών. Αντίθετα από μερικές προηγούμενες τεχνολογίες 2G και 3G , το LTE ενσωματώνει την λειτουργία των ράδιο-ελεγκτών στο eNodeB. Αυτό επιτρέπει την σφιχτή αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών στρωμάτων πρωτοκόλλων του δικτύου πρόσβασης, μειώνοντας την λανθάνουσα κατάσταση και βελτιώνοντας την αποδοτικότητα.

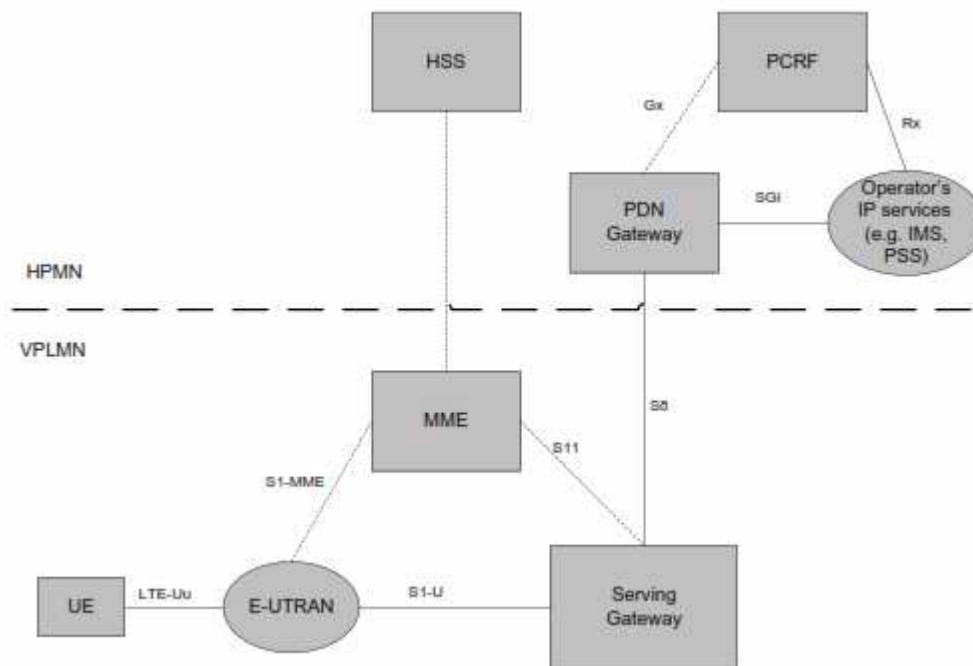
Τέτοιος κατακεκολλημένος έλεγχος εξαλείφει την ανάγκη για υψηλή διαθεσιμότητα, εντατική επεξεργασία η οποία έχει στην συνέχεια την δυνατότητα να μειώσει το κόστος και να αποφύγει τα 'μοναδικά σημεία αποτυχίας'. Επιπλέον, δεδομένου ότι το LTE δεν υποστηρίζει την soft handover δεν υπάρχει καμία ανάγκη για μια συγκεντρωμένη data-combining λειτουργία στο δίκτυο. Μια συνέπεια της έλλειψης ενός κεντρικού κόμβου ελέγχου είναι ότι, όπως το UE κινείται το δίκτυο πρέπει να μεταφέρει όλες τις σχετικές πληροφορίες με ένα UE δηλ. το πλαίσιο UE μαζί με οποιαδήποτε αποθηκευμένα στοιχεία από το ένα eNodeB στο άλλο. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα της διεπαφής S1 που συνδέει το δίκτυο πρόσβασης με το CN είναι γνωστό ως S1-flex. Αυτό είναι μια έννοια με το οποίο οι πολλαπλοί CN κόμβοι (MME/S-GWs) μπορούν να εξυπηρετήσουν μια κοινή γεωγραφική περιοχή, που συνδέεται με ένα δίκτυο πλέγματος με το σύνολο των eNodeBs σε εκείνη την περιοχή. Ένα eNodeB μπορεί να εξυπηρετηθεί από πολλαπλά MME/S-GWs. Το σύνολο των MME/S-GWnodes που εξυπηρετεί μια κοινή περιοχή καλείται δεξαμενή MME/S-GWs και η περιοχή που καλύπτεται από μια τέτοια δεξαμενή καλείται περιοχή δεξαμενών.

Αυτή η έννοια επιτρέπει σε UEs στη κυψέλη που ελέγχεται από ένα eNodeB να μοιραστεί μεταξύ πολλαπλών CN κόμβων, παρέχοντας την δυνατότητα για την διανομή φορτίου και επίσης στην εξάλειψη των ενιαίων σημείων αποτυχίας για τους CN κόμβους. Το πλαίσιο

του UE παραμένει κανονικά με την ίδια MME εφόσον το UE βρίσκεται μέσα στην περιοχή δεξαμενών [6].

## 2.5 Αρχιτεκτονική Περιαγωγής (Roaming)

Ένα δίκτυο που λειτουργεί από έναν χειριστή σε μια χώρα είναι γνωστό ως Public Land Mobile Network (PLMN). Η περιαγωγή όπου επιτρέπεται στους χρήστες να συνδεθούν με το PLMN εκτός από εκείνους οι οποίοι εγγράφονται άμεσα, είναι ένα ισχυρό χαρακτηριστικό γνώρισμα για τα κινητά δίκτυα και το LTE/SAE δεν εξαιρείται. Ένας περιπλανώμενος χρήστης είναι συνδεδεμένος με το E-UTRAN, το MME και το S-GW το επισκεπτόμενο δίκτυο LTE. Ωστόσο το LTE/SAE επιτρέπει στο P-GW είτε στο επισκεπτόμενο είτε στο εγχώριο δίκτυο να χρησιμοποιηθεί όπως φαίνεται στην εικόνα 14.

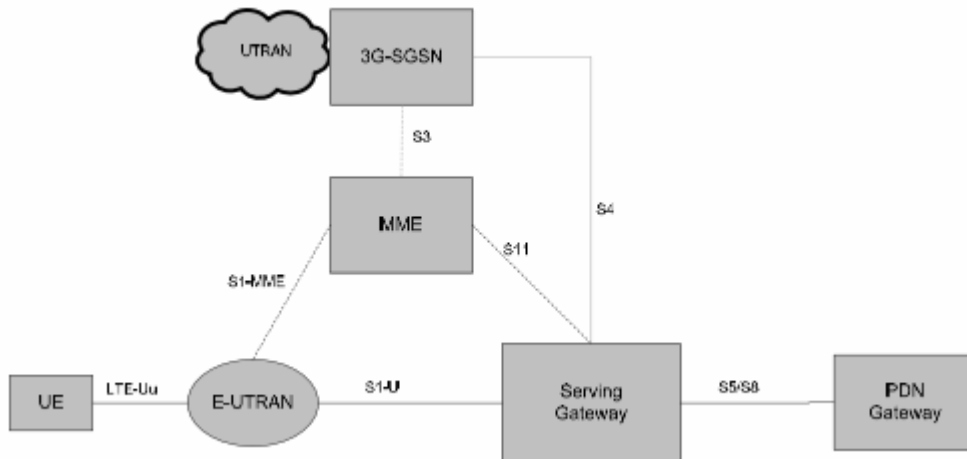


Εικόνα 14- Αρχιτεκτονική roaming για προσβάσεις 3GPP με P-GW

Η χρησιμοποίηση του P-GW του εγχώριου δικτύου επιτρέπει στον χρήστη να έχει πρόσβαση στις υπηρεσίες του εγχώριου χειριστή ακόμα και σε ένα επισκεπτόμενο δίκτυο. Μια P-GW στο επισκεπτόμενο δίκτυο επιτρέπει την έναρξη στο Internet στο επισκεπτόμενο δίκτυο.

## 2.6 Συνεργασία με τα άλλα δίκτυα

Το EPS υποστηρίζει επίσης την αλληλεπίδραση και την κινητικότητα (handover) με τα δίκτυα χρησιμοποιώντας άλλες ράδιο τεχνολογίες πρόσβασης (Radio Access Technologies), ειδικότερα GSM, UMTS, CDMA2000 και WiMAX. Η αρχιτεκτονική για την αλληλεπίδραση με δίκτυα 2G και 3G GPRS/UMTS φαίνεται στην εικόνα 15. Η S-GW ενεργεί ως συντονιστής κινητικότητας για την αλληλεπίδραση με άλλες 3GPP τεχνολογίες όπως το GSM και το UMTS ενώ η P-GW εξυπηρετεί ως συντονιστής επιτρέποντας την απρόσκοπτη κινητικότητα στα non-3GPP δίκτυα όπως το CDMA2000 ή το WiMAX [6].



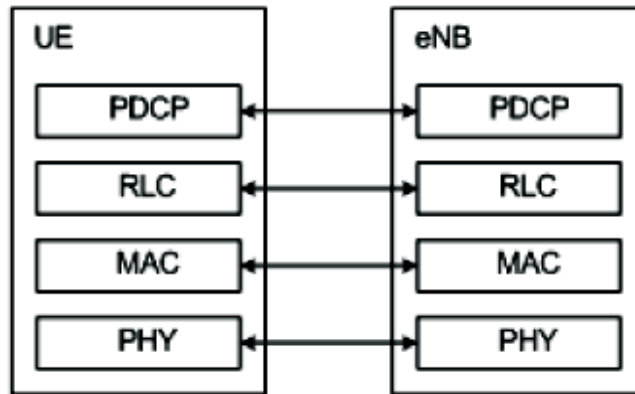
Εικόνα 15- Αρχιτεκτονική της συνεργασίας του 3G UMTS

## 2.7 Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλων

### 2.7.1 User Plane

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο σωρός πρωτοκόλλων για το επίπεδο χρήστη (user plane), το οποίο διαιρείται σε τρία υπό-επίπεδα : το Packet Data Convergence Protocol (PDCP), το Radio Link Control (RLC) και το MAC. Αυτά τα πρωτόκολλα μεταφέρουν δεδομένα από την μία πλευρά του δικτύου στο άλλο. Το PDCP και το RLC πρωτόκολλο

είναι όμοια στο eNB και στο UE, εκτελώντας λειτουργίες όπως η συμπίεση των επιγραφών, κρυπτογράφηση και εκτελώντας acknowledged-mode πρωτόκολλα.



Εικόνα 16 – Ο σωρός του πρωτοκόλλου του επιπέδου χρήστη

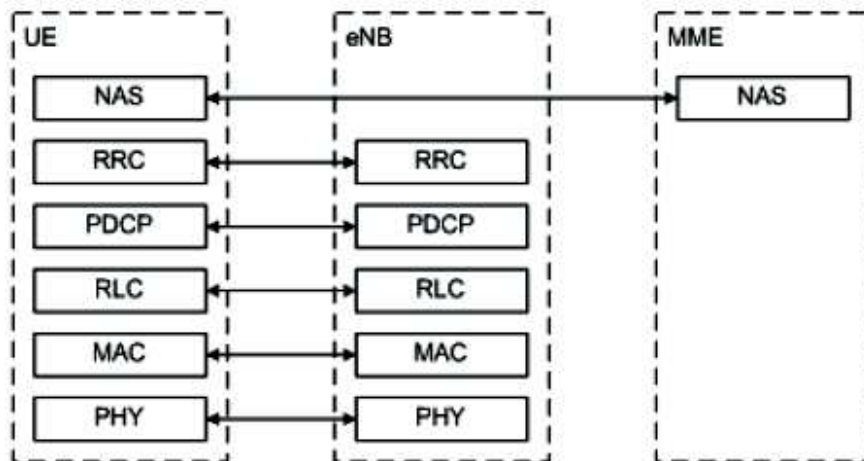
Το MAC πρωτόκολλο ωστόσο συμπεριφέρεται διαφορετικά στο eNB και στο UE. Αυτό είναι κυρίως επειδή ο προγραμματιστής τρέχει μέσα στο eNB, καθορίζονται από το υπό-πλαίσιο στο υπό-πλαίσιο στο οποίο οι Ues στην κυψέλη πρέπει να τους επιτρέπεται η πρόσβαση στο δίκτυο [9].

### 2.7.2 Control Plane

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο σωρός πρωτοκόλλων για το επίπεδο ελέγχου. Τα πρωτόκολλα PDCP, RLC και MAC συμπεριφέρονται ακριβώς όπως στο επίπεδο χρήστη, παρόλο που στο επίπεδο ελέγχου οι λειτουργίες τους είναι να μεταφέρουν το μήνυμα ελέγχου από το RRC το οποίο μπορεί να περιέχει μήνυμα Non Access Stratum (NAS) παρά τα στοιχεία των χρηστών [ 10].

Το RRC επίπεδο σε ένα eNB δημιουργεί αποφάσεις handover βασισμένες στις μετρήσεις της γειτονικής κυψέλης από το UE, ειδοποιήσεις για τα UEs στον αέρα, συστήματα πληροφοριών broadcast, αναφορά μετρήσεων ελέγχων UE όπως περιοδικότητα αναφορών του Channel Quality Information (CQI) και διαθέτει προσωρινές αναγνωριστικές κυψέλες σε ενεργούς UE.

Το πρωτόκολλο NAS το οποίο τρέχει μεταξύ το MME και UE χρησιμοποιείται για έλεγχο όπως σύνδεση δικτύου, πιστοποίηση, δημιουργία φορέων και διαχείριση κινητικότητας. Όλα τα NAS μηνύματα είναι κρυπτογραφημένα και πλήρους προστασία από το MME και το UE. [1]

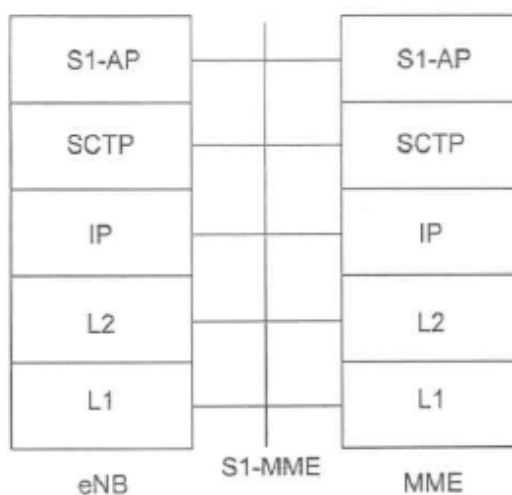


Εικόνα 17-Ο σωρός πρωτοκόλλων επιπέδου ελέγχου

## 2.8 Οι Διεπαφές του Δικτύου E-UTRAN

Οι παρακάτω διεπαφές έχουν καθοριστεί για το EPC:

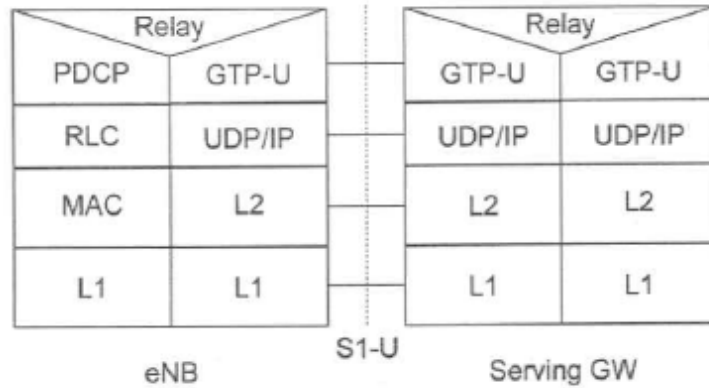
- S1-MME: Διεπαφή για το πρωτόκολλο ελέγχου των εφαρμογών μεταξύ του E-UTRAN και MME.



Εικόνα 18- Διεπαφή S1-MME

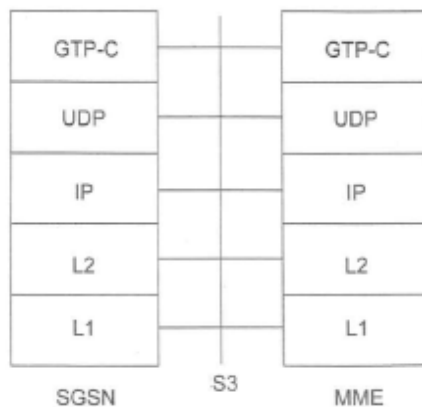


- S1-U: Διεπαφή για S1 δεδομένα επιπέδου χρηστών για κάθε φορέα μεταξύ του E-UTRAN και της πύλης εξυπηρέτησης. Αυτή η διεπαφή ενεργοποιεί την πύλη εξυπηρέτησης to anchor the inter eNB handover.



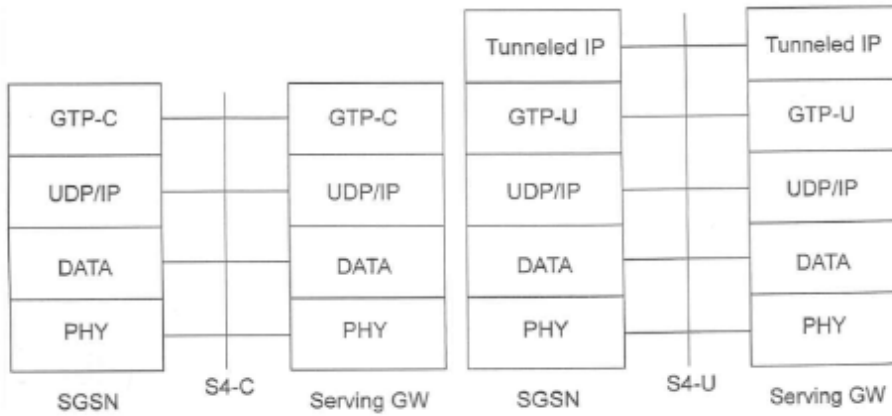
Εικόνα 19- Διεπαφή S1-U

- S3: Διεπαφή που παρέχει σύνδεση μεταξύ του SGSN και MME, διευκολύνοντας την ανταλλαγή πληροφοριών για τη κινητικότητα μεταξύ της inter-3GPP πρόσβασης δικτύων.



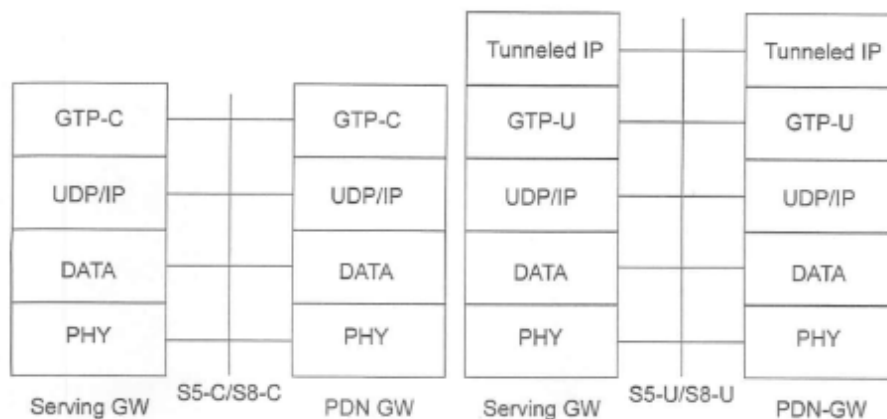
Εικόνα 20-Διεπαφή S3

- S4: Διεπαφή μεταξύ του SGSN και πύλης εξυπηρετητή. Παρέχει υποστήριξη στο επίπεδο χρήστη για την υποστήριξη της κινητικότητας μεταξύ του πυρήνα GPRS και πύλης εξυπηρέτησης.



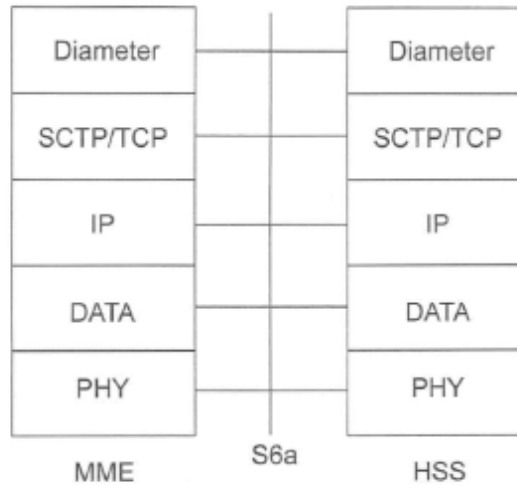
Εικόνα 21-Διεπαφή S4

- S5: Διεπαφή που παρέχει user plane tunneling tunnel management function μεταξύ της πύλης εξυπηρέτησης και την πύλη PDN. Ενεργοποιεί την πύλη εξυπηρέτησης για να συνδεθεί με πολλαπλές πύλες PDN για παροχή διαφορετικών υπηρεσιών IP για το UE. Ωστόσο χρησιμοποιείται για τον επαναπροσδιορισμό της πύλης εξυπηρέτησης ενωμένο με την κινητικότητα του UE.



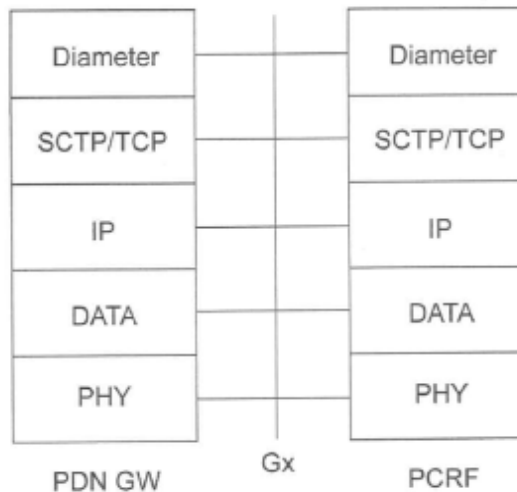
Εικόνα 22-Διεπαφή S5

- S6a: Διεπαφή μεταξύ του MME και HSS. Χρησιμοποιείται για την μεταφορά δεδομένων εγγραφής και πιστοποίησης για επικύρωση και έγκριση πρόσβασης χρήστη στο evolved packet system.



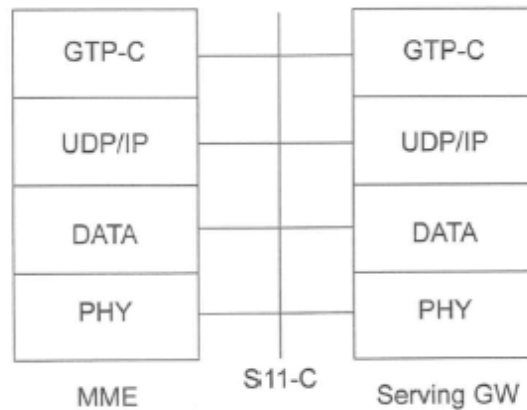
Εικόνα 23-Διεπαφή S6a

- Gx: Διεπαφή που παρέχει μεταφορά της πολιτικής QoS και charging rules από το PCRF στο Policy and Charging Enforcement Function (PCEF) μέσα στο PDN gateway.



Εικόνα 24-Διεπαφή Gx

- S11: Διεπαφή επιπέδου ελέγχου μεταξύ των MME και πύλης εξυπηρέτησης αναγκαίο για την διαχείριση του EPS φορέα.



Εικόνα 25-Διεπαφή S11

- Sgi: Διεπαφή μεταξύ της πύλης PDN και του internet/intranet. [10]

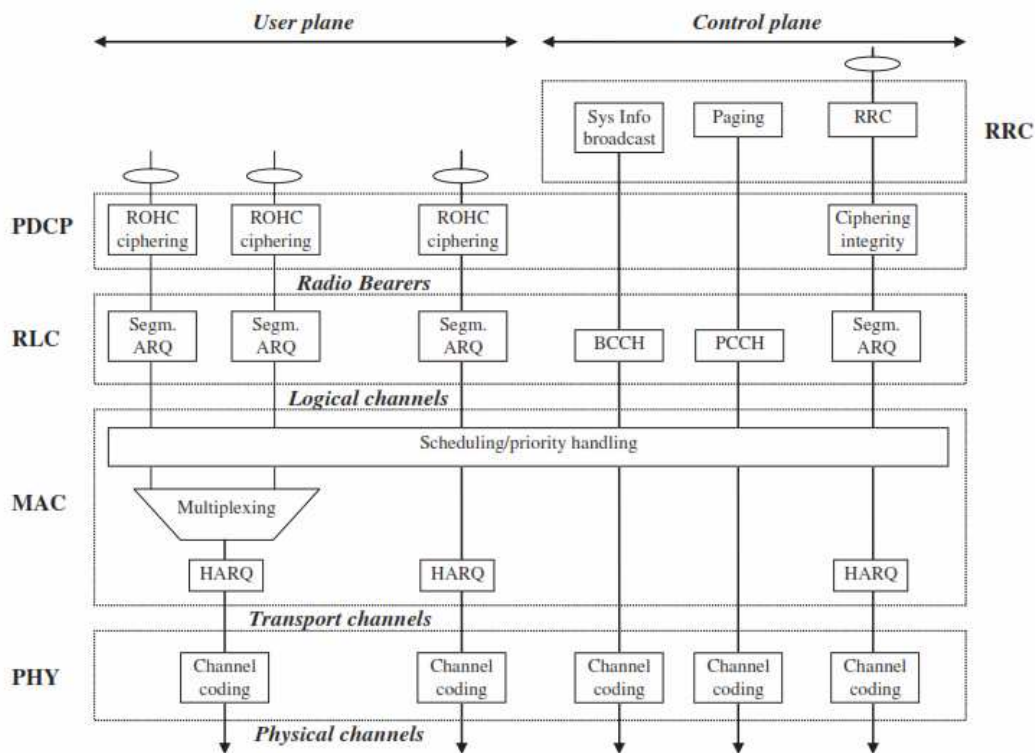
#### *Η X2 Διεπαφή*

Μια νέα διεπαφή έχει οριστεί μεταξύ των eNodeB που εργάζονται σε δικτυωτό τρόπο (που σημαίνει ότι όλοι οι NodeBs μπορεί ενδεχομένως να συνδέονται μεταξύ τους).

Ο κύριος σκοπός αυτής της διεπαφής είναι να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια πακέτων λόγω της κινητικότητας του χρήστη. Καθώς το τερματικό κινείται σε όλο το δίκτυο πρόσβασης, πακέτα που δεν έχουν σταλεί ή μη αναγνωρίσιμα αποθηκεύονται σε παλιές σειρές eNodeB που μπορούν να προωθούνται ή μέσα σε τούνελ στο νέο eNodeB χάρις στη διεπαφή X2.

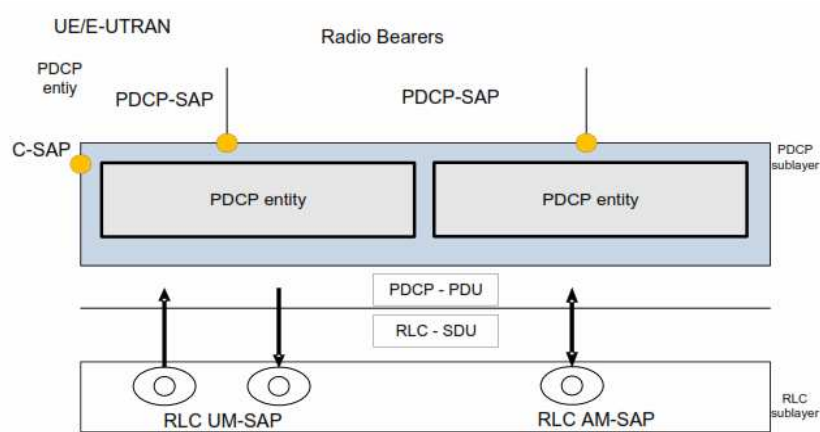
## 2.9 Radio Interface Πρωτόκολλα

Η παρακάτω εικόνα δείχνει την δομή των ράδιο-πρωτοκόλλων τα οποία περιγράφονται παρακάτω. Αρχίζοντας από την κορυφή της εικόνας, το επίπεδο RRC (Radio Resource Control) υποστηρίζει όλες τις διαδικασίες σηματοδότησης μεταξύ του τερματικού και του eNodeB. Αυτό περιλαμβάνει την διαδικασία κινητικότητας όπως επίσης τη διαχείριση τερματικής σύνδεσης. Η σηματοδότηση από το EPC επίπεδο ελέγχου μεταφέρεται στο τερματικό μέσω του RRC πρωτοκόλλου, ως εκ τούτου η σύνδεση μεταξύ του RRC και των ανώτερων επιπέδων.



Εικόνα 26 – Δομή επιπέδων πρωτοκόλλου σε eNodeB για τα downlink κανάλια

## 2.9.1 Packet Data Convergence Protocol (PDCP)

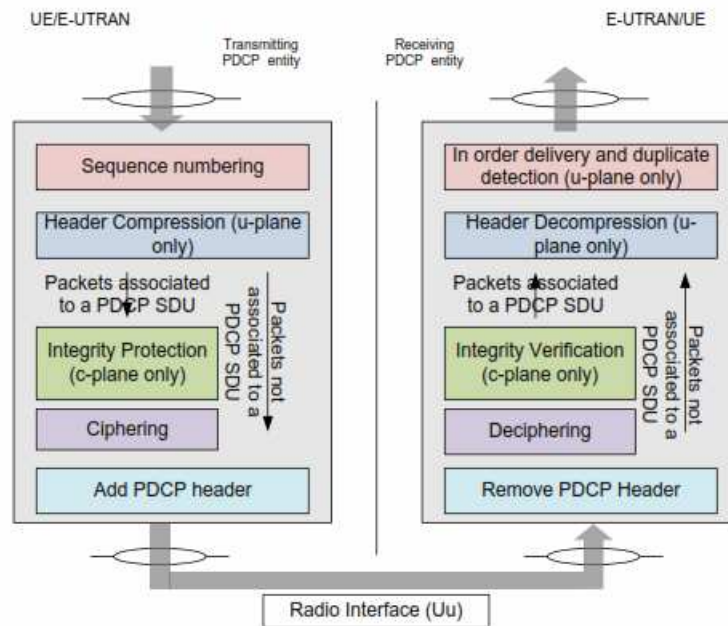


Εικόνα 27: LTE PDCP – Layer View

Το Packet Data Convergence Protocol (PDCP) επίπεδο λειτουργεί ως πύλη μεταξύ διαφόρων υψηλών επιπέδων του σωρού πρωτοκόλλων (RRC.RTP.UDP,TCP,etc) και του RLC επιπέδου.

Οι κύριες λειτουργίες του PDCP είναι:

- Passing SDUs received from its higher layers to its peer via the RLC. Οι μονάδες δεδομένων μεταφέρονται ως PDUs.
- Λαμβάνει PDUs απο το RLC και αφαιρεί SDU δεδομένα απο αυτά για να τα περάσει σε υψηλότερα επίπεδα.
- Συμπίεση/αποσυμπίεση headers.
- Κρυπτογράφηση/αποκρυπτογράφηση.



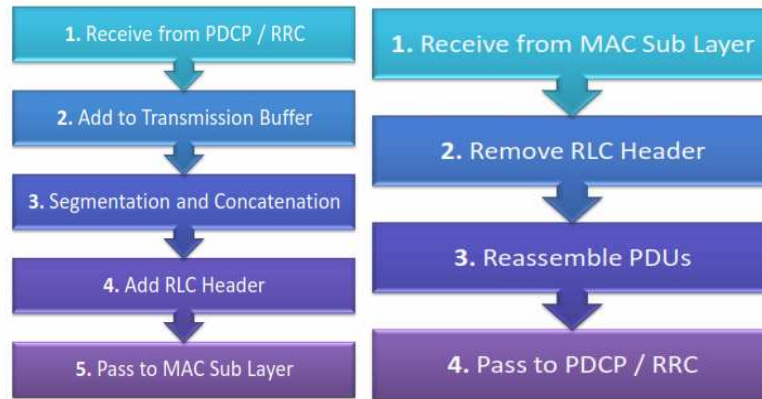
Εικόνα 28: Λειτουργίες PDCP Layer

### 2.9.2 Radio Link Controller (RLC)

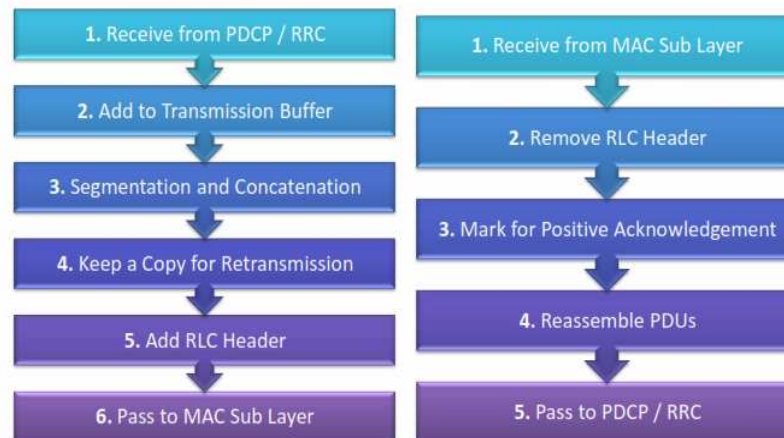
Το Radio Link Controller (RLC) ενεργεί ως διαπαφή και buffer μεταξύ υψηλότερων επιπέδων του σωρού πρωτοκόλλων (συνήθως στο PDCP στο επίπεδο χρήστη) και του επιπέδου MAC, το οποίο σχεδόν δεν έχει αποθηκευτική χωρητικότητα και λειτουργεί περισσότερο ως δρομολογητής παρά για οτιδήποτε άλλο. Οι κύριες λειτουργίες του RLC είναι:

- Passing SDUs received απο τα υψηλότερα επίπεδα to its peer μέσω MAC. Οι μονάδες δεδομένων περνούν ως PDUs.
- Λαμβάνει PDU απο το MAC και αφαιρεί SDU δεδομένα απο αυτά για να τα περάσει στα ψηλότερα στρώματα.
- Ξανά δίνει εντολή στο λαμβανόμενα PDUs.
- Acknowledged τρόπος λειτουργίας.

Τα SDUs είναι απλά block δυαδικών δεδομένων οργανωμένα σε οκταδικές σειρές.



Εικόνα 29:Μη αναγνωρίσιμος τρόπος εκπομπής και συνολική λήψη.,



Εικόνα 30:Αναγνωρισμένος τρόπος εκπομπής και συνολική λήψη.,

### 2.9.3 Medium Access Control (MAC)

Το Medium Access Control (MAC) επίπεδο είναι ένα πρωτόκολλο που τρέχει και στο UE και στο eNB. Έχει διαφορετική συμπεριφορά όταν για το καθένα, γενικά δίνει εντολές στο eNB και ανταποκρίνεται σε αυτές το UE. Όπως το όνομα προτείνει, το MAC μεσολαβεί και ελέγχει την πρόσβαση στο μέσο διαμοιρασμού μετάδοσης.

Οι κύριες λειτουργίες του MAC είναι:

- Παρέχει λειτουργίες μεταφοράς δεδομένων στο RLC μέσω λογικών καναλιών.
- Πολυπλεξία δεδομένων απο ένα ή περισσότερα λογικά κανάλια μέσα σε block μεταφοράς.Αυτά μεταφέρονται στο φυσικό επίπεδο στα κανάλια μεταφοράς.



- Διόρθωση λάθους μέσω HARQ<sup>2</sup>.
- Αποφασίζει για το ποιό UE θα επιτρέπεται να στείλει ή να λάβει δεδομένα σε διαμοιρασμένους φυσικούς πόρους (eNB MAC μόνο).

Τέλος, το MAC παραδίδει τις ροές μεταφορών στο επίπεδο PHY, το οποίο θα εφαρμόσει κανάλι κωδικοποίησης και διαμόρφωσης πριν την εκπομπή πάνω στη ράδιο-διεπαφή.

#### 2.9.4 Physical layer (PHY)

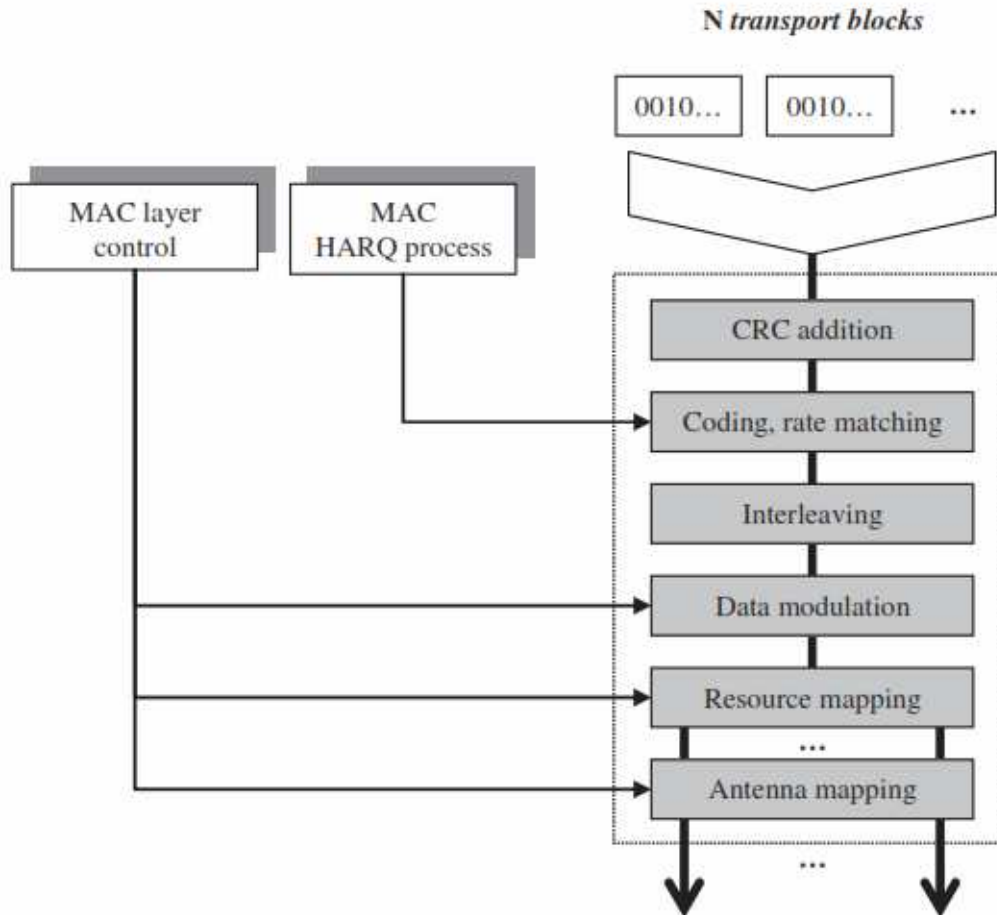
Ο ρόλος του PHY επιπέδου είναι να παρέχει υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων με τα φυσικά κανάλια στα υψηλότερα επίπεδα RLC και MAC.

Η παρακάτω εικόνα περιγράφει το μοντέλο eNodeB του φυσικού επιπέδου για παράδειγμα στο κανάλι μεταφοράς SCH της κατερχόμενης σύνδεσης.

Σε κάθε TTI (Transmission Time Interval), το φυσικό επίπεδο λαμβάνει ένα ορισμένο αριθμό ομάδων μεταφοράς (Transport Blocks) για μετάδοση. Σε κάθε ομάδα μεταφοράς προστίθεται ένα CRC (Cyclic Redundancy Check) ή το σύνολο των bits που χρησιμοποιούνται από λαμβάνον τέρμα για να το ανιχνεύσουν τα σφάλματα μετάδοσης. Τα blocks προστατεύονται από ένα αυτοδύναμο σχήμα κωδικοποίησης καναλιού (όπως η συνέλικτική ή στρόβιλη κωδικοποίηση) και προσαρμοσμένο μέγεθος για να σιγουρευτούν πως το κωδικοποιημένο πακέτο ταιριάζει στο μέγεθος του φυσικού καναλιού. Αυτή η φάση είναι υπό τον έλεγχο της MAC HARQ (Hybrid ARQ) διαδικασίας η οποία μπορεί να προσαρμόσει τον ρυθμό κωδικοποίησης του καναλιού (που σημαίνει την ανθεκτικότητα στα σφάλματα μετάδοσης) βασισμένο στις πληροφορίες που αναφέρονται από την λαμβάνουσα οντότητα.

---

<sup>2</sup> Hybrid Automatic Repeat Request (Hybrid ARQ) είναι ένας συνδιασμός του forward error-correcting coding και του εντοπισμού σφαλμάτων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ελέγχου λαθών ARQ.



Εικόνα 31 -Το διαμοιρασμένο κανάλι downlink του μοντέλου του PHY επιπέδου

Το interleaving είναι μια διαδικασία για να βελτιώσει την ανθεκτικότητα στα σφάλματα της ράδιο μετάδοσης. Όταν ένα λάθος εμφανίζεται σε ένα κωδικοποιημένο πακέτο που μεταδίδεται πάνω στη ράδιο διεπαφή, αυτό θα χρησιμοποιηθεί στα πολλαπλά διαδοχικά bits ή σύμβολα. Στην λαμβάνουσα πλευρά, η ενέργεια του de-interleaving θα έχει την επίδραση της διάδοσης λανθασμένων bits σε όλη την εκπεμπόμενη ακολουθία στα διαφορετικά block μεταφοράς. Αυτό θα διευκολύνει τον αποκωδικοποιητή του καναλιού να ανακτηθούν τα ακριβή bits που διαβιβάστηκαν αρχικά, δεδομένου ότι ένα block θα επηρεαστεί από ένα μικρότερο μέρος.

Στην διαδικασία διαμόρφωσης δεδομένων, η πραγματική διαμόρφωση είναι υπο τον έλεγχο του προγραμματιστή της MAC. Η χαρτογράφηση των πόρων αφορά την κατάτμηση (segmentation) των διαβιβασθέντων δεδομένων στα blocks των πόρων. Η χαρτογράφηση των κεραιών αφορά την χαρτογράφηση των blocks των πόρων στις διαθέσιμες πύλες κεραιών (MIMO).

Οι διαδικασίες CRC και interleaving δεν ελέγχονται από τα υψηλότερα στρώματα. Για εκείνες τις δύο λειτουργίες το PHY επίπεδο χρησιμοποιεί στατικούς παραμέτρους και αλγόριθμους που καθορίζονται από τα πρότυπα του E-UTRAN. Όπως αναφέρεται πιο

πάνω, υπάρχουν τα παρόμοια μοντέλα για άλλα κανάλια μεταφοράς. Η μετάδοση πάνω από τα άλλα κανάλια μεταφοράς όπως το PCCH για το paging ή το BCCH για το σύστημα αναμετάδοσης πληροφοριών δεν είναι ευέλικτη από άποψη κωδικοποίησης ή διαμόρφωσης καναλιού. Για αυτόν τον τύπο καναλιού μεταφοράς, το πρότυπο E-UTRAN δεν προτείνουν οποιεσδήποτε επιλογές ή εναλλακτικές λύσεις.

## *Radio Channels*

### 3 The Radio Channels

#### 3.1 Εισαγωγή

Όπως στα περισσότερα ραδιο συστήματα επικοινωνιών, η ραδιο-διεπαφή του E-UTRAN αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις. Όσον αφορά τις απαιτήσεις, το E-UTRAN θα είναι σε θέση να εκπέμπει πληροφορίες υψηλών ρυθμών και χαμηλής λανθάνουσας κατάστασης με τον πιο αποδοτικό τρόπο. Ωστόσο, 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 ραδιο 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 ραδιο 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 – τι εκπέμπεται.
- Τα κανάλια μεταφοράς – πως εκπέμπεται.
- Τα φυσικά κανάλια.

#### 3.2 Λογικά Κανάλια

Τα λογικά κανάλια αντιστοιχούν με υπηρεσίες μεταφοράς δεδομένων προτεινόμενων από τα πρωτόκολλα ραδιο 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 E-UTRAN συστήματος στα τερματικά στα radio cells. Αυτή η πληροφορία είναι

χρήσιμες 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. In the DCCH context, 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 από 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).

### 3.3 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 π.χ. Κατά την διάρκεια πρόωρων φάσεων δημιουργίας των επικοινωνιών ή στην περίπτωση αλλαγής της κατάστασης του RRC.

### **3.4 Φυσικά κανάλια**

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

- Physical Downlink Shared Channel (PDSCH) – το οποίο μεταφέρει δεδομένα του χρήστη και σηματοδότηση υψηλού επιπέδου.
- Physical Downlink Control Channel (PDCCH) – αυτό το κανάλι μεταφέρει προγραμματισμένες εντολές για την ανερχόμενη σύνδεση.

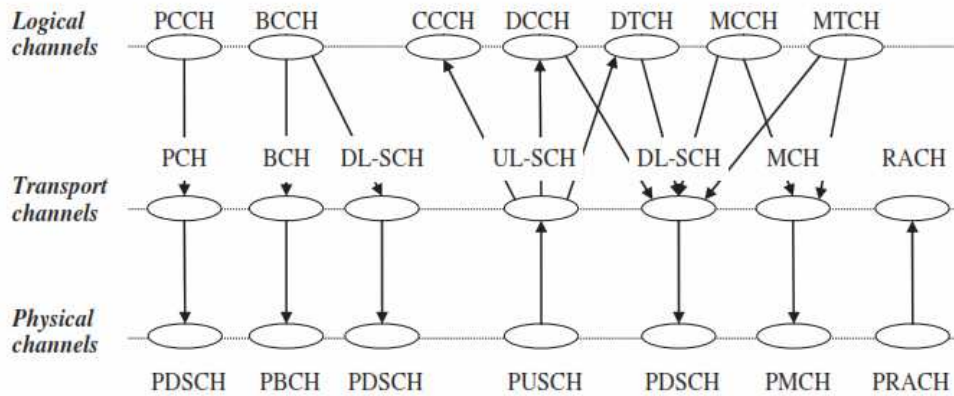
- Physical Multicast Channel (PMCH) – το οποίο μεταφέρει πληροφορίες Multicast/Broadcast.
- Physical Broadcast Channel (PBCH) – το οποίο μεταφέρει πληροφορίες συστήματος.
- Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH) – το οποίο πληροφορεί το UE για τον αριθμό των OFDM συμβόλων που χρησιμοποιούνται 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 σηματοδότηση 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.



### 3.5 Mapping μεταξύ καναλιών



Εικόνα 32 -Χαρτογράφηση του E-UTRAN μεταξύ τύπων καναλιών

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται η αντιστοιχία μεταξύ λογικών ,μεταφοράς και φυσικών καναλιών που ειπώθηκαν παραπάνω. Για ευνόητους λόγους κανένας συνδυασμός δεν επιτρέπεται, όπως μερικά από τα λογικά κανάλια που έχουν συγκεκριμένους περιορισμούς.

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 πολυ-κυψελών 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.

## *QoS & Bearers*

### 3. QoS and Bearers

Οι εφαρμογές όπως VoIP, web browsing, video μέσω τηλεφώνου και video streaming έχουν πρόσθετες ανάγκες για QoS. Επομένως, ένα σημαντικό χαρακτηριστικό οποιουδήποτε δικτύου πακέτων είναι η παροχή μηχανισμού QoS να επιτρέπει τη διαφοροποίηση των ροών των πακέτων βασισμένων στις απαιτήσεις του QoS. Στο EPS οι ροές QoS ονομαζόμενες EPS φορείς αποκαθίστανται μεταξύ του UE και της P-GW όπως στην εικόνα.

Οι φορείς μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες βασισμένες στη φύση του QoS που παρέχουν:

- **Minimum Guaranteed Bit Rate (GBR) bearers** οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις εφαρμογές όπως το VoIP. Αυτοί έχουν μια ενιαία GBR τιμή για την οποία οι αποκλειστικοί πόροι μετάδοσης διατίθενται μόνιμα (πχ από μια λειτουργία ελέγχου αποδοχής στο eNodeB) στην αποκατάσταση/τροποποίηση φορέων. Οι ρυθμοί των bit υψηλότεροι από το GBR μπορούν να επιτραπούν για ένα GBR φορέα εάν οι πόροι είναι διαθέσιμοι. Σε τέτοιες περιπτώσεις, μια μέγιστη παράμετρος ρυθμού bit (Maximum Bit Rate (MBR)) η οποία μπορεί να συνδεθεί με έναν φορέα GBR θέτει ένα ανώτερο όριο στο ρυθμό bit που μπορεί να αναμένεται από έναν φορέα GBR.
- **Non-GBR φορείς** οι οποίοι δεν εγγυώνται οποιοδήποτε ιδιαίτερο ρυθμό bit. Αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις εφαρμογές όπως το web browsing ή FTP μεταφορά. Για αυτούς τους φορείς, κανένας πόρος εύρους ζώνης δεν διατίθεται μόνιμα στον φορέα.

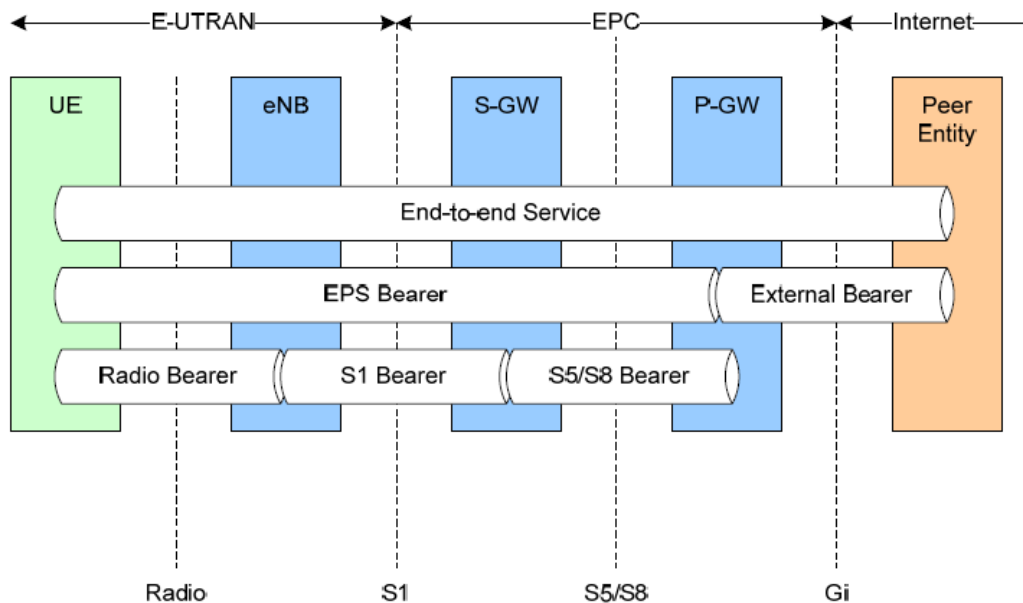
Στο δίκτυο πρόσβασης, είναι ευθύνη του eNodeB να εξασφαλίσει το απαραίτητο QoS για τον φορέα πάνω στην ράδιο διεπαφή. Κάθε φορέας έχει ένα σχετικό αναγνωριστικό κατηγορίας QoS (QoS Class Identifier (QCI)) και μια προτεραιότητα καταχώρισης και συγκράτησης (Allocation and Retention Priority (ARP)).

Κάθε QCI χαρακτηρίζεται από την προτεραιότητα, τον προυπολογισμό καθυστέρησης πακέτων και το αποδεκτό ποσοστό απώλειας πακέτων. Η ετικέτα QCI για ένα φορέα καθορίζει το πως αυτό αντιμετωπίζεται στο eNodeB. Μόνο μια δωδεκάδα όπως τα OCIs έχουν τυποποιηθεί έτσι ώστε οι προμηθευτές μπορούν να έχουν όλοι την ίδια κατανόηση των χαρακτηριστικών υποκείμενων υπηρεσιών και να παρέχουν έτσι την αντίστοιχη αντιμετώπιση, συμπεριλαμβανομένης της στρατηγικής διαχείρισης σειρών αναμονής, κατάστασης και πολιτικής. Αυτό εξασφαλίζει ότι ένας χειριστής του LTE μπορεί να αναμένει την ομοιόμορφη συμπεριφορά χειρισμού κυκλοφορίας σε όλο το δίκτυο άσχετα

των κατασκευαστών του eNodeB εξοπλισμού σύνολο του τυποποιημένου QCIs και τα χαρακτηριστικά τους παρέχονται στο παρακάτω πίνακα.

QCI	Resource type	Priority	Packet delay budget (ms)	Packet error loss rate	Example services
1	GBR	2	100	$10^{-2}$	Conversational voice
2	GBR	4	150	$10^{-3}$	Conversational video (live streaming)
3	GBR	5	300	$10^{-6}$	Non-conversational video (buffered streaming)
4	GBR	3	50	$10^{-3}$	Real time gaming
5	Non-GBR	1	100	$10^{-6}$	IMS signalling
6	Non-GBR	7	100	$10^{-3}$	Voice, video (live streaming), interactive gaming
7	Non-GBR	6	300	$10^{-6}$	Video (buffered streaming)
8	Non-GBR	8	300	$10^{-6}$	TCP-based (e.g. WWW, e-mail) chat, FTP, p2p file sharing, progressive video, etc.
9	Non-GBR	9	300	$10^{-6}$	

Πίνακας 5- Τυποποιημένοι QoS Class Identifiers (QCIs) για το LTE



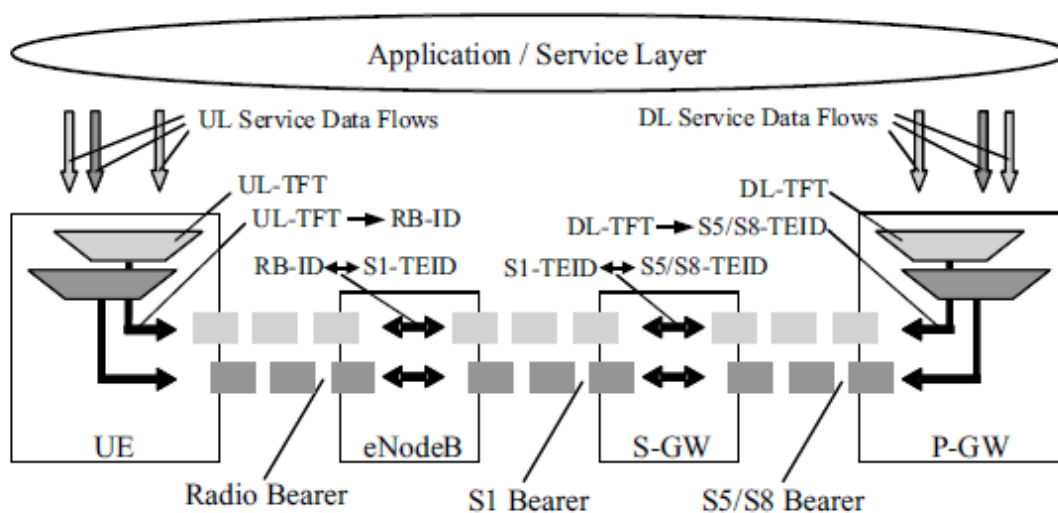
Εικόνα 33: Αρχιτεκτονική υπηρεσιών EPS φορέα

Ο πίνακας QCI διευκρινίζει τις τιμές για τον χειρισμό προτεραιότητας, τον αποδεκτό προϋπολογισμό καθυστέρησης και ποσοστό απώλειας σφάλματος πακέτων για κάθε ετικέτα QCI. Η προτεραιότητα και ο προϋπολογισμός καθυστέρησης πακέτων ( και σε ένα ορισμένο βαθμό το αποδεκτό ποσοστό απώλειας πακέτων) από την ετικέτα QCI καθορίζουν την διαμόρφωση τρόπου του RLC και το πώς ο προγραμματιστής στη MAC χειρίζεται τα πακέτα που στέλνονται πάνω στον φορέα. Παραδείγματος χάριν, ένα πακέτο με πιο υψηλή προτεραιότητα μπορεί να αναμένεται να προγραμματιστεί πριν από ένα πακέτο με χαμηλότερη προτεραιότητα. Για τους φορείς με ένα χαμηλό αποδεκτό ποσοστό απώλειας, ένας αναγνωρισμένος τρόπος (Acknowledged Mode (AM) ) μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσα στο στρώμα του πρωτοκόλλου RLC για να εξασφαλίσει ότι τα πακέτα παραδίδονται επιτυχώς κατά μήκος της ράδιο διεπαφής.

Το ARP ενός φορέα χρησιμοποιείται για τον έλεγχο αποδοχής κλήσης- δηλ. για να αποφασίσει εάν ή όχι ο αιτούμενος πρέπει να αποκατασταθεί σε περίπτωση συμφόρησης. Ελέγχει επίσης τον καθορισμό προτεραιοτήτων του φορέα για δικαίωμα προτιμήσεως όσον αφορά έναν νέο αίτημα αποκατάστασης φορέων.

Ένας EPS φορέας πρέπει να διασχίσει πολλαπλές διεπαφές όπως φαίνεται στο σχήμα – η διεπαφή S5/S8 από την P-GW στη S-GW, η S1 διεπαφή από την S-GW στο eNodeB και η ράδιο διεπαφή (γνωστή ως διεπαφή LTE-Uu) από το eNodeB στο UE. Πέρα από κάθε διεπαφή, ο EPS φορέας απεικονίζεται πάνω σε ένα χαμηλότερο φορέα στρώματος κάθε ένας με την ταυτότητα φορέων του.

Κάθε κόμβος πρέπει να παρακολουθήσει την συμφωνία μεταξύ του ID φορέα στις διαφορετικές διεπαφές.



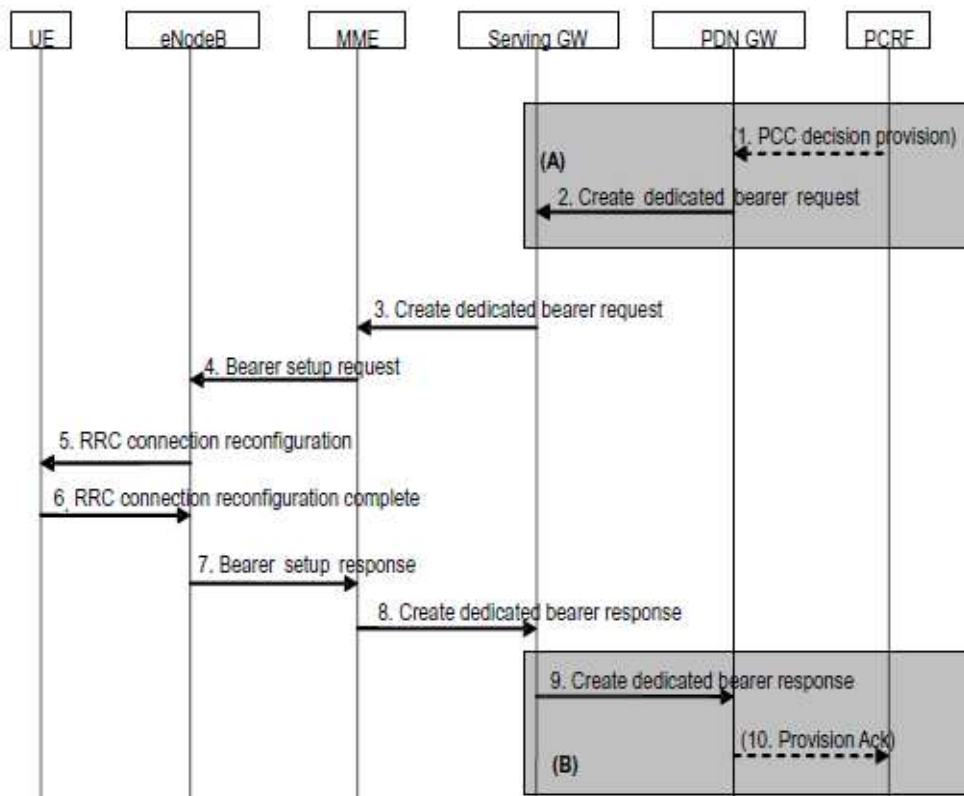
Εικόνα 34: LTE/SAE bearers κατά μήκος διαφορετικών διεπαφών.

Ένας φορέας S5/S8 μεταφέρει τα πακέτα ενός EPS φορέα μεταξύ μια P-GW και S-GW. Η S-GW αποθηκεύει μια προς μια την χαρτογράφηση μεταξύ ενός S1 και ενός S5/S8 φορέα. Ο φορέας ταυτοποιείται από το ID του μονοπατιού GTP και στις δύο διεπαφές. Ένας S1 φορέας μεταφέρει τα πακέτα ενός EPS φορέα μεταξύ μιας S-GW και ενός eNodeB. Ένας ραδιοκομιστής μεταφέρει τα πακέτα ενός EPS φορέα μεταξύ ενός UE και ενός eNodeB.

#### 4.1 Διαδικασία εγκατάστασης φορέων

Αυτό το τμήμα περιγράφει ένα παράδειγμα της τελικής διαδικασίας εγκατάστασης φορέων στους κόμβους δικτύων χρησιμοποιώντας την λειτουργία που περιγράφεται παραπάνω. Μια χαρακτηριστική ροή εγκατάστασης φορέων παρουσιάζεται στην εικόνα.

Όταν ένας φορέας αποκαθίσταται, οι φορείς πάνω από κάθε μια από τις διεπαφές που αναφέρονται παραπάνω αποκαθίστανται. PCRF στέλνει μια 'PCC (Policy Control and Charging) απόφαση παροχής' που δείχνει το απαραίτητο QoS για τον φορέα στην P-GW. Η P-GW χρησιμοποιεί αυτήν την πολιτική QoS για να ορίσει τις παραμέτρους του QoS φορέα. P-GW στέλνει μετά ένα μήνυμα 'δημιουργίας αιτήματος αποκλειστικού φορέα' συμπεριλαμβανομένου του QoS και του UL TFT που χρησιμοποιούνται στο UE στη S-GW.



*Εικόνα 35: Παράδειγμα ροής μηνύματος για δημιουργία LTE/SAE bearer*

Η S-GW προωθεί τη 'δημιουργία αιτήματος αποκλειστικού φορέα' (συμπεριλαμβανομένου του φορέα QoS, UL TFT και το ID του S1 φορέα). Το MME έπειτα χτίζει ένα σύνολο πληροφοριών διοικητικής διαμόρφωσης συνόδου συμπεριλαμβανομένου του UL TFT και της EPS ταυτότητας φορέων και τις περιλαμβάνει στο μήνυμα 'Αίτημα οργάνωσης φορέα' το οποίο στέλνεται στο eNodeB. Η σύνοδος διοικητικής διαμόρφωσης είναι πληροφορίες NAS και επομένως στέλνεται από το eNodeB στο UE.

Το αίτημα οργάνωσης φορέων παρέχει επίσης το φορέα του QoS στο eNodeB για τον έλεγχο αποδοχής κλήσης και επίσης για να εξασφαλίσουν το απαραίτητο QoS με τον κατάλληλο προγραμματισμό των πακέτων IP των χρηστών eNodeB απεικονίζει το EPS φορέα QoS στο ραδιοκομιστή του QoS. Έπειτα σηματοδοτεί ένα μήνυμα ' σύνδεσης RRC επανασχηματισμού' (συμπεριλαμβανομένου του ραδιοκομιστή QoS, της διοικητικής διαμόρφωσης συνόδου και της ταυτότητας του EPS ραδιοκομιστή) στο UE για να οργανώσει το ραδιοκομιστή. Το μήνυμα επανασχηματισμού σύνδεσης RRC περιέχει όλες τις παραμέτρους διαμόρφωσης για τη ραδιοδιεπαφή. Αυτό είναι κυρίως για την διαμόρφωση του επιπέδου 2( οι παράμετροι PDCP, RLC και MAC), αλλά και οι παράμετροι του επιπέδου 1 απαιτούνται για το UE για να αρχικοποιήσουν τον σωρό πρωτοκόλλου.

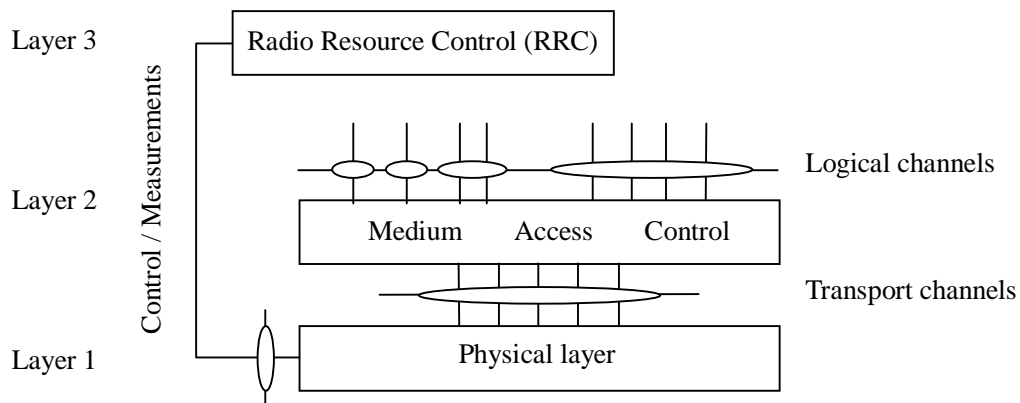
Τα μηνύματα 6 έως 10 είναι τα αντίστοιχα μηνύματα απάντησης για να επιβεβαιώσουν ότι οι φορείς έχουν ιδρυθεί σωστά.



***Φυσικό Επίπεδο***  
***(Physical Layer)***

## 5 Φυσικό Επίπεδο

### 5.1 Γενική περιγραφή



Το πολλαπλό σχήμα πρόσβασης για το φυσικό επίπεδο του LTE είναι βασισμένο στην Ορθογώνια Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) ) με κυκλικό πρόθεμα (Cyclic Prefix (CP)) στην κατερχόμενη σύνδεση και στην Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Συχνότητας ενός Φέροντος (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access(SC-FDMA)) με κυκλικό πρόθεμα στην ανερχόμενη σύνδεση. Για να υποστηρίξει την μετάδοση στο κατά ζεύγος και άζευκτο φάσμα, δύο αμφίδρομοι τρόποι υποστηρίζονται: Αμφίδρομης Διαίρεσης Συχνότητας (Frequency Division Duplex (FDD)), που υποστηρίζει αμφίδρομη και ημιαμφίδρομη λειτουργία και Αμφίδρομη Διαίρεση Χρόνου (Time Division Duplex (TDD)).

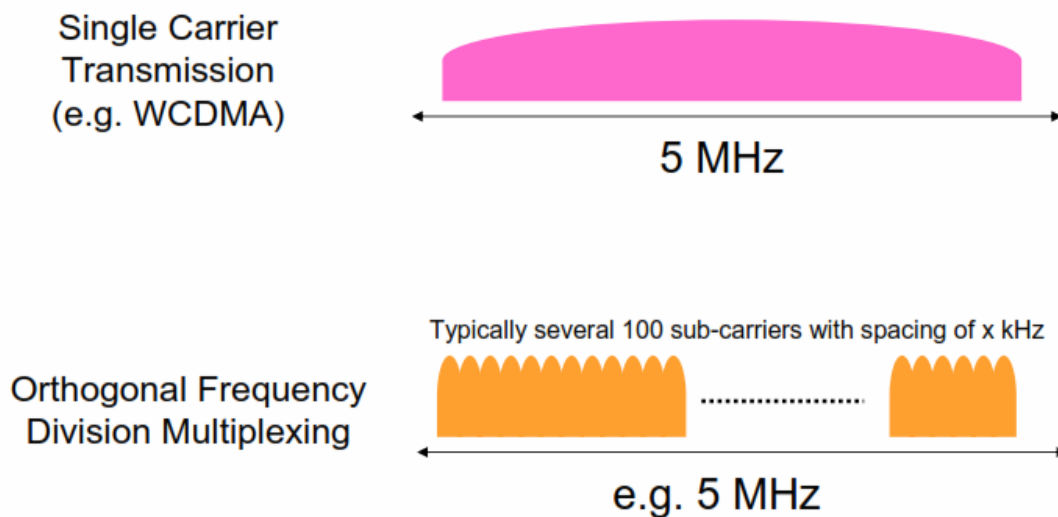
Το επίπεδο 1 καθορίζεται με έναν αγνωστικιστικό τρόπο εύρους ζώνης βασισμένο στους πόρους των ομάδων, που επιτρέπουν στο LTE στρώμα 1 να προσαρμοστεί στις διάφορες κατανομές φάσματος. Μια ομάδα πόρων συνδέεται είτε με 12 υποφορείς με ένα υποφορέα εύρους ζώνης 15 Khz ή 24 υποφορείς με ένα υποφορέα εύρους ζώνης 7.5KHz κάθε μία θυρίδα διάρκειας 0.5ms. Ο τύπος 1 δομών ραδιοπλαισίων χρησιμοποιείται για FDD ( για αμφίδρομη και ημιαμφίδρομη λειτουργία) και έχει μια διάρκεια 10ms και αποτελείται από 20 θυρίδες με διάρκεια θυρίδων 0.5ms. Δύο συνεχόμενες θυρίδες διαμορφώνουν ένα υποπλάισιο μήκους 1ms. Ο τύπος 2 δομής ραδιοπλαισίου χρησιμοποιείται για TDD και αποτελείται από δυο ημιπλάισια διάρκειας 5ms καθένα

και τριών ειδικών τομέων (DwPTS, GP και UpPTS) οι οποίοι έχουν διαμορφωμένα μεμονωμένα μήκη και ένα συνολικό μήκος 1ms. Ένα υποπλαίσιο αποτελείται από δύο συνεχόμενες θυρίδες εκτός από τα υποπλαίσια 1 και 6, τα οποία αποτελούνται από DwPTS, GP και UpPTS. Υποστηρίζεται και 5ms και 10ms περιοδικότητα σημείου μεταγωγής.

Για να υποστηρίξει μια Multimedia Broadcast και Multicast Service (MBMS) το LTE προσφέρει τη δυνατότητα να μεταδίδει Multicast/Broadcast πάνω σε ένα μονό δίκτυο συχνότητας (MBSFN), όπου ένας συγχρονισμένος χρόνος κοινής κυματομορφής μεταδίδεται από πολλαπλές κυψέλες κατά μια δεδομένη διάρκεια. Η μετάδοση MBSFN επιτρέπει υψηλή απόδοση του MBMS, επιτρέποντας για την ραδιοδιεπαφή σε συνδυασμό με μεταδόσεις πολυκυψελών στο UE, όπου το κυκλικό πρόθεμα χρησιμοποιείται για να καλύψει τη διαφορά στις καθυστερήσεις διάδοσης, η οποία κάνει τη μετάδοση MBSFN να εμφανιστεί στο UE ως μετάδοση από μια μονή μεγάλη κυψέλη.

Η μετάδοση με κεραιές πολλαπλής εισόδου και πολλαπλής εξόδου (MIMO) υποστηρίζονται με διαμορφώσεις στην κατερχόμενη σύνδεση με δύο ή τέσσερις κεραιές μετάδοσης και δύο ή τέσσερις κεραιές λήψης, οι οποίες επιτρέπουν τις πολυστρωματικές μεταδόσεις μέχρι τέσσερα ρεύματα. Πολλαπλών χρηστών MIMO δηλ η κατανομή διαφορετικών ρευμάτων στους διαφορετικούς χρήστες υποστηρίζεται σε UL και DL.

## 5.2 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)



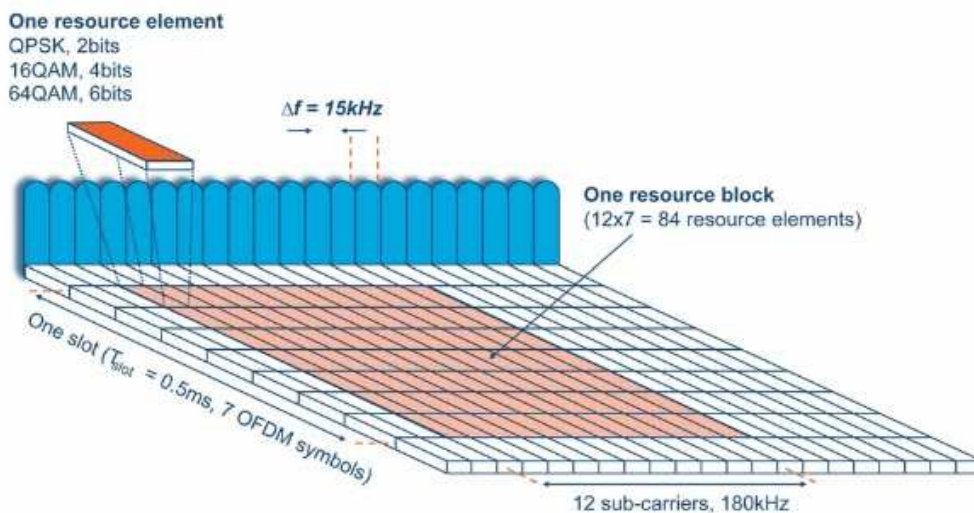
Εικόνα 37: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Το LTE χρησιμοποιεί OFDM για την κατερχόμενη σύνδεση, δηλαδή από το σταθμό βάσεων στο τερματικό, καθώς επίσης το OFDM καλύπτει την απαίτηση του LTE για ευελιξία φάσματος και επιτρέπει τις οικονομικά αποδοτικές λύσεις για τους ευρείς φορείς με υψηλούς ρυθμούς. Είναι μια καθιερωμένη τεχνολογία, για παράδειγμα στα πρότυπα όπως το Ινστιτούτο Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) 802.11a/b/g, 802.16, HiperLan-2, Video Broadcast (DVB) και Digital Audio Broadcast (DAB).

Το OFDM χρησιμοποιεί έναν μεγάλο αριθμό υποφερόντων στενής ζώνης ή τόνων για την μετάδοση πολυφέροντων. Ο βασικός φυσικός πόρος κατερχόμενης σύνδεσης μπορεί να εξηγηθεί ως πλέγμα συχνότητας χρόνου όπως φαίνεται στην εικόνα. Στην περιοχή συχνότητας, το διάστημα μεταξύ των υποφερόντων,  $\Delta f$  είναι 15 KHz. Επιπλέον ο χρόνος διάρκειας των συμβόλων OFDM είναι  $1/\Delta f$ +κυκλικό πρόθεμα. Το κυκλικό πρόθεμα χρησιμοποιείται για να διατηρηθεί ορθογώνια μεταξύ των υποφερόντων, ακόμα και για ένα χρόνο διασποράς στο ραδιοκανάλι.

Ένα στοιχείο των πόρων φέρνει διαμορφωμένα bits QPSK, 16QAM ή 64QAM. Παραδείγματος χάριν με το 64QAM, κάθε στοιχείο πόρων φέρει έξι bits. Τα σύμβολα OFDM ομαδοποιούνται στις ομάδες πόρων. Οι ομάδες έχουν ένα συνολικό μέγεθος 180 KHz στο πεδίο συχνότητας και 0.5ms στο πεδίο χρόνου. Σε κάθε χρήστη κατανέμεται ένας αριθμός γνωστών ομάδων πόρων στο πλέγμα συχνότητας χρόνου. Οι περισσότερες ομάδες πόρων ενός χρήστη λαμβάνουν και υψηλότερη διαμόρφωση που χρησιμοποιείται στα στοιχεία πόρων υψηλότερου ρυθμού bit. Ποιά ομάδα πόρων και πόσους λαμβάνει ο χρήστης σε ένα δεδομένο σημείο εξαρτάται από προηγμένους μηχανισμούς προγραμματισμού στις διαστάσεις συχνότητας και χρόνου. Ο προγραμματισμός των πόρων μπορεί να ληφθεί κάθε ms το οποίο σημαίνει δύο ομάδες πόρων με εύρος 180KHz και συνολικά ένα ms στο μήκος, αποκαλούμενο ομάδα προγραμματισμού. Οι μηχανισμοί προγραμματισμού στο LTE είναι παρόμοιοι με εκείνους που χρησιμοποιούνται στο HSPA και επιτρέπουν την βέλτιστη απόδοση για τις διαφορετικές υπηρεσίες στα διαφορετικά ράδιο-περιβάλλοντα.

Στην ανερχόμενη σύνδεση, το LTE χρησιμοποιεί μια προ-κωδικοποιημένη έκδοση του OFDM αποκαλούμενη Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Συχνότητας Μονού Φέροντος (Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)). Αυτό πρόκειται να αντισταθμίσει ένα μειονέκτημα με κανονικό OFDM, το οποίο έχει υψηλή αιχμή στο μέσο ρυθμό ισχύος (Peak to Average Power Ratio (PAPR)). Το υψηλό PAPR απαιτεί ακριβούς και ανεπαρκείς ενισχυτές ισχύος με υψηλές απαιτήσεις στη γραμμικότητα, η οποία αυξάνει το κόστος του τερματικού και εξαντλεί την μπαταρία γρηγορότερα.



Εικόνα 38: Οι φυσικοί πόροι του LTE downlink βασισμένοι στο OFDM

Το SC-FDMA λύνει αυτό το πρόβλημα με το να συγκεντρώνει τις ομάδες πόρων με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώσει την ανάγκη για τη γραμμικότητα και την κατανάλωση ισχύος στον ενισχυτή ισχύος. Ένα χαμηλό PAPR επίσης βελτιώνει την κάλυψη και την απόδοση της κυψέλης.

### 5.3 Επισκόπηση του φυσικού επιπέδου.

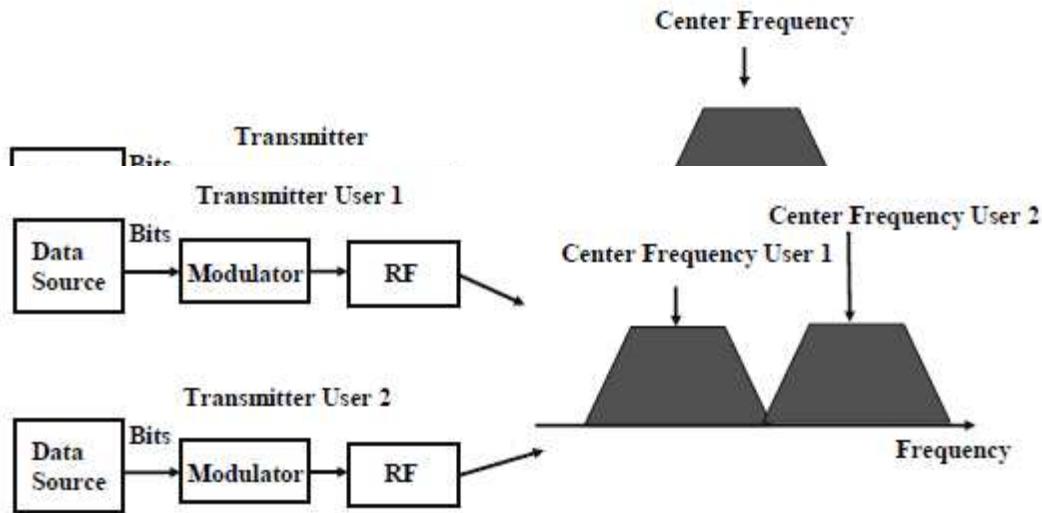
Το σχέδιο του φυσικού επιπέδου του LTE (PHY) επηρεάζεται από τις απαιτήσεις για το υψηλό ποσοστό μετάδοσης (100 Mbps DL/50Mbps UL), την φασματική απόδοτικότητα και το εύρος ζώνης πολλαπλών καναλιών (1,25-20 Mhz). Για να ικανοποιήσει αυτές τις απαιτήσεις η ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) επιλέχτηκε ως βάση για το στρώμα PHY.

Η OFDM είναι μια τεχνολογία που χρονολογείται από την δεκαετία του 60. Εξετάστηκε για τα συστήματα 3G στα μέσα της δεκαετίας του '90 προτού καθοριστεί πολύ ανώριμα. Οι εξελίξεις στην ηλεκτρονική και στην επεξεργασία σήματος από εκείνη την στιγμή έχουν κάνει το OFDM μια ώριμη τεχνολογία που χρησιμοποιείται ευρέως σε συστήματα πρόσβασης όπως το 802.11 (WiFi), το 802.16 (WiMAX) και τα συστήματα broadcast (Digital Audio/Video Broadcast—DAB/DVB). Επιπλέον στο OFDM, το LTE εφαρμόζει τεχνικές πολλαπλών κεραιών όπως το MIMO (Multiple Input Multiple Output), το οποίο μπορεί είτε να αυξήσει την ικανότητα των καναλιών ή να ενισχύσει ευρωστία σημάτων (space frequency/time coding). Μαζί, OFDM και MIMO είναι δύο βασικές τεχνολογίες είναι χαρακτηριστικά του LTE και αποτελούν σημαντική διαφοροποίηση στα συστήματα 3G, τα οποία είναι βασισμένα στην πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (Code Division Multiple Access (CDMA)). Αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζει μια επισκόπηση του φυσικού επιπέδου του LTE το οποίο από μόνο του είναι μια πολύ μεγάλη και πλούσια σε χαρακτηριστικά θέμα, ιδιαίτερα καθώς υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας (FDD/TDD) και διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης κατερχόμενης και ανερχόμενης σύνδεσης (OFDMA, SC-FDMA), μαζί με τις επιλογές και τις εξαιρέσεις για κάθε τεχνολογία τρόπου και πρόσβασης.

### 5.4 LTE Multiple Access Background

Μια μονή μετάδοση φορέων (Single Carrier (SC)) σημαίνει ότι οι πληροφορίες είναι διαμορφωμένες μόνο σε ένα φέρων, που ρυθμίζει τη φάση ή το πλάτος του φεροντος ή και τα δύο. Η συχνότητα θα μπορούσε επίσης να ρυθμιστεί αλλά στο LTE αυτό δεν επηρεάζεται. Όσο υψηλότερο είναι ο ρυθμός δεδομένων τόσο υψηλότερος ο ρυθμός συμβόλων σε ένα ψηφιακό σύστημα και έτσι το εύρος ζώνης είναι υψηλότερο. Με την χρήση της απλής διαμόρφωσης τετραγωνισμού πλάτους (Quadrature Amplitude Modulation (QAM)), με τις αρχές που εξηγούνται, πχ οι πομποί ρυθμίζουν το σήμα για να μεταφέρει το επιθυμητό αριθμό bits ανά σύμβολο διαμόρφωσης. Το προκύπτον φάσμα της κυματομορφής είναι ένα μονό φάσμα φορέων όπως φαίνεται στην εικόνα, με τη μάσκα φάσματος που επηρεάζεται (μετά το φιλτράρισμα) από την μορφή του χρησιμοποιούμενου παλμού. Με τη αρχή του Frequency Division Multiple Access (FDMA), οι διαφορετικοί

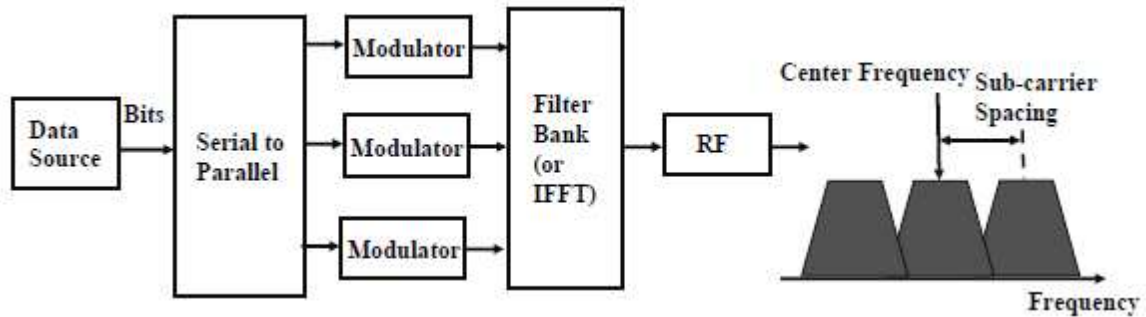
χρήστες θα χρησιμοποιούσαν διαφορετικά φέροντα ή υποφέροντα όπως φαίνεται στην εικόνα για να έχουν πρόσβαση στο σύστημα ταυτόχρονα που έχει την διαμόρφωση των δεδομένων τους γύρω από μια διαφορετική κεντρική συχνότητα.



Εικόνα 39: Αρχές του FDMA

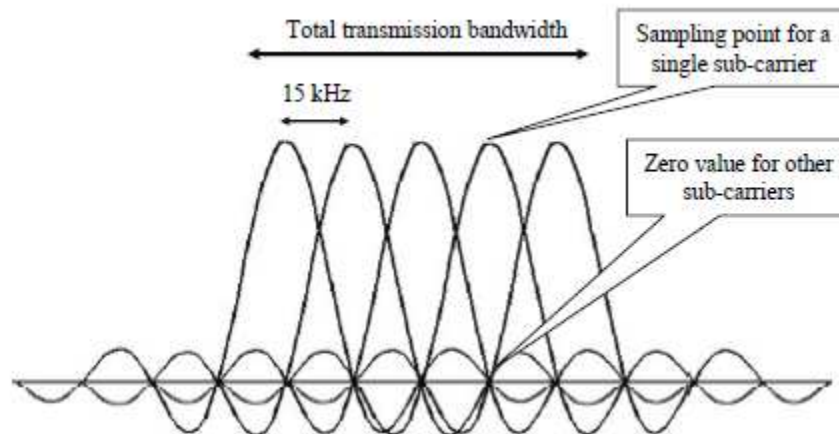
Προσοχή τώρα απαιτείται στην δημιουργία κυματομορφής κατά τέτοιο τρόπο ώστε καμία υπερβολική παρεμβολή μεταξύ των φερόντων ούτε για να χρησιμοποιήσει τις εκτενείς ζώνες προστασίας μεταξύ των χρηστών.

Η χρήση της αρχής των πολυ-φερόντων όπως φαίνεται στην εικόνα όπου τα δεδομένα διαιρούνται στα διαφορετικά υποφέροντα ενός πομπού. Το παράδειγμα στο σχήμα έχει μια στοίβα φίλτρων τα οποία για πρακτικές λύσεις συνήθως αντικαθίστανται με γρήγορο αντιστροφο μετασχηματισμό Fourier (Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)) για τις εφαρμογές όπου ο αριθμός των υποφερόντων είναι υψηλός. Υπάρχει ένα σταθερό διάστημα μεταξύ των γειτονικών υποφερόντων. Μια από τις προσεγγίσεις στο πολυφέρον είναι το διπλό φέρον WCDMA το οποίο στέλνει δύο WCDMA το ένα δίπλα στο άλλο αλλά δεν χρησιμοποιεί τις αρχές για την υψηλή χρησιμοποίηση φάσματος.



Εικόνα 40: Αρχές πολλαπλών φερόντων

Για την αντιμετώπιση της αναποτελεσματικότητας που προκύπτουν από τις πιθανές απαιτήσεις της ζώνης φύλαξης, η προσέγγιση είναι να επιλεγούν οι παράμετροι του συστήματος με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτευχθεί ορθογωνιότητα μεταξύ των διαφορετικών μεταδόσεων και για να δημιουργήσει τα υποφέροντα έτσι ώστε δεν παρεμβάλλουν ο ένας τον άλλον αλλά τα φάσματά τους θα μπορούσαν να καλύψουν το πεδίο συχνότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με την αρχή της ορθογώνιας πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDMA)), όπου κάθε μια από τις κεντρικές συχνότητες για τους υποφορείς επιλέγεται από ένα σύνολο που έχει μια τέτοια διαφορά στο πεδίο συχνότητας που οι γειτονικοί υποφορείς έχουν μηδενικοί αξία κατά την δειγματοληψία του επιθυμητού υποφορέα όπως φαίνεται στο σχήμα.



Εικόνα 41: Διατήρηση της ορθογωνιότητας των υποφερόντων



Για το LTE η σταθερή διαφορά συχνότητας μεταξύ των υποφερόντων έχει επιλεγεί για να είναι 15KHz στην έκδοση 8 (μια εναλλακτική του 7.5 khz προγραμματίζεται να υποστηριχθεί στις πιο πρόσφατες εκδόσεις σχετικά με τις εφαρμογές broadcast όπως η κινητή TV).

Από τη διαδεδομένη χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας για τις τηλεπικοινωνίες, το OFDMA έγινε πιο εφικτό και προσιτό για την καταναλωτική χρήση. Κατά την διάρκεια των πρόσφατων ετών η τεχνολογία OFDMA έχει υιοθετηθεί ευρέως σε πολλές περιοχές όπως στην ψηφιακή TV (DVB-T και DVB-H) καθώς και στις εφαρμογές Wireless Local Area Network (WLAN). Οι αρχές του OFDMA έχουν χρησιμοποιηθεί στην ανερχόμενη σύνδεση της πολλαπλής πρόσβασης του LTE όπως το SC-FDMA χρησιμοποιεί πολλές αρχές του OFDMA στην ανερχόμενη σύνδεση κατεύθυνσης για να επιτύχουν υψηλή φασματική αποδοτικότητα.

Το γενικό κίνητρο για το OFDMA στο LTE και σε άλλα συστήματα οφείλεται στις ακόλουθες ιδιότητες:

- 1 Καλή απόδοση στην επιλεκτική παραμόρφωση στη συχνότητα καναλιών
- 2 Χαμηλή πολυπλοκότητα του δέκτη ζώνης βάσης.
- 3 Καλές φασματικές ιδιότητες και χειρισμός των πολλαπλών ευρών ζώνης.
- 4 Προσαρμογή συνδέσεων και σχεδιασμός πεδίου συχνότητας.
- 5 Συμβατότητα με προηγμένες τεχνολογίες δεκτών και κεραιών.

Πολλά από αυτά τα οφέλη θα μπορούσαν να επιτευχθούν μόνο μετά από τις πρόσφατες εξελίξεις στην αρχιτεκτονική της ραδιο-πρόσβασης δικτύου, που σημαίνει ρύθμιση του ραδιο ελέγχου στο σταθμό βάσης (NodeB σε όρους 3GPP για το WCDMA) και καθώς το σύστημα ευρών ζώνης μεγαλώνει, πέρα των 5kHz, η πολυπλοκότητα του δέκτη γίνεται επίσης περισσότερο του ενός ζητήματος.

Το OFDMA έχει προκλήσεις όπως:

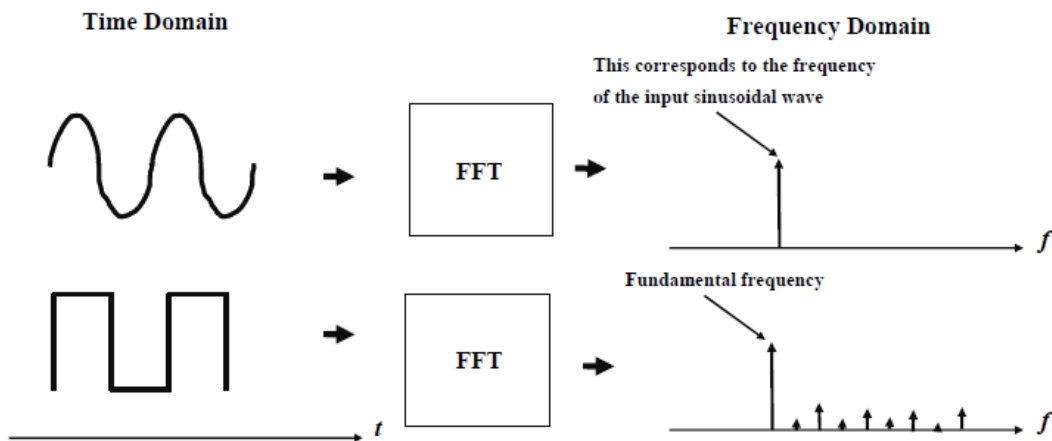
- Ανοχή στο offset συχνότητας. Αυτό αντιμετωπίστηκε στο σχέδιο του LTE με την επιλογή ενός διαστήματος υποφορέων των 15 khz, το οποίο δίνει μια αρκετά μεγάλη ανοχή για την μετατόπιση Doppler λόγω των ατελειών ταχύτητας και εφαρμογής.
- Το υψηλό Peak-to-average ratio (PAR) του εκπεμπόμενου σήματος, το οποίο απαιτεί υψηλή γραμμικότητα στους πομπούς. Οι γραμμικοί ενισχυτές έχουν χαμηλή απόδοση μετατροπής ισχύος και επομένως δεν είναι ιδανικοί για τις κινητές ανερχόμενες συνδέσεις. Στο LTE αυτό λύθηκε με την χρησιμοποίηση του SC-FDMA, το οποίο επιτρέπει την καλύτερη αποδοτικότητα ενισχυτών ισχύος.

Κοιτάζοντας στο παρελθόν, οι επιλογές τεχνολογίας που πραγματοποιήθηκαν για το σύστημα 3ης γενιάς στην δεκαετία του '90, η έλλειψη μιας λογικής λύσης ανερχόμενης σύνδεσης, η ανάγκη για τις προηγμένες λύσεις κεραιών και έχοντας ραδιο-έλεγχο των πόρων που συγκεντρώνονται στο Radio Network Controller (RNC) ήταν οι βασικοί

παράγοντες για να μην δικαιολογήσουν τη χρήση της τεχνολογίας OFDMA νωρίτερα. Υπήρξαν μελέτες για να εξετάσουν το OFDMA μαζί με το CDMA σχετικά με τις μελέτες ραδιο-πρόσβασης 3ης γενιάς. Οι βασικές τεχνολογίες κάνουν το OFDMA να λειτουργήσει καλύτερα, όπως είναι ο σταθμός βάσης βασισμένο στον προγραμματισμό (εκδόσεις 5 και 6) και το MIMO (έκδοση 7), έχει εισαχθεί μόνο στην πρόσφατη φάση εξέλιξης του WCDMA. Αυτές οι βελτιώσεις που εισήχθησαν στο WCDMA μεταξύ του 2002 και 2007 επέτρεψαν στην τεχνολογία OFDMA να χρησιμοποιηθεί καλύτερα από ότι θα είχε συμβεί για την απλή χρήση OFDMA μόνο ως μέθοδο διαμόρφωσης βασισμένη σε ένα παραδοσιακό κυψελλωτό δίκτυο 2ης γενιάς χωρίς προηγμένα χαρακτηριστικά.

## 5.5 OFDMA Basics

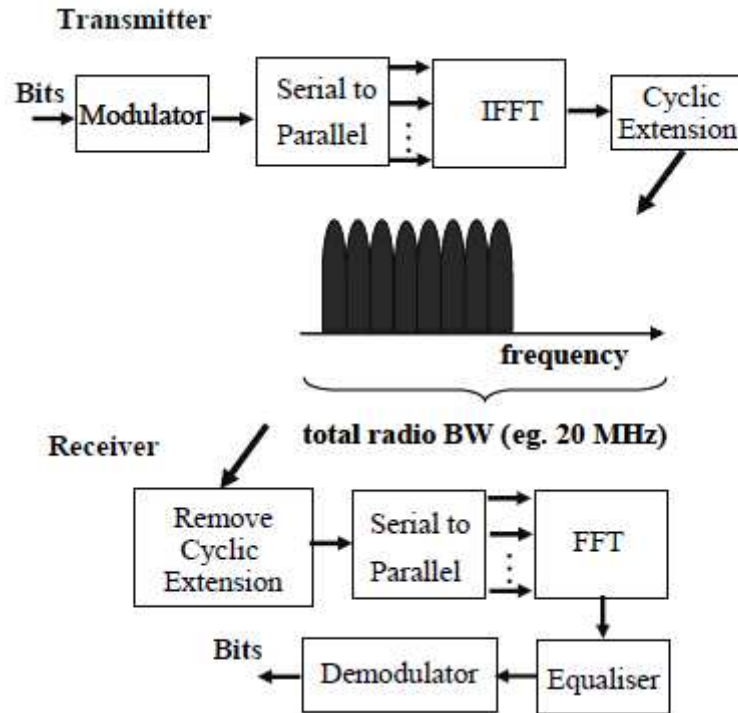
Η πρακτική εφαρμογή ενός συστήματος OFDMA είναι βασισμένη στην ψηφιακή τεχνολογία και πιο συγκεκριμένα στη χρήση του Διακριτού Μετασχησμού Fourier (Discrete Fourier Transform-DFT) που κινείται μεταξύ του πεδίου χρόνου και συχνότητας. Το προκύπτον σήμα τροφοδοτεί ένα ημιτονοειδές κύμα στο Γρήγορο Μετασχησμό Fourier (Fast Fourier Transform-FFT) όπως φαίνεται στο σχήμα.



Εικόνα 42: Τα αποτελέσματα από την λειτουργία FFT με διαφορετικές εισόδους.

Οι πρακτικές εφαρμογές χρησιμοποιούν το FFT. Η λειτουργία FFT κινεί το σήμα από την εκπροσώπηση του πεδίου χρόνου στην εκπροσώπηση του πεδίου συχνότητας. Ο αντίστροφος γρήγορος μετασχηματισμός Fourier (Inverse Fast Fourier Transform-IFFT) κάνει την λειτουργία στην αντίθετη κατεύθυνση. Για το ημιτονοειδές κύμα η FFT έξοδος λειτουργίας θα έχει ένα peak σε αντίστοιχη συχνότητα και μηδενική έξοδο οπουδήποτε αλλού. Αν η είσοδος είναι τετραγωνικό κύμα τότε η έξοδος του πεδίου συχνότητας περιέχει peaks στις πολλαπλές συχνότητες όπως ένα κύμα περιέχει διάφορες συχνότητες που καλύπτονται από την λειτουργία του FFT. Μια ώθηση ως είσοδο σε FFT θα είχε μια κορυφή σε όλες τις συχνότητες. Δεδομένου ότι το τετραγωνικό κύμα έχει ένα τακτό χρονικό διάστημα  $T$ , υπάρχει μια μεγαλύτερη κορυφή στην συχνότητα  $1/T$  που αντιπροσωπεύει τη θεμελιώδη συχνότητα της κυματομορφής και μια μικρότερη κορυφή στις περιττές αρμονικές της θεμελιώδους συχνότητας. Η λειτουργία της FFT μπορεί να διενεργηθεί πέρα δώθε χωρίς απώλεια οποιασδήποτε από τις αρχικές πληροφορίες υποθέτοντας ότι οι κλασσικές απαιτήσεις για την ψηφιακή επεξεργασία σήματος από πλευράς των ελάχιστων ρυθμών δειγματοληψίας και να ικανοποιούνται τα μήκη λέξης.

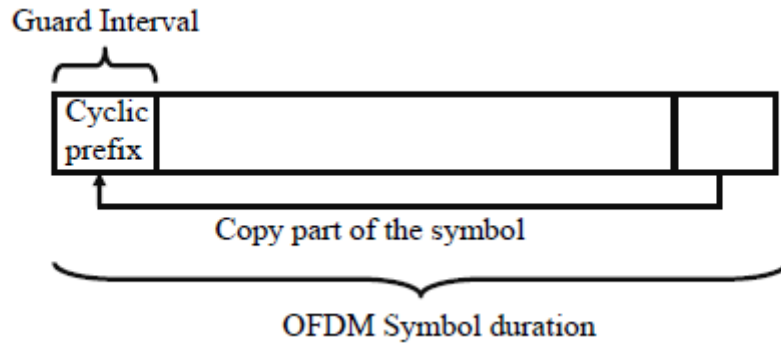
Η αρχή του πομπού σε οποιοδήποτε σύστημα OFDMA είναι να χρησιμοποιηθούν οι στενοί, αμοιβαία ορθογώνιοι υποφορείς. Στο LTE το διάστημα των υποφορέων είναι 15 KHz ανεξάρτητα από το συνολικό εύρος ζώνης μετάδοσης. Οι διαφορετικοί υποφορείς είναι ορθογώνιοι ο ένας με τον άλλο δεδομένου ότι τη στιγμή της δειγματοληψίας ενός μονού υποφορέα οι άλλοι υποφορείς έχουν μια μηδενική αξία όπως φαίνεται στο σχήμα. Ο πομπός ενός OFDMA συστήματος χρησιμοποιεί το block του IFFT για να δημιουργήσει το σήμα. Πηγές δεδομένων τροφοδοτούν την μετατροπή σειριακής σε παράλληλη και περαιτέρω στο block IFFT. Κάθε είσοδος για το IFFT block αντιστοιχεί στην είσοδο που αντιπροσωπεύει ένα ιδιαίτερο υποφορέα (ή ιδιαίτερο στοιχείο συχνότητας του σήματος στο πεδίο του χρόνου) και μπορεί να διαμορφωθεί ανεξάρτητα από τους άλλους υποφορείς. Το block IFFT ακολουθείται με την προσθήκη της κυκλικής επέκτασης όπως φαίνεται στη εικόνα. Το κίνητρο για την προσθήκη της κυκλικής επέκτασης είναι να αποφευχθεί η διασυμβολική παρεμβολή (Inter-Symbol Interference-ISI). Όταν ο πομπός προσθέτει μια κυκλική επέκταση μεγαλύτερη από την κρουστική απόκριση του καναλιού, η επίδραση του προηγούμενου συμβόλου μπορεί να αποφευχθεί από την αδιαφορία της κυκλικής επέκτασης στο δέκτη.



Εικόνα 43: Πομπός και δέκτης OFDMA

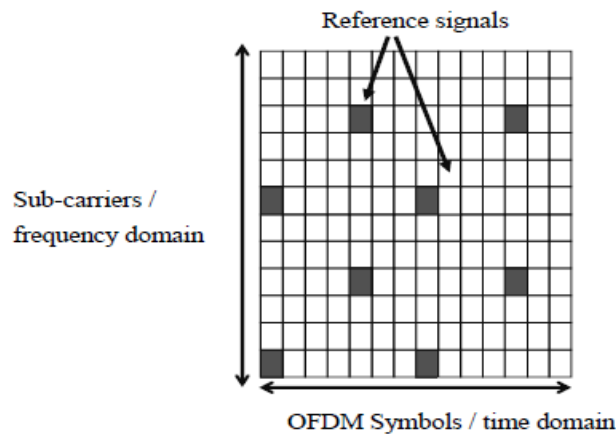
Το κυκλικό πρόθεμα προστίθεται από την αντιγραφή μέρους του συμβόλου στο τέλος και την ένωση του στην αρχή του συμβόλου όπως φαίνεται στην εικόνα 43. Η χρήση της κυκλικής επέκτασης είναι προτιμότερη σε μια απλή διακοπή στην μετάδοση (διάστημα προστασίας) όπως στο σύμβολο OFDM κατόπιν φαίνεται να είναι περιοδικό. Όταν τώρα το σύμβολο OFDMA εμφανίζεται ως περιοδικό λόγω της κυκλικής επέκτασης, αντίκτυπος του καναλιού καταλήγει σε ένα πολλαπλασιασμό από έναν κλιμακωτό, υποθέτοντας ότι η κυκλική επέκταση είναι αρκετά μεγάλο. Η περιοδική φύση των σημάτων ωστόσο επιτρέπει για ένα διακριτό φάσμα Fourier, την χρήση του DFT και του IDFT στον δέκτη και στον πομπό αντίστοιχα.

Τυπικά το διάστημα προστασίας έχει σχεδιαστεί με σκοπό να είναι τέτοιο που υπερβαίνει την διάδοση της καθυστέρησης στο περιβάλλον όπου το σύστημα προορίζεται να λειτουργεί. Εκτός από την διάδοση καθυστέρησης στο κανάλι, ο αντίκτυπος του πομπού και δέκτη φιλτραρίσματος χρειάζεται να καταχωρηθεί στο σχεδιασμό του διαστήματος προστασίας. Ο δέκτης OFDMA καταλαβαίνει το σύμβολο OFDMA να έρχεται όπως μέσω ενός FIR φίλτρου, χωρίς διαχωρισμό των επιμέρους στοιχείων της συχνότητας όπως το δέκτη RAKE. Έτσι παρόμοια με τη διάδοση καθυστέρησης καναλιού το μήκος του φίλτρου που εφαρμόζεται στο σήμα στο δέκτη και στην πλευρά του πομπού θα κάνει τη συνολική επίδραση φιλτραρίσματος μεγαλύτερη από την καθυστέρηση που διαδίδεται.



Εικόνα 44: Δημιουργία ζωνών προστασίας για το σύμβολο OFDMA

Ενώ ο δέκτης δεν ασχολείται με την διασυμβολική παρεμβολή πρέπει ακόμα να εξετάσει τον αντίκτυπο του καναλιού για τους μεμονωμένους υποφορείς που η δοκιμασμένη συχνότητα εξαρτάται απο τις αλλαγές της φάσης και του πλάτους. Αυτή η εκτίμηση του καναλιού διευκολύνεται απο την κατοχή μέρους των συμβόλων γνωστά ως σύμβολα αναφοράς ή πιλοτικά. Με την κατάλληλη τοποθέτηση των συμβόλων στα πεδία του χρόνου και της συχνότητας ο δεκτης μπορεί να παρεμβάλει την επίδραση του καναλιού στους διαφορετικούς υποφορείς απο το πλέγμα συμβόλων αναφοράς του πεδίου του χρόνου και της συχνότητας.



Εικόνα 45: Σύμβολα αναφοράς διασκορπισμένα πάνω στα OFDMA υποφέροντα και σύμβολα

Ένας χαρακτηριστικός τύπος λύσης δέκτη είναι ο εξισωτής πεδίου συχνότητας, ο οποίος επαναφέρει τον αντίκτυπο του καναλιού για κάθε υποφορέα. Ο εξισωτής πεδίου συχνότητας σε OFDMA πολλαπλασιάζει κάθε υποφορέα βασισμένο στην κατ' εκτίμηση συχνότητα απόκρισης καναλιού. Αυτό σαφώς είναι μια απλούστερη λειτουργία έναντι του WCDMA και δεν εξαρτάται από το μήκος των καναλιών όπως είναι ο εξισωτής στο WCDMA. Οι πρόσθετοι στόχοι που ο δέκτης OFDMA πρέπει να καλύψει είναι ο συγχρονισμός χρόνου και συχνότητας. Ο συγχρονισμός επιτρέπει το σωστό πλαίσιο και συγχρονισμό συμβόλων OFDMA για να ληφθεί έτσι ώστε το σωστό μέρος του λαμβανόμενου σήματος πέφτει (αφαίρεση του κυκλικού προθέματος). Ο χρονικός συγχρονισμός λαμβάνεται τυπικά από το συσχετισμό με τα γνωστά δείγματα δεδομένων για παραδείγματα τα σύμβολα αναφοράς και τα πραγματικά λαμβανόμενα στοιχεία.

Ο χρονισμός συχνότητας υπολογίζει το offset της συχνότητας μεταξύ του πομπού και του δέκτη και με μια καλή εκτίμηση του offset της συχνότητας μεταξύ της συσκευής και του σταθμού βάσης, ο αντίκτυπος μπορεί να αντισταθμιστεί για τμήματα του δέκτη και του πομπού. Οι συσκευές κλειδώνουν την συχνότητα που λαμβάνεται από το σταθμό βάσης δεδομένου ότι ο ταλαντωτής συσκευών δεν είναι τόσο ακριβής όσο αυτός στο σταθμό βάσης.

Μια σημαντική πτυχή της χρήσης του OFDMA σε ένα πομπό του σταθμού βάσης είναι ότι οι χρήστες μπορούν να καταμεμηθούν σε οποιοδήποτε από τους υποφορείς στο πεδίο της συχνότητας. Αυτό είναι ένα πρόσθετο στοιχείο στην λειτουργία προγραμματισμού του HSDPA, όπου οι κατανομές ήταν μόνο στο πεδίο χρόνου και στο πεδίο κώδικα αλλά πάντα κατέλαβαν το ολόκληρο το εύρος ζώνης. Η δυνατότητα των διαφορετικών υποφορέων στους καταμεμημένους χρήστες επιτρέπει στον προγραμματιστή να ωφεληθεί από την ποικιλομορφία στο πεδίο συχνότητας, αυτή η ποικιλομορφία που οφείλεται στην στιγμιαία παρεμβολή και στις διαφορετικές εξασθενίσεις στα διάφορα μέρη του συστήματος εύρους ζώνης. Ο πρακτικός περιορισμός είναι η ανάλυση της σηματοδότησης λόγω της κατάληξης από πάνω σήμανε ότι η κατανομή δεν γίνεται σε μεμονωμένη βάση υποφορέων αλλά είναι βασισμένη σε block πόρων, κάθε ένας αποτελείται από 12 υποφορείς που έχει ως αποτέλεσμα την ελάχιστη κατανομή του εύρους ζώνης που είναι 180KHz.

Όταν η αντίστοιχη ανάλυση κατανομής στο πεδίο του χρόνου είναι 1ms, η downlink μετάδοση κατανομή των πόρων σημαίνει την πλήρωση της συγκέντρωσης πόρων με 180KHz blocks στα 1ms ανάλυση όπως φαίνεται στο σχήμα.

Η μετάδοση OFDMA στο πεδίο της συχνότητας αποτελείται από διάφορους παράλληλους υποφορείς, οι οποίοι στο πεδίο του χρόνου αντιστοιχούν σε πολλαπλά ημιτονοειδή κύματα με διαφορετικές συχνότητες γεμίζοντας το σύστημα του εύρους ζώνης με βήματα των 15 KHz. Αυτό προκαλεί τα όρια των διακυμάνσεων του σήματος να ποικίλουν έντονα όπως φαίνεται στο σχήμα, συγκριτικά με ένα κανονικό διαμορφωτή QAM ο οποίος στέλνει

μόνο ένα σύμβολο τη φορά (στο πεδίο χρόνου). Το στιγμιαίο ποσό των ημιτονωειδών οδηγεί στην γκαουσιανή διανομή των διαφορετικών μέγιστων τιμών πλάτους. Αυτό προκαλεί μερικές προκλήσεις στο σχεδιασμό του ενισχυτή όπως σε ένα κυψελλωτό σύστημα, ένα πρέπει να στοχεύει στη μέγιστη απόδοση ισχύος του ενισχυτή για να επιτύχει την ελάχιστη κατανάλωση ισχύος. Το σχήμα επεξηγεί πως ένα σήμα με υψηλή παραλλαγή των όριων διακυμάνσεων απαιτεί τον ενισχυτή για χρησιμοποίηση πρόσθετη επιστροφή σε αντίθεση με το κανονικό σήμα φέροντος. Ο ενισχυτής πρέπει να μείνει σε περιοχή γραμμικότητας με τη χρήση της πρόσθετης επιστροφής ισχύος προκειμένου να αποτραπούν προβλήματα στο σήμα εξόδου και στο φάσμα. Η χρήση της πρόσθετης επιστροφής οδηγεί σε μείωση της αποδοτικότητας της ισχύος του ενισχυτή ή σε μια μικρότερη έξοδο ισχύος. Αυτό προκαλεί είτε το φάσμα του uplink για να είναι μικρότερο ή όταν το ίδιο μέσο επίπεδο της ισχύος εξόδου διατηρείται, η ενέργεια της μπαταρίας καταναλώνεται γρηγορότερα λόγω της υψηλής κατανάλωσης ισχύος του ενισχυτή.

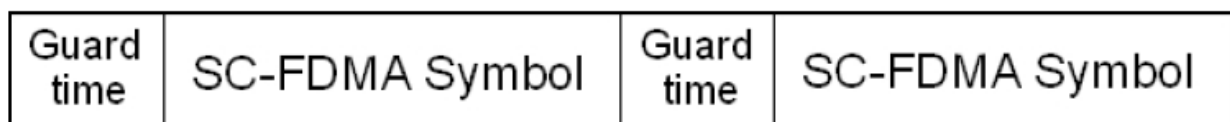
Το τελευταίο δεν θεωρείται πρόβλημα σε σταθερές εφαρμογές όπου η συσκευή έχει ένα μεγάλο όγκο και είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο αλλά και για μικρές φορητές συσκευές που λειτουργούν με δικές τους μπαταρίες δημιουργεί περισσότερες προκλήσεις.

Αυτός ήταν ο βασικός λόγος για τον οποίο το 3GPP αποφάσισε να χρησιμοποιήσει OFDMA στην διεύθυνση κατερχόμενης σύνδεσης αλλά και στην χρήση της αποδοτικότητας ισχύος του SC-FDMA στην κατεύθυνση της ανερχόμενης σύνδεσης.

## 5.6 Cyclic Prefix (CP)

Χρησιμοποιώντας ένα κυκλικό πρόθεμα είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για την πρόληψη του IBI (Inter-Block Interference) μεταξύ δύο διαδοχικών block. Σε γενικές γραμμές το CP είναι ένα αντίγραφο του τελευταίου τμήματος του block. Η ύπαρξη του CP έχει διπλή επίδραση στην πρόληψη του IBI.

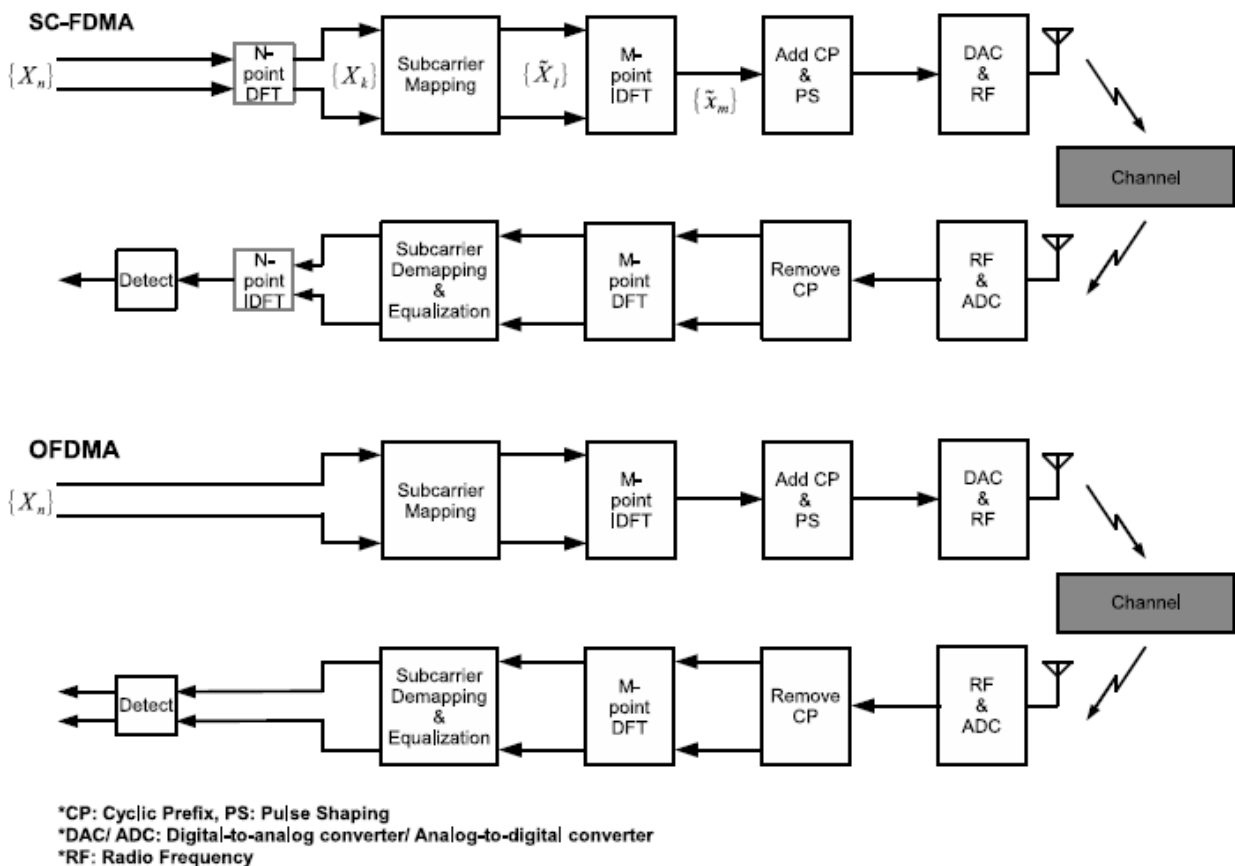
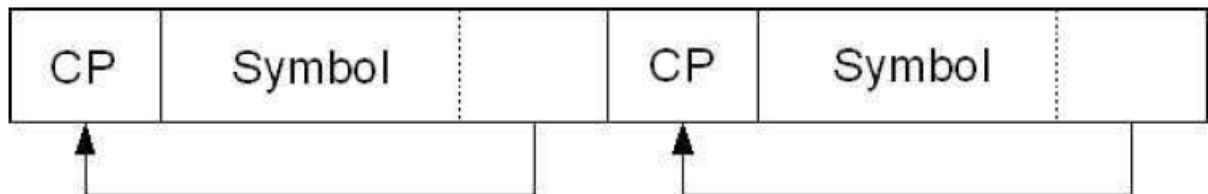
1. Το CP παρέχει ένα χρόνο προστασίας μεταξύ δύο διαδοχικών blocks. Αν το μήκος του CP είναι μεγαλύτερο από την μεγαλύτερη καθυστέρηση εξάπλωσης του καναλιού, δεν θα υπάρξει καμιά παρεμβολή IBI.



Εικόνα 46: Ζώνες προστασίας μπροστά από τα σύμβολα SC-FDMA

Επειδή το CP είναι ένα αντίγραφο του τελευταίου τμήματος του block θα αποφευχθεί η ICI (Inter-Carrier Interference) μεταξύ των υποφορέων. Ωστόσο το μειονέκτημα του κυκλικού προθέματος είναι ότι δεν φέρει καμιά νέα πληροφορία, έτσι θα μειωθεί η απόδοση της μετάδοσης.

Εικόνα 47: Το κυκλικό πρόθεμα εφαρμόζει μπροστά από τα δύο σύμβολα



Εικόνα 48: Block διάγραμμα του SC-FDMA και του OFDMA



## 5.7 SC-FDMA

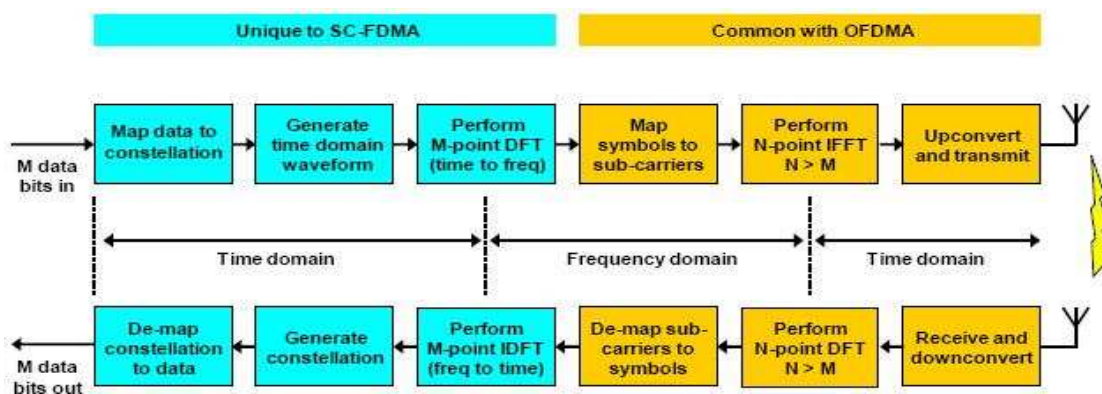
Το υψηλό PARP (Peak-to-Average Power Ratio) που συνδέεται με το OFDM οδήγησε το 3GPP στο να ψάξουν για ένα διαφορετικό σχήμα διαμόρφωσης για το uplink του LTE. Το SC-FDMA επιλέχθηκε καθώς συνδιάζει χαμηλό PAPR με σύστημα μετάδοσης απλού φέροντος, όπως στο GSM και στο CDMA με αντίσταση πολλαπλών διαδρομών και ευέλικτη κατανομή συχνοτήτων του OFDMA[agilent]. Ως αποτέλεσμα, μια εναλλακτική λύση στο OFDM για τη χρήση στο uplink του LTE.

Στην κατεύθυνση uplink του 3GPP να χρησιμοποιεί SC-FDMA για πολλαπλή πρόσβαση, ισχύει τόσο για FDD και TDD τρόπους λειτουργίας.

Η βασική αρχιτεκτονική πομπού και δέκτη είναι πολλή κοινή με το OFDMA και προσφέρει τον ίδιο βαθμό προστασίας πολλαπλών διαδρομών.[36]

### 5.7.1 Evolution Physical Layer

SC-FDMA έχει πολλές ομοιότητες με OFDM, προϊστάμενος μεταξύ των οποίων και για uplink που είναι κάθετο στο πεδίο της συχνότητας διατηρείται μεταξύ των ενδο-κύτταρων χρηστών για να διαχειρίζονται το ποσό των παρεμβολών που προκύπτουν στη βάση. SC-FDMA έχει επίσης χαμηλό ενισχυτή μειωμένων (Cubic Metric / PAPR) απαιτήσεων, αυτόν τον τρόπο διατηρήται η διάρκεια ζωής της μπαταρίας ή να επεκτείνει το φάσμα.[15]



Εικόνα 48: Μοντέλο του SC-FDMA και του OFDMA σήματος κατά την εκπομπή και λήψη

Στο σχήμα παρουσιάζεται ένα διάγραμμα του συστήματος SC-FDMA. Το SC-FDMA μπορεί να θεωρηθεί ως DFT-διάδοση ορθογώνια συχνότητας Division Multiple Access (OFDMA), όπου στο πεδίο του χρόνου. Τα σύμβολα δεδομένα μετατρέπονται στο πεδίο της συχνότητας με την DFT πριν μεταβεί μέσω διαμόρφωσης OFDMA. Η ορθογωνιότητα των χρηστών οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε χρήστης απασχολεί διαφορετικούς υποφορείς στο πεδίο της συχνότητας, παρόμοια στην περίπτωση του OFDMA. Επειδή το συνολικό μεταδιδόμενο σήμα είναι ένα ενιαίο σήμα φέροντος, το PAPR είναι εκ φύσεως χαμηλό σε σύγκριση με την περίπτωση του OFDMA η οποία παράγει ένα πολυκαναλικό σήμα. Ο πομπός ενός συστήματος SC-FDMA των πρώτων ομάδων των συμβόλων διαμόρφωσης σε blocks το καθένα περιέχει σύμβολα  $N$ . Στη συνέχεια εκτελεί ένα  $N$ -point DFT για να παράγει ένα πεδίο συχνότητας εκπροσωπώντας τα σύμβολα εισόδου. Στη συνέχεια, απεικονίζει κάθε μία από τις εξόδους  $N$ -DFT σε ένα από τους  $M$  ( $> N$ ) ορθογώνιους υποφορείς που μπορεί να μεταδοθεί. Αν

$N = M / Q$  και όλοι οι τερματικοί σταθμοί

διαβιβάζουν τα σύμβολα  $N$  ανά block, το σύστημα μπορεί να χειριστεί  $Q$  ταυτόχρονες μεταδόσεις χωρίς παρεμβολές κοινού καναλιού. Όπως και στο OFDMA, ένα  $M$ -σημείο IDFT μετατρέπει το πλάτος των υποφορέων σε ένα σύνθετο σήμα πεδίο του χρόνου. Ο πομπός εκτελεί δύο άλλες λειτουργίες επεξεργασίας σήματος πριν από τη μετάδοση. Εισάγει ένα σύνολο από σύμβολα αναφέρομενα ως κυκλικό πρόθεμα (CP), προκειμένου να παράσχει μια προστασία χρόνου (guard time) προκειμένου να αποφευχθούν παρεμβολές μεταξύ των blocks (IBI) λόγω διάδοσης πολλαπλών διαδρομών.

Ο πομπός εκτελεί επίσης μια λειτουργία γραμμικού φιλτραρίσματος που αναφέρεται ως παλμός διαμόρφωσης, προκειμένου να μειωθεί η εκτός φάσματος ενέργεια σήμα. Σε γενικές γραμμές, CP είναι ένα αντίγραφο της του τελευταίου μέρους του μπλοκ, το οποίο προστίθεται στην αρχή κάθε block για πολλούς λόγους. Κατ'αρχήν, το CP ενεργεί ως χρόνος προστασίας μεταξύ των διαδοχικών μπλοκ. Εάν το μήκος του CP είναι μεγαλύτερο από τη μέγιστη επιβράδυνση του ρυθμού εξάπλωσης του καναλιού, ή περίπου, το μήκος της κρουστικής απόκρισης καναλιού, τότε, δεν υπάρχει IBI. Δεύτερον, δεδομένου ότι το CP είναι ένα αντίγραφο του τελευταίου τμήματος του block, θα μετατρέψει ένα διακριτό χρόνο γραμμικής συνέλιξης σε μια διακριτό χρόνο κυκλικής συνέλιξης. Έτσι, τα μεταδιδόμενα δεδομένα που διαδίδονται μέσα από το κανάλι μπορούν να μοντελοποιηθούν ως μια κυκλική συνέλιξη μεταξύ του καναλιού κρουστικής απόκρισης και το μεταδιδόμενων στοιχείων του block, τα οποία στο πεδίο των συχνοτήτων παίρνουν μέρος στον πολλαπλασιασμό της DFT συχνότητας δειγμάτων. Στη συνέχεια, για να αφαιρεθεί η στρέβλωση του καναλιού, το DFT του λαμβανόμενου σήματος μπορεί απλώς να διαιρεθεί με το DFT της κρουστικής απόκρισης του καναλιού ή μια πιο εξελιγμένη τεχνική εξίσωσης πεδίου συχνότητας μπορεί να εφαρμοστεί.

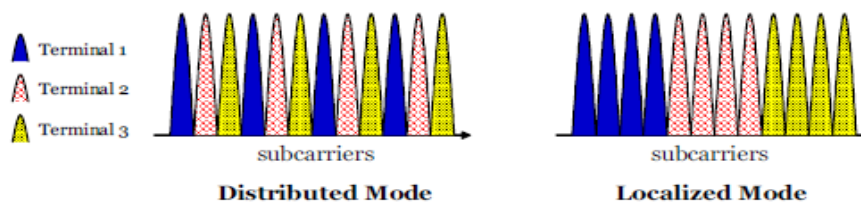
Ο δέκτης μετατρέπει το σήμα που λαμβάνει στο πεδίο συχνότητας μέσω του DFT, διαχωρισμό υποφορέων και στη συνέχεια εκτελεί εξίσωσης στο πεδίο συχνότητας. Οι περισσότερες από τις γνωστές τεχνικές εξισορρόπησης στο πεδίο χρόνου, όπως η εξίσωση ελάχιστου μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Minimum Mean Square Error-

MMSE), εξίσωση ανάδρασης της απόφασης Decision Feedback Equalization-DFE) και εξίσωσης turbo, μπορεί να εφαρμοστεί στην εξίσωση πεδίου της συχνότητας. Οι εξισωμένα σύμβολα μεταμορφώνονται πίσω στο πεδίο του χρόνου μέσω IDFT και η ανίχνευση και η αποκωδικοποίηση λαμβάνουν χώρα στο πεδίο του χρόνου.

### 5.7.2 Subcarrier mapping

Υπάρχουν δύο μέθοδοι για να επιλέξει τους υποφορείς για τη μετάδοση, κατανεμημένης απεικόνισης υποφορέων και τοπική απεικόνιση υποφορέων.

Στην κατανεμημένη λειτουργία υποφορέων, οι DFT έξοδοι της εισόδου δεδομένων έχουν κατανεμηθεί για ολόκληρο το εύρος ζώνης με μηδενική κατάληψη των αχρησιμοποίητων υποφορέων, λαμβάνοντας υπόψη ότι διαδοχικοί υποφορείς καταλαμβάνονται από τις εξόδους DFT των δεδομένων εισόδου στην τοπική τρόπο απεικόνισης υποφορέων. Θα αναφερθούμε στον τοπικό τρόπο αντιστοίχισης υποφορέων του SC-FDMA ως τοπικά FDMA (Localized FDMA-LFDMA) και στον τρόπο κατανεμημένης αντιστοίχισης υποφορέων της SC-FDMA, όπως κατανεμημένο FDMA (Distributed FDMA-DFDMA). Η περίπτωση του  $M = Q \times N$  για την κατανεμημένη λειτουργία με ίση απόσταση μεταξύ κατέχομενων υποφορέων ονομάζεται Interleaved FDMA (IFDMA). Η IFDMA είναι μια ειδική περίπτωση του SC-FDMA και είναι πολύ αποτελεσματική στην εν λόγω οπμοπός μπορεί να διαμορφώσουν το σήμα αυστηρά στο πεδίο του χρόνου χωρίς η χρήση του DFT και IDFT. Ένα παράδειγμα των SC-FDMA αντιστοιχίσεων υποφορέων στο πεδίο των συχνοτήτων για  $N = 4$ ,  $Q = 3$  και  $M = 12$  απεικονίζεται στο Σχήμα.



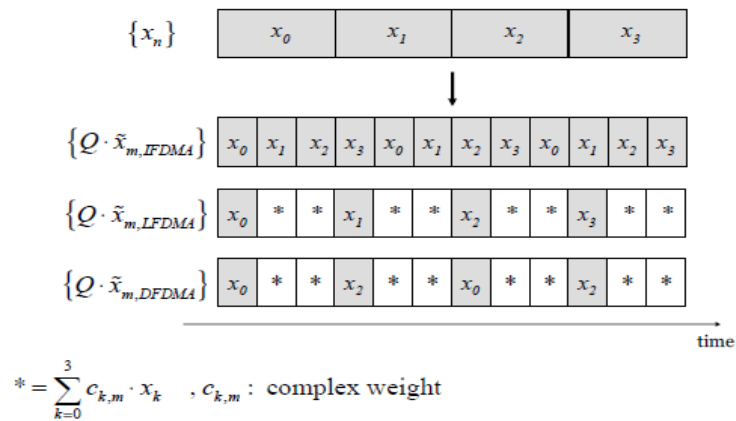
Εικόνα 49: Μέθοδοι κατανομής υποφορέων για πολλαπλούς χρήστες ( $Q=3$  χρήστες,  $M=12$  υποφορείς και  $N=4$  κατανεμημένοι υποφορείς ανα χρήστη)

Ανάλογα με τη μέθοδο αντιστοίχισης υποφορέων, τα διαμορφωμένα σύμβολα SCFDMA στο πεδίο του χρόνου διαφέρουν. Για IFDMA, τα διαμορφωμένα σύμβολα χρόνου είναι απλά μια επανάληψη των αρχικών συμβόλων εισόδου, με συντελεστή προσαύξησης της  $1 / Q$  και κάποια εναλλαγή φάσεων. DFDMA και LFDMA έχουν την ίδια δομή με το σύμβολο του χρόνου, έχουν ακριβή αντίγραφα των συμβόλων χρόνου της εισόδου

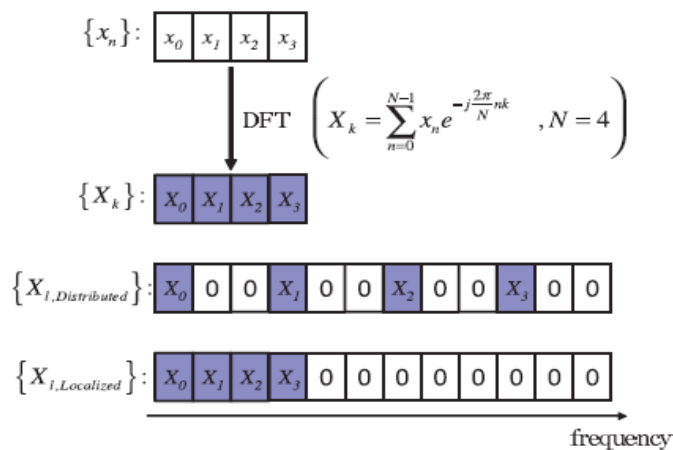
με κλιμάκωση συντελεστή  $1 / Q$  στο  $N$ -πολλαπλών θέσεων δείγματος και μεταξύ τιμών είναι άθροισμα όλων των σύμβολων εισόδου φορά στο μπλοκ εισόδου με διαφορετικές περίπλοκες διαδικασίες στάθμισης. Εξαιτίας αυτού, μπορούμε να περιμένουμε να δούμε πιο διακύμανσης και υψηλότερη κορυφή εύρους για DFDMA και LFDMA. Το σχήμα παρουσιάζει τα σύμβολα χρόνο και για διαφορετικούς υποφορείς συστημάτων απεικόνισης. [INTRODUCTION TO SINGLE CARRIER FDMA

Hyung G. Myung] Το σχήμα δείχνει ένα παράδειγμα της SC-FDMA μεταδίδουν σύμβολα στο πεδίο των συχνοτήτων για  $N = 4$ ,  $Q = 3$  και  $m = 12$ .

Μετά την αντιστοίχιση υποφορέων, τα δεδομένα συχνότητας μετασχηματίζονται πίσω στο πεδίο του χρόνου με την εφαρμογή του  $M$ -point IDFT. [30] [31]



Εικόνα 50: Σύμβολα χρόνου διαφορετικής απεικόνισης υποφορέα

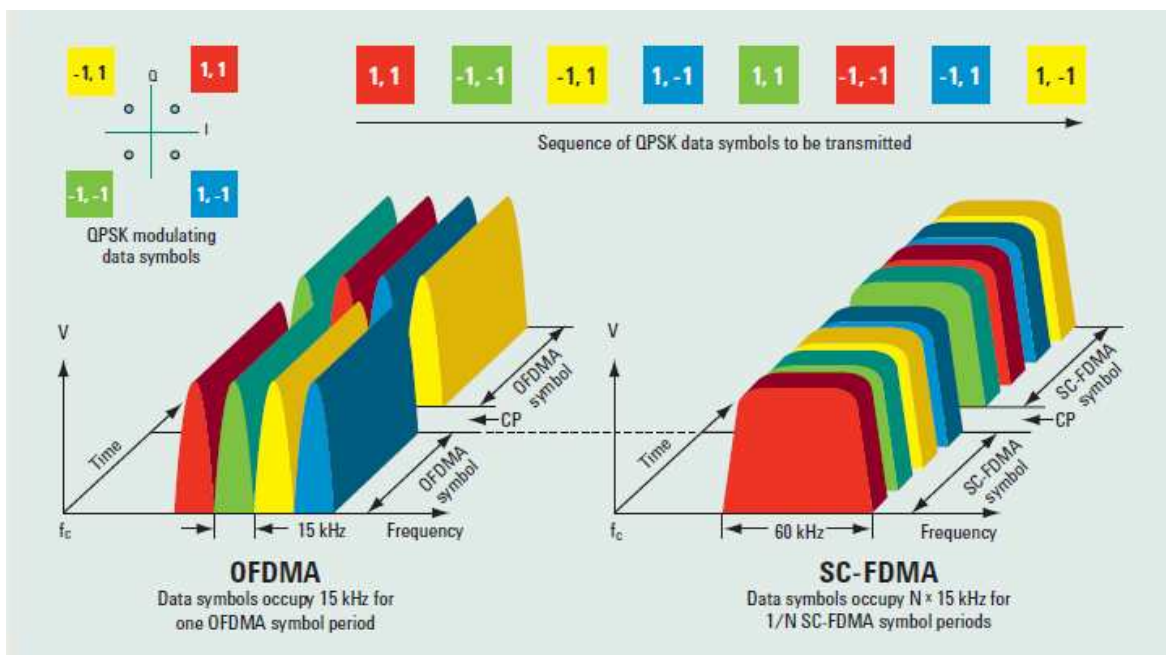


Εικόνα 51: Σύμβολα εκπομπής SC-FDMA στο πεδίο συχνότητας για  $N=4, Q=4$  και  $M=16$

### 5.8 Σύγκριση OFDMA με SC-FDMA

Στο σχήμα φαίνεται πώς μια σειρά συμβόλων QPSK απεικονίζεται στο χρόνο και στη συχνότητα απο τα δύο διαφορετικά σχέδια διαμόρφωσης. Παρότι χρησιμοποιούμε το OFDM, θα μετατοπιστούμε τώρα στο όρο OFDMA, ο οποίος αντιπροσωπεύει την ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας. Το OFDMA είναι απλά μια επεξεργασία του OFDM που χρησιμοποιείται απο το LTE και άλλα συστήματα που αυξάνουν την ευελιξία των συστημάτων με το να πολυπλέκουν πολλούς χρήστες πάνω στους ίδιους υποφορείς.

Αυτό μπορεί να ωφελήσει την αποδοτική ζεύξη πολλών χρηστών χαμηλών ρυθμών πάνω σε ένα κοινό κανάλι καθώς επίσης και να επιτρέψει την αναπήδηση συχνοτήτας ανα χρήστη για να μετριάσει τα αποτελέσματα της εξασθένησης της περιορισμένης ζώνης. Το παράδειγμα χρησιμοποιεί μόνο τέσσερις (N) υποφορείς πάνω απο δύο περιόδους συμβόλων με τα δεδομένα φορτίων που αντιπροσωπεύονται απο την διαμόρφωση QPSK. Τα πραγματικά σήματα LTE κατανέμονται σε μονάδες 12 παρακείμενων υποφερόντων (180 KHz) γνωστά ως ομάδες πόρων και συνήθως περιέχει επτά σύμβολα των οποίων η διαμόρφωση μπορεί να είναι QPSK, 16AM ή 64QAM.



Εικόνα 52: Σύγκριση OFDMA και SC-FDMA

## 5.9 PAPR

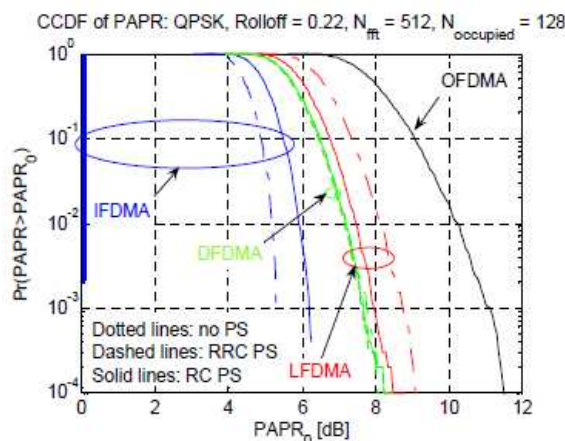
PAPR είναι μια μέτρηση της απόδοσης που είναι ενδεικτική της απόδοσης ισχύος του πομπού.

Πιο συγκεκριμένα, οι μέγιστες τιμές κάποιων σημάτων που μεταδίδονται θα μπορούσαν να είναι πολύ μεγαλύτερες από τις τυπικές τιμές. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει στην αναγκαιότητα της χρήσης των κυκλωμάτων με γραμμικά χαρακτηριστικά σε ένα μεγάλο δυναμικό εύρος, διαφορετικά το ψαλιδισμένο σήμα στα υψηλά επίπεδα θα επιτρέψει τη στρέβλωση του εκπεμπόμενου σήματος και την εκπομπή εκτός φάσματος.

Στην περίπτωση ενός ιδανικού γραμμικού ενισχυτή, όπου μπορούμε να επιτύχουμε γραμμική ενίσχυση μέχρι το σημείο κορεσμού, φτάνουμε στη μέγιστη απόδοση ισχύος όταν ο ενισχυτής λειτουργεί σε κορεσμό σημείο. Ένα θετικό PAPR σε dB σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μια ανάδραση ισχύος για να λειτουργούν στην γραμμική περιοχή του ενισχυτή ισχύος και να υποβαθμίζει το υψηλό PAPR της εκτέλεσης αποδοτικότητας της ισχύος εκπομπής. Σε αντίθεση με OFDM, στατιστικές ιδιότητες του PAPR για απλές διαμορφώσεις φέροντος δεν θα αποκτηθούν εύκολα αναλυτικά.

Εμείς έτσι καταφεύγουμε σε αριθμητική ανάλυση για τη διερεύνηση των PAPR ιδιοτήτων.

Στο σχήμα είναι το αποτέλεσμα των προσομοιώσεων Monte Carlo. Υπολογίσαμε της CCDF (Συμπληρωματικές αθροιστική κατανομή λειτουργία) του PAPR, η οποία είναι η πιθανότητα ότι PAPR είναι μεγαλύτερο από ένα ορισμένο PAPR0 αξία PAPR ( $Pr \{PAPR > PAPR_0\}$ ). Μπορούμε να δούμε ότι όλες οι περιπτώσεις για SCFDMA έχουν πράγματι χαμηλότερες PAPR από εκείνη του OFDMA. Επίσης IFDMA έχει το χαμηλότερο PAPR, και DFDMA και LFDMA έχουν πολύ παρόμοια επίπεδα PAPR. [30]



Εικόνα 53: Σύγκριση του CCDF του PAPR για IFDMA, DFDMA, LFDMA και OFDMA με συνολικούς αριθμούς υποφερόντων  $M=512$ , αριθμούς συμβόλων εισόδου  $N=128$

## 5.10 FDD & TDD Duplexing

Στο κυβελωτό σύστημα, η αμφιδρόμηση εξυπηρετεί στο να χωρίσει την uplink (MS στο BS) και την downlink (BS στο MS) μετάδοση. Το UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA) υποστηρίζει δύο τρόπους αμφιδρόμησης, γνωστοί σαν τρόπος αμφιδρόμησης διαίρεσης συχνότητας (Frequency Division Duplexing-FDD), όπου τα UL και DL μεταδίδονται σε διαφορετικές συχνότητες και ο τρόπος αμφιδρόμησης διαίρεσης χρόνου (Time Division Duplexing-TDD), όπου το UL και το DL μεταδίδονται στην ίδια συχνότητα φέροντος αλλά είναι πολυπλεγμένο στο χρόνο.

Το *Time-Division Duplex (TDD)* είναι η εφαρμογή της διαίρεσης χρόνου πολυπλεξίας για το διαχωρισμό μετάβασης και επιστροφή σημάτων. Μιμείται την πλήρη αμφίδρομη επικοινωνία πάνω από τη half duplex σύνδεση επικοινωνίας.

Το TDD έχει ένα ισχυρό πλεονέκτημα στην περίπτωση όπου υπάρχει ασυμμετρία στις uplink και στο downlink ταχύτητες δεδομένων. Δεδομένου ότι η ποσότητα των δεδομένων του uplink αυξάνεται, μεγαλύτερη χωρητικότητα επικοινωνίας μπορεί να είναι δυναμικά καταναμεμημένα, και καθώς το φορτίο της κυκλοφορίας γίνεται ελαφρύτερο, η χωρητικότητα μπορεί να αφαιρεθεί. Το ίδιο ισχύει και στην κατεύθυνση downlink.

Για τα συστήματα ραδιοεπικοινωνιών που δεν κινούνται γρήγορα, ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι οι ραδιο-διαδρομές στο uplink και downlink είναι πιθανό να είναι παρόμοιες. Αυτό σημαίνει ότι οι τεχνικές, όπως είναι διαμόρφωση δέσμης λειτουργούν καλά με TDD συστήματα.

*Frequency Division Duplexing (FDD)* σημαίνει ότι ο πομπός και ο δέκτης λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες του φέροντος. Ο όρος χρησιμοποιείται συχνά στην λειτουργία ham radio, όταν ένας χειριστής προσπαθεί να επικοινωνήσει με έναν αναμεταδότη. Ο σταθμός πρέπει να μπορεί να στέλνει και να λαμβάνει μια μετάδοση την ίδια στιγμή, και μάλιστα από ελαφρά τροποποίηση της συχνότητας με την οποία στέλνει και λαμβάνει. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας αναφέρεται ως αμφίδρομη κατάσταση ή την αντιστάθμιση λειτουργία.

Οι Uplink και downlink υποζώνες είναι διαχωρισμένες από το offset των συχνοτήτων. Το FDD μπορεί να είναι αποτελεσματικό στην περίπτωση συμμετρικής κυκλοφορίας. Σε αυτή την περίπτωση το TDD τείνει να χάνει εύρος ζώνης κατά τη διάρκεια της μετάβασης από τη μετάδοση στη λήψη, έχει μεγαλύτερη καθυστέρηση, και μπορούν να απαιτούν πιο σύνθετο κύκλωμα.

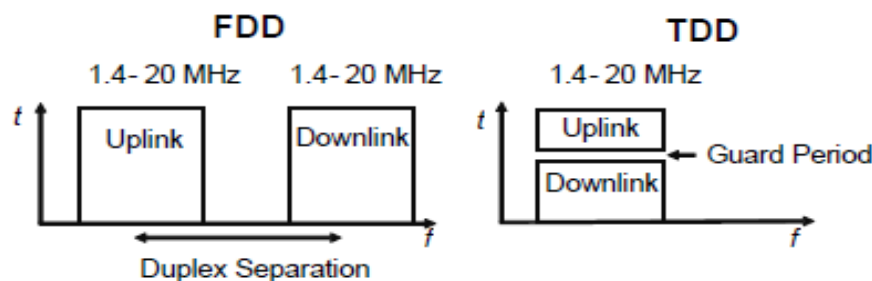
Το LTE έχει οριστεί για να φιλοξενήσει και στο συζευγμένο ραδιοφάσμα για το Frequency Division Duplex, FDD και ασυζευκτου φάσματος για την Time Division Duplex, TDD λειτουργία. Αναμένεται ότι και οι δύο LTE TDD και FDD LTE θα χρησιμοποιηθούν ευρέως, όπως κάθε μορφή του προτύπου LTE έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και τα

μειονεκτήματα και οι αποφάσεις μπορούν να γίνουν σχετικά με το ποια μορφή να θεσπίζει εξαρτάται από την συγκεκριμένη εφαρμογή.

Το LTE FDD χρησιμοποιώντας την σύζευξη του ραδιοφάσματος αναμένεται να αποτελέσει η πορεία μετάβασης για τις τρέχον υπηρεσίες του 3G που χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο, οι περισσότεροι εκ των οποίων χρησιμοποιούν FDD σύζευξη φάσματος. Ωστόσο, υπήρξε μια επιπλέον έμφαση συμπεριλαμβανομένου του TDD LTE χρησιμοποιώντας unpaired φάσμα. Το TDD LTE που είναι επίσης γνωστό και ως TD-LTE θεωρείται ότι παρέχει την εξέλιξη ή αναβάθμιση για το TD-SCDMA.

Λόγω του αυξημένου επιπέδου σημασίας που έδωσαν στη LTE TDD ή TD-LTE, προβλέπεται ότι εξοπλισμού χρήστη θα σχεδιαστεί για να φιλοξενήσει τις δύο λειτουργίες FDD και TDD. Με TDD έχουν αυξημένο επίπεδο σπουδαιότητας που απευθύνονται σε αυτήν, αυτό σημαίνει ότι TDD επιχειρήσεις θα είναι σε θέση να επωφεληθούν από τις οικονομίες κλίμακας που παλαιότερα ανοιχτή μόνο σε FDD πράξεις.

Η βασική αρχή της TDD είναι να χρησιμοποιεί το ίδιο φάσμα συχνοτήτων για τη μετάδοση και λήψη αλλά, να εναλλάσσει την κατεύθυνση της μετάδοσης του χρόνου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 12.1 αυτό είναι μια θεμελιώδες διαφορά σε σύγκριση με FDD, όπου οι διαφορετικές συχνότητες που χρησιμοποιούνται για τη συνεχή UE λήψη και μετάδοση. Όπως το FDD, το LTE TDD υποστηρίζει εύρος ζώνης από 1,4 MHz έως 20 MHz, αλλά ανάλογα με τη ζώνη συχνοτήτων, ο αριθμός των υποστηριζόμενων εύρος ζωνών μπορεί να είναι μικρότερο από όλο το φάσμα. Για παράδειγμα, για τα 2,5 GHz, δεν είναι πιθανό το μικρότερο εύρος ζώνης να υποστηριχθεί. Δεδομένου ότι το εύρος ζώνης κατανέμεται μεταξύ uplink και downlink και το μέγιστο εύρος ζώνης είναι συγκριμένο να είναι 20 MHz σε Release 8, οι μέγιστες εφικτές ταχύτητες δεδομένων είναι χαμηλότερα σε σχέση με το LTE FDD. Με αυτό τον τρόπο η ίδια δυνατότητα επεξεργασίας πομπού και δέκτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με τους δύο τρόπους TDD και FDD επιτρέποντας έτσι την ταχύτερη ανάπτυξη των LTE.



Εικόνα 54 – Αρχές της λειτουργίας των FDD και TDD.



Το σύστημα TDD μπορεί να εφαρμοστεί σε μια ασυζευκτη ζώνη (ή σε δύο ζεύγη ζωνών ξεχωριστά) ενώ το σύστημα FDD απαιτεί πάντα ένα ζευγάρι των ζωνών με ένα εύλογο διαχωρισμό μεταξύ κατευθύνσεων uplink και downlink , γνωστό ως ο διαχωρισμός duplex. Σε μια εφαρμογή FDD UE αυτό απαιτεί κανονικά κάποιο φίλτρο duplex, όταν η ταυτόχρονη μετάδοση και λήψη διευκολύνεται.

Σε ένα σύστημα TDD το UE δεν χρειάζεται ένα τέτοιο duplex φίλτρο. Η πολυπλοκότητα του duplex φίλτρου αυξάνεται όταν οι ζώνες συχνοτήτων uplink και downlink τοποθετούνται σε στενότερη γειτνίαση.

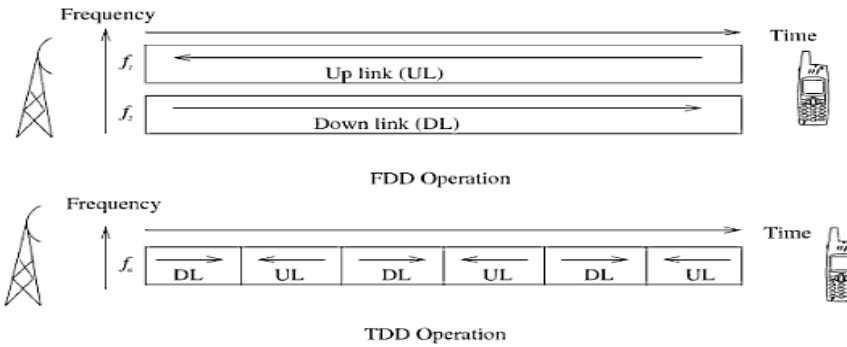
### 5.10.1 Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα

Το *πλεονέκτημα* της TDD πάνω FDD είναι οι εξής:

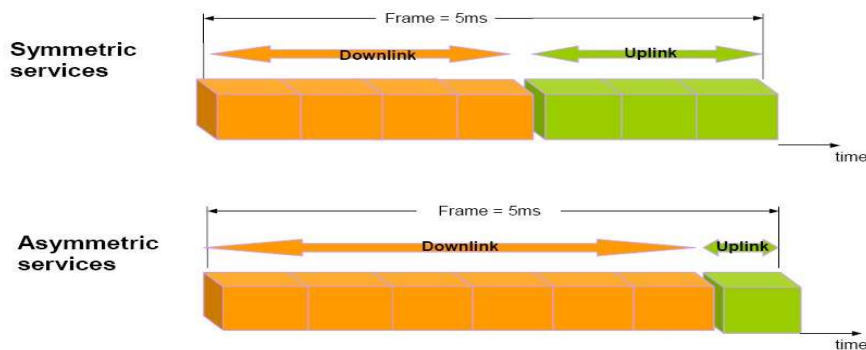
- 1 Δεν απαιτεί σύζευξη ραδιοφάσματος, διότι το FDD χρησιμοποιεί διαφορετικές συχνότητες για τα UL και DL λαμβάνοντας υπόψη ότι το TDD χρησιμοποιεί την ίδια συχνότητα, συνεπώς, είναι πιο εύκολο να αναπτυχθεί.
2. Τα χαρακτηριστικά του καναλιού είναι τα ίδια και στις δύο κατευθύνσεις λόγω της ίδιας μπάντας.
3. Μπορείτε να αλλάξετε δυναμικά την κατανομή εύρους ζώνης του UL και του DL εξαρτώμενο από την κίνηση.

Τα *μειονεκτήματα* του TDD στο FDD είναι :

- 1 Εναλλαγή μεταξύ των κατευθύνσεων μετάδοσης απαιτεί χρόνο, και εναλλαγή μεταβατικά πρέπει να ελέγχεται. Για την αποφυγή διεφθαρμένης μετάδοσης, οι μεταδόσεις uplink και downlink απαιτούν ένα κοινό μέσο επίτευξης συμφωνίας ως προς την κατεύθυνση μετάδοσης και της διάρκειας χρόνου για τη μετάδοση. Η διαφθορά της μετάδοσης αποφεύγεται με τη χορήγηση μιας περιόδου προστασίας που επιτρέπει αδιάφθαρτη διάδοση για την αντιμετώπιση της καθυστέρησης διάδοσης. Ασυνεχείς μετάδοση μπορεί επίσης να προκαλέσει ακουστική παρεμβολές σε εξοπλισμό ήχου που δεν συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις ηλεκτρομαγνητικής ευαισθησίας.
2. Οι σταθμοί βάσης πρέπει να συγχρονιστούν σε σχέση με τους χρόνους μετάδοσης του uplink και downlink. Αν οι γειτονικοί σταθμοί βάσης χρησιμοποιούν διαφορετικές εργασίες uplink και downlink και μοιράζονται το ίδιο κανάλι, τότε ενδέχεται να προκύψει παρεμβολή μεταξύ των κυττάρων. Αυτό μπορεί να αυξήσει την πολυπλοκότητα του συστήματος και το κόστος.[22]



Εικόνα55 – Τρόποι λειτουργίας



Εικόνα56 – Ασύμμετρη λειτουργία του TDD

## 5.11 TD-SCDMA

Αναπτύχθηκε από κοινού από τη Siemens και την Κινέζικη Ακαδημία Τηλεπικοινωνιών(CATT), το TD-SCDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access) είναι ένα από τα πέντε πρότυπα IMT-2000 που έγιναν δεκτά από την ITU.

Τον Μάρτιο του 2001, το πρότυπο εγκρίθηκε επίσης από την τρίτη γενιά Partnering Project (3GPP), ως μέρος του UMTS Release 4. Με τον τρόπο αυτό έγινε ένα πραγματικά παγκόσμιο πρότυπο, το οποίο καλύπτει όλα τα σενάρια ανάπτυξης radio : από τις αγροτικές στις πυκνές αστικές περιοχές, από τους πεζούς σε υψηλή κινητικότητα.

Σχεδιασμένο ως ένα προηγμένο TDMA / TDD σύστημα με ένα προσαρμοστικό στοιχείο λειτουργικής CDMA με σύγχρονο τρόπο, TD-SCDMA masters και οι δύο συμμετρικές υπηρεσίες κυκλωματος (όπως η ομιλία ή βίντεο) καθώς και ασύμμετρη μεταγωγή πακέτων υπηρεσιών (όπως η κινητή πρόσβαση στο Internet).

Τα κύρια οφέλη της TD-SCDMA είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί με λιγότερα έξοδα σε σχέση με άλλα συστήματα 3G, επιτρέποντας τις υπηρεσίες 3G. Τα βασικά πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- **Υπηρεσίες που ταιριαζουν βελτιστα για ασύμμετρες 3G εφαρμογές (mobile Internet).** Real-time εφαρμογές όπως φωνή και πολυμέσων απαιτούν ελάχιστη καθυστέρηση κατά τη μετάδοση και να δημιουργήσει συμμετρική κίνηση. Για τις εφαρμογές σε μη πραγματικό χρόνο, όπως e-mail ή πρόσβαση στο Διαδίκτυο, οι χρονικοί περιορισμοί είναι λιγότερο αυστηροί και η παραγόμενη κίνηση είναι ασύμμετρη. Για όλες αυτές τις ράδιο τεχνολογίες που απαιτούν ξεχωριστές ζώνες για ανερχόμενη ζεύξη και κατερχόμενη ζεύξη (όπως το GSM, EDGE, W-CDMA ή cdma2000) τμήματων του φάσματος είναι κατεχόμενα, αλλά δεν χρησιμοποιείται όταν ένα ασύμμετρο φορτίο δεδομένων εφαρμόζεται. Οι αδρανείς πόροι, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οποιαδήποτε άλλη υπηρεσία, με αποτέλεσμα την αναποτελεσματική χρήση του φάσματος. Αντίθετα, η TD-SCDMA προσαρμόζει τον λόγο uplink / downlink, σύμφωνα με το φορτίο δεδομένων σε μια απλή ασύζευκτη συχνότητα αξιοποιώντας έτσι το φάσμα πιο αποτελεσματικά, και προσφέρει ταχύτητες δεδομένων που κυμαίνονται από 1,2 kbps σε 2 Mbps. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε ένα περιβάλλον με αυξανόμενη δεδομένα κίνησης (κινητά στοιχεία), η οποία τείνει να είναι ασύμμετρη, συχνά απαιτούν ελάχιστη απόδοση uplink, αλλά σημαντικού εύρους ζώνης για πληροφορίες downloading (mobile Internet).
- **Εξαιρετική απόδοση για το ραδιοφάσμα αυξάνει τη χωρητικότητα:** όπως ήδη αναφέρθηκε, με τις ασύμμετρες εφαρμογές της κυκλοφορίας, το TD-SCDMA χρησιμοποιεί το διαθέσιμο φάσμα πιο αποτελεσματικά από άλλα 3G πρότυπα καθώς απασχολεί μόνο μία μπάντα για την κυκλοφορία τόσο για uplink και όσο και το downlink (TDD ασύζευκτη ζώνη) αντί των δύο ξεχωριστών ζωνών για ανερχόμενη ζεύξη και κατερχόμενη ζεύξη (FDD συζευγμένες ζώνες). Επιπλέον, ιδιαίτερα αποτελεσματικές τεχνολογίες, όπως π.χ. Έξυπνες κεραιές, από κοινού εντοπισμό και τη δυναμική κατανομή καναλιών - οι οποίες αποτελούν αναπόσπαστα χαρακτηριστικά του ράδιο προτύπου TD-SCDMA - συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των ενδο-κυττάρικης παρέμβαση (χαρακτηριστικά κάθε τεχνολογία CDMA), καθώς και μεταξύ των κυττάρων παρέμβαση οδηγεί σε εξαιρετική αποδοτικότητα του φάσματος (3-5 φορές το GSM). Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, των οποίων οι χωρητικότητα οδηγείται και απαιτείται αποτελεσματική χρήση του διαθέσιμου φάσματος.
- **Αυξημένη ευελιξία:** το εύρος ζώνης μεταφοράς TD-SCDMA των 1,6 MHz, παρέχει μεγάλη ευελιξία στη χρήση του ραδιοφάσματος και το σχεδιασμό του δικτύου.
- **Εκπομπή χαμηλής ισχύος :** Beam Steering Smart Antennas άμεση ισχύς στα ενεργά κινητά τερματικά μόνο. Η υψηλή κατευθυντικότητα και ευαισθησίας των έξυπνων κεραιών σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι τερματικοί σταθμοί μεταδίδουν ισχύ μόνο κατά τη διάρκεια των ενεργών χρονοθυρίδων συμβάλλει για να κρατήσει χαμηλά την ισχύ κατανάλωσης του τερματικού σταθμού, η οποία οδηγεί σε πιο αποδοτικές συσκευές.

- **Μειωμένο κόστος της επένδυσης.**  
Στους συμβατικούς 2G και 3G CDMA συστήματα, λόγω περιοχής ενδοκυτταρικής παρέμβολης των κυττάρων είναι μειωμένη όταν τα ποσοστά των δεδομένων ή ο αριθμός των χρηστών αυξάνεται. Ως αποτέλεσμα, όταν η αυξάνεται η κίνηση, ο χειριστής οφείλει να εισαγάγει μια αύξηση του αριθμού των σταθμών βάσης, προκειμένου να εξασφαλιζεται επαρκής κάλυψη. Αντίθετα, προβλέπει ότι τα TD-SCDMA συστήματα φορτίου κίνησης μπορεί να αυξηθεί χωρίς μείωση κάλυψης: το φαινόμενο του cell-breathing δεν είναι θέμα πια. Αυτό οδήγησε στη σημαντική μείωση του κόστους των υποδομών.
- **Το κόστος της μεταφοράς μειώνεται:**  
Χάρη στην κοινή διαπίστωση, έξυπνες κεραίες και ακριβή συγχρονισμό του τερματικού TD-SCDMA, δεν χρειάζεται να βασίζονται σε soft handover. Αντίθετα, το TD-SCDMA χρησιμοποιεί τις συμβατικές παράδοσης, η οποία οδηγεί σε μια λογική μείωση του κόστους της μεταφοράς σε σύγκριση με άλλα 3G πρότυπα.
- **Απλή σχεδίαση ενός δικτύου:** Προγραμματισμός δικτύου είναι λογικά απλοποιημένο δεδομένου ότι TD-SCDMA δεν επηρεάζεται από το cell-breathing και το soft handovers.[28]

***Multiple Input Multiple Output***  
***(MIMO)***

## 6. MIMO

### 6.1 Εισαγωγή

Κεντρικό ρόλο στο LTE είναι η έννοια των τεχνικών πολλαπλών κεραίων, τα οποία χρησιμοποιούνται για την αύξηση της εμβέλειας και της χωρητικότητας του φυσικού επιπέδου. Προσθέτοντας περισσότερες κεραίες σε ένα ράδιο σύστημα δίνει τη δυνατότητα βελτίωσης των επιδόσεων, διότι τα εκπεμπόμενα σήματα θα λάβουν διαφορετικά φυσικά μονοπάτια.

Η επικοινωνία σε ασύρματα κανάλια είναι μειωμένη κατά κύριο λόγο από την εξασθένηση πολλαπλών διαδρομών. Η πολλαπλή διαδρομή είναι η άφιξη του εκπεμπόμενου σήματος σε ένα δέκτη που προορίζεται μέσω διαφορετικών γωνιών ή και διαφορετικές χρονικές καθυστερήσεις ή και διαφορετικών συχνοτήτων (δηλαδή, Doppler) μετατοπίσεις που οφείλονται στην σκέδαση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο περιβάλλον. Κατά συνέπεια, η λαμβανόμενη ισχύς του σήματος κυμαίνεται στο διάστημα (λόγω της εξάπλωσης της γωνίας) και ή τη συχνότητα (λόγω επιβράδυνσης του ρυθμού εξάπλωσης) και ή του χρόνου (λόγω της εξάπλωσης Doppler), μέσω της τυχαίας υπέρθεσης να παρεμβαίνει στα στοιχεία πολλαπλ διαδρομών. Αυτή η τυχαία διακύμανση της στάθμης του σήματος, που είναι γνωστή ως το εξασθένηση (fading), μπορεί να επηρεάσει σοβαρά την ποιότητα και την αξιοπιστία της ασύρματης επικοινωνίας. Επιπλέον, οι περιορισμοί που θέτει η περιορισμένη ισχύς και το ανεπαρκές εύρος ζώνης συχνοτήτων κάνουν το έργο του σχεδιασμού υψηλού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων, των υψηλής αξιοπιστίας ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών εξαιρετικά προκλητική.

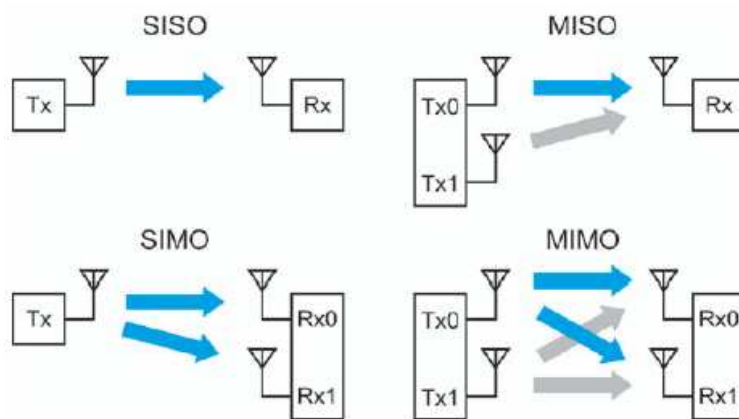
Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι των τεχνικών πολλαπλών κεραίων.

Το Precoding είναι ένα multistream beamforming κατά την ακριβή έννοια. Στο (απλό επίπεδο) beamforming, το ίδιο σήμα εκπέμπεται από κάθε κεραία με κατάλληλη φάση έτσι ώστε η ισχύς του σήματος μεγιστοποιείται στην είσοδο του δέκτη. Τα οφέλη του beamforming είναι να αυξηθεί το κέρδος του σήματος λήψης από τα σήματα που εκπέμπονται από διαφορετικές κεραίες και τα οποία αθροίζονται επικοδομητικά και να μειώσει την εξασθένηση της επίδρασης των πολλαπλών διαδρομών.

Το Spatial multiplexing απαιτεί διαμόρφωση κεραίων MIMO. Στη spatial multiplexing ένα σήμα υψηλού ρυθμού είναι χωρισμένο σε πολλαπλά χαμηλότερου ρυθμού streams και κάθε stream μεταδίδεται από διαφορετική κεραία εκπομπής στο ίδιο κανάλι συχνοτήτων. Όταν αυτά τα σήματα φθάσουν στην κεραία λήψης με αρκετά διαφορετικές χωροταξικές υπογραφές, ο δέκτης μπορεί να διαχωρίσει αυτά τα streams σε παράλληλα κανάλια. Η spatial multiplexing είναι μια πολύ ισχυρή τεχνική για την αύξηση της χωρητικότητας του καναλιού σε μεγάλο signal-to-noise (SNR).

Η ποικιλία τεχνικών κωδικοποίησης (diversity coding techniques) χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχει ενημέρωση καναλιού στον πομπό. Σε μεθόδους ποικιλομορφίας, ένα απλό stream (σε αντίθεση με multiple streams στην spatial multiplexing) εκπέμπεται αλλά το σήμα είναι κωδικοποιημένο κάνοντας χρήση των τεχνικών που ονομάζεται space-time κωδικοποίηση. Το σήμα εκπέμπεται από κάθε κεραία μετάδοσης με πλήρη ή σχεδόν ορθογώνια κωδικοποίηση.[37]

Όπως δείχνει το Σχήμα , υπάρχουν τέσσερις τρόποι να κάνουν χρήση του ραδιοκαναλιού. Για απλότητα, τα παραδείγματα που απεικονίζονται χρησιμοποιούν μόνο μία ή δύο κεραίες.



Εικόνα 57: Τρόποι πρόσβασης ραδιοκαναλιών

### 6.1.1 Single Input Single Output (SISO)

Ο πιο βασικός τρόπος πρόσβασης ραδιοκαναλιού είναι η μονή είσοδος-μόνη έξοδος (Single Input Single Output-SISO), στην οποία μόνο μία κεραία εκπομπής και μια κεραία λήψης χρησιμοποιούνται. Αυτή είναι η μορφή της επικοινωνίας που έχει η προεπιλογή από τότε άρχισε το ραδιο και είναι τη βάση έναντι όλων των συγκρινόμενων τεχνικών πολλαπλής κεραία.

### 6.1.2 Single Input Multiple Output (SIMO)

Ένας δεύτερος τρόπος φαίνεται στο Σχήμα 57 είναι μονής εισόδο-πολλαπλής εξόδου (Single Input Multiple Output-SIMO), η οποία χρησιμοποιεί έναν πομπό και δύο ή περισσότερες δέκτες. Αυτός ο τρόπος πρόσβασης ραδιοκαναλιού είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για τις χαμηλές συνθήκες σήματος προς θόρυβο (SNR) στις οποίες ένα θεωρητικό κέρδος 3 dB είναι δυνατόν, όταν χρησιμοποιούνται δύο δέκτες. Δεν υπάρχει καμία αλλαγή στο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων από το μόνο ένα ρεύμα δεδομένων που μεταδίδονται, αλλά η κάλυψη στην άκρη του κελίου είναι βελτιωμένη λόγω της μείωσης της χρηστικότητας SNR.

### 6.1.3 Multiple Input Single Output (MISO)

Ο τρόπος πολλαπλή εισόδο μονής εξόδου (Multiple input single output-MISO) χρησιμοποιεί δύο ή περισσότερους πομπούς και ένα δέκτη. (Σχήμα 57 δείχνει μόνο δύο πομπούς και ένας υποδοχέας για απλότητα.) Το MISO αναφέρεται πιο συχνά ως εκπεμπόμενη πολυμορφία. Τα ίδια δεδομένα αποστέλλονται από τις δύο κεραιές εκπομπής, αλλά κωδικοποιημένα έτσι ώστε ο δέκτης μπορεί να ταυτοποιεί κάθε πομπό. Η εκπεμπόμενη ποικιλομορφία αυξάνει την αξιοπιστία των σημάτων στην εξασθένιση και μπορεί να αυξήσει την απόδοση σε συνθήκες χαμηλού SNR. Το MISO δεν αυξάνει τα ποσοστά στοιχείων, αλλά υποστηρίζει τους ίδιους ρυθμούς δεδομένων με χρήση λιγότερης ισχύος. Η εκπεμπόμενη πολυμορφία μπορεί να ενισχυθεί με κλειστό βρόγχο ανάδρασης από το δέκτη που να δείχνει προς τον πομπό η βέλτιστη ισορροπία της φάσης και της ισχύος που χρησιμοποιείται για κάθε κεραία εκπομπής.

### 6.1.4 Multiple Input Multiple Output (MIMO)

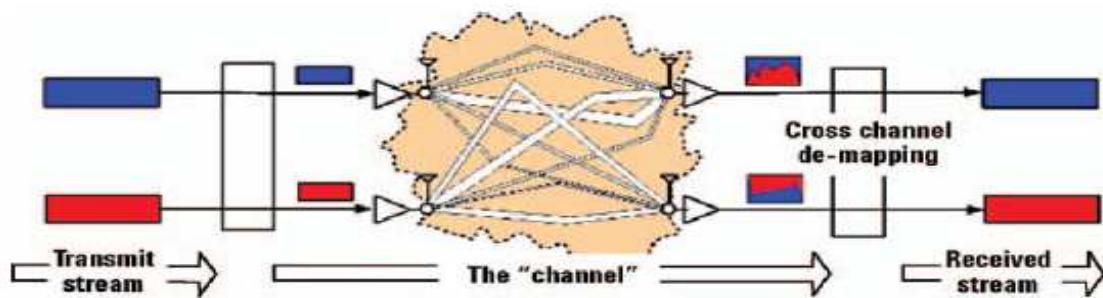
Ο τελικός φαίνεται στο Σχήμα 57 είναι πλήρης MIMO, η οποία απαιτεί δύο ή περισσότερους πομπούς και δύο ή περισσότερους δέκτες. Το MIMO αυξάνει τη φασματική χωρητικότητα από τις εκπεμπόμενες πολλαπλές ροές δεδομένων ταυτόχρονα στην ίδια συχνότητα και χρόνο, με πλήρη αξιοποίηση των διαφόρων διαδρομών στο ραδιοκάναλι. Για ένα σύστημα που περιγράφεται ως MIMO, πρέπει να έχει τουλάχιστον τόσους δέκτες



όσες μεταδίδουν ροές υπάρχουν. Ο αριθμός των μεταδιδόμενων ροών δεν πρέπει να συγχέεται με τον αριθμό των κεραιών μετάδοσης.

Ένας άλλος κρίσιμος παράγοντας για τη λειτουργία MIMO είναι ότι οι εκπομπές από κάθε κεραία πρέπει να είναι μοναδικά αναγνωρίσιμες, έτσι ώστε κάθε δέκτης μπορεί να καθορίσει ποιός συνδυασμός των μεταδόσεων έχει παραληφθεί. Αυτή η αναγνώριση συνήθως γίνεται με τα πιλοτικά σήματα, τα οποία χρησιμοποιούν ορθογώνια σχήματα για κάθε κεραία.

Η ποικιλομορφία χώρου του ραδιοκαναλιού σημαίνει ότι το MIMO έχει τη δυνατότητα να αυξήσει τον ρυθμό των δεδομένων. Η πιο βασική μορφή του MIMO αποδίδει μια ροή δεδομένων σε κάθε κεραία και φαίνεται στο σχήμα.



Εικόνα 58: MIMO 2x2, no precoding

Σε αυτή τη μορφή, μια ροή δεδομένων είναι μοναδικά καταχωρημένη σε μία κεραία, γνωστή ως άμεση χαρτογράφηση. Το κανάλι, στη συνέχεια, αναμιγνύει τις δύο μεταδόσεις έτσι ώστε, κατά τους δέκτες, κάθε κεραία βλέπει ένα συνδυασμό κάθε ρεύματος. Αποκωδικοποιώντας τα σήματα που λαμβάνονται είναι μια έξυπνη διαδικασία, στην οποία οι δέκτες, από την ανάλυση των σχεδίων που προσδιορίζουν μοναδικά κάθε πομπό, καθορίζουν τι συνδυασμός θα είναι παρόν σε κάθε μεταδιδόμενη ροή. Η εφαρμογή ενός αντίστροφου φίλτρου και η άθροιση των λαμβανόμενων ρευμάτων επαναδημιουργεί τα αρχικά δεδομένα.

## 6.2 Πλεονεκτήματα του MIMO

Τα οφέλη της τεχνολογίας MIMO που συμβάλει στην επίτευξη αυτού του σημαντικού κέρδους απόδοσης είναι το κέρδος της συστοιχίας, το κέρδος χώρου διαφορισμού, το κέρδος της χωρικής πολυπλεξίας και η μείωση παρεμβολής. Τα οφέλη περιγράφονται εν συντομία παρακάτω.

### 6.2.1 Κέρδος συστοιχίας (Array gain)

Το κέρδος συστοιχίας είναι η αύξηση του λαμβανόμενου SNR που προκύπτει από ένα συνεκτικό αποτέλεσμα των ασύρματων σημάτων στο δέκτη. Ο συνεπής συνδυασμός μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της χωρικής επεξεργασίας κατά τη συστοιχία κεραιών λήψης ή / και χωρικών προεπεξεργασία στην συστοιχία κεραιών εκπομπής. Το κέρδος συστοιχίας βελτιώνει την αντοχή στο θόρυβο, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της κάλυψης και της εμβέλειας του ασύρματου δικτύου.

### 6.2.2 Χωρικός διαφορισμός κέρδους (Spatial diversity gain)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η στάθμη του σήματος σε έναν δέκτη σε ένα ασύρματο σύστημα αυξομειώνεται ή εξασθενεί. Το κέρδος χωρικού διαφορισμού μετριάζει την εξασθένιση και πραγματοποιείται από την παροχή του δέκτη με πολλαπλά αντίγραφα του εκπεμπόμενου σήματος στο χώρο, τη συχνότητα ή το χρόνο. Με ένα αυξανόμενο αριθμό των ανεξάρτητων αντιγράφων (ο αριθμός των αντιγράφων συχνά αναφέρεται ως η σειρά ποικιλομορφίας), την πιθανότητα ότι τουλάχιστον ένα από τα αντίγραφα δεν βιώνει μια βαθιά αύξηση εξασθένησης, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα και την αξιοπιστία της υποδοχής.

### 6.2.3 Μείωση και αποφυγή παρεμβολών (Interference reduction and avoidance)

Η παρεμβολή σε ασύρματα δίκτυα είναι αποτελέσματα από πολλούς χρήστες που μοιράζονται το χρόνο και τους πόρους. Η παρεμβολή μπορεί να μετριαστεί σε συστήματα MIMO, αξιοποιώντας τη χωρική διάσταση για την αύξηση του διαχωρισμού μεταξύ των χρηστών. Για παράδειγμα, με την παρουσία της παρεμβολής, το κέρδος συστοιχίας αυξάνει την ανοχή στο θόρυβο, καθώς και η παρεμβολή ισχύος, ως εκ τούτου, η βελτίωση του λόγου σήματος προς θόρυβο συν παρεμβολή (SINR). Επιπλέον, η χωρική διάσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς αποφυγής παρεμβολών, δηλαδή, κατευθύνοντας την ενέργεια του σήματος προς τον προβλεπόμενο χρήστη και την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών σε άλλους χρήστες.

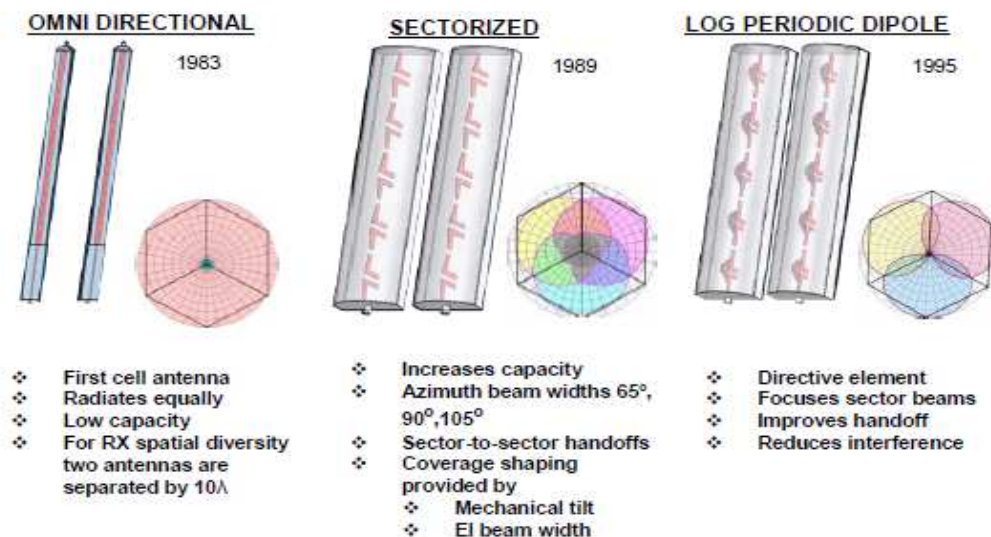
Σε γενικές γραμμές, μπορεί να μην είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν ταυτόχρονα όλα τα οφέλη που περιγράφεται ανωτέρω λόγω των αντιφατικών απαιτήσεων για τους βαθμούς

χώρου ελευθερίας. Όμως, χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό από τα οφέλη σε ένα ασύρματο δίκτυο θα έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της ικανότητάς, την κάλυψη και την αξιοπιστία.

### 6.3 BS ANTENNA

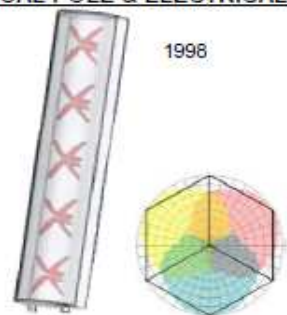
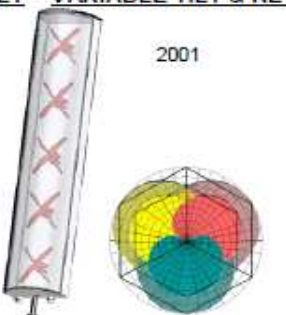
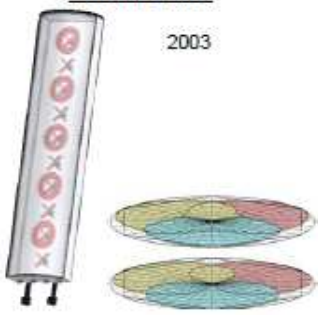
Η τεχνολογία της κεραίας του σταθμού βάσης έχει προχωρήσει αποκρινόμενη στις ανάγκες της βιομηχανίας και των τάσεων. Οι βασικοί οδηγοί έχουν τη συνεχή προσθήκη κυψελωτες ζώνες συχνοτήτων, η ένταξη των περισσότερων λειτουργιών σε ενιαία εγκατάσταση, και τις τεχνικές κεραία που συμβάλλουν πρόσθετη δυναμικότητα για την κυψελοειδή δίκτυα. Τα ακόλουθα στοιχεία περιγράφουν συνοπτικά την εξέλιξη του σταθμού βάσης της κεραίας συμπεριλαμβανομένων των προηγμένων τεχνολογιών της κεραίας κατά τη χρήση και τις αναδυόμενες σήμερα.[17][18]

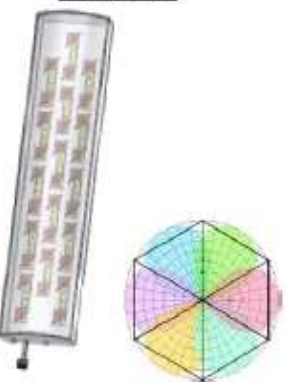
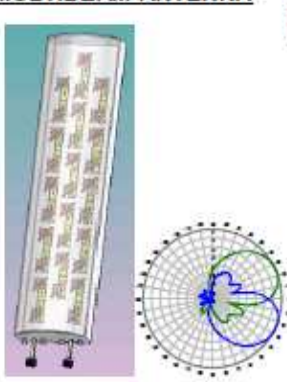

- Νωρίτερη τεχνολογία



Εικόνα 59:Κεραίες προηγούμενης τεχνολογίας

• Τωρινή τεχνολογία

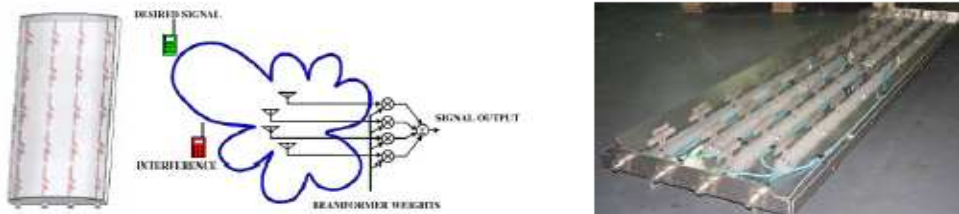
<b>DUAL POLE &amp; ELECTRICAL TILT</b>	<b>VARIABLE TILT &amp; RET</b>	<b>MULTI BAND</b>
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Polarization diversity replaces spatial diversity</li> <li>❖ One dual, slant 45 polarization antenna replaces two vertical pol antennas</li> <li>❖ Electrical tilt replaces mechanical tilting</li> <li>❖ Electrical tilt superior due to undistorted coverage as the beam tilts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Internal phase shifter controls variable beam tilt</li> <li>❖ Beamtilt adjustment of the cell radius to optimize interference and handover</li> <li>❖ Motorizing the phase shifter for Remote Electrical Tilt</li> <li>❖ RET avoids the cost of tower climbs when optimizing the beam tilt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ DualBand combines low band and high band arrays into one radome</li> <li>❖ Minimizes radome count, lease cost, wind loading, and tower loading</li> <li>❖ Each band has independent RET for separate optimization</li> <li>❖ TriBand versions are offered</li> </ul>

<b>6 SECTOR</b>	<b>MULTIBEAM ANTENNA</b>	<b>CONCEALMENT &amp; INTEGRATION</b>
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Additional sectorization increases capacity</li> <li>❖ 33° and 45° beam widths</li> <li>❖ Multiple antenna columns creates the narrow beam</li> <li>❖ DualBands available but not common</li> <li>❖ RET</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Multi-beams from a single array –butler matrix feed</li> <li>❖ Separate ports for each beam</li> <li>❖ Independent tilt for each beam</li> <li>❖ Reduces the number of antennas for a six sector site from six to three</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 3-sectors in one radome</li> <li>❖ Improved aesthetics and concealment</li> <li>❖ TMAs can also be integrated</li> </ul>

Εικόνα 60:Κεραίες τωρινής τεχνολογίας

- Προηγμένη Τεχνολογία

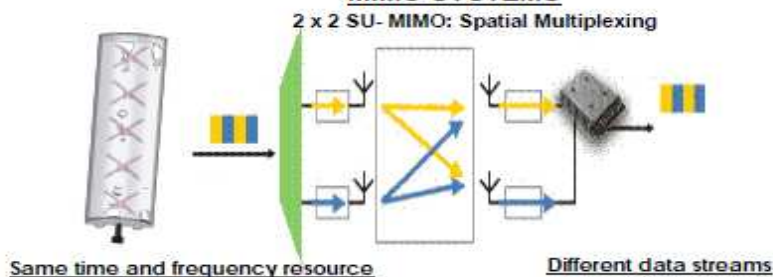
**ADAPTIVE ARRAY (AA)**



- Planar Array – multiple columns of radiators
- External DSP controls the horizontal antenna pattern
- A unique beam tracks each mobile
- Pattern nulls mitigate interfering signals
- Increased S/N generates capacity improvements
- 4,6, & 8 column v-pol used for WiMax and TD\_SCDMA
- 4 column dual-pols are now also used – 8 ports
- $\lambda/2$  spacing between columns is required as coherence is needed to form beams (correlation)
- Calibration is needed to eliminate phase and amplitude variation in feeder cables
- Often tower top electronics are used with AA
- AA is best suited for TDD and LOS applications

Εικόνα 61:Κεραίες προηγμένης τεχνολογίας

**MIMO SYSTEMS**



- Multiple Input Multiple Output
- Capacity gains due to multiple antennas at both ends of the link
- Multipath provides additional channel using DSP
- LTE supports 1x2,2x2,4x2,4x4
- Spatial Multiplexing requires a multipath environment
- Space Time Block Coding is a transmit diversity mode used when S/N cannot support Spatial multiplexing
- Decorrelation between antennas and propagation paths required for Spatial multiplexing
- A Dual polarized BSA for 2x2 MIMO; two separated for 4x2 or 4x4 MIMO
- Alternatively vertically polarized antennas can be used with spatial separation

Εικόνα 62:Κεραία MIMO

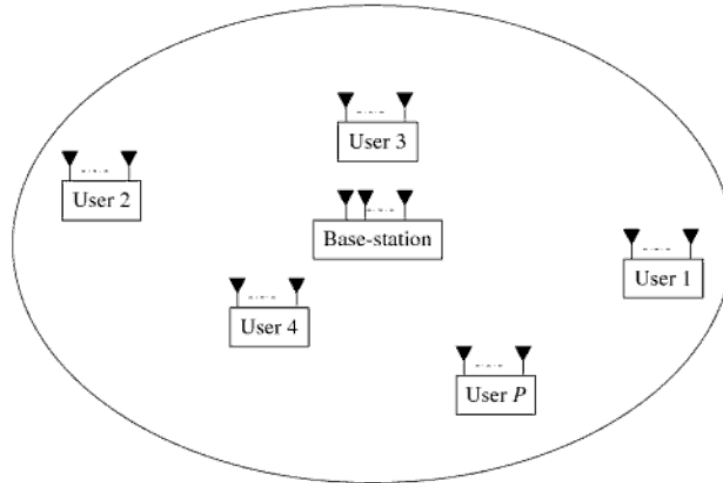
## 6.4 MIMO σε ασύρματα δίκτυα

Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως ως κυψελωτά ή ad hoc δίκτυα. Ένα κυψελοειδές δίκτυο χαρακτηρίζεται από την κεντρική επικοινωνία πολλαπλών χρηστών μέσα σε μια κυψέλη που επικοινωνεί με ένα σταθμό βάσης που ελέγχει όλη τη μετάδοση / λήψη δεδομένων και την προωθεί στους χρήστες. Αντιθέτως, σε ένα ad hoc δίκτυο, όλοι οι τερματικοί σταθμοί επί ίσοις όροις - οποιοδήποτε τερματικό μπορεί να λειτουργήσει ως αποστολέας ή παραλήπτης των δεδομένων ή ως ρελέ για άλλες μεταδόσεις. Αυτό το τμήμα εξετάζει εν συντομία τη χρήση της τεχνολογίας MIMO σε κάθε ένα από αυτά τα δίκτυα, και επίσης συζητά μια νέα μορφή της τεχνολογίας, είναι γνωστή ως κατανεμημένη MIMO.

### 6.4.1 MIMO σε κυψελωτά δίκτυα

Σε ένα κυψελωτό δίκτυο ασύρματης επικοινωνίας, πολλαπλοί χρήστες μπορούν να επικοινωνήσουν στον ίδιο χρόνο και/ή συχνότητα. Η πιο επιθετική την επαναχρησιμοποίηση των πόρων του χρόνου και των συχνοτήτων, η μεγαλύτερη χωρητικότητα του δικτύου, παρέχει ότι τα μεταδίδονται τα σήματα μπορούν να ανιχνευθούν με αξιόπιστο τρόπο. Οι πολλαπλοί χρήστες μπορούν να χωριστούν σε χρόνο (διαίρεση χρόνου) ή σε συχνότητα (διαίρεση συχνότητας) ή σε κώδικα (διαίρεση κώδικα). Η χωρική διάσταση των καναλιών MIMO, παρέχουν μια επιπλέον διάσταση για διαχωρισμό χρηστών, επιτρέποντας πιο επιθετική επαναχρησιμοποίηση των πόρων του χρόνου και της συχνότητας, αυξάνοντας έτσι την χωρητικότητα του δικτύου. Στο σχήμα φαίνεται μια κυψέλη ενός MIMO κυψελωτού δικτύου. Ο σταθμός βάσης είναι εξοπλισμένος με  $L$  κεραιές που επικοινωνούν με  $P$  χρήστες καθένας εξοπλισμένος με  $M$  κεραιές. Το κανάλι από τον σταθμό βάσης στους χρήστες (downlink) είναι αναμεταδιδόμενο κανάλι (broadcast channel-BS) ενώ το κανάλι από τους χρήστες στο σταθμο βάσης (uplink) είναι πολλαπλής πρόσβασης κανάλι (Multiple Access Channel-MAC). Το σύνολο των πλειάδων-ρυθμών ( $R_1, R_2, \dots, R_P$ ) μπορεί να υποστηρίξει το συνιστώμενο downlink και uplink της περιοχής ρυθμού χωρητικότητας για την σύνδεση. Πρόσφατα μια σημαντική δυαδικότητα έχει ανακαλυφθεί μεταξύ των περιοχών ρυθμού για τα downlink και uplink κανάλια. Για να γίνει κατανοητό το πιθανό κέρδος από την τεχνολογία MIMO σε ένα περιβάλλον πολλών χρηστών, θεωρούμε το uplink ενός κυψελωτού συστήματος MIMO όπου όλοι οι χρήστες μεταδίδουν ταυτόχρονα ανεξάρτητα δεδομένα από κάθε εκπεμπόμενη κεραιά τους πχ. Κάθε χρήστης σηματοδοτείται με χωρική πολυπλεξία. Στον σταθμό βάσης, οι χρήστες ενώνονται, εμφανίζονται ως μια πολλαπλή κεραιά πομπού με  $PM$  κεραιές. Έτσι το αποτελεσματικό κανάλι του uplink έχει μια διάσταση  $L \times PM$ . Αυτό το αποτελεσματικό κανάλι θα έχει μια σημαντική διαφορά δομής από το κανάλι απλού χρήστη  $H_w$  MIMO λόγω των διαφορών path-loss και της σκίασης (shadowing) μεταξύ των χρηστών. Ωστόσο, με την πλούσια διασπορά και  $L \geq PM$ , μπορούμε να αναμένουμε ότι η χωρική υπογραφή των χρηστών είναι καλά διαχωρισμένοι για να επιτρέπουν την αξιόπιστη ανίχνευση.

Χρησιμοποιώντας ένα πολυχρηστικό ZF δέκτη θα επιτρέψει τέλειο διαχωρισμό όλων των ροών δεδομένων στο σταθμό βάσης, αποφέροντας ένα πολυχρηστικό κέρδος πολυπλεξίας του PM.



Εικόνα 63: MIMO κυψελωτό δίκτυο. Ο σταθμός βάσης με  $L$  κεραιές επικοινωνεί με  $P$  χρήστες καθένας εξοπλισμένος με  $M$  κεραιές.

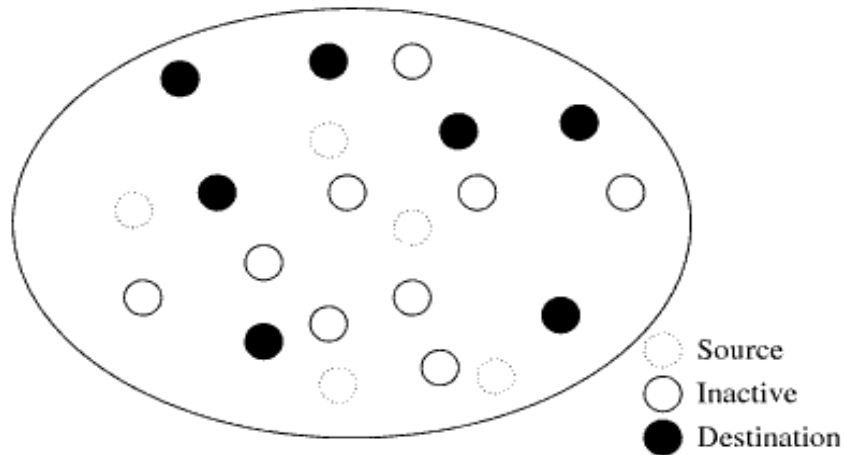
#### 6.4.2 MIMO σε ad hoc δίκτυα

Στο σχήμα δείχνει ένα ασύρματο ad hoc δίκτυο. Σε μια δεδομένη στιγμή του χρόνου, ένα υποσύνολο των τερματικών θα είναι πηγές δεδομένων και ένα άλλο υποσύνολο του προορισμός. Οι τερματικοί σταθμοί του δικτύου που δεν είναι ούτε πηγές ούτε προορισμοί μπορούν να λειτουργήσουν ως κέντρα για να βοηθήσει τη διαβίβαση των δεδομένων στο δίκτυο. Έτσι, ο αριθμός των λειτουργούντων τρόπων σε ένα δίκτυο ad hoc είναι πολύ μεγάλη και θα είναι, γενικά, αποτελούνται από συνδυασμούς πολλαπλής πρόσβασης, μετάδοση, αναμετάδοση και τα κανάλια παρεμβολών. Μολονότι το τελικό όριο επίδοσης ενός ad hoc δικτύου είναι άγνωστο, είναι σαφές ότι θα εκμεταλλεύονται την χωρική διάσταση μέσα από τη χρήση της τεχνολογίας MIMO σε κάθε ένα από τα δομικά στοιχεία (δηλαδή τα συστατικά πολλαπλής πρόσβασης, μετάδοση, αναμετάδοση και τα κανάλια παρεμβολών) θα αυξηθεί της συνολικής χωρητικότητας του δικτύου.

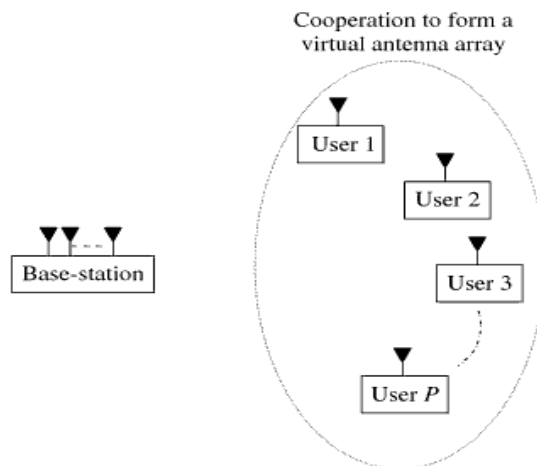
#### Κατανεμημένο MIMO

Ενώ η τεχνολογία MIMO προσφέρει σημαντικά οφέλη από τις επιδόσεις, το κόστος ανάπτυξης και εγκατάστασης πολλαπλών κεραιών σε τερματικούς σταθμούς σε ένα δίκτυο μπορεί να είναι απαγορευτικό, τουλάχιστον για το άμεσο μέλλον. Ο διαμοιρασμός MIMO είναι ένα μέσο για την υλοποίηση των κερδών του MIMO με τερματικά μονής κεραιάς σε ένα δίκτυο, επιτρέποντας για σταδιακή μετάβαση σε ένα πραγματικό MIMO δίκτυο. Η προσέγγιση απαιτεί κάποιο επίπεδο συνεργασίας μεταξύ των τερματικών του δικτύου.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλα σχεδιασμένα πρωτόκολλα. Τα συνεργαζόμενα τερματικά σχηματίζουν μια εικονική κεραία που αξιοποιεί τα οφέλη του MIMO σε ένα κατανομημένο τρόπο. Τα οφέλη των αξιόλογων επιδόσεων μπορούν να επιτευχθούν με αυτή την προσέγγιση. Η έννοια αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε δύο κυψελωτά καθώς και ad hoc ασύρματα δίκτυα.[8]



Εικόνα 64: Ad hoc δίκτυο



Εικόνα 65:Κατανομημένο MIMO



*Multimedia Broadcast Multicast Service*  
*(MBMS)*

## 7. Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS)

### 7.1 Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια του 2004, πολλοί φορείς κινητής τηλεφωνίας παρουσίασαν υπηρεσίες κινητής τηλεόρασης, που επιτρέπουν στους χρήστες να παρακολουθούν τηλεόραση στα κινητά τερματικά τους. Επί του παρόντος, η κινητή τηλεόραση είναι προσφέρεται μέσω τεχνολογίας streaming πάνω σε point to point συνδέσεις. Ωστόσο, η μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη της αγοράς των μέσων μαζικών υπηρεσιών ενημέρωσης όπως η κινητή τηλεόραση θα απαιτήσει νέες δυνατότητες κινητού δικτύου που συνήθως αναφέρονται ως broadcast/multicast.

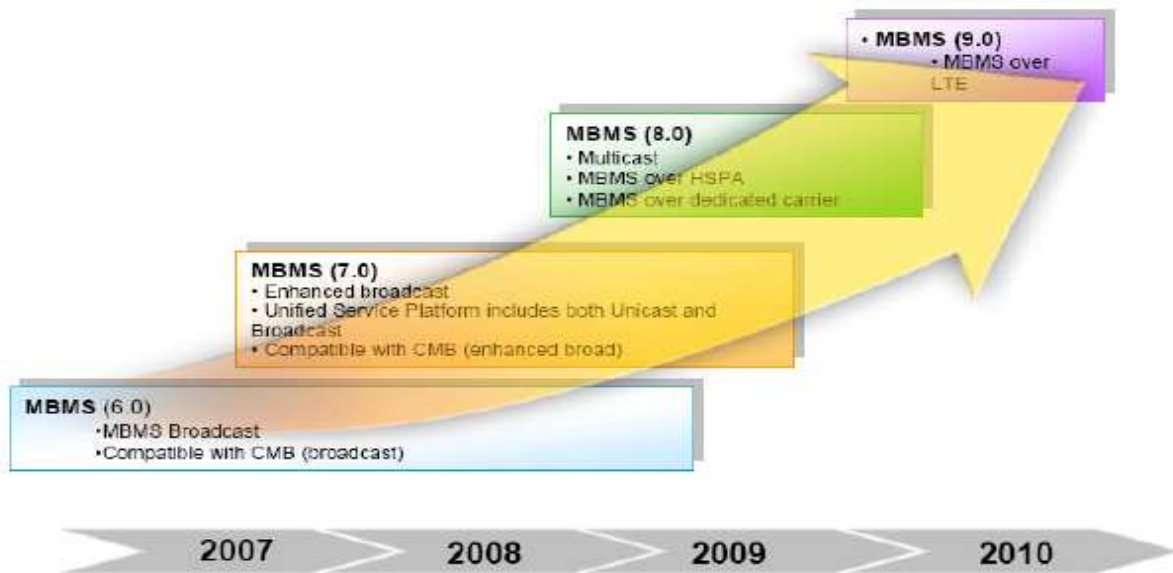
Η τηλεφωνία, αποστολή μηνυμάτων και streaming και οι download υπηρεσίες βασίζονται στην point to point (PTP) επικοινωνία. Τα τελικά σημεία είναι είτε δύο τηλέφωνα σε μια φωνητική κλήση, ή, στην περίπτωση μιας συνεδρίας download ή streaming, μια σύνδεση client-server.

Οι κινητές τεχνολογίες μετάδοσης και των υπηρεσιών πολλαπλής διανομής από την άλλη πλευρά είναι συνώνυμα για την point-to-multipoint (PTM), επικοινωνία όπου τα πακέτα δεδομένων διαβιβάζονται ταυτόχρονα από μια πηγή σε πολλαπλούς προορισμούς. Ο όρος broadcast αναφέρεται στην ικανότητα για την παροχή περιεχομένου σε όλους τους χρήστες. Γνωστά παραδείγματα είναι οι ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές υπηρεσίες, οι οποίες μεταδίδονται μέσω του αέρα (χερσαίων ή μέσω δορυφόρου) και μέσω των δικτύων καλωδιακής τηλεόρασης. Το multicast, από την άλλη πλευρά, αναφέρεται σε υπηρεσίες που παρέχονται αποκλειστικά στους χρήστες που έχουν ενταχθεί σε μια συγκεκριμένη ομάδα πολλαπλής διανομής. Συνήθως, μια ομάδα πολυεκπομπής είναι μια ομάδα από χρήστες που ενδιαφέρονται για ένα συγκεκριμένο είδος περιεχομένου, για παράδειγμα, αθλητικά, ειδήσεις, κινούμενα σχέδια και άλλα. Ένα multicast-enabled δίκτυο εξασφαλίζει ότι το περιεχόμενο διανέμεται αποκλειστικά μέσω αυτών των δεσμών που υπηρετούν δέκτες που ανήκουν στην αντίστοιχη ομάδα πολλαπλής διανομής. Πρόκειται επομένως για ένα αποδοτικό τρόπο για την παροχή υπηρεσιών σε μεγάλες ομάδες χρηστών. Το multicasting εισήχθη για πρώτη φορά μέσω του Διαδικτύου. Σήμερα, χρησιμοποιείται για την παροχή υπηρεσιών ραδιοφώνου μέσω Διαδικτύου.

Στο 3GPP, το στοιχείο εργασίας καλείται Multimedia Broadcast και Multicast Service (MBMS). Στο 3GPP2 καλείται Broadcast και Multicast Service (BCMCS). Οι προδιαγραφές των κινητών υπηρεσιών κινητής μετάδοσης ήταν λειτουργικά στάσιμες το 2004. Το 3GPP MBMS και 3GPP2 BCMCS έχουν πολλά κοινά σημεία.

Η Εικόνα 66 απεικονίζει γραφικά το χρονοδιάγραμμα εξέλιξης της MBMS υπηρεσίας

στα διαδοχικά πρότυπα του 3GPP standard. Από την εικόνα αυτή παρατηρείται ότι η 3GPP θεωρεί την MBMS υπηρεσία κρίσιμη για την εξέλιξη των κινητών δικτύων επόμενης γενιάς, αφού αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι τόσο του HSPA (Release 8) όσο και του μελλοντικού LTE (Release 8).



Εικόνα 66: Η εξέλιξη της MBMS τεχνολογίας

## 7.2 MBMS στο LTE

Μια αρχική LTE απαίτηση του σχεδιασμού ήταν να στηρίξει μια βελτιωμένη έκδοση του MBMS σε σχέση στο UMTS Release 6. Οι στόχοι που περιλαμβάνονται στην αποτελεσματικότητα του φάσματος σε μια κυψέλη σε αστικό ή προαστιακό περιβάλλον του 1 bps / Hz - που ισοδυναμεί με την υποστήριξη τουλάχιστον 16 καναλιών κινητής TV γύρω στα 300 kbps ανά κανάλι σε έναν μεταφορέα 5 MHz. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο αξιοποιώντας τα ειδικά χαρακτηριστικά της LTE OFDM διεπαφής αέρα σε μια λειτουργία ενιαίας συχνότητας δικτύου. Επίσης, αναγνώρισε ότι η εμπειρία του χρήστη δεν είναι καθορίζεται απλώς από το ρυθμό των δεδομένων που έχει επιτευχθεί, αλλά και από άλλους παράγοντες όπως ο χρόνος διακοπής όταν αλλάζουν τα κανάλια.

Αυτό έχει επιπτώσεις για το σχεδιασμό της σηματοδότησης ελέγχου MBMS, το οποίο είναι επίσης εκτεταμένα επανασχεδιαστεί για το LTE.

### 7.2.1 Single Frequency Network MBMS (SFN MBMS)

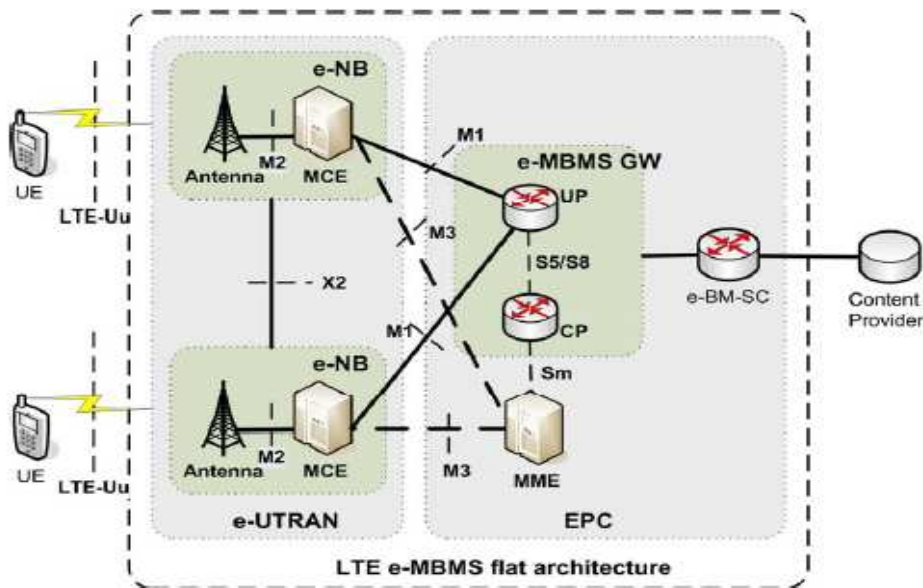
Σε MBSFN λειτουργία, τα MBMS δεδομένα μεταδίδονται ταυτόχρονα πάνω από τον αέρα από πολλαπλές χρονικές συγχρονισμένες κυψέλες. Μια ομάδα από αυτές κυψέλες έχουν ως στόχο να λαμβάνουν τα εκπομπόμενα MBSFN στοιχεία που αποτελούν τη λεγόμενη MBSFN περιοχή. Όλα τα κελιά σε μια περιοχή MBSFN συμβάλλουν στην MBSFN εκπομπή και διαφημίζουν τη διαθεσιμότητά του. Ο εξοπλισμός χρήστη (UE) του δέκτη θα τηρήσει ως εκ τούτου πολλαπλές εκδοχές του σήματος με διαφορετικές καθυστερήσεις που οφείλονται στις πολυκυψελωτές μετάδοσης. Στην πραγματικότητα, αυτό κάνει η μετάδοση MBSFN, όπως θεωρείται από τον UE, η μετάδοση σε μια μεγάλη κυψέλη, και ο UE δέκτης μπορεί να διαχειριστεί πολυκυτταρικές μεταδόσεις με τον ίδιο τρόπο όπως και οι συνιστώσες πολλαπλών διαδρομών της μονοκυψελωτής μετάδοσης χωρίς να συνεπάγεται οποιαδήποτε πρόσθετη πολυπλοκότητα. Το UE δεν χρειάζεται καν να γνωρίζει πόσες κυψέλες μεταδίδουν το σήμα.

Ο τρόπος μετάδοσης MBSFN οδηγεί σε σημαντικές βελτιώσεις την φασματική απόδοση σε σύγκριση με το Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) MBMS, καθώς η μετάδοση MBSFN βελτιώνει σημαντικά το σήμα σε Signal to Interference Noise Ratio (SINR). Αυτό είναι εξαιρετικά επωφελής στην άκρη κελιού, όπου μεταδόσεις (οι οποίες στο UMTS, θεωρούνται ως παρεμβολή μεταξύ των κυττάρων) μεταφράζονται σε χρήσιμη ενέργεια σήματος και ως εκ τούτου η ισχύς του σήματος που ελήφθη είναι αυξημένη, ενώ, την ίδια στιγμή η ισχύς παρεμβολής μειωμένη αισθητά. Σε γενικές γραμμές MBSFN προσφέρει καλύτερες επιδόσεις σε σύγκριση με το κλασικό και μόνοκύτταρο point-to-point (PTP) ή point-to-multipoint (PTM) μεταδόσεις. Επιπλέον, η απόδοση της μετάδοσης MBSFN εξαρτάται από τον αριθμό των κυψελών που εκπέμπουν στην MBSFN υπηρεσίας. Συγκεκριμένα, έχει αποδειχθεί ότι οι MBSFN επιδόσεις στη διεπαφή του αέρα αυξάνονται δραματικά, όταν εκτός από τις κυψέλες που περιέχουν χρήστες, τα γειτονικά κυττάρια συνδράμουν επίσης κατά τη μετάδοση MBSFN.

### 7.2.2 E-MBMS

Στο πλαίσιο του «Long Term Evolution» των συστημάτων 3G το MBMS θα εξελιχθεί στο e-MBMS ("e-" αντιπροσωπεύει το evolved). Το LTE e-MBMS στοχεύει στην παροχή broadcast και multicast υπηρεσιών που συνδυάζουν την ευελιξία και η υψηλή αποδοτικότητα στην πληρότητα του φάσματος. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω της αύξησης της απόδοσης της διεπαφής αέρα που θα περιλαμβάνει νέο σύστημα μετάδοσης που ονομάζεται Multimedia Broadcast multicast service over a Single Frequency Network (MBSFN).

Η αρχιτεκτονική e-MBMS απεικονίζεται στο σχήμα 67. Μέσα στο e-UTRAN (evolved UTRA Network), το e-NBS (evolved NodeB ή του σταθμό βάσης), οι συλλέκτες των πληροφοριών που πρέπει να διαβιβάζονται στους χρήστες μέσω του διεπαφής αέρος. Η MCE (Multi-cell/multicast Coordination Entity) συντονίζει τη διαβίβαση των συγχρονισμένων σημάτων από διαφορετικά κελιά (e-NBS). Το MCE είναι υπεύθυνο για την κατανομή των ίδιων ραδιοπόρων, χρησιμοποιούνται από όλους τους e-NBS στον τομέα MBSFN για πολυκυψελωτές MBMS μεταδόσεις. Εκτός από την κατανομή του χρόνου /συχνοτήτων ραδιοπόρων, το MCE είναι επίσης υπεύθυνο για την ράδιο διαμόρφωση π.χ. επιλογή της διαμόρφωσης και σχήματος κωδικοποίησης.



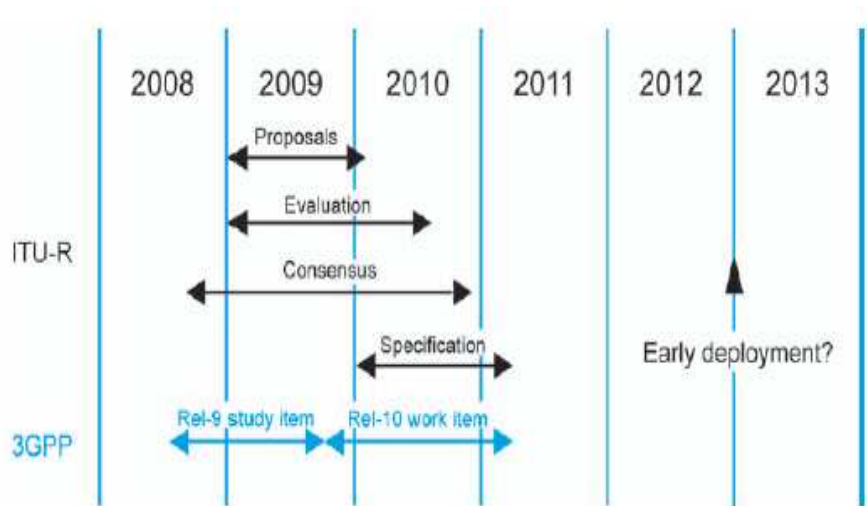
Εικόνα 67: Αρχιτεκτονική του e-MBMS

Το e-MBMS GW (e-MBMS Gateway) είναι φυσικά τοποθετημένο μεταξύ του e-BM-SC και e-NBS και η αρχή λειτουργίας είναι να προωθήσει τα πακέτα MBMS σε κάθε e-NB μετάδοσης της υπηρεσίας. Επιπλέον, το e-MBMS GW εκτελεί MBMS Συνεδρεία Ελέγχου Σηματοδότησης (Session start/ stop) για την το e-UTRAN μέσω MME (Mobility Management Entity). Το e-MBMS GW λογικά χωρίζεται σε δύο τομείς. Το πρώτο είναι που σχετίζονται με τον έλεγχο επιπέδου, ενώ το άλλο έχει σχέση με τον επίπεδο χρήστη. Ομοίως, οι δύο διαφορετικές διεπαφές έχουν οριστεί μεταξύ e-MBMS GW και e-UTRAN δηλαδή M1 για το user plane και M3 για control plane. M1 interface κάνει χρήση του πρωτοκόλου IP multicast για την παράδοση των πακέτων στο e-NBS. M3 διεπαφή υποστηρίζει τον έλεγχο σύνοδου MBMS σηματοδότησης, π.χ. για έναρξης περιόδου λειτουργίας και τερματισμού.[33][34]

*LTE Advanced*  
*4 G*

## 8.1 Κοιτάζοντας το μέλλον

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 Ένωση Τηλεπικοινωνιών Τομέας Ραδιοεπικοινωνιών (ITU-R). Ένα χρονοδιάγραμμα για IMT-Advanced προγράμμα και των παράλληλων δραστηριοτήτων του 3GPP για LTE-Advanced παρουσιάζεται στο Σχήμα 41.



Εικόνα 68: Συνολικό χρονοδιάγραμμα του IMT-Advanced και του LTE-Advanced

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.

Το υπόλοιπο του παρόν σημείου ασχολείται με τις δύο πτυχές: απαιτήσεις και τεχνικές προτάσεις για την τεχνολογία LTE Advanced

## 8.2 Απαιτήσεις του LTE-Advanced.

Οι απαιτήσεις υψηλού επιπέδου για τις IMT-Advanced που ορίζει η ITU-R είναι οι εξής:

- Ο υψηλός βαθμός κοινής λειτουργικότητας σε όλο τον κόσμο, διατηρώντας ταυτόχρονα την ευελιξία για να καλύψουν ένα ευρύ φάσμα των τοπικών υπηρεσιών και εφαρμογών στον οικονομικά αποδοτικό τρόπο
- Συμβατότητα των υπηρεσιών με IMT και με τα σταθερά δίκτυα
- Δυνατότητα διασύνδεσης των τερματικών με άλλα συστήματα ασύρματης πρόσβασης

- Υψηλής ποιότητας υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας
- χρήστη εξοπλισμό κατάλληλο για χρήση σε όλο τον κόσμο
- Φιλικό προς το χρήστη εφαρμογές, υπηρεσίες και εξοπλισμός
- Παγκόσμια δυνατότητας περιαγωγής
- Βελτιωμένα δεδομένα κορυφή downlink ποσοστά για την υποστήριξη προηγμένων υπηρεσιών και εφαρμογές (100 Mbps για υψηλή κινητικότητα και 1 Gbps για χαμηλή κινητικότητα ήταν καθιερωθεί ως στόχους για την έρευνα).

Οι εργασίες του 3GPP να καθορίσει μια τεχνολογία ράδιο διεπαφής ξεκινά στο Release 9 με τη μελέτη του LTE-Advanced. Οι απαιτήσεις για το LTE-Advanced δίδονται στο 36,913, "Απαιτήσεις για τις περαιτέρω εξελίξεις για το E-UTRA LTE-Advanced "[22]. Οι απαιτήσεις αυτές βασίζονται στις απαιτήσεις του ITU-R για IMT-Advanced καθώς και τους 3GPP φορείς για τις δικές απαιτήσεις για την προώθηση LTE. Τα βασικά στοιχεία περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Συνεχή βελτίωση της τεχνολογίας LTE ράδιο τεχνολογίας και την αρχιτεκτονικής
- Σενάρια και απαιτήσεις επιδόσεων για συνεργασία με Radio Access Technologies (RATs)
- Επιστροφή στη συμβατότητα του LTE-Advanced με LTE, δηλαδή, ένα LTE τερματικό μπορεί να εργάζεται σε δίκτυο LTE-Advanced και ένα τερματικό LTE Advanced-μπορεί να λειτουργήσει ένα δίκτυο LTE. Τυχόν εξαιρέσεις θα πρέπει να εξεταστεί από 3GPP.
- Λαμβάνοντας υπόψη τις πρόσφατες αποφάσεις της WRC-07 για τις νέο IMT φάσμα, όπως επίσης και τις υφιστάμενες ζώνες συχνοτήτων για να εξασφαλιστεί ότι το LTE-Advanced φιλοξενεί γεωγραφικά διαθέσιμο φάσμα για εκχώρηση καναλιών πάνω από 20 MHz. Επίσης, απαιτήσεις οφείλει να αναγνωρίσει τα μέρη του κόσμου στον οποίο τα ευρυζωνικά κανάλια δεν θα είναι διαθέσιμα.



### 8.3 Προτάσεις για λύσεις του LTE-Advanced

Το αντικείμενο μελέτης του LTE-Advanced είναι σε πλήρη ροή και ένα μεγάλο αριθμός λύσεων που εξετάζονται από το 3GPP. Αρκετές κατηγορίες έρευνας επισημαίνονται παρακάτω, καθένα από τα οποία ανταποκρίνεται σε μια συγκεκριμένη απαίτηση του IMT-Advanced.

#### 8.3.1 Υποστηρίζει ευρύτερο bandwidth

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του LTE-Advanced θα είναι το ευέλικτο φάσμα χρήσης. Η δομή για την τεχνολογία διεπαφής αέρα του LTE-Advanced εξαρτάται κυρίως από τη χρήση της ευρύτερης ζώνης, ενδεχομένως ακόμα και μέχρι 100 MHz, μη συνεχόμενου φάσματος ανάπτυξης, που αναφέρεται επίσης ως ενσωμάτωση του φάσματος, και ανάγκη ευέλικτης χρήσης του ραδιοφάσματος.

Σε γενικές γραμμές το OFDM παρέχει ένα απλό μέσο για την αύξηση του εύρους ζώνης: προσθήκη επιπλέον υπομεταφορέων. Λόγω του ασυνεχούς φάσματος που προορίζεται για το IMT-Advanced, το διαθέσιμο εύρος ζώνης μπορεί επίσης να είναι τεμαχισμένο. Ως εκ τούτου, οι εξοπλισμοί χρήστη θα πρέπει να είναι σε θέση να φιλτράρουν, να επεξεργάζονται και να αποκωδικοποιήσουν ένα μεγάλο μεταβλητό εύρος ζώνης. Η αύξηση πολυπλοκότητας της αποκωδικοποίησης είναι μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις αυτού του ευρύτερου εύρους ζώνης.

Όσον αφορά την κατανομή των πόρων με eNB και την ανάστροφη συμβατότητα με παλαιότερες εκδόσεις, ελάχιστες αλλαγές στις προδιαγραφές θα απαιτηθούν εάν προγραμματισμός, MIMO, Προσαρμογή Link και HARQ εκτελούνται πάνω από τις ομάδες των μεταφορέων στα 20MHz. Για παράδειγμα, ένας χρήστης που λαμβάνει πληροφορίες στα 100MHz εύρος ζώνης, θα χρειαστεί 5 αλυσίδες δέκτη, ένα για κάθε 20MHz μπλοκ.

#### 8.3.2 Συντονισμός Πολλαπλών Σημείων Μετάδοσης και Λήψης.

Συντονισμός Πολλαπλών Σημείων Μετάδοσης και Λήψης λαμβάνεται υπόψη για το LTE Advanced ως μία από τις πιο ελπιδοφόρες τεχνικές για τη βελτίωση των ποσοστών των δεδομένων, και συνεπώς αυξάνει κατά μέσο όρο απόδοση της κυψέλης. Συνίσταται στο συντονισμό της μετάδοσης και λήψη σημάτων από / προς ένα UE σε πολλά γεωγραφικά διανεμόντα σημεία. Μέχρι στιγμής, οι συζητήσεις έχουν επικεντρωθεί στην ταξινόμηση των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων και τον εντοπισμό των περιορισμών τους. Πιθανές επιπτώσεις στις προδιαγραφές που αποτελούνται από τρεις τομείς: ανατροφοδότηση και τη μέτρηση των μηχανισμών από το UE, προεπεξεργασμένα σχήματα και αναφορά σχεδιασμού σήματος.

### 8.3.3 Αντικατάσταση Λειτουργικότητας

Η αντικατάσταση μπορεί να παρέχεται από τρία διαφορετικά επίπεδα πολυπλοκότητας. Το πιο απλό είναι το πρώτο επίπεδο αντικατάστασης, δηλαδή, η χρήση των επαναληπτών. Οι επαναλήπτες λαμβάνουν το σήμα, το ενισχύουν και αναμεταδίδουν τις πληροφορίες αυτές που καλύπτει τις μαύρες τρύπες στο εσωτερικό των κυψελών. Οι τερματικοί σταθμοί μπορούν να κάνουν χρήση των επαναλαμβανόμενων και άμεσων σημάτων. Ωστόσο, προκειμένου να συνδυάσουν επικοινωνητικά τα δύο σήματα θα πρέπει να υπάρξει μια μικρή καθυστέρηση, λιγότερο από το κυκλικό πρόθεμα, στη υποδοχή τους.

Στο επίπεδο 2 της αντικατάστασης ο κόμβος αντικατάστασης έχει τη δυνατότητα να ελέγχει ένα μέρος τουλάχιστον του μηχανισμού RRM (Radio Resource Management). Σε ορισμένες υποδοχές του κόμβου αντικατάστασης ως τερματικός χρήστης είναι στη μετέπειτα υποδοχή ενός σταθμού βάσης μετάδοσης σε κάποιους χρήστες που βρίσκονται κοντά στην αντικατάσταση.

Τέλος, το τρίτο επίπεδο αντικατάστασης έχει σχεδιαστεί να χρησιμοποιεί τη πρόσβαση του LTE στην ασύρματη backhaul σύνδεση ενός eNB με άλλο eNB που συμπεριφέρεται ως ένα κομβικό σημείο. Αυτό το eNB δρομοογεί τα πακέτα μεταξύ της ενσύρματης και ασύρματης ζευξης, ενεργώντας σαν ένα δρομολογητή IP.

### 8.3.4 Ενισχυμένη εκπομπή MIMO.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο της τεχνολογίας LTE Advanced η δομή MIMO, όπως στη θεωρία αυτο προσφέρει έναν απλό τρόπο για να αύξησει την φασματική απόδοση. Ο συνδυασμός των υψηλότερων εκπομπών MIMO, διαμόρφωσης σε δέσμη ή πολλών χρηστών (MultiUser-MU) MIMO θεωρείται ως μία από τις βασικές τεχνολογίες για την LTE-Advanced.

Σε περίπτωση ενσωμάτωσης φάσματος, η συσχέτιση της κεραίας μπορεί να είναι διαφορετική κάθε τμήμα του φάσματος δεδομένου μιας σταθερής κεραίας διαμόρφωσης. Ως εκ τούτου, στο LTE Advanced ένα στοιχείο του καναλιού μπορεί να περιλαμβάνει τόσο χαμηλή συσχέτιση και υψηλή συσχέτιση σενάρια ταυτόχρονα. Δεδομένου ότι η MU-MIMO είναι πιο κατάλληλο για το σενάριο υψηλής συσχέτισης από το Single-User (SU) MIMO, για την πλήρη αξιοποίηση των χαρακτηριστικών των διαφόρων σεναρίων σκέδασης τόσο του SU-MIMO όσο και του MUMIMO θα πρέπει να χρησιμοποιείται ταυτόχρονα.

## 8.4 Το LTE στην Ελλάδα και στην Ευρώπη.

Πρώτη η COSMOTE είναι έτοιμη να εγκαινιάσει σε πιλοτική βάση τα δίκτυα της νέας τεχνολογίας LTE με ταχύτητες 100 Mbps στην Ελλάδα

Πιλοτικό ευρυζωνικό δίκτυο νέας τεχνολογίας LTE (Long Term Evolution), η οποία αποτελεί προπομπό των δικτύων κινητής τηλεφωνίας 4ης γενιάς, είναι έτοιμη να εγκαταστήσει η COSMOTE. Η εταιρεία έχει ήδη υποβάλει αίτημα για την παροχή της σχετικής άδειας για πιλοτικές δοκιμές από το Υπουργείο Υποδομών Μεταφορών και Δικτύων. Τα δίκτυα LTE επιτρέπουν ταχύτητες 100 Mbps για τη λήψη δεδομένων (downlink) και 45 Mbps για την αποστολή (uplink). Με αυτές τις ταχύτητες, που μπορούν να συγκριθούν μόνο με τις ταχύτητες των δικτύων οπτικών ινών, οι καταναλωτές θα μπορούν να απολαμβάνουν απρόσκοπτη πρόσβαση σε υπηρεσίες όπως High Definition streaming και High Definition video-conferencing, ταχύτατο browsing και αποστολή ή λήψη αρχείων κ.α. Χαρακτηριστικό είναι πως κατά μέσο όρο οι χρήστες θα μπορούν να κατεβάσουν μια HD ταινία σε 2-3 λεπτά.

Συνολικά, η εμπειρία των πελατών θα βελτιωθεί σημαντικά ακόμη και έναντι των δικτύων HSPA και HSPA+, καθώς θα απολαμβάνουν πολλαπλάσιες ταχύτητες και θα έχουν δυνατότητα χρήσης προηγμένων εφαρμογών.

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των δικτύων LTE είναι η δυνατότητά τους να λειτουργούν σε πολλές ζώνες συχνοτήτων, προσφέροντας ποιοτική κάλυψη με βέλτιστο κόστος και σε απομακρυσμένες περιοχές της χώρας, συνεισφέροντας σημαντικά στην ανάπτυξη της ευρυζωνικότητας.

Έως σήμερα, ελάχιστοι πάροχοι στον κόσμο έχουν αναπτύξει αντίστοιχα πειραματικά δίκτυα, γεγονός που επιβεβαιώνει την τεχνολογική πρωτοπορία της COSMOTE.

Η COSMOTE προτίθεται να αναπτύξει το πιλοτικό δίκτυο LTE στις περιοχές Αμαρουσίου και Χαλανδρίου, όπου βρίσκονται οι τεχνικές υπηρεσίες της εταιρείας.

### 8.4.1 TeliaSonera 4G

Η TeliaSonera ως ο πρώτος πάροχος στον κόσμο προωθεί 4G εμπορικές υπηρεσίες στους πελάτες στην Στοκχόλμη, στη Σουηδία και στο Όσλο στη Νορβηγία. Το 4G/LTE θα ανοίξει νέες δυνατότητες για τους πελάτες να χρησιμοποιήσουν και να απολαύσουν τις υπηρεσίες στα laptop τους που απαιτούν υψηλές ταχύτητες μετάδοσης και χωρητικότητα, όπως προηγμένη τηλεοπτική αναμετάδοση διαδικτύου, online gaming και online διασκέψεις. Τα δύο πρωτοποριακά 4G δίκτυα πόλεων καλύπτουν τις κεντρικές περιοχές πόλεων της Στοκχόλμης και του Όσλο και θα χρησιμοποιηθούν για κινητά δεδομένα.

Το δίκτυο της 4G πόλης της Στοκχόλμης παρέχεται από την Ericsson. Το δίκτυο της πόλης του Oslo παρέχεται από την Huawei. Τα modems προέρχονται από την Samsung.

➤ TeliaSonera στη Δανία

Η TeliaSonera στη Δανία έχει κερδίσει μια 4G άδεια για τις κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες της επόμενης γενιάς και θα προωθήσει τις 4G υπηρεσίες στους Δανούς πελάτες κατά τη διάρκεια της Άνοιξης του 2011. Το 4G προσφέρει ταχύτητες στις κινητές ευρυζωνικές υπηρεσίες μεταξύ 20-80 Mbit/s με μια μέγιστη ταχύτητα 100Mbit/s. Οι επίκτητες συχνότητες επιτρέπουν στην TeliaSonera να χτίσει ένα κινητό ευρυζωνικό δίκτυο στη Δανία που είναι περισσότερο από 10 φορές γρηγορότερο από τα σημερινά 3G δίκτυα. Η αξία για 2x 20 MHz συζευγμένου φάσματος και 10 MHz ασύζευκτου φάσματος στη ζώνη συχνότητας 2.5GHz είναι DKK 336.3 εκατομμύρια. Η άδεια ισχύει για 20 έτη.

➤ TeliaSonera στη Φινλανδία

Η TeliaSonera προώθησε τις εμπορικές 4G υπηρεσίες και στην Φινλανδία τον Δεκέμβριο του 2009. Οι υπηρεσίες θα προσφερθούν στους πελάτες του Turku και του Ελσίνκι. Εκτός από 4G δίκτυα της Φινλανδίας στο Τούρκου, οι υπηρεσίες αρχίζουν με την αρχική 4G κάλυψη στην περιοχή του εμπορικού κέντρου βόρεια του Ελσίνκι. Το δίκτυο λειτουργεί στη ζώνη συχνότητας 2.6Ghz. Στη Φινλανδία το 4G μπορεί να στηριχτεί σε δύο συχνότητες 1.8 Ghz και 2.6 Ghz. Στην πρώτη φάση, μονά modems είναι διαθέσιμα για τα 2.6Ghz. Τα πολλαπλών τρόπων modems για δύο 4 G συχνότητες αναμένονται στην αγορά κατά την διάρκεια της επόμενης άνοιξης. Η TeliaSonera δεν έχει αποφασίσει ακόμα τους προμηθευτές για το εθνικό 4G δίκτυο στη Φινλανδία. Το αρχικό δίκτυο παρέχεται από την Ericsson στο Τούρκου και από τα δίκτυα της Nokia Siemens στο Ελσίνκι.

➤ TeliaSonera στην Εσθονία

Η TeliaSonera έχει προωθήσει τις πρώτες εμπορικές 4G υπηρεσίες στην Εσθονία στους πελάτες στα κέντρα των πόλεων, του Tallinn , Tartu, Kohila και στο IT College of Tallinn University of Technology. Η επέκταση του εσθονικού 4G δικτύου θα συνεχιστεί κατά τη διάρκεια του 2011. Η TeliaSonera έχει μια άδεια για 4G στην Εσθονία στα 2.6Ghz. Το 4G δίκτυο σε αυτή την φάση της επέκτασης παρέχεται από τα δίκτυα της Nokia Siemens και της Ericsson. Τα 4G modems παρέχονται από την Samsung που υποστηρίζει 4G/3G/2G PC/Mac.

### 8.4.2 Telefonica

Ο ευρωπαϊκός φορέας Telefonica πρόκειται να επεκτείνει προγράμματα δοκιμής του LTE σε έξι χώρες, με σκοπό την επιλογή των προμηθευτών τεχνολογίας για 4 G επεκτάσεις. Οι προμηθευτές που η Telefonica έχει επιλέξει μέχρι τώρα είναι η Alcatel-Lucent, Ericsson, Huawei, NEC, Nokia Siemens Networks και η ZTE, οι οποίοι θα αρχίσουν την επέκταση με τον απαραίτητο εξοπλισμό για δοκιμή της τεχνολογίας. Το πρόγραμμα θα πραγματοποιηθεί πάνω από 6 μήνες και θα αποτελείται από πεδία δοκιμών και εγκατάσταση σταθμών βάσεων στην Ισπανία, στην UK, στη Γερμανία και στην Τσεχία από την Ευρώπη ως O2 και την Βραζιλία και την Αργεντινή από την Λατινική Αμερική ως Telefonica Moviles.

Η ισπανική εταιρεία υπολογίζει να είναι σε θέση να προσφέρει τις μέγιστες ταχύτητες μέχρι 340Mbps σε ιδανικές συνθήκες χρησιμοποιώντας το LTE, εκμεταλευόμενη τα οφέλη από τη πιο ευέλικτη διαχείριση φάσματος, την αύξηση της αποδοτικότητας μέσω της μεγαλύτερης αυτοματοποιημένης λειτουργίας και την μαζική υιοθέτηση των τεχνολογιών MIMO.[25][26][27]

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Motorola Technical white paper, Long Term Evolution (LTE):A Technical Overview.
- [2] Anritsu White paper, Future technologies and testing for Fixed Mobile Convergence, SAE and LTE in cellular mobile communications.
- [3] Agilent 3GPP Long Term Evolution: System Overview, Product Development and Test Challenges.
- [4] LTE for 4G Mobile Broadband, Air interface technologies and performance, Farooq Khan.
- [5] Motorola White paper :Long Term Evolution (LTE)
- [6] Ericsson White Paper :LTE – an introduction
- [7] LTE The UMTS Long Term Evolution, from theory to practice, Stefania Sesia- Issam Toufik-Matthew Baker.
- [8] LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access, Harri Holma & Antti Toskala.
- [9] [ccpu.com](http://ccpu.com)
- [10] Agilent,LTE and Evolution to 4G Wireless, Design and Measurement Challenges, Moray Rumney.
- [11] SAE and the Evolved Packet Core, Driving the mobile broadband revolution, Magnus Olsson,Shabnam Sultana, Stefan Rommer,Lars Frid, Catherine Mulligan.
- [12] [EventHelix.com](http://EventHelix.com)
- [13] Evolved Packet System (EPS), The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS, Pierre Lescuyer – Thierry Lucidarme
- [14] 3GPP TS 36.201 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), LTE Physical layer, General description.
- [15] Motorola technical white paper,Long Term Evolution (LTE): Overview of LTE Air-Interface Technical White Paper.
- [16] EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 3GPP LTE and LTE Advanced, Bruno Clerckx,Angel Lozano, Stefania Sesia, Cornelius van Rensburg and Constantinos Papadias.
- [17] 3G Americas, MIMO Transmission schemes for LTE and Networks
- [18] MIMO Wireless Communications, Ezio Biglieri,Robert Calderbank, Anthony Constantinides, Andrea Goldsmith.
- [19] [eetimes.com](http://eetimes.com)
- [20] [www.radio-electronics.com](http://www.radio-electronics.com)
- [21] [3g4g.blogspot.com](http://3g4g.blogspot.com)
- [22] 3G, HSPA and FDD versus TDD networking: smart antennas and adaptive modulation, Lajos Hanzo,Jonathan Blogh,Song Ni
- [23] [http://en.wikipedia.org/wiki/Time-division\\_duplex#Time-division\\_duplexing](http://en.wikipedia.org/wiki/Time-division_duplex#Time-division_duplexing)
- [24] Wireless Communications, Andreas F. Molisch
- [25] Teliasonera .com

- [26] Cosmote.gr
- [27] Telecoms.com
- [28] SIEMENS White paper, TD-SCDMA: the solution for TDD bands
- [29] 3GPP TS 36.300
- [30] Single Carrier FDMA for Uplink Wireless Transmission, Hyung G. Myung, Junsung Lim, and David J. Goodman, Polytechnic University-IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY MAGAZINE | SEPTEMBER 2006]
- [31] Introduction to Single Carrier FDMA, Hyung G. Myung
- [32] ERICSSON PUBLICATIONS by Martin Bakhuizen and Uwe Horn
- [33] ΕΛΕΓΧΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΟΛΥΜΕΣΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΕΠΟΜΕΝΗΣ ΓΕΝΙΑΣ, ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Γ. ΡΕΚΚΑΣ
- [34] Communication Cost Analysis of MBSFN in LTE-Antonios Alexiou<sup>2</sup>, Christos Bouras<sup>1,2</sup>, Vasileios Kokkinos<sup>1,2</sup>, George Tsichritzis
- [35] [http://en.wikipedia.org/wiki/Policy\\_charging\\_and\\_rules\\_function](http://en.wikipedia.org/wiki/Policy_charging_and_rules_function)
- [36] freescale whitepaper-Overview of the 3GPP Long Term
- [37] <http://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>







