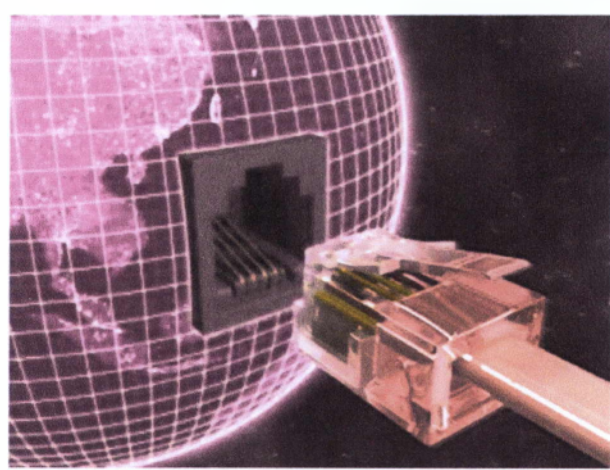




**Α.Τ.Ε.Ι. ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ**  
**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ**  
**ΙΔΡΥΜΑ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ**  
Τμήμα Τεχνολογίας Πληροφορικής  
και Τηλεπικοινωνιών

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

### **Προδιαγραφές Αρχιτεκτονικής για Κυψελωτά Δίκτυα 4<sup>ης</sup> Γενιάς**



Φοιτητής: Αβραάμ Χρήστος  
ΑΜ: 2007054

Επιβλέπων καθηγητής: Ναστάκος Μιχάλης  
Φιλιππόπουλος Παναγιώτης

Ιούνιος 2012

## Περίληψη

Η ψηφιακή εποχή που βιώνουμε σήμερα, είναι η λογική κατάληξη μιας σειράς τεχνολογικών καινοτομιών. Η έξαρση της χρήσης αυτών των καινοτομιών έχει ως αποτέλεσμα να ονομάζεται η σημερινή εποχή, ως εποχή της πληροφόρησης. Ένας τεράστιος τομέας ανάπτυξης είναι τα δίκτυα μέσω των οποίων μεταβιβάζονται τα δεδομένα αυτά. Η παρούσα εργασία ασχολείται με τα δίκτυα, και πιο συγκεκριμένα με τα δίκτυα τέταρτης γενιάς (4G) και τις προδιαγραφές αρχιτεκτονικής τους.

Η τέταρτη γενιά (4G) αποτελεί την επόμενη γενιά των ασύρματων δικτύων που θα αντικαταστήσει τα δίκτυα τρίτης γενιάς (3G) και θα προσφέρει στους χρήστες όλα όσα δεν κατάφεραν να δώσουν τα προηγούμενα δίκτυα. Τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς αναμένεται να παρέχουν υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας, υψηλής χωρητικότητας, με χαμηλότερο κόστος ανά bit, βασισμένες αποκλειστικά στο πρωτόκολλο IP. Θα παρέχουν συμβατότητα με τα διαφορετικά νέα και παλαιά κινητά και ασύρματα δίκτυα. Η τέταρτη γενιά ασύρματων δικτύων πρόκειται να δημιουργήσει ένα παγκόσμιο ετερογενές δίκτυο το οποίο θα ενσωματώσει τα δίκτυα 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση και περιγραφή των προδιαγραφών αρχιτεκτονικής για κυψελωτά δίκτυα τέταρτης γενιάς. Πιο αναλυτικά, παρουσιάζονται τα βασικότερα πρωτόκολλα που αναπτύχθηκαν και εξελίχθηκαν από την δεύτερη και τρίτη γενιά, σε μια προσπάθεια να αναδείξουμε τα χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτει ένα δίκτυο 4G.

Περιγράφονται οι τεχνολογίες πρωτοκόλλων 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς, από το GSM στο UMTS με βασική αναφορά στο σύστημα GPRS καθώς και στη μετεξέλιξή του, το EDGE. Αναλύονται οι τεχνολογίες LTE και WiMAX, στα πρότυπα τυποποίησής τους από το 3GPP και την IEEE αντίστοιχα, σε μια προσπάθεια σύγκρισης - τεχνικής και οικονομικής - των συστημάτων για την ανάδειξη της «ιδανικής» αρχιτεκτονικής 4G.

Επιπλέον, περιγράφονται οι στόχοι των δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς, τα προβλεπόμενα χαρακτηριστικά της 4G τεχνολογίας, καθώς και οι υπηρεσίες (υπάρχουσες και μελλοντικές) πάνω στις οποίες θα κριθεί η επιτυχία των μελλοντικών συστημάτων 4G.

## Abstract

The digital era that we experience today, is the reasonable conclusion of technological innovations line. As a result of the elation of use of these innovations, the current era has been named as the information era. A huge sector of this evolution is the network sector, via through the information are transferred. This paper deals with the networks, and more specifically with the Fourth Generation networks (4G) as well as their specifications of architecture.

Fourth Generation (4G) is the next generation of wireless networks that will replace the Third Generation (3G) networks and will offer the services that the previous networks did not accomplish to offer. The Fourth Generation networks (4G) intend to provide high speed, high capacity, low cost per bit, exclusively IP based services. The 4<sup>th</sup> generation of wireless networks is going to create a global heterogeneous network which will incorporate the networks of 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> generation.

The protocol technologies of 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> generation are described, from GSM to UMTS in reference to the GPRS core system and its evolution, the EDGE. The technologies LTE and WiMAX are explored, on their standards by 3GPP and IEEE respectively, to be compared –technically and economically – in order to illustrate the ideal 4G architecture.

In addition, the objectives of 4G networks are described, together with the features of 4G technology and services (existing and future), that will determine the success of the future 4G systems.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου στο ΤΕΙ Σπάρτης, κ. Ναστάκο Μιχάλη και κ. Φιλίππου Παναγιώτη , για την πολύτιμη βοήθειά τους στην δημιουργία αυτής της εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τους συναδέλφους μου στην Συνεταιριστική Τράπεζα Πελοποννήσου, για το υλικό και τις πολύτιμες πληροφορίες που μου προσέφεραν.



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ .....</b>	<b>7</b>	
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - ΕΙΚΟΝΕΣ.....</b>	<b>12</b>	
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – ΠΙΝΑΚΕΣ .....</b>	<b>14</b>	
<b>Κεφάλαιο 1</b>		
<b>Ιστορική Αναδρομή .....</b>	<b>1</b>	
<b>Κεφάλαιο 2</b>		
<b>Κυβελωτά δίκτυα.....</b>	<b>7</b>	
2.1 Βασικές έννοιες.....	7	
2.2 Κατηγορίες Κυβελών.....	8	
2.3 Αποδοτική διαχείριση ασύρματων πόρων.....	9	
2.4 Τρόποι αύξησης χωρητικότητας κυβελωτών συστημάτων .....	11	
2.5 Πολυπλεξία – Πολλαπλή πρόσβαση.....	12	
<b>Κεφάλαιο 3</b>		
<b>Συστήματα 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς: από το GSM στο UMTS.....</b>	<b>14</b>	
3.1 GSM.....	15	
3.2 GPRS.....	17	
3.3 EDGE.....	19	
3.4 UMTS.....	19	
3.5 Απολογισμός των δικτύων 3G.....	29	
3.6 B3G: Η τεχνολογία HSPA.....	30	
3.7 Ασύρματες επικοινωνίες επόμενων γενεών .....	31	
<b>Κεφάλαιο 4.....</b>		<b>32</b>
<b>Η τυποποίηση του 4G από το 3GPP: LTE.....</b>	<b>32</b>	
4.1 Επισκόπηση .....	32	
4.2 Χαρακτηριστικά LTE.....	33	
4.3 Αρχιτεκτονική LTE.....	34	
4.4 Radio Channels .....	40	
4.4 Radio Channels.....	41	
4.5 Φυσικό Επίπεδο .....	45	
4.6 MIMO.....	52	
4.7 Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS) .....	56	
4.8 LTE-Advanced.....	60	

## Κεφάλαιο 5

<b>Η τυποποίηση του 4G από το IEEE: WiMAX.....</b>	<b>63</b>
5.1 Επισκόπηση .....	63
5.2 WiMAX Forum.....	65
5.3 Αρχιτεκτονική WiMAX .....	65
5.4 Φυσικό Επίπεδο .....	67
5.5 Επίπεδο MAC .....	69
5.6 Υπόστρωμα Σύγκλισης Εκπομπής.....	73
5.7 Κινητό WiMAX IEEE 802.16e (Mobile WiMAX).....	73
5.8 Χρήσεις του WiMAX.....	75
5.9 Διασυνεργασία WiMAX – UMTS.....	76
5.10 WiMAX και Περιορισμοί.....	78

## Κεφάλαιο 6

<b>Δίκτυα τέταρτης γενιάς (4G).....</b>	<b>80</b>
6.1 Είσοδος στην 4 <sup>η</sup> γενιά ασύρματων δικτύων.....	80
6.2 All IP δίκτυα.....	83
6.3 Συστήματα έξυπνων κεραιών .....	84
6.4 Κυψελωτά συστήματα 4 <sup>ης</sup> γενιάς.....	93
6.5 Στόχοι συστημάτων 4 <sup>ης</sup> γενιάς.....	106
6.6 Προβλεπόμενα χαρακτηριστικά 4G τεχνολογίας.....	107
6.7 Υπηρεσίες και εφαρμογές 4 <sup>ης</sup> γενιάς.....	111
6.8 Ετερογενή δίκτυα.....	114
6.9 Διαδικασία σχεδίασης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων 4G.....	117
6.10 Επίτευξη διαλειτουργικότητας.....	118
6.10 Femtocells.....	121
6.11 Εξελίξεις και Μελλοντικές τάσεις.....	122
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....</b>	<b>126</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>128</b>
Ηλεκτρονικές Πηγές.....	130

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

3G	Third Generation
3GPP	Third Generation Partnership Project
AC	Admission Control
ACK	Acknowledgement
ACR	Absolute Category Rating
AM	Acknowledged Mode
ANOVA	Analysis of Variance
ARQ	Automatic Repeat reQuest
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BCC	Broadcast Control Channel
BCCH	Broadcast Control Channel
BDP	Bandwidth Delay Product
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station
CCCH	Common Control Channel
CCR	Comparison Category Rating
CDF	Cumulative Distribution Function
CDMA	Code Division Multiple Access
C/I	Carrier to Interference ratio
CN	Core Network
CRC	Cyclic Redundancy Check
CS	Circuit Switched
CTIF	Center for TeleInFrastruktur
DCA	Dynamic Channel Allocation
DCH	Dedicated Channel
DCR	Degradation Category Rating
DCH	Dedicated Channel
DCR	Degradation Category Rating
DL	Down Link
DLL	Data Link Layer

DS	Direct Sequence
DSACK	Duplicate SACK
DSCDMA	Direct Sequence CDMA
E2E	End to End
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
eNB	eNodeB
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EUTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
FACE	Future Adaptive Communication Environment
FACH	Forward Access Channel
FAK	Forward Acknowledgement
FCA	Fixed Channel Allocation
FEC	Forward Error Correction
FER	Frame Erasure Rate
FDD	Frequency Division Duplex
FIN	Finalise
FRTO	Forward RTO Recovery
FTP	File Transfer Protocol
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communications
H-ARQ	Hybrid ARQ
HC	Handover Control
HCA	Hybrid Channel Allocation
HOM	Higher Order Modulation
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access

IETF	Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
Kbps	Kilo bits per second
KHz	Kilo Hertz
LC	Load Control
LLC	Logical Link Control
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
Mbps	Mega bits per second
MBS	Mobile Broadband System
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MIP	Mobile Internet Protocol
MME	Mobility Management Entity
MMS	Multimedia Messaging
MSS	Maximum Segment Size
MTU	Maximum Transmission Unit
MWBA	Mobile Broadband Wireless Access
NACK	Negative Acknowledgement
NAS	Non Access Stratum
NGNA	Next Generation Network Architecture
NodeB	Base station
NRT	Non Real Time
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OSI	Open Systems Interconnection
PC	Power Control
PCCH	Paging Control Channel
PCS	Personal Communication Services
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDU	Protocol Data Unit
PHY	Physical

PGW	Packet Data Network Gateway
PLMN	Public Land Mobile Network
POSH	Perceived Quality of Service in Heterogeneous networks
PS	Packet Scheduling
PS	Packet Switched
QoS	Quality of Service
RACH	Random Access Channel
RAN	Radio Access Network
RED	Random Early Detection
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Sub-system
RRC	Radio Resource Control
RRM	Radio Resource Management
RT	Real Time
RTO	Retransmission Time Out
RTT	Round Trip Time
SACK	Selective Acknowledgement
SAE	System Architecture Evolution
SCC	Successful Completion Criteria
SCTP	Stream Control Transmission Protocol
SDU	Service Data Unit
SGW	Serving Gateway
SIP	Session Initiation Protocol
SLA	Service Level Agreement
SMS	Short Message Service
SN	Sequence Number
SNR	Signal to Noise Ratio
SOFDMA	Scalable OFDMA
SR	Selective Repeat
SRTT	Smoothed RTT



# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή - Ιστορική Αναδρομή

Οι κοινωνικές και οικονομικές μεταβολές σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ανάγκη για επίτευξη υψηλότερης παραγωγικότητας και αποδοτικότητας, αποτέλεσαν τα τελευταία χρόνια τα στοιχεία που οδήγησαν σε αλματώδη ανάπτυξη την τεχνολογία των επικοινωνιών. Το σημερινό τοπίο δικτύων περιλαμβάνει δίκτυα περιορισμένης και ευρείας κάλυψης, ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα, ευρυζωνικά και μη, καθώς και συστήματα μικρής και μεγάλης κινητικότητας. Παρόλο που αυτές οι τεχνολογίες δικτύων φαίνονται ανταγωνιστικές καθώς απευθύνονται στο ίδιο τμήμα αγοράς, οι περιορισμοί και τα πλεονεκτήματα της καθεμίας τις καθιστούν συμπληρωματικές, με δυνατότητες παράλληλης ανάπτυξης και συνέργειας μεταξύ τους. Παράλληλα η προσφορά καινοτόμων υπηρεσιών μαζί με την εξάπλωση της χρήσης των υπηρεσιών διαδικτύου, αλλά και σε συνδυασμό με την ανάγκη άρσης των περιορισμών εγκατάστασης των ενσύρματων δικτύων οδήγησαν σε μια μεγάλη εξάπλωση των ασύρματων δικτύων, συνοδευόμενη από μια αντίστοιχη διεύρυνση της αγοράς αλλά και του επιστημονικού ενδιαφέροντος στους τομείς αυτούς.

Σύμφωνα με την ιστορία των ασύρματων συστημάτων, η σχετική βιομηχανία ακολουθεί έναν κύκλο δεκαπέντε και πλέον ετών. Κατά την περίοδο αυτή, η ανάπτυξη και εξέλιξη των ασύρματων δικτύων χωρίζεται σε τρεις βασικές γενιές συστημάτων και τεχνολογιών. Ανάμεσα στις τρεις γενιές αναπτύχθηκαν και κάποιες υβριδικές τεχνολογίες οι οποίες ως κύριο στόχο είχαν τη γεφύρωση μεταξύ των γενεών αλλά και την εξασφάλιση της διαλειτουργικότητας των συστημάτων κατά τη μετάβαση από τη μια τεχνολογία στην άλλη. Στις μέρες μας η βιομηχανία των ασύρματων κινητών τηλεπικοινωνιών βρίσκεται σε μια διαρκή μεταβολή, ενσωματώνοντας διαρκώς όλο και μεγαλύτερο αριθμό υπηρεσιών. Τα σημαντικότερα αίτια είναι η γεωγραφική εξάπλωση των σχετικών υποδομών, η σημαντική μείωση του κόστους αλλά και η βελτίωση της ποιότητας των προσφερόμενων υπηρεσιών.

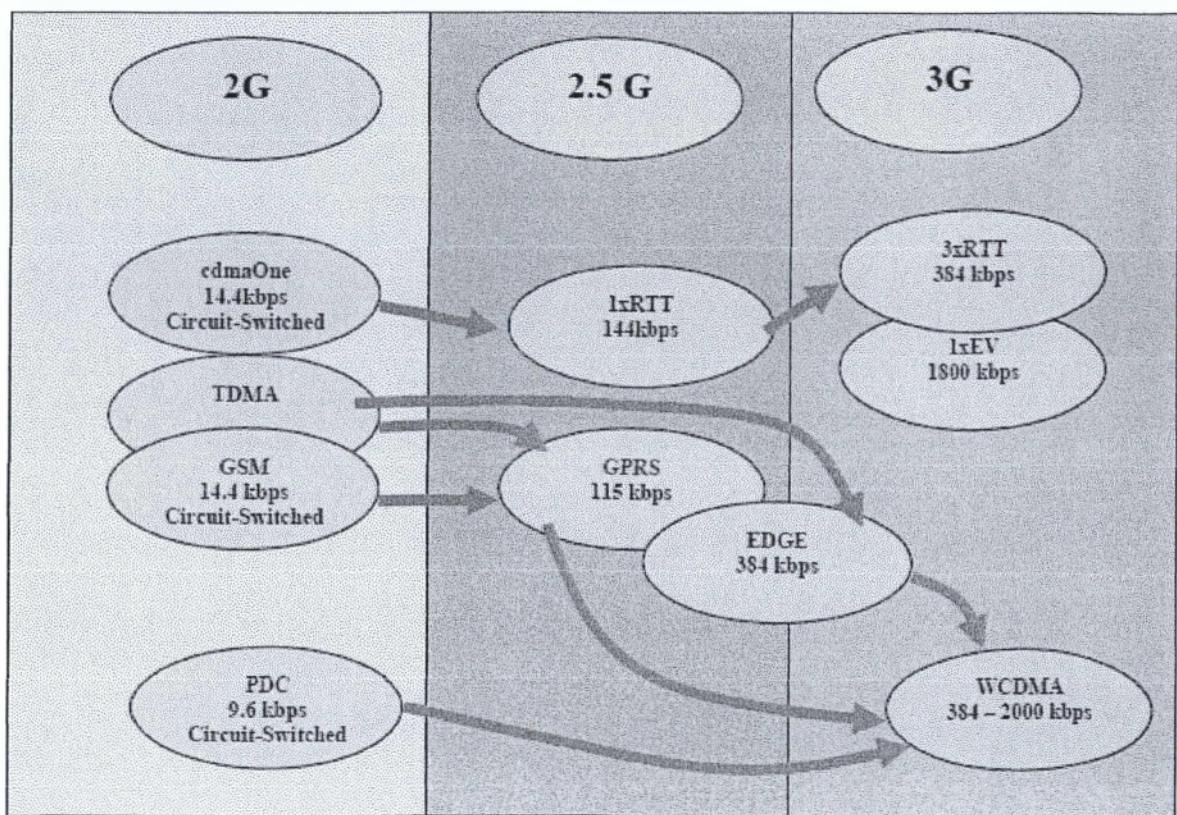
Τα συστήματα 1<sup>ης</sup> γενιάς (1G) εμφανίστηκαν το 1981 προσφέροντας μόνο υπηρεσίες μεταφοράς φωνής, ενώ δέκα χρόνια αργότερα ακολούθησαν τα συστήματα 2<sup>ης</sup> γενιάς (2G) τα οποία υποστήριζαν και μεταφορά δεδομένων με χαμηλές ταχύτητες, καλύτερη ποιότητα επικοινωνίας, καλύτερη ασφάλεια και καλύτερη απόδοση στη διαχείριση του ραδιοφάσματος. Τα στοιχεία αυτά σε συνδυασμό με τη βελτίωση της ποιότητας επικοινωνίας και το χαμηλό σχετικά κόστος έδωσαν τεράστια ώθηση στην αγορά της κινητής τηλεφωνίας και έθεσε τις βάσεις για τη μετάβαση από την τεχνολογία μεταγωγής κυκλώματος (circuit-switched) στην τεχνολογία μεταγωγής πακέτων (packet-switched).

Το βασικότερο πρότυπο συστημάτων δεύτερης γενιάς που επικράτησε σε όλο τον κόσμο είναι το GSM (Global System for Mobile Communications), ενώ για την υποστήριξη της πρόσβασης σε διαδικτυακό περιεχόμενο και εφαρμογές πάνω σε δίκτυα 2<sup>ης</sup> γενιάς, αναπτύχθηκε ένα πρωτόκολλο ασυρμάτων εφαρμογών, γνωστό ως WAP (Wireless

Application Protocol). Για να ικανοποιηθούν οι αυξανόμενες απαιτήσεις των κινητών συνδρομητών δημιουργήθηκε ένα μεταβατικό στάδιο ανάμεσα στη δεύτερη και τη τρίτη γενιά. Επιπλέον, λόγω των αρκετά μεγάλων δυσκολιών και του υψηλού κόστους ανάπτυξης δικτύων τρίτης γενιάς, πολλοί διαχειριστές δικτύων επέλεξαν να διευκολύνουν το δρόμο μετάβασης από τη δεύτερη στη τρίτη γενιά κινητής τηλεφωνίας, αναπτύσσοντας τη μεταβατική τεχνολογία 2.5G η οποία περιλαμβάνει πρότυπα όπως είναι το GPRS (General Packet Radio Service) και την 2.75G που περιλαμβάνει το EDGE (Enhanced Datarates for Global Evolution).

Η εισαγωγή του GPRS αποτέλεσε σταθμό στην εξέλιξη του GSM, καθώς με την ανάπτυξη του υποστηρίχθηκε στα υπάρχοντα δίκτυα GSM η δυνατότητα μεταφοράς πακέτων, η επίτευξη υψηλών ρυθμών μεταφοράς δεδομένων και η δυνατότητα παροχής αδιάλειπτης σύνδεσης μεταφοράς δεδομένων στα κινητά τηλέφωνα. Το πρωτόκολλο EDGE παρείχε στα δίκτυα GSM την απαιτούμενη χωρητικότητα και ταχύτητα ώστε να επιτρέπεται η χρήση τους για την παροχή υπηρεσιών τρίτης γενιάς.

Στην *Εικόνα 1* παρουσιάζεται η διαδρομή εξέλιξης των πιο σημαντικών συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας από την δεύτερη γενιά έως και την τρίτη.



*Εικόνα 1 Η εξέλιξη των κυψελοτών συστημάτων*



Η επιτυχία που γνώρισαν τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας της 2<sup>ης</sup> γενιάς αποτέλεσε τον οδικό χάρτη για τα συστήματα τρίτης γενιάς (3G). Τα τελευταία αποτέλεσαν το στόχο της εμπορικής αγοράς τηλεπικοινωνιών υπό το πρίσμα της παροχής νέων υπηρεσιών, κυρίως πολυμεσικού περιεχομένου, που υπήρχε άφθονο κυρίως λόγω της εκρηκτικής ανάπτυξης του Internet, και οι εμπορικοί παίκτες έψαχναν από καιρό ένα τρόπο να το δρομολογήσουν μέσω των δικτύων κινητής τηλεφωνίας, καταλήγοντας στην τερματική κινητή συσκευή κάθε χρήστη. Η ανάγκη αυτή σε συνδυασμό με τις σχετικές δραστηριότητες της ερευνητικής κοινότητας οδήγησε στα σημερινά συστήματα 3G και 3.5G, τα οποία πληρούν σε ένα μεγάλο βαθμό τις απαιτήσεις.

Το 1986, η ITU (International Telecommunication Union) ξεκίνησε να επεξεργάζεται το πρότυπο IMT-2000, το οποίο αποτέλεσε κατευθυντήριο για κάθε πρότυπο 3G. Το 1992, η World Administrative Radio Conference (WARC) θεώρησε τις μπάντες ραδιοσυχνοτήτων 1885-2025 και 2110-2200 MHz ως παγκόσμιο φάσμα για τα 3G συστήματα. Τον Ιανουάριο του 1998, η European Telecommunications Standards Institute (ETSI) έφτασε σε συμφωνία όπου επιλέχθηκαν τα WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) και TD-CDMA (Time Division- Code Division Multiple Access) ως μέθοδοι πολλαπλής πρόσβασης για τις καταστάσεις αμφίδρομη διαίρεση συχνότητας FDD (Frequency Division Duplex) και αμφίδρομη διαίρεση χρόνου TDD (Time Division Duplex) της UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) αντίστοιχα, που αποτέλεσε το ευρωπαϊκό πρότυπο τρίτης γενιάς.

Παράλληλα, το 1998 ιδρύθηκε η 3rd Generation Partnership Project (3GPP) που αποτέλεσε μια συμφωνία συνεργασίας η οποία έφερε μαζί έναν αριθμό από τηλεπικοινωνιακά πρότυπα, όπως τα ARIB, CCSA, ETSI, TTA και TTC. Το βασικό αντικείμενο της 3GPP ήταν να παράγει εφαρμόσιμες τεχνικές ειδικεύσεις και τεχνικές αναφορές για τα κινητά συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς, τα οποία βασίζονται στα εξελιγμένα GSM δίκτυα πυρήνα και στις τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης που υποστηρίζουν, όπως π.χ. το Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) για καταστάσεις FDD και TDD. Το πλαίσιο τροποποιήθηκε έπειτα, για να συμπεριλάβει τη συντήρηση, την ανάπτυξη του παγκόσμιου συστήματος για κινητές επικοινωνίες (GSM), τις τεχνικές ειδικεύσης και τις τεχνικές αναφορές συμπεριλαμβανομένου των τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης (GPRS και EDGE).

Το επόμενο βήμα για την WCDMA καλείται HSPA evolution ή HSPA+, ορίζεται στην Release 7 και 8 και σκοπεύει να μεγιστοποιήσει τους ρυθμούς μετάδοσης ακόμη περισσότερο (μέχρι 42Mbps στο downlink) Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας κεραίες MIMO (Multiple Input Multiple Output) και μεγαλύτερης τάξης διαμόρφωση (Higher Order Modulation -HOM). Το Σεπτέμβριο του 2007 η οικογένεια της 3GPP επεκτάθηκε με ακόμα ένα μέλος, την Evolved UTRAN (E-UTRAN). Η εργασία για την δημιουργία της ιδέας ξεκίνησε, επίσημα το καλοκαίρι του 2006 όταν η φάση της μελέτης ολοκληρώθηκε επιτυχώς και το αποτέλεσμα της οδήγησε τη 3GPP Long Term Evolution-Evolved Packet System RAN' (LTE) να ξεκινήσει. Πάνω από 50 εταιρείες και ινστιτούτα έρευνας πήραν μέρος στην μεγαλύτερη προσπάθεια ένωσης προτύπων για να οριστεί η νέα παγκόσμια ασύρματη πρόσβαση και η τεχνολογία του εξελισσόμενου πυρήνα δικτύου. Η έκδοση 7 περιείχε την πρώτη εργασία πάνω στο LTE (Long Term Evolution) 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. 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.

Η εγκατάσταση και λειτουργία των συστημάτων τρίτης γενιάς ξεκίνησε στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα με στόχο την υποστήριξη μιας μεγάλης ποικιλίας ευρυζωνικών εφαρμογών και υπηρεσιών. Στα κυψελωτά δίκτυα 3G οι κινητές επικοινωνίες εμπλουτίζονται με μετάδοση υψηλής ποιότητας εικόνων και βίντεο, με την πρόσβαση να πραγματοποιείται με πολύ γρήγορους ρυθμούς μετάδοσης σε δημόσια ή ιδιωτικά δίκτυα. Τα δίκτυα αυτά αξιοποιούν τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας μεταγωγής πακέτων που περιλαμβάνουν τη δυνατότητα για συνεχή σύνδεση και την εξάλειψη του σταδίου εγκατάστασης σύνδεσης, το οποίο απαιτείται στην περίπτωση δικτύων με μεταγωγή κυκλώματος. Επιπλέον, οι χρήστες χρεώνονται βάσει της ποσότητας των δεδομένων που ανταλλάσσουν (ογκοχρέωση) και όχι βάσει της διάρκειας σύνδεσης (χρονοχρέωση).

Ο ερχομός των δικτύων 3<sup>ης</sup> γενιάς, άνοιξε το δρόμο για την εμφάνιση ακόμα περισσότερων υπηρεσιών που μέχρι τη στιγμή εκείνη, κανένα από τα προηγούμενα πρότυπα δε μπορούσε να τους προσφέρει. Με ταχύτητες επιπέδου Megabit κάποιος που έχει πρόσβαση σε ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να πλοηγηθεί στο Internet, να πραγματοποιήσει βίντεο-κλήση χρησιμοποιώντας την υπηρεσία VoIP (Voice over Internet Protocol), να κατεβάσει μουσικά κομμάτια και να χρησιμοποιήσει ένα εύρος υπηρεσιών, όλα μέσα από μία κινητή συσκευή.

Ο βασικός στόχος της ανάπτυξης των κινητών δικτύων 3<sup>ης</sup> γενιάς είναι η παροχή υπηρεσιών σε οποιοδήποτε μέρος, οποιαδήποτε χρονική στιγμή, αποτελώντας ένα *always-on* περιβάλλον δεδομένων. Οι χρήστες είναι σε θέση να προσθέσουν την κινητότητα στην καθημερινή διαδικτυακή τους εμπειρία, δεδομένου της δυνατότητας να μετακινούνται οπουδήποτε και να εξυπηρετούνται ακόμα και σε περιοχές όπου δεν παρέχεται κάλυψη από συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς, από άλλα είδη ασύρματων συστημάτων, από άλλα κυψελωτά δίκτυα καθώς και από δορυφορικά δίκτυα.

Οι παρεχόμενες υπηρεσίες επεκτείνονται σε υπηρεσίες Internet και σε υπηρεσίες πολυμέσων με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Το κινητό τερματικό συνδέεται περισσότερο με τον άνθρωπο παρά με τη θέση, καθώς επίσης και το δίκτυο γνωρίζει πάντα την τρέχουσα θέση του τερματικού. Αυτά είναι δύο ισχυρά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των κυψελωτών δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών, ιδιαίτερα όσον αφορά το περιβάλλον των πολυμέσων, για τα οποία διακρίνονται από τα σταθερά δίκτυα.

Τα συστήματα 3<sup>ης</sup> γενιάς που έχουν επικρατήσει μέχρι σήμερα είναι το UMTS στην Ευρώπη, το CDMA2000 στην Βόρεια Αμερική και το NTT Docomo στην Ιαπωνία η οποία και θεωρείται η πιο εξελιγμένη χώρα όσον αφορά την 3G τεχνολογία. Παρά το γεγονός ότι τα εν λόγω συστήματα αναπτύσσονται με γοργό ρυθμό, οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες του σύγχρονου ανθρώπου δεν φαίνεται να καλύπτονται. Αποτέλεσμα της ραγδαίας αυτής εξέλιξης είναι η συνεχής βελτίωση και ανάπτυξη νέων συστημάτων που αποσκοπούν στην αποδοτικότερη και αποτελεσματικότερη χρήση των δικτύων κινητών επικοινωνιών.

Η μεγάλη ανάγκη για υπηρεσίες Internet, ασύρματα συστήματα διανομής καλωδιακής τηλεόρασης και για πρόσβαση στην τεχνολογία της πληροφορίας, καθιστά επιτακτική την ανάπτυξη ασύρματων κινητών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων ευρείας ζώνης. Στην εποχή μας παρατηρείται μεγάλη ζήτηση για ασύρματες υπηρεσίες, όπως η Τηλε-ειδοποίηση (Paging), Αναλογική και Ψηφιακή κινητή τηλεφωνία, καθώς και Υπηρεσίες Προσωπικών Επικοινωνιών (Personal Communication Services - PCS). Οι βασικοί λόγοι χρήσης ολοένα υψηλότερων συχνοτήτων είναι ο κορεσμός των χαμηλότερων ζωνών συχνοτήτων και η ανάγκη για μεγαλύτερο εύρος ζώνης για εφαρμογές πολυμέσων (multimedia), όπως η ασύρματη μετάδοση εικόνας και η πρόσβαση στο Internet σε πραγματικό χρόνο.

Γενικά, είναι άμεση ανάγκη για μελλοντικά ασύρματα δίκτυα τα οποία θα είναι ευέλικτα, θα έχουν την δυνατότητα αναβάθμισης για μεγάλο αριθμό χρηστών, θα είναι ικανά να παρέχουν πληροφορία για τη θέση του χρήστη σε παγκόσμια κλίμακα, θα παρέχουν ασφάλεια από υποκλοπές, θα συνεργάζονται με ενσύρματα δίκτυα και θα είναι εύκολα προσαρμόσιμα στις κατά καιρούς απαιτήσεις.

Οι ποικίλες ερευνητικές προσπάθειες οδήγησαν στην πλήρη ενοποίηση όλων των ασύρματων και ενσύρματων συστημάτων διαφορετικών (ετερογενών) τεχνολογιών σε ένα κοινό περιβάλλον, με στόχο την παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών στους συνδρομητές ανεξάρτητα από τη γεωγραφική περιοχή που αυτοί θα κινούνται. Αυτή η προοπτική εξέλιξης - προς την ενοποίηση των συστημάτων επικοινωνίας - είναι γνωστή ως η **4<sup>η</sup> γενιά κινητών επικοινωνιών (4G)**. Η φράση 4G δεν ορίζει απλώς ένα πρότυπο, αλλά περιγράφει ένα περιβάλλον όπου τα δίκτυα θα διαλειτουργούν ώστε να παρέχουν επικοινωνία που θα μεταφέρεται χωρίς ασυνέχειες ανάμεσά τους. Περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία, η 4<sup>η</sup> γενιά θα έχει μια βαθιά επιρροή σε ολόκληρο το ασύρματο τοπίο και στη συνολική αλυσίδα της κινητής τηλεφωνίας.

Είναι αξιωματικά αποδεκτό ότι η αρχιτεκτονική των ασύρματων δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς θα συμπεριλάβει διαφορετικά δίκτυα ασύρματης πρόσβασης, με κοινό στρώμα αναφοράς το στρώμα δικτύου και το πρωτόκολλο IP που υλοποιείται σ' αυτό. Το επονομαζόμενο *κινητό IP (Mobile IP)*, θα παρέχει ενιαία πρόσβαση διαδικτύου στους κινητούς χρήστες, παρέχοντας ποιότητας υπηρεσίας (Quality Of Service - QoS) σε διαφορετικά ασύρματα δίκτυα δεδομένων.



Με τον όρο ασύρματα δίκτυα δεδομένων εννοούμε τα δίκτυα που βασίζονται στο πρωτόκολλο 802.xx, δηλαδή δίκτυα που είναι packet switched και είναι το IEEE 802.15 Wireless Personal Area Networks (WPANs) με κυριότερους εκφραστές τα δίκτυα βασισόμενα σε Bluetooth και IrDA, το IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks (WLANs) με σημαντικότερους εκπροσώπους τα WiFi και HyperLan/2, το IEEE 802.16 Wireless Metropolitan Area Networks (WMANs) ή αλλιώς γνωστότερο ως WiMax και το IEEE 802.20 Wireless Wide Area Networks (WWANs) ή διαφορετικά Mobile Broadband Wireless Access (MWBA).

Το 4G αναπτύσσεται με στόχο να βελτιώσει την ποιότητα των υπηρεσιών και την ανάγκη για υψηλότερες ταχύτητες που έχουν θέσει εφαρμογές ήδη από την 3<sup>η</sup> γενιά κινητής τηλεφωνίας όπως ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση στο Internet, μηνύματα πολυμέσων (MMS), βιντεοκλήσεις, κινητή τηλεόραση αλλά και καινούριες υπηρεσίες όπως τηλεόραση υψηλής πιστότητας (HDTV). Το 4G προβλέπεται να υποστηρίξει την περιαγωγή σε τοπικά ασύρματα δίκτυα καθώς και την αλληλεπίδραση με συστήματα ψηφιακής τηλεόρασης (DVB). Υπεύθυνος φορέας για τη θέσπιση των προϋποθέσεων και στόχων του 4G όπως και της επιλογής του τελικού προτύπου είναι η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών, Τομέας Ραδιοεπικοινωνιών (ITU-R). Κάτω από το ακρωνύμιο IMT-Advanced, διάδοχο του IMT-2000 και γνωστό παλαιότερα ως “systems beyond IMT-2000”, αξιολογεί τις προτάσεις ώστε να καταλήξει στο τελικό πρότυπο για την τεχνολογία 4G.

Η επιτροπή του 4G (ITU-R) έχει θέσει τους στόχους για τα στάνταρντ που πρέπει να καλύπτει το 4G πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας: Η ελάχιστη ταχύτητα που έχει θεθεί ως στόχος είναι 1 Gbps για ακίνητα περιβάλλοντα και 100 Mbps για κινούμενα. Πρόκειται για μια καθαρά All-IP πλατφόρμα ικανή να στηρίξει όλες τις IP εφαρμογές με υψηλή ποιότητα και πιστότητα. 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 WiMAX, 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.

Οι ιδέες κι οι προτάσεις διαδέχονται η μια την άλλη, και οι τεχνολογίες εξελίσσονται. Οι τεχνολογίες 4G αποτελούν τις νεότερες τεχνολογίες κινητής επικοινωνίας, που αναμένονται εμπορικά γύρω στο 2015 και θα παρέχουν τη δυνατότητα ασφαλών και αξιόπιστων «οικουμενικών» (ubiquitous, δηλ. παντού και πάντα διαθέσιμων) υπηρεσιών σε χρήστες περιορισμένης ή και μεγάλης κινητικότητας. Βέβαια, λόγω του ότι οι επενδύσεις των παρόχων κινητών επικοινωνιών σε υποδομές 3G ήταν και είναι σημαντικές, τόσο σε φάσμα συχνοτήτων όσο και σε εξοπλισμό, αναμένεται ότι η γενιά 3G θα παραμείνει σε φάση ωρίμανσης για περίπου 2-3 ακόμη χρόνια. Αυτό σημαίνει ότι οι τεχνολογίες 4G, θα συνεχίσουν να αναπτύσσονται σε πειραματικό επίπεδο, σε κορυφαία ερευνητικά κέντρα παγκοσμίως.



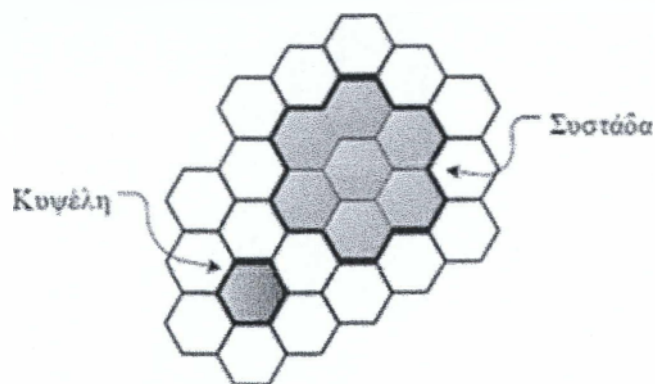
## Κεφάλαιο 2

### Κυψελωτά δίκτυα

Ένα *κυψελωειδές δίκτυο* αποτελείται από κινητές μονάδες, οι οποίες συνδέονται μέσω ραδιοσυχνοτήτων σε σταθερούς επίγειους σταθμούς. Οι σταθμοί αυτοί συνδέουν τα διάφορα μέρη του συστήματος και επιτρέπουν την πρόσβαση στο δημόσιο δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας. Οι κινητές μονάδες μπορεί να είναι τηλέφωνα, φαξ ή προσωπικοί υπολογιστές οι οποίοι είναι εφοδιασμένοι με τις κατάλληλες τερματικές συσκευές ώστε να έχουν πρόσβαση στο δίκτυο. Οι ραδιοσυχνότητες που χρησιμοποιούνται από το δίκτυο για τις επικοινωνίες προσδίδουν ευελιξία στις μετακινήσεις, αλλά ταυτόχρονα παρουσιάζουν και κάποιους περιορισμούς.

#### 2.1 Βασικές έννοιες

Οι *κυψέλες* ή *κύτταρα* (*cells*) είναι οι μικρότερες περιοχές στις οποίες χωρίζεται η γεωγραφική περιοχή κάλυψης του δικτύου, και αποτελούν τη βασική ιδέα πίσω από τα κυψελωτά δίκτυα. Κάθε κυψέλη εξυπηρετείται από τον δικό της *σταθμό βάσης* (*base station*), που αποτελείται από κεραία, πομπό και δέκτη. Η μορφή τους εξαρτάται κυρίως από τη μορφολογία του εδάφους, αλλά για καθαρά υπολογιστικούς λόγους έχει υιοθετηθεί η αναπαράσταση μιας κυψέλης με εξάγωνο ώστε οι κεραίες να ισαπέχουν περίπου μεταξύ τους. Μια ομάδα από γειτονικές κυψέλες καλείται *συστάδα* (*cluster*) (Εικόνα 2).



Εικόνα 2 Αναπαράσταση κυψέλης και συστάδας

Η επικοινωνία του σταθμού βάσης με τον κινητό χρήστη γίνεται αμφίδρομα. Όταν το σήμα εκπέμπεται από το σταθμό βάσης προς τον χρήστη τότε έχουμε την *Κάτω Ζεύξη* (*Downlink*), ενώ από το χρήστη προς τον σταθμό βάσης έχουμε την *Άνω Ζεύξη* (*Uplink*). Η κάθε κυψέλη χρησιμοποιεί τα δικά της κανάλια (π.χ. μπάντες συχνοτήτων).

Η βασική αρχή λειτουργίας ενός κυψελωτού συστήματος είναι η ιδέα της επαναχρησιμοποίησης καναλιών (Εικόνα 3). Σε κάθε κυψέλη έχει δοθεί μια ομάδα συχνοτήτων, που συμβολίζεται με ένα γράμμα. Οι συστάδες αποτελούνται από κυψέλες του ίδιου χρώματος και καμιά από αυτές δεν έχει την ίδια ομάδα συχνοτήτων με κάποια άλλη εντός της συστάδας που ανήκουν. Για κάθε ομάδα συχνοτήτων υπάρχει μια απόσταση επαναχρησιμοποίησής της, ώστε να εξασφαλιστεί ο σωστός διαχωρισμός και η χαμηλή παρεμβολή.



Εικόνα 3 Παρουσίαση της αρχής επαναχρησιμοποίησης καναλιών

## 2.2 Κατηγορίες Κυψελών

Η βασική δομή ενός κυψελωτού δικτύου δημιουργείται με την τοποθέτηση του εξοπλισμού σε στρατηγικά σημεία ώστε να εξασφαλίζεται η καλή ποιότητα των επικοινωνιών. Προφανώς, το ιδανικό σενάριο θα ήταν η τοποθέτηση ενός σταθμού βάσης σε κάθε δρόμο, το οποίο αφενός μεν θα πρόσδιδε μεγάλο κέρδος σε ποιότητα, αφετέρου δε θα ήταν οδυνηρά δαπανηρό για τον πάροχο. Σημαντικό βήμα στο σχεδιασμό αποτελεί η απόφαση για το είδος των κυψελών που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και ο συνδυασμός τους.

Καθώς το μέγεθος των κυψελών δεν είναι σταθερό, οι κυριότερες κατηγορίες κυψελών ανάλογα με την ακτίνα τους είναι:

- Οι *μικροκυψέλες (microcells)*: παρέχουν κάλυψη έως 1 χλμ., το κύριο μέρος των ραδιοκυμάτων κατευθύνεται ανάμεσα στους δρόμους, και ο σταθμός βάσης βρίσκεται σε επίπεδο πιο κάτω από τις ταράτσες των σπιτιών, ώστε να υπάρχει ραδιοκάλυψη και στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων.
- Οι *μακροκυψέλες (macrocells)*: η κάλυψή τους είναι συνήθως από 1 χλμ. έως και 35 χλμ. ανάλογα με το έδαφος, με τον σταθμό βάσης να βρίσκεται συνήθως στην κορυφή ενός λόφου ή σε κάποια ταράτσα ψηλού κτιρίου για να παρέχει πλήρη κάλυψη.

- Οι *πικοκυψέλες (picocells)*: παρέχουν κάλυψη έως 30 μέτρα, σε εσωτερικούς χώρους ή και σε περιορισμένης έκτασης εξωτερικούς, με τον σταθμό βάσης να τοποθετείται επάνω σε τοίχους και να εκπέμπει με πολύ μικρές ενέργειες.
- Οι *φεμτοκυψέλες (femtocells)*: παρέχουν κάλυψη έως 12 μέτρα, είναι οικονομικοί, χαμηλής κατανάλωσης, με τον σταθμό βάσης να τοποθετείται σε σπίτια, μετρό, κτίρια εταιριών από τους χρήστες, προσφέροντας εξαιρετικό σήμα σε εσωτερικούς χώρους και σε απομακρυσμένες περιοχές όπου το σήμα είναι ασθενές.

Άλλη κατηγορία είναι οι *minicells* που αποτελούν μια ενδιάμεση κατηγορία μεταξύ μικρο και μακροκυψέλες με την κεραία να τοποθετείται στο ύψος της ταράτσας.

Κάθε κυψέλη με  $N$  κανάλια μπορεί να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα το πολύ  $N$  συνδρομητές. Επομένως, ένας τρόπος για αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου αποτελεί η αύξηση του αριθμού των κυψελών που ταυτόχρονα οδηγεί σε μείωση της ακτίνας τους. Ανάλογα με την περιοχή στην οποία βρίσκεται μια κυψέλη, ανάλογα δηλαδή με τον αριθμό των συνδρομητών που καλείται να εξυπηρετήσει, η ακτίνα της μεταβάλλεται. Σε αραιοκατοικημένες περιοχές η ακτίνα της είναι έως και 35 χλμ. ενώ σε πυκνοκατοικημένες περιοχές δεν ξεπερνά τα 300 μέτρα. Σε περιοχές με πολύ μεγάλη ζήτηση εξυπηρέτησης, όπως σε αστικά κέντρα, γίνεται διάσπαση των υπάρχοντων κυψελών σε μικρότερες (μικροκυψέλες, πικοκυψέλες, φεμτοκυψέλες). Σε περιοχές όπως κτίρια, μετρό, δημόσιοι οργανισμοί, οδικές αρτηρίες κτλ. χρησιμοποιούνται κεραίες μικρότερης ισχύος. Η μείωση του μεγέθους των κυψελών αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την εξέλιξη σε συστήματα μεγαλύτερων ταχυτήτων.

### 2.3 Αποδοτική διαχείριση ασύρματων πόρων

Οι διαθέσιμοι πόροι των κινητών ασύρματων δικτύων, όπως και οι περισσότεροι φυσικοί πόροι είναι πεπερασμένοι. Εάν θα μπορούσε να υπάρξει ένα δίκτυο με άπειρη χωρητικότητα και εύρος ζώνης, δεν θα υπήρχε ανάγκη για διαχείριση των πόρων του. Το γεγονός ότι οι πόροι των δικτύων είναι συγκεκριμένοι καθώς και ότι μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, αποτελούν δύο χαρακτηριστικά που επιτρέπουν την ανάπτυξη διάφορων μηχανισμών και στρατηγικών για τη συστηματική διαχείρισή τους.

Τρεις είναι οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν τη χρήση και αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων ενός ασύρματου συστήματος: α) το σχήμα πολλαπλής πρόσβασης που θα χρησιμοποιηθεί ώστε να εξυπηρετηθούν κατά το δυνατό περισσότεροι χρήστες που αιτούνται των υπηρεσιών του συστήματος, β) η εξασφάλιση της ποιότητας υπηρεσίας (QoS) που προσφέρεται από το σύστημα και γ) ο τρόπος με τον οποίο θα κατανεμηθούν οι διαθέσιμοι πόροι στους χρήστες του συστήματος.

Η πολλαπλή πρόσβαση αναφέρεται σε τεχνικές που επιτρέπουν σε πολλούς χρήστες να μοιράζονται τους πεπερασμένους πόρους του συστήματος (εύρος ζώνης, εκπεμπόμενη ισχύς) αποτελεσματικά. Ο διαμοιρασμός αυτός περιλαμβάνει τη δημιουργία διαφορετικών ζεύξεων για τις διάφορες επικοινωνίες αλλά και επαναχρησιμοποίηση των διαθέσιμων πόρων με σκοπό να αυξηθεί η χρησιμοποίησή τους.



Η υποστήριξη ποιότητας υπηρεσίας (QoS), γνωστή και ως υποστήριξη διαφορετικών προφίλ κίνησης είναι πρώτιστης σημασίας για το σχεδιασμό των μελλοντικών σχημάτων πολλαπλής πρόσβασης και θα πρέπει να παρέχεται συνολικά, από άκρο σε άκρο (end-to-end) από το σύστημα. Για την παροχή τέτοιων υπηρεσιών, χρησιμοποιούνται ως πιθανές λύσεις η διαπραγμάτευση των παραμέτρων της ποιότητας υπηρεσίας, η συμφωνία σε συγκεκριμένες παραμέτρους και η σύναψη συμφωνιών σε επίπεδο υπηρεσίας μεταξύ των διαφορετικών στοιχείων του συστήματος. Σε κάθε περίπτωση, ένα σύστημα παροχής ποιότητας υπηρεσιών θα πρέπει να είναι δίκαιο, εξασφαλίζοντας ποιότητα για έναν χρήστη χωρίς να μειώνει την ποιότητα ενός άλλου, αλλά ούτε και με έξοδα άλλων χρηστών.

### 2.3.1 Τεχνικές κατανομής καναλιών

Η κατανομή πόρων αποτελεί μια από τις βασικότερες λειτουργίες της διαχείρισης πόρων στα ασύρματα δίκτυα. Η σημασία της καθίσταται ακόμα μεγαλύτερη δεδομένης της περιορισμένης χωρητικότητας των ασύρματων δικτύων που οφείλεται στην έλλειψη πόρων, όπως το φάσμα, το οποίο θα πρέπει να εκχωρείται κατά τρόπο δίκαιο αλλά και αποδοτικό. Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες που χωρίζουν τα βασικότερα σχήματα κατανομής καναλιών<sup>1</sup>:

- *Στατική διάθεση καναλιών (Fixed Channel Allocation - FCA)*
- *Δυναμική διάθεση καναλιών (Dynamic Channel Allocation - DCA)*
- *Υβριδική κατανομή καναλιών (Hybrid Channel Allocation - HCA)*

Η στατική κατανομή καναλιών είναι η ιστορικά παλαιότερη προσέγγιση στο πρόβλημα της διαχείρισης πόρων, κατά την οποία συγκεκριμένα κανάλια αποδίδονται μόνιμα σε συγκεκριμένες κυψέλες. Η κατανομή των καναλιών στις κυψέλες γίνεται βάσει κάποιου συγκεκριμένου σχεδίου επαναχρησιμοποίησης με στόχο την αποφυγή της ομοκαναλικής παρεμβολής όταν γειτονικές κυψέλες χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι. Με αυτό τον τρόπο, η απόσταση μεταξύ των ομοδιαυλικών κυψελών αποτελεί την απόσταση επαναχρησιμοποίησης (reuse distance) για το σύστημα αυτό, δηλαδή είναι η ελάχιστη δυνατή ώστε να μπορούν να χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα με αποδεκτά επίπεδα παρεμβολής, αποτελώντας τη βέλτιστη μέθοδο κατανομής καναλιών για ομοιόμορφη κίνηση σε όλα τις κυψέλες. Το πρόβλημα της στατικής κατανομής εμφανίζεται στη περίπτωση που η κίνηση στο δίκτυο των σταθμών βάσης δεν είναι ομοιόμορφη, καθώς τα διαθέσιμα κανάλια δεν χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά, οδηγώντας σε σπατάλη πόρων το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Στη δυναμική κατανομή πόρων, ο διαχειριστής πόρων του συστήματος, βασισμένος στην λεπτομερή γνώση του περιβάλλοντος αλλά και των απαιτήσεων των χρηστών, λαμβάνει αποφάσεις σχετικά με τους πόρους που θα πρέπει να εκχωρηθούν σε κάθε χρήστη σύμφωνα με την ποιότητά τους και τις ανάγκες των χρηστών. Συγκεκριμένα, όταν ζητηθεί από τον χρήστη ανατίθεται κανάλι και υπό την προϋπόθεση που πληροί τους περιορισμούς παρεμβολών τη δεδομένη στιγμή που ζητείται. Ως μειονέκτημα της μεθόδου, αποτελεί η

<sup>1</sup> Ως κανάλια θεωρούνται συχνотικά κανάλια ή χρονοθυρίδες.

ανάγκη απόκτησης λεπτομερούς πληροφορίας σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, η πολυπλοκότητά τους καθώς και το γεγονός ότι αδυνατούν να ανταπεξέλθουν σε υψηλά φορτία κίνησης.

Η υβριδική κατανομή πόρων επιχειρεί να ξεπεράσει τα μειονεκτήματα των δύο παραπάνω μεθόδων. Σύμφωνα με αυτή την τεχνική, τα κανάλια χωρίζονται σε δυο ομάδες ανάλογα με τον τρόπο κατανομής τους ως στατικής και ως δυναμικής. Τα κανάλια της στατικής κατανομής χρησιμοποιούνται υπό κανονικές συνθήκες κίνησης και τα κανάλια της δυναμικής κατανομής χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή του δικτύου σε περιπτώσεις διακυμάνσεων της κίνησης.

Ο δανεισμός καναλιού (*channel borrowing*) αποτελεί μια γνωστή υβριδική μέθοδο, κατά την οποία τα κανάλια εκχωρούνται όπως ακριβώς και στην περίπτωση της στατικής κατανομής. Αν μια κυψέλη χρειάζεται ένα κανάλι υπερβαίνοντας τα κανάλια της οποίας της έχουν εκχωρηθεί, τότε αυτή η κυψέλη μπορεί να δανειστεί ένα κανάλι από μια γειτονική της κυψέλη υπό την προϋπόθεση ότι το κανάλι αυτό είναι διαθέσιμο και δεν παραβιάζει την αρχή της επαναχρησιμοποίησης. Η μέθος του δανεισμού καναλιών θεωρείται συχνά ως υποκατηγορία της στατικής μεθόδου καθώς κάθε κανάλι έχει μια προκαθορισμένη θέση σε μια συγκεκριμένη κυψέλη.

## 2.4 Τρόποι αύξησης χωρητικότητας κυψελωτών συστημάτων

Η αυξημένη ζήτηση της χρήσης κινητών επικοινωνιών οδήγησε στην ανάγκη εύρεσης τρόπων αύξησης της χωρητικότητας του κυψελωτού συστήματος, ώστε να εξυπηρετηθούν ακόμα περισσότεροι χρήστες [1]. Οι κύριοι τρόποι αύξησης χωρητικότητας σε ένα κυψελωτό δίκτυο είναι:

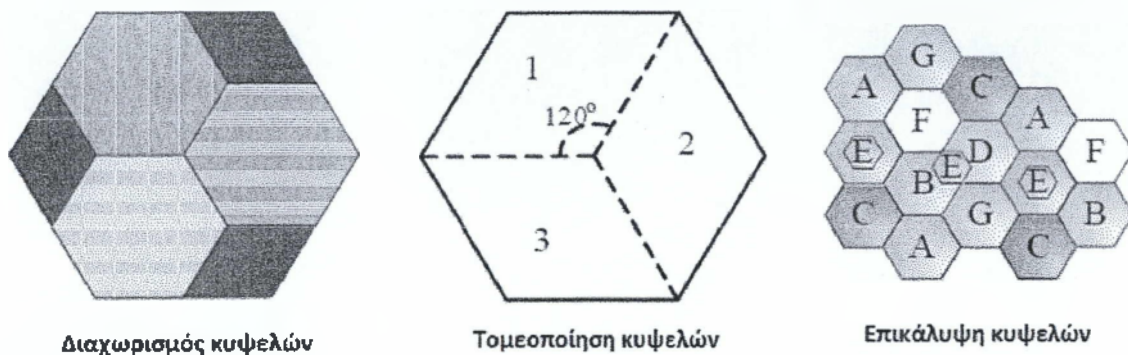
- *Πρόσθεση νέων καναλιών*
- *Αλλαγή στην αρχιτεκτονική του δικτύου*
- *Αλλαγή στη μεθοδολογία της κατανομής συχνοτήτων*

Η αγορά επιπλέον ραδιοφωνικού φάσματος (κανάλια) για τους νέους συνδρομητές αποτελεί τον πρώτο και πιο απλό τρόπο. Η λύση αυτή είναι ιδιαίτερα ακριβή εάν λάβουμε υπόψη την περιορισμένη ποσότητα πόρων (ραδιοφωνικό φάσμα) που υπάρχουν προς διάθεση.

Η αλλαγή στην αρχιτεκτονική του δικτύου μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους, οι κυριότεροι των οποίων παρουσιάζονται παρακάτω (*Εικόνα 4*).

- *Διαχωρισμός κυψελών (Cell splitting)*: οι κυψέλες σε περιοχές με υψηλή χρήση διαιρούνται σε μικρότερες κυψέλες.
- *Τομεοποίηση κυψελών (Cell sectoring)*: η κυψέλη διαιρείται σε έναν αριθμό τομέων (*sectors*) χρησιμοποιώντας κατευθυντικές κεραίες, αντί ισοτροπικές (που ακτινοβολεί το ίδιο προς όλες τις κατευθύνσεις).

- *Επικάλυψη κυψελών (Cell overlay)*: οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται από μία κυψέλη διαιρούνται σε αυτές που χρησιμοποιούνται μέσα σε αυτή και στις υπόλοιπες που χρησιμοποιούνται στις νέες επικαλυπτόμενες κυψέλες.



Εικόνα 4 Τεχνικές αύξησης χωρητικότητας κυψελωτών συστημάτων

- \* (α) Μείωση της ακτίνας στο  $\frac{1}{2}$  αυξάνει τον αριθμό των κυψελών 4 φορές
- (β) Δημιουργούνται τρεις τομείς με χρήση κατευθυντικών κεραιών  $120^\circ$

Οι τεχνικές αυτές είναι πιο πρακτικές και λιγότερο δαπανηρές λύσεις σε σύγκριση με την αγορά επιπλέον φάσματος.

Η αλλαγή στην μεθοδολογία της κατανομής συχνοτήτων αποτελεί μια προσέγγιση δανεισμού καναλιών, κατά την οποία οι κορεσμένες κυψέλες δανείζονται κανάλια από τις γειτονικές κυψέλες. Γίνεται άνιση κατανομή των ζωνών συχνοτήτων στις διάφορες κυψέλες, ανάλογα με την κίνηση που παρουσιάζουν.

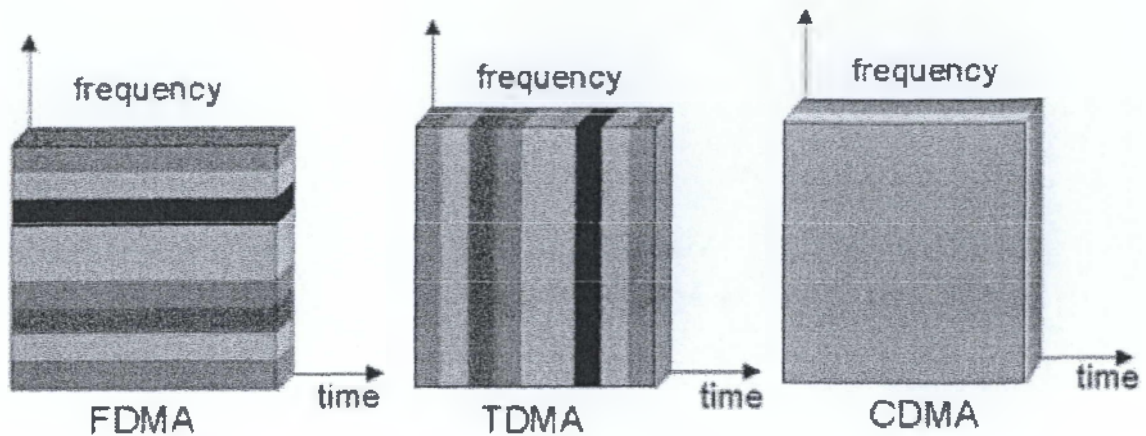
## 2.5 Πολυπλεξία – Πολλαπλή πρόσβαση

Η πολυπλεξία επιτρέπει την παράλληλη μετάδοση δεδομένων από διαφορετικές πηγές χωρίς αλληλοπαρεμβολές. Αν και τόσο η πολυπλεξία όσο και η πολλαπλή πρόσβαση συνεπάγονται μερισμό πόρων, διαφέρουν κατά το ότι η πολυπλεξία λαμβάνει χώρα τοπικά (π.χ. μέσα σε έναν σταθμό βάσης), ενώ η πολλαπλή πρόσβαση λαμβάνει χώρα απομακρυσμένα (π.χ. πολλαπλοί χρήστες μοιράζονται έναν δορυφορικό αναμεταδότη). Αξίζει να σημειωθεί ότι η επιλογή μεθόδου πολλαπλής πρόσβασης έχει περαιτέρω επιπτώσεις στα οικονομικά και τον σχεδιασμό συστημάτων [2].

Οι τρεις συνηθέστερες τεχνικές πολυπλεξίας είναι:

- *FDM/FDMA (Frequency Division Multiple Access)*: Πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας
- *TDM/TDMA (Time Division Multiple Access)*: Πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου
- *CDMA (Code Division Multiple Access)*: Πολυπλεξία διαίρεσης κώδικα





Εικόνα 5 Σχηματική αναπαράσταση τεχνικών πολυπλεξίας

Η πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDMA) διαιρεί το σύνολο του εκχωρούμενου εύρους ζώνης σε λεγόμενα υποκανάλια, καθένα από τα οποία μπορεί να χρησιμοποιείται ως χωριστό κανάλι για εκπομπή. Η πληροφορία διοχετεύεται σε κανάλια που διαφοροποιούνται μεταξύ τους στη συχνότητα φέροντος, με αποτέλεσμα πολλές συνομιλίες να είναι δυνατόν να λάβουν χώρα ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας κάποιες από τις συχνότητες του συστήματος.

Η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDMA) διαιρεί τη χωρητικότητα του καναλιού περισσότερο ως προς τον χρόνο παρά ως προς το εύρος ζώνης, σαρώνοντας τα σήματα εισόδου των διάφορων εισερχόμενων σημείων για σταθερό, ή διαφορετικά προσδιορισμένο, χρόνο. Η πληροφορία διοχετεύεται σε τμήματα που διαδέχονται το ένα το άλλο στο χρόνο, κάθε χρήστης μεταδίδει συγκεκριμένη χρονική στιγμή που καλείται χρονοθυρίδα, με αποτέλεσμα πολλές συνομιλίες να είναι δυνατόν να λάβουν χώρα αυτόχρονα χρησιμοποιώντας μια συχνότητα.

Η πολυπλεξία διαίρεσης κώδικα (CDMA) εκχωρεί συγκεκριμένα μέλη συνόλου ορθογωνικών, ή σχεδόν ορθογωνικών, κωδικών φασματικής εξάπλωσης (καθένα με χρήση πλήρους εύρους ζώνης καναλιού). Η πληροφορία πολλαπλασιάζεται με μία μοναδική ακολουθία (κώδικας), που είναι μοναδική για κάθε χρήστη, με αποτέλεσμα να μεταδίδουν πολλοί χρήστες ταυτόχρονα, στην ίδια συχνότητα χωρίς πρόβλημα (αρκεί οι κώδικες των χρηστών να είναι κατάλληλοι).

Αναφέροντας επιγραμματικά τα πλεονεκτήματα των τεχνικών πολυπλεξίας, η FDMA παρουσιάζει απλότητα στην υλοποίηση, η TDMA καλύτερη εκμετάλλευση φάσματος, ενώ η CDMA παρέχει βέλτιστη χρήση φάσματος.

## Κεφάλαιο 3

### Συστήματα 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς: από το GSM στο UMTS

Η βιομηχανία των κυψελοειδών ασύρματων επικοινωνιών βεβαίωσε την τεράστια αύξησή της την προηγούμενη δεκαετία, με πάνω από τέσσερα δισεκατομμύρια ασύρματους συνδρομητές παγκοσμίως. Ακόμα πιο ενδιαφέρουσα παρατήρηση όμως, είναι το γεγονός ότι στην πλειοψηφία των περιπτώσεων μιλάμε για δίκτυα 2<sup>ης</sup> γενιάς, δηλαδή δίκτυα που επικεντρώνουν στην μετάδοση φωνής και μικρού μήκους μηνυμάτων. Οι υπηρεσίες 2G που στηρίχθηκαν στο πρότυπο GSM, παρείχαν στον κάθε χρήστη αμφίδρομη φωνητική επικοινωνία ισοδύναμου εύρους ζώνης ψηφιακών δεδομένων περίπου 4 έως 40 Kbps. Λίγο πριν τη μετάβαση στην επόμενη γενιά (3G), οι κινητές επικοινωνίες πέρασαν από το στάδιο της μετάδοσης ψηφιακών δεδομένων σε σχετικά υψηλότερες ταχύτητες, με τις υπηρεσίες GPRS (General Packet Radio Service), EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution) και HSCSD (High Speed Circuit Switched Data). Η γενιά αυτή έμεινε γνωστή ως γενιά 2.5G, δηλαδή ένα ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ 2G και 3G με προβλεπόμενο εύρος ζώνης ανά χρήστη από 56 Kbps έως 384 Kbps. Σήμερα βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη η τρίτη γενιά κινητών επικοινωνιών (3G), γνωστή ως UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) στην Ευρώπη, και CDMA2000 (Code Division Multiple Access) στην Αμερική. Στα δίκτυα 3G προβλέπεται εύρος ζώνης ανά χρήστη από 384 Kbps έως 2 Mbps και δυνατότητα μετάδοσης πολυμεσικής πληροφορίας, δηλαδή κινούμενης εικόνας (video) σε συνδυασμό με πολυκάναλο ήχο. Οι πιο πρόσφατες εκδόσεις του 3G οι οποίες συχνά συμβολίζονται ως 3.5G και 3.75G, παρέχουν επίσης κινητή ευρυζωνική πρόσβαση αρκετών Mbps για φορητούς υπολογιστές (laptops) και έξυπνα τηλέφωνα (smartphones).

Τα συστήματα 3G αναπτύσσονται και προτυποποιούνται από δύο μη κερδοσκοπικούς οργανισμούς γνωστούς ως 3GPP και 3GPP2. Ο πρώτος δημιουργήθηκε το 1998 και ασχολείται με την εξέλιξη των συστημάτων GSM και την ανάπτυξη προτύπων για το UMTS, ενώ ο δεύτερος καθορίζει τα πρότυπα για την τεχνολογία CDMA-2000. Στην ομάδα 3GPP συμμετέχουν μερικοί από τους μεγαλύτερους οργανισμούς προτυποποίησης, όπως το ETSI (European Telecommunications Standards Institute) της Ευρώπης, το ARIB (Association of Radio Industries and Businesses) της Ιαπωνίας, το CCSA (China Communications Standards Association) της Κίνας, το ATIS (Alliance for Telecommunications Industry Solutions) της Β. Αμερικής και το TTA (Telecommunications Technology Association) της Ν. Κορέας [3].

### 3.1 GSM

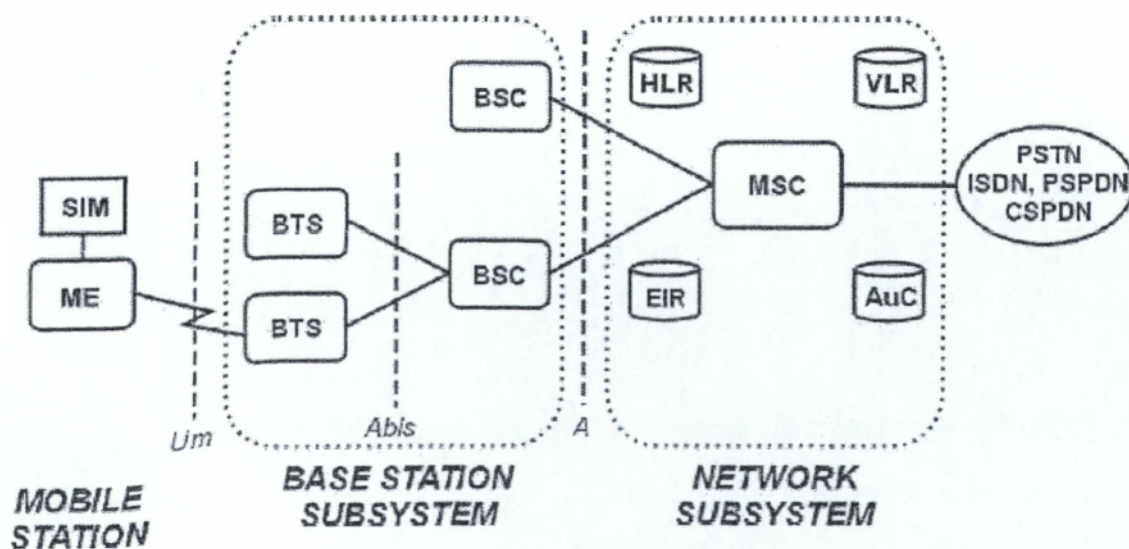


Το *GSM (Global System for Mobile Communication)* είναι ένα κυψελοειδές ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας δεύτερης γενιάς (2G), το οποίο χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητικά σήματα και την τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με διαχωρισμό του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων σε ένα αριθμό καναλιών, και την διαίρεση αυτών σε χρονοθυρίδες για την μετάδοση σημάτων. Αποτελεί το πιο δημοφιλές σύστημα κινητής τηλεφωνίας στον κόσμο, απαριθμώντας πάνω από τρία δισεκατομμύρια χρήστες σε παγκόσμια κλίμακα.

Ένα GSM δίκτυο αποτελείται από διακεκριμένες οντότητες, των οποίων οι λειτουργίες και οι αλληλεπιδράσεις είναι καθορισμένες. Το δίκτυο GSM χωρίζεται σε τρία βασικά μέρη:

- Τον *Κινητό Σταθμό (Mobile Station - MS)*
- Το *Υποσύστημα Σταθμών Βάσης (Base Station Subsystem - BSS)*
- Το *Υποσύστημα Δικτύου (Network Subsystem - NS)*

Το MS (κινητό) το μεταφέρει ο χρήστης. Το BSS ελέγχει το ραδιοδίαυλο που συνδέεται με το κινητό τερματικό. Το NS, του οποίου το κύριο μέρος είναι το *Κέντρο Κινητών Υπηρεσιών και Μεταγωγής (Mobile services Switching Center - MSC)*, είναι υπεύθυνο για τη μεταγωγή των κλήσεων τόσο μεταξύ δύο κινητών τερματικών όσο και μεταξύ ενός κινητού τερματικού και ενός σταθερού τηλεφώνου, καθώς επίσης και για τη διαχείριση κινητικότητας. Στην *Εικόνα 6* παρουσιάζεται ο λεπτομερής σχεδιασμός ενός γενικού GSM δικτύου. Αυτό που δε φαίνεται είναι το *Κέντρο Λειτουργιών και Ελέγχου (Operations and Maintenance Center)*, το οποίο επιβλέπει τη σωστή λειτουργία και τον έλεγχο του δικτύου. Το MS και το BSS επικοινωνούν διαμέσου της διεπαφής (interface) *Um*. Το BSS επικοινωνεί με το MSC διαμέσου της διεπαφής *A*.



Εικόνα 6 Η Αρχιτεκτονική του GSM [4]



Το κινητό τερματικό ή κινητός σταθμός (MS) αποτελείται από τον κινητό εξοπλισμό (Mobile Equipment - ME) και από την «έξυπνη» κάρτα Subscriber Identity Module (SIM). Η κάρτα SIM εξασφαλίζει την προσωπική κινητικότητα, έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να έχει πρόσβαση στις συνδρομητικές υπηρεσίες ανεξάρτητα με το τερματικό που χρησιμοποιεί. Τοποθετώντας την κάρτα SIM σε ένα άλλο GSM τερματικό, ο χρήστης μπορεί να δέχεται και να πραγματοποιεί κλήσεις από αυτό και γενικά να έχει πρόσβαση σε οποιαδήποτε άλλη υπηρεσία του προσφέρεται. Το κινητό τερματικό είναι μοναδικά αναγνωρίσιμο από τον αριθμό IMEI (International Equipment Identity). Η κάρτα SIM περιέχει τον αριθμό IMSI (International Mobile Subscriber Identity) που χρησιμοποιείται για την αναγνώριση του συνδρομητή από το σύστημα και αποτελεί το μυστικό κλειδί για την πιστοποίηση και άλλες πληροφορίες. Το IMEI και το IMSI είναι ανεξάρτητα επιτρέποντας έτσι την προσωπική κινητικότητα. Η κάρτα SIM προστατεύεται από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες από έναν μυστικό προσωπικό αριθμό που ονομάζεται Personal Identity Number (PIN).

Το υποσύστημα σταθμών βάσης (BSS) αποτελεί το στοιχείο που συνδέει το κινητό τερματικό και το NS, είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση και τη λήψη και αποτελείται από τον Σταθμό Βάσης (Base Transceiver Station – BTS) και τον Ελεγκτή Σταθμών Βάσης (Base Station Controller – BSC). Ο σταθμός βάσης εμπεριέχει ραδιοπομπούς, οι οποίοι προσδιορίζουν την κυψέλη και χειρίζεται πρωτόκολλα επικοινωνίας με το κινητό τερματικό. Σε μια πολύ μεγάλη περιοχή θα υπάρχουν πολλοί σταθμοί βάσης, επομένως οι απαιτήσεις για ένα BTS θα είναι αξιοπιστία, μεταφερσιμότητα και ελάχιστο κόστος. Ο χειριστής σταθμών βάσης διευθύνει τους πόρους για έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης. Τέτοιοι πόροι αποτελούν οι δίαυλοι, η μεταπήδηση συχνότητας (frequency hopping), οι μεταπομπές (handovers) κ.α.

Ο βασικός ρόλος του υποσυστήματος δικτύου (NS) είναι η διαχείριση των επικοινωνιών μεταξύ των χρηστών του δικτύου και άλλων χρηστών, όπως χρήστες κινητής τηλεφωνίας, χρήστες ISDN, χρήστες σταθερής τηλεφωνίας κ.α. Το NS συμπεριλαμβάνει και βάσεις δεδομένων για να αποθηκεύει πληροφορίες για τους συνδρομητές, αλλά και να διαχειρίζεται την κινητικότητά τους [4].

Το υποσύστημα μεταγωγής και δικτύου αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Το Κέντρο Μεταγωγής Κινητών Επικοινωνιών (Mobile Switching Center – MSC): το σημαντικότερο μέρος του NS, που εκτελεί λειτουργίες μεταγωγής του δικτύου, καθώς και παρέχει συνδέσεις με άλλα δίκτυα.
- Το Διαβιβαστικό Κέντρο Μεταγωγής Κινητών Επικοινωνιών (Gateway<sup>2</sup> MSC – GMSC): είναι η διεπαφή μεταξύ του ψηφιακού κυψελωτού δικτύου και του σταθερού δικτύου επικοινωνιών, υπεύθυνο για τη δρομολόγηση των κλήσεων από έναν οποιοδήποτε άλλο χρήστη προς έναν χρήστη GSM, λειτουργώντας συχνά με τις ίδιες λειτουργικές μονάδες όπως όλα τα MSC.

---

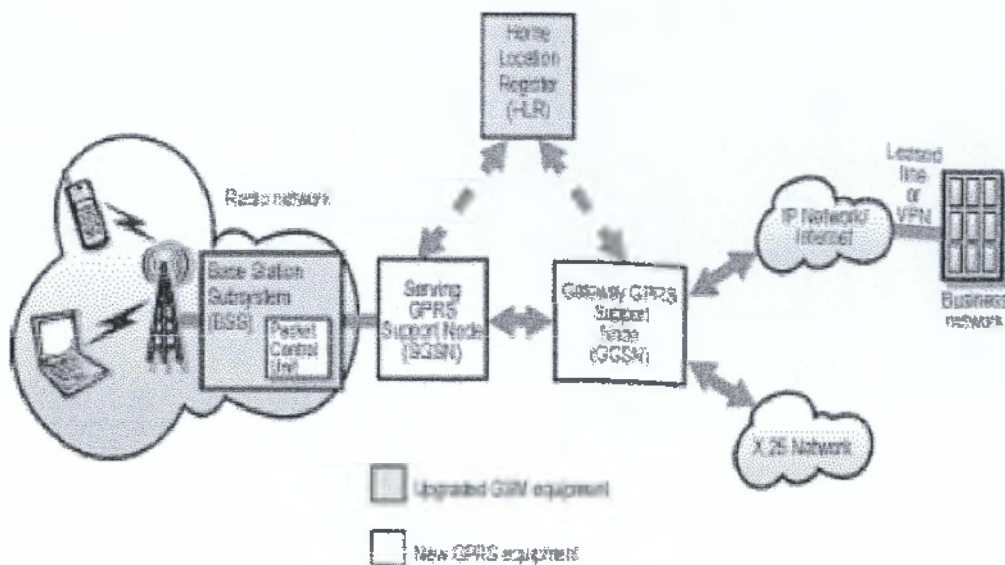
<sup>2</sup> Πύλη (gateway) είναι ένας κόμβος που συνδέει δύο δίκτυα.

- Τον Καταχωρητή Θέσης Οικείων (Home Location Register – HLR): μια ιδιαίτερα σημαντική βάση δεδομένων, στην οποία βρίσκονται αποθηκευμένες πληροφορίες για τους συνδρομητές του δικτύου που ανήκουν στην περιοχή ελέγχου του MSC, την τρέχουσα θέση των συνδρομητών, καθώς και τις υπηρεσίες, στις οποίες έχουν αυτοί πρόσβαση.
- Τον Καταχωρητή Θέσης Επισκεπτών (Visitor Location Register – VLR): περιέχει πληροφορίες από τον HLR ενός συνδρομητή, απαραίτητες ώστε να παρέχει υπηρεσίες σε επισκέπτες χρήστες.
- Το Κέντρο Πιστοποίησης της Αυθεντικότητας (Authentication Center – AuC): ένας καταχωρητής που χρησιμοποιείται για σκοπούς ασφαλείας, παρέχει τις παραμέτρους που χρειάζονται για την πιστοποίηση και την κρυπτογραφία, οι οποίες βοηθούν να επαληθευθεί η ταυτότητα του χρήστη, αποθηκεύοντας το μυστικό κλειδί που υπάρχει στην κάρτα SIM κάθε συνδρομητή.
- Τον Καταχωρητή Ταυτότητας (Κινητού) Εξοπλισμού (Equipment Identity Register - EIR): ένας καταχωρητής όπου είναι καταχωρημένοι όλοι οι έγκυροι αριθμοί IMEI.

Το πρότυπο GSM δεν είναι μόνο Ευρωπαϊκό πρότυπο, αφού υιοθετήθηκε από όλες σχεδόν τις χώρες του κόσμου εκμεταλλευόμενο διάφορες ζώνες συχνοτήτων, αντιπροσωπεύοντας σήμερα άνω του 80% του συνόλου των συνδρομητών παγκοσμίως. Πάνω από 60 φορείς εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούν κάποιες παραλλαγές του, όπως το CDMA2000 στη ζώνη των 450MHz (CDMA450).

### 3.2 GPRS

Το πρώτο σημαντικό βήμα στην εξέλιξη των δικτύων GSM προς τα 3G συνέβη με την εισαγωγή του *General Packet Radio Service (GPRS)*. Το GPRS λειτουργεί πάνω από το GSM δίκτυο, προσθέτει όμως δύο νέα στοιχεία στο υπάρχον GSM δίκτυο, καθώς και απαιτεί νέες τερματικές συσκευές, οι οποίες θα εκμεταλλεύονται τα πλεονεκτήματα του GPRS δικτύου. Οι νέες συσκευές μπορεί να είναι από απλά κυψελωτά τηλέφωνα έως PDA και κάρτες δικτύου υπολογιστή. Στην *Εικόνα 7* παρουσιάζεται μία λειτουργική όψη του GPRS. Το GPRS φέρνει δύο νέα στοιχεία, το Serving GPRS Support node (SGSN) και το Gateway GPRS Support Node (GGSN). Αυτοί οι κόμβοι – στοιχεία δικτύου επικοινωνούν με τον Καταχωρητή Θέσης Οικείων (HLR) για να ανακτήσουν το προφίλ του εγγεγραμμένου χρήστη στο δίκτυο και τις αναγκαίες πληροφορίες για την πιστοποίηση αυθεντικότητας. Το SGSN είναι συνδεδεμένο άμεσα στο υποσύστημα σταθμών βάσης (BSS) και στο GGSN. Το SGSN είναι υπεύθυνο για την μεταφορά πακέτων δεδομένων από και προς το MS. Στα καθήκοντά του περιλαμβάνονται η δρομολόγηση πακέτων και η μετάδοσή τους, η διαχείριση κινητικότητας και λογικών συνδέσεων και λειτουργίες πιστοποίησης και χρέωσης. Επίσης αποθηκεύει πληροφορίες για όλους τους εγγεγραμμένους σε αυτό χρήστες, σχετικά με την τοποθεσία τους (κυψέλη, VLR) και με το πορτρέτο τους (τις διευθύνσεις που είναι απαραίτητες στα δίκτυα μεταγωγής πακέτου).



Εικόνα 7 Η Αρχιτεκτονική του GPRS [5]

Η δεύτερη οντότητα, το GGSN, δρα σαν συνδετικός κρίκος μεταξύ του δικτύου κορμού GPRS και του εξωτερικού δικτύου μεταγωγής πακέτου. Μετατρέπει τα πακέτα που έρχονται από το GGSN στην κατάλληλη μορφή (PDP format, IP ή X.25), και τα στέλνει στο αντίστοιχο δίκτυο. Αν τα πακέτα έρχονται από την άλλη κατεύθυνση, η διεύθυνση προορισμού του πακέτου μετατρέπεται και στέλνονται στο κατάλληλο SGSN.

Το GGSN αποθηκεύει την διεύθυνση του SGSN που είναι συνδεδεμένος ο χρήστης, όπως και το πορτρέτο του, εκτελώντας επίσης λειτουργίες πιστοποίησης και χρέωσης. Γενικά μεταξύ των δύο αυτών οντοτήτων υπάρχει στενή σχέση, καθώς ένα GGSN είναι ο συνδετικός κρίκος προς το εξωτερικό δίκτυο για αρκετά SGSN και ένα SGSN μπορεί να δρομολογήσει πακέτα σε διαφορετικά GGSN, με σκοπό να φτάσουν σε διαφορετικά δίκτυα.

Ένα ακόμη σημαντικό νέο στοιχείο είναι η μονάδα ελέγχου πακέτων (Packet Control Unit - PCU), το οποίο αποτελεί μία υλοποίηση σε υλικό (hardware), η οποία προστίθεται στο υποσύστημα σταθμών βάσης (BSS) έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μεταφορά και διαχείριση των πακέτων με δεδομένα μεταξύ των συσκευών των χρηστών και του κεντρικού δικτύου του GPRS. Η PCU μονάδα υποστηρίζει επίσης επαναμετάδοση πλαισίου και συγκεκριμένες λειτουργίες πρωτοκόλλων του GPRS.



### 3.3 EDGE

Τα δίκτυα GPRS εξελίχθηκαν σε δίκτυα *EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)* με την εισαγωγή της 8PSK κωδικοποίησης, αποτελώντας το τελευταίο βήμα πριν τα δίκτυα τρίτης γενιάς (3G), γνωστά και ως 2.75G. Το EDGE, το Enhanced GPRS (EGPRS), ή το IMT Single Carrier (IMT-SC) είναι μια ψηφιακή τεχνολογία που παρέχει προς τα πίσω συμβατότητα, παρέχοντας υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης για τις μεταφορές των δεδομένων. Το EDGE επεκτάθηκε στις αρχές του 2003 ενώ είχε δημιουργηθεί από την Cingular (νυν AT&T) στις ΗΠΑ.

Το EDGE τοποθετείται από την 3GPP ως τμήμα της οικογένειας του GSM και είναι μια αναβάθμιση που παρέχει δυναμικά τριπλάσια αύξηση της απόδοσης των δικτύων GSM και GPRS. Η συγκεκριμένη προδιαγραφή επιτυγχάνει ποσοστά μετάδοσης δεδομένων της τάξεως των 236.8 kbit/s, με τη χρήση πιο εξελιγμένων μεθόδων κωδικοποίησης (SPSK), στο πλαίσιο των υφιστάμενων χρονοθυρίδων του GSM.

### 3.4 UMTS

Το *UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)* είναι ο εκπρόσωπος της 3<sup>ης</sup> γενιάς όσον αφορά την εξέλιξη των ασύρματων συστημάτων επικοινωνίας, και αποτελεί μέχρι και σήμερα την πιο διαδεδομένη τεχνολογία σε χρήση από ασύρματα δίκτυα κινητών επικοινωνιών. Παρέχει ευρυζωνικές δυνατότητες μετάδοσης πακέτων δεδομένων με ρυθμούς της τάξης των 2 Mbps προσφέροντας στους χρήστες ψηφιακές υπηρεσίες υψηλής ποιότητας. Το UMTS ενοποιεί τις τεχνολογίες μεταγωγής πακέτων και κυκλώματος στη μετάδοση δεδομένων, προσφέροντας προηγμένη και ευέλικτη παροχή QoS. Η τεχνολογία αυτή οδηγεί τις επικοινωνίες του 21<sup>ου</sup> αιώνα, παρέχοντας καθολική πρόσβαση σε υπηρεσίες πολυμέσων, ανεξάρτητα τοποθεσίας, δικτύου και τερματικού που χρησιμοποιείται. Ο καθορισμός των υπηρεσιών περιλαμβάνουν εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπως δυνατότητα τηλεσυνδιάσκεψης και υπηρεσίες ελεγχόμενης μεταβλητότητας στην καθυστέρηση (streaming).

Για τη βελτίωση των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων που υπόσχεται η τεχνολογία UMTS, έχουν αναπτυχθεί κατάλληλα πρότυπα όπως είναι το *HSPA (High Speed Packet Access)* το οποίο στηρίζει τις βάσεις της δημιουργίας του στη βελτίωση του *WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)* και έχει ως αποτέλεσμα αρκετά ανώτερη επίδοση. Το WCDMA είναι ένα DS-CDMA (Direct-Sequence Code Division Multiple Access) σύστημα ευρείας ζώνης και αποτελεί τη ραδιοεπαφή του συστήματος UMTS όπως προέκυψε από το 3GPP. Υποστηρίζει δύο βασικές μεθόδους λειτουργίας, τις *Frequency Division Duplex (FDD)* και *Time Division Duplex (TDD)*.

Βασικοί στόχοι του UMTS αποτελούν η συμβατότητα με τα σημερινά συστήματα και κυρίως το GSM (το οποίο άλλωστε πρόκειται να αντικαταστήσει), ώστε να είναι δυνατή η ανάπτυξη και η επέκτασή τους με το ελάχιστο δυνατό κόστος, η υψηλή ποιότητα υπηρεσιών, το μικρό μέγεθος τερματικών για παγκόσμια χρήση, η υποστήριξη εφαρμογών

πολυμέσων, η επίγεια και δορυφορική επικοινωνία αλλά και το ανεκτό κόστος των υπηρεσιών με χρεώσεις στα επίπεδα των σημερινών αλλά και πιο χαμηλής.

Βασικά χαρακτηριστικά του UMTS αποτελούν τα παρακάτω:

- *Ιεραρχικά Κυψελωτά Επίπεδα (Hierarchical Cell Layers – HCS)*: συνδυασμοί διαφορετικών ειδών κυψελών (μακροκυψέλες, μικροκυψέλες και πικοκυψέλες) λειτουργούν η μία πάνω στην άλλη, καλύπτοντας κάθε τύπο περιβάλλοντος με διαφορετικές τοπολογίες δικτύου, για διαφορετικές απαιτήσεις.
- *Εύρος Ζώνης (5 MHz)*: επιτυγχάνει τους αρχικούς στόχους για ρυθμούς των 144 και 384 Kbps με ικανοποιητική χωρητικότητα, ακόμη και τον μέγιστο ρυθμό των 2 Mbps κάτω από περιορισμένες συνθήκες.
- *Απόσταση Μεταξύ Διαδοχικών Φερόντων (Carrier Spacing)*: μπορεί να είναι από 4.4 έως 5 MHz με βήμα 200 KHz και επιλέγεται με στόχο την διασφάλιση της κατάλληλης προστασίας γειτονικών καναλιών για την αποφυγή των μεταξύ τους παρεμβολών (μπορεί να είναι μεγαλύτερη μεταξύ διαδοχικών φερόντων διαφορετικών παροχέων).
- *Διάρκεια Πλαισίου (Frame Length)*: εξαρτάται από τις απαιτήσεις των υπηρεσιών και την επιθυμητή απόδοση (το μήκος πλαισίου στο WCDMA είναι 10ms).
- *Κωδικοποίηση Ραδιοδιαύλου*: εφαρμόζονται διαφορετικές τεχνικές κωδικοποίησης ανάλογα με τις απαιτήσεις καθυστέρησης και του ρυθμού λανθασμένων bits (BER) για διαφορετικές υπηρεσίες.
- *Cell Breathing*: η αλληλεξάρτηση μεταξύ χωρητικότητας και κάλυψης οδηγεί στην αυξομείωση της περιοχής κάλυψης μιας κυψέλης, καθώς το μέγεθος της δεν είναι σταθερό και μεταβάλλεται ανάλογα με το φορτίο.
- *Διαδικασία Διασποράς και Scrambling*: χρησιμοποιούνται μοναδικοί κώδικες διασποράς, τουλάχιστον σε επίπεδο κυψέλης, που ονομάζονται κώδικες διαυλοποίησης (channelisation codes) για να διαχωρίζουν τις διαφορετικές εκπομπές από την ίδια πηγή, και ένας επιπλέον κώδικας που καλείται κώδικας περίπλεξης (scrambling code) ο οποίος πολλαπλασιάζει το διεσπαρμένο σήμα για να διαχωρίζει τους χρήστες ή τους σταθμούς βάσης μεταξύ τους.

### 3.4.1 Εκδόσεις UMTS

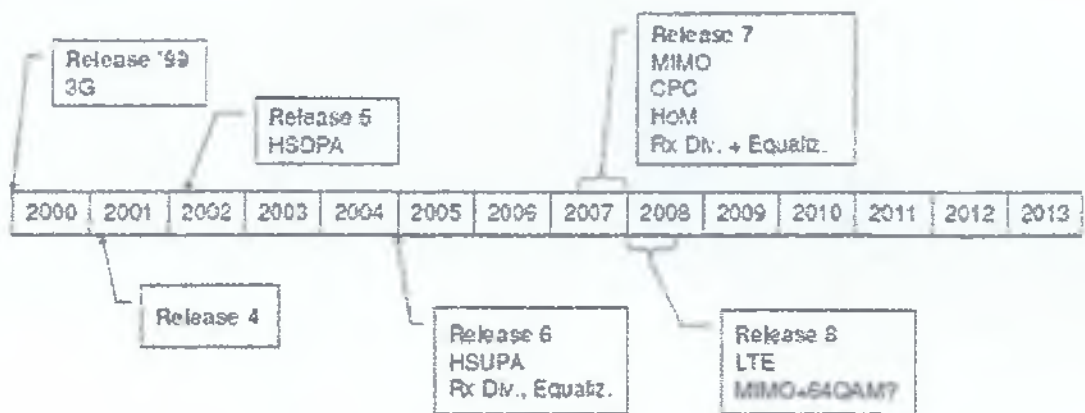
Η ομάδα 3GPP έχει αναπτύξει από το 1998 διάφορες εκδόσεις για τον τρόπο λειτουργίας των δικτύων τρίτης γενιάς. Κάθε έκδοση περιγράφεται αναλυτικά μέσα από έγγραφα που περιγράφουν όχι μόνο το κομμάτι της ράδιο-επαφής (air-interface) και του δικτύου κορμού (core network), αλλά και πληροφορίες για την κοστολόγηση των υπηρεσιών και την κωδικοποίηση της φωνής, καθώς και για την κρυπτογράφηση των διακινούμενων δεδομένων [6].

Οι εκδόσεις αυτές είναι οι εξής:

- *Release 99 (R99)*: περιλαμβάνει όλα τα βασικά χαρακτηριστικά του πρώτων δικτύων τρίτης γενιάς.
- *Release 4 (R4)*: περιλαμβάνει πολλά επιπρόσθετα χαρακτηριστικά για τα δίκτυα 3G, και προβλέπει τον τρόπο λειτουργίας του δικτύου κορμού βασισμένου εξολοκλήρου στο πρωτόκολλο IP (all-IP), αναπτύσσοντας επιπλέον νέα περιβάλλοντα εκτέλεσης, όπως το Mobile Execution Environment (MExE) για την εκτέλεση συγκεκριμένων εφαρμογών του παρόχου στις κινητές συσκευές (π.χ. εφαρμογές Java), καθώς και νέες τεχνολογίες όπως η ανταλλαγή πολυμεσικών μηνυμάτων (Multimedia Messaging).
- *Release 5 (R5)*: καθορίζει τη λειτουργία του Υποσυστήματος Πολυμέσων IP (IP Multimedia Subsystem IMS) για τη διακίνηση πολυμεσικών στοιχείων και εφαρμογών μεταξύ των χρηστών, μέσω του πρωτοκόλλου IP. Επίσης, προτυποποιείται η τεχνολογία HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access), γνωστή και ως 3.5G, που αποτελεί ουσιαστικά εξέλιξη του συστήματος UMTS, αφού υπόσχεται ταχύτερη μεταφορά δεδομένων μέχρι και 14,4 Mbps
- *Release 6 (R6)*: περιγράφει τους τρόπους αλληλεπίδρασης των 3G δικτύων με ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless LAN), προτείνοντας βελτιώσεις στο υποσύστημα IMS και καθορίζοντας τις προδιαγραφές της τεχνολογίας HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access), που αποσκοπεί στη βελτίωση της ταχύτητας uplink δεδομένων μέχρι και 5,76Mbps.

3GPP R5	3GPP R6	3GPP R7	3GPP R8
HSDPA 14.4 Mbps	HSUPA 5.76 Mbps	HSDPA 28.8 Mbps and HSUPA 11.5 Mbps	Long term evolution (LTE): New radio with peak rate of 160 Mbps
IP transport	Multimedia broadcast multicast (MBMS)	HSPA flat architecture	Scalable bandwidth 1.25 - 20 MHz
		EDGE evolution up to 1.4 Mbps	Further HSPA evolution up to 43 Mbps
		Most feature- rich 3GPP release since R99	

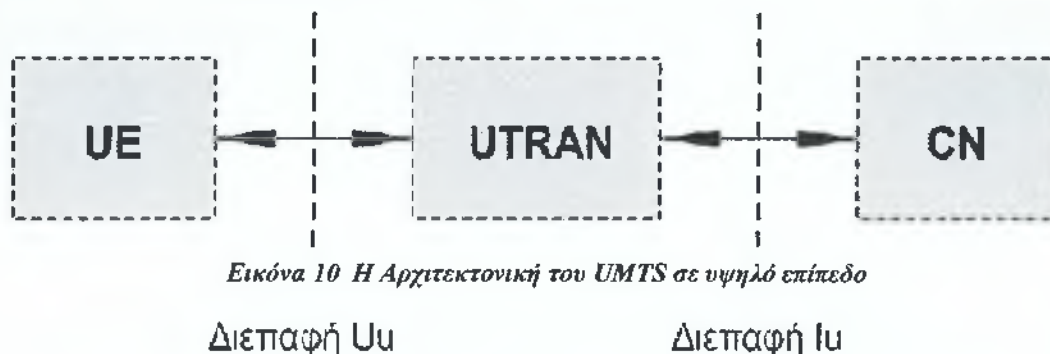
Εικόνα 8 Εκδόσεις UMTS



Εικόνα 9 Ημερολόγιο εισαγωγής UMTS

### 3.4.2 Αρχιτεκτονική Δικτύου UMTS

Τα κύρια στοιχεία του δικτύου UMTS είναι το δίκτυο πρόσβασης ραδιοσυχνοτήτων *UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)*, το οποίο χειρίζεται όλες τις λειτουργίες της ραδιοεπαφής και παρεμβάλλεται μεταξύ του κινητού σταθμού εξοπλισμού χρήστη (*User Equipment – UE*) και του κεντρικού δικτύου (*Core Network - CN*), το οποίο είναι υπεύθυνο για τη μεταγωγή και τη δρομολόγηση των συνδέσεων προς τα εξωτερικά δίκτυα κλήσεων και δεδομένων (*Εικόνα 10*).



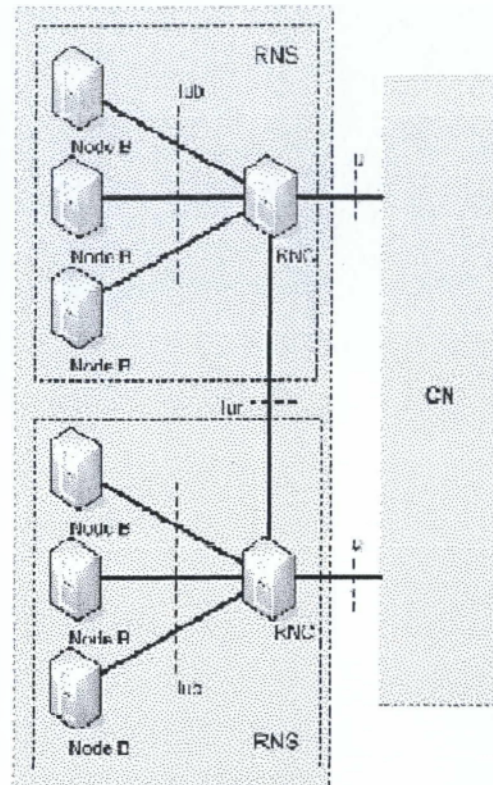
Εικόνα 10 Η Αρχιτεκτονική του UMTS σε υψηλό επίπεδο

Το UTRAN είναι ένα νέο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης ειδικά σχεδιασμένο για το σύστημα UMTS, το οποίο διαχωρίζεται από το UE μέσω της διεπαφής Uu και από το Core Network (CN) μέσω της διεπαφής Iu. Η βασικότερη λειτουργία του είναι η εποπτεία και η διαχείριση των ασύρματων πόρων του δικτύου, που συμπεριλαμβάνει την ευθύνη για τον έλεγχο της ισχύος καθώς και την υποστήριξη και διαχείριση των handovers [6].



Αποτελείται από ένα σύνολο υποσυστημάτων ραδιοδικτύου (Radio Network Subsystems – RNS), τα οποία αποτελούν τα σημεία πρόσβασης στο δίκτυο UMTS για όλες τις υπηρεσίες που παρέχει το UTRAN στο κεντρικό δίκτυο (π.χ. τη διαχείριση των συνδέσεων με τον κινητό σταθμό). Κάθε RNS αποτελείται από έναν ή περισσότερους κόμβους (Nodes B) και έναν ελεγκτή ραδιοδικτύου (Radio Network Controller - RNC).

Ένας κόμβος RNC συνδέεται με το CN μέσω της διεπαφής Iu (Εικόνα 11). Η συγκεκριμένη διεπαφή έχει δύο συνιστώσες: τη συνιστώσα Iu-Circuit Switched (Iu-CS) που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος (φωνή) και τη συνιστώσα Iu-Packet Switched (Iu-PS) που χρησιμοποιείται για υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων (υπηρεσίες δεδομένων).



Εικόνα 11 Η δομή του UTRAN

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

Το πεδίο CS περιλαμβάνει τους εξής κόμβους:

- *Mobile Services Switching Center (MSC)*: αποτελεί έναν κόμβο μεταγωγής ο οποίος δρομολογεί τα δεδομένα των υπηρεσιών μεταγωγής κυκλώματος εντός του δικτύου UMTS. Κάθε κόμβος MSC διαχειρίζεται πολλά RNCs τα οποία συνδέονται σε αυτόν μέσω της διεπαφής Iu-CS. Είναι συνδεδεμένος με τις βάσεις δεδομένων του δικτύου όπως τη βάση δεδομένων Home Location Register (HLR) και τη Visitor Location Register (VLR). Επίσης, μία άλλη πολύ χρήσιμη λειτουργία του κόμβου είναι η διαχείριση της κινητικότητας των χρηστών για τις υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος.
- *Gateway Mobile Services Switching Center (GMSC)*: είναι συνδεδεμένος με τους κόμβους MSC, καθώς η λειτουργία του είναι να διασυνδέει το δίκτυο UMTS με άλλα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος όπως PSTN και ISDN.

- *Visitor Location Register (VLR)*: είναι μία βάση δεδομένων και συνήθως κάθε VLR αντιστοιχεί σε έναν MSC. Η βάση VLR αποθηκεύει προσωρινή πληροφορία σχετικά με την ταυτοποίηση και την ασφάλεια καθώς και άλλες χρήσιμες πληροφορίες που σχετίζονται με όλους τους χρήστες που διαχειρίζεται κάθε δεδομένη στιγμή ο αντίστοιχος MSC. Η βάση λαμβάνει την αρχική πληροφορία από τη βάση HLR και αναλαμβάνει να την ενημερώσει για τυχόν μεταβολές στα δεδομένα της. Όλες οι συναλλαγές μεταξύ VLR και HLR γίνονται μέσω ενός MSC.

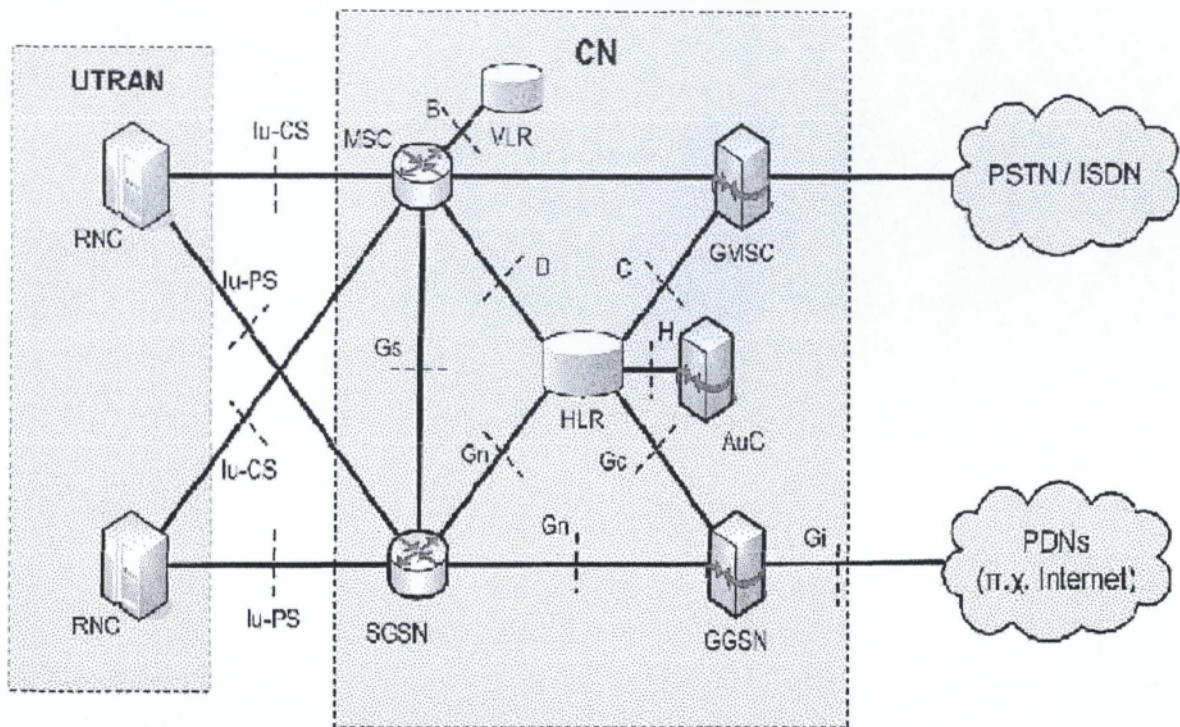
Το πεδίο PS αποτελείται από τους παρακάτω κόμβους:

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

Υπάρχουν ορισμένοι κόμβοι του CN οι οποίοι είναι κοινοί και χρησιμοποιούνται και από τα δύο πεδία. Οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι:

- *Home Location Register (HLR)*: πρόκειται για μία βάση δεδομένων η οποία αποθηκεύει δεδομένα των χρηστών τα οποία μένουν σχετικά σταθερά στο χρόνο (τα δεδομένα είναι αναγνωριστικά, πληροφορίες για τις υπηρεσίες του δικτύου στις οποίες συμμετέχει ο συνδρομητής κ.α.).
- *Authentication Center (AuC)*: αποτελεί έναν κόμβο που είναι συσχετισμένος με έναν HLR και αποθηκεύει πληροφορίες ταυτοποίησης και κρυπτογράφησης για τους συνδρομητές, οι οποίες φορτώνονται στον κόμβο κατά την έναρξη της συνδρομής από το χρήστη.

Στην *Εικόνα 12* παρουσιάζεται η δομή του CN, όπου εκτός από τους κόμβους που προαναφέρθηκαν, σημειώνονται και οι διεπαφές μεταξύ των κόμβων του CN.



Εικόνα 12 Η δομή του CN

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

Η επικοινωνία μεταξύ των παραπάνω οντοτήτων, καθορίζεται από τις διεπαφές Uu, μέσω της οποίας το κινητό τερματικό UE αποκτά πρόσβαση προς το σταθερό τμήμα του συστήματος - ουσιαστικά είναι η ραδιοεπαφή WCDMA, την Iub που συνδέει το σταθμό βάσης με τον ελεγκτή ραδιοδικτύου, την Iu που συνδέει το δίκτυο ραδιοπρόσβασης με το δίκτυο κορμού, και την Iur η οποία συνδέει τους ελεγκτές ραδιοδικτύου, επιτρέποντας τη μεταπομπή μεταξύ τους [6].



### 3.4.3 Τάξεις Ποιότητας Υπηρεσιών του UMTS

Για να επιτευχθεί μια ευέλικτη κατηγοριοποίηση εφαρμογών και υπηρεσιών, έχουν δημιουργηθεί ορισμένες κλάσεις ποιότητας υπηρεσιών (QoS) οι οποίες βασίζονται στα χαρακτηριστικά τους και ορίζουν πόσο ευαίσθητες στην καθυστέρηση είναι οι εφαρμογές αυτές.

Στο UMTS υπάρχουν τέσσερις τάξεις κίνησης, οι οποίες είναι οι εξής:

- *Conversational Class* (απλή τηλεφωνία)
- *Streaming Class* (ροές δεδομένων πραγματικού χρόνου)
- *Interactive Class* (εφαρμογές αλληλεπίδρασης εξυπηρετητή-χρήστη, μηχανών)
- *Background Class* (κίνηση δεδομένων εφαρμογών)

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι τάξεις ποιότητας υπηρεσιών (QoS Classes) του UMTS, οι οποίες μπορούν περαιτέρω να ομαδοποιηθούν σε δύο κατηγορίες εφαρμογών: στις Εφαρμογές Πραγματικού Χρόνου (Conversational & Streaming) και στις Εφαρμογές Μη Πραγματικού Χρόνου (Interactive & Background).

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

Πίνακας 1 Τάξεις QoS του UMTS

Οι εφαρμογές της τάξης Conversational (π.χ. φωνή) είναι πιο ευαίσθητες στην καθυστέρηση σε σχέση με εφαρμογές της τάξης Background. Οι τάξεις Conversational και Streaming είναι υπεύθυνες για την μεταφορά real-time πληροφορίας, αλλά πιο ευαίσθητη στην καθυστέρηση είναι η Conversational. Αντίθετα, οι τάξεις Interactive και Background έχουν ως κύριο σκοπό την ακεραιότητα των δεδομένων. Είναι λιγότερο ευαίσθητες στην καθυστέρηση, απαιτούν καλύτερο BER και χρησιμοποιούνται κυρίως για εφαρμογές Internet όπως το Web, το E-Mail, το FTP κ.α. Οι εφαρμογές της τάξης Interactive είναι αυτές που έχουν υψηλότερη προτεραιότητα.

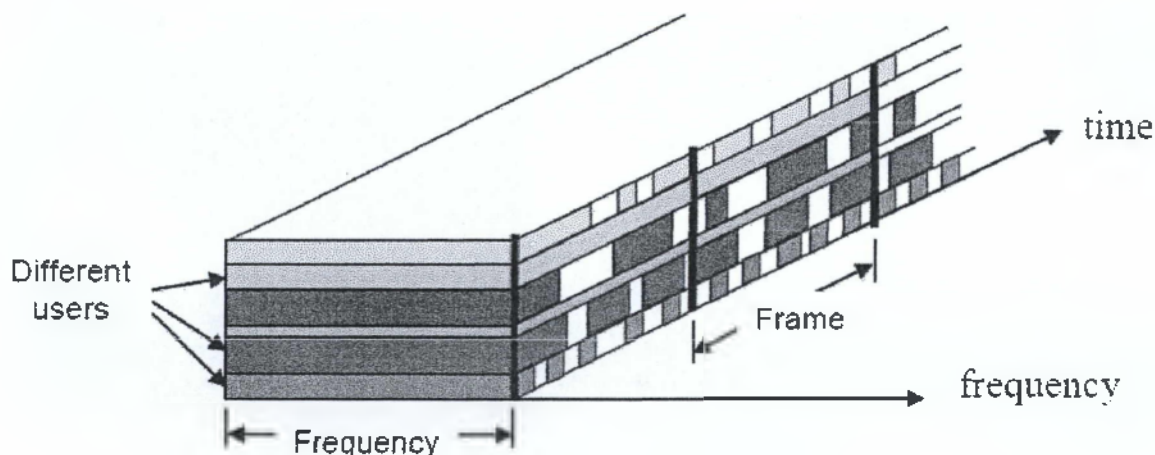
Η καθυστέρηση (delay), η παραμόρφωση χρονισμού (jitter) και η απώλεια δεδομένων (information loss), καθώς επίσης ο εγγυημένος ρυθμός μετάδοσης, ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης και άλλοι παράμετροι, διαφοροποιούν τις τάξεις και καθορίζουν τα διαφορετικά προφίλ ποιότητας υπηρεσιών που προσφέρουν τα δίκτυα [7].



### 3.4.4 Wideband CDMA (WCDMA)

Το WCDMA αποτελεί μια μεγάλη βελτίωση των τεχνολογιών TDMA και FDMA που λειτουργούν στο GSM, καθώς προσφέρει μεταφορά δεδομένων της τάξης των 384 Kbs για κάλυψη ευρείας περιοχής και 2 Mbs για τοπική. Όπως και στο CDMA, κάθε σήμα του χρήστη κωδικοποιείται ξεχωριστά. Οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν ταυτόχρονα ένα και μόνο κανάλι συχνότητας χωρίς να παρεμβάλλεται ο ένας στον άλλο εξαιτίας της μοναδικής κωδικοποίησης που έχει υποστεί το κάθε σήμα. Έτσι, προσφέρεται περίπου 25 φορές μεγαλύτερο εύρος ζώνης, συγκριτικά με το GSM.

Στην *Εικόνα 13* παρουσιάζεται η πολιτική διάθεσης εύρους ζώνης σε συστήματα WCDMA. Όλοι οι χρήστες χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα για να εκπέμπουν τα δεδομένα τους, αλλά διαχωρίζονται μεταξύ τους λόγω των διαφορετικών κωδικών. Επίσης, ανάλογα με την υπηρεσία που χρησιμοποιεί ο κάθε χρήστης υπάρχουν διαφορετικές χρονικές περίοδοι που είναι ενεργός και εκπέμπει, και άλλες περίοδοι όπου είναι ανενεργός χωρίς να εκπέμπει δεδομένα.



*Εικόνα 13* Λειτουργία συστήματος WCDMA [3]

Στο πλήρως ψηφιακό σύστημα WCDMA τα δεδομένα που πρόκειται να αποσταλούν «σπάνε» σε πολύ μικρά «πακέτα», στα οποία τους προσδίδεται ένας κωδικός (chip<sup>3</sup>). Όταν στέλνεται ένα σήμα, έχει προηγουμένως χωριστεί σε μικρότερα κομμάτια στα οποία τους έχει αποδοθεί αυτός ο μοναδικός κωδικός, κι ύστερα στέλνονται στις ραδιοσυχνότητες του δικτύου. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό διακίνησης των chips, τόσο μεγαλύτερο το εύρος του σήματος που καταλήγει. Το εύρος σε κάθε συχνότητα μπορεί να φτάσει τα 3,84 Mchips/s κι έτσι το εύρος ζώνης κάθε συχνότητας μπορεί να διευρυνθεί/ επεκταθεί σε 5 MHz στο WCDMA, συγκριτικά με τα 200kHz στα συστήματα 2ης γενιάς. Όσο μεγαλύτερο είναι λοιπόν το εύρος ζώνης, τόσο πιο πολλά οφέλη απόδοσης έχει και τόσο μεγαλύτερο ποσοστό δεδομένων μπορεί να υποστηρίξει.

<sup>3</sup> Το chip είναι η μικρότερη μονάδα υψηλού ποσοστού κωδικοποιημένης ακολουθίας.

Η WCDMA τεχνική μπορεί να υποστηρίξει πολλές υπηρεσίες ταυτόχρονα, με διαφορετικές απαιτήσεις και με πολύ καλή ποιότητα. Τα χαρακτηριστικά που διαθέτει την καθιστούν ιδανική για περιπτώσεις όπου το data-rate των χρηστών ποικίλει στο χρόνο (όπως δηλαδή συμβαίνει στην πραγματικότητα).

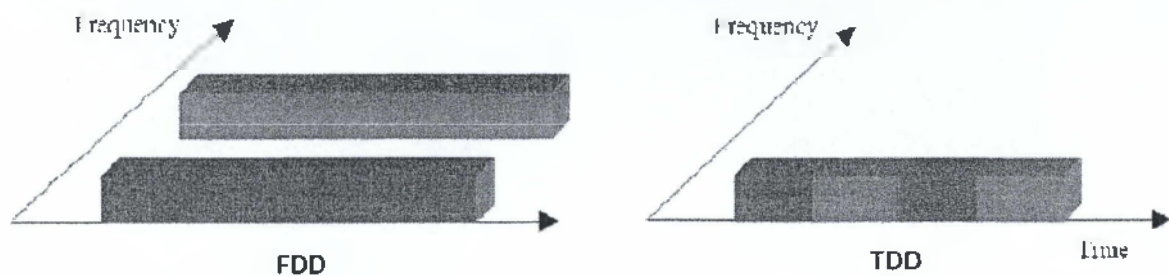
Υπάρχουν πολλές spread spectrum τεχνικές διαθέσιμες, όπως :

- *Direct sequence spread spectrum (DSSS)*: το σήμα κωδικοποιείται με ένα ορθογώνιο κώδικα μεγαλύτερου ρυθμού πριν σταλθεί, ο οποίος είναι γνωστός μόνο στον πομπό και τον δέκτη για να μπορεί να αποκωδικοποιήσει το σήμα. Στη συνέχεια το κωδικοποιημένο σήμα διαμορφώνει την carrier συχνότητα.
- *Frequency-Hopping spread spectrum (FH-SS)*: το σήμα που μεταδίδεται αλλάζει συχνότητα ανά τακτά χρονικά διαστήματα με έναν αλγόριθμο που τον γνωρίζει μόνο ο πομπός και ο δέκτης.
- *Time-hopping spread spectrum (TH-SS)*: βασίζεται στην τεχνική της ενεργοποίησης και απενεργοποίησης της συχνότητας φορέα με βάση μια ψευδοτυχαία ακολουθία και αποτελεί μια ακόμη τεχνολογία που δεν χρησιμοποιείται όσο οι δύο πρώτες.
- *Υβριδικές τεχνικές*: συνδυασμός των παραπάνω τεχνικών, όπου για να επιτευχθεί μια ευέλικτη κατηγοριοποίηση εφαρμογών και υπηρεσιών έχουν δημιουργηθεί ορισμένες κλάσεις ποιότητας υπηρεσιών (QoS) οι οποίες βασίζονται στα χαρακτηριστικά τους και ορίζουν πόσο ευαίσθητες στην καθυστέρηση είναι οι εφαρμογές αυτές.

	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Direct Sequence	Καλύτερη αντιαρμεβολική (anti-jam) επίδοση Δύσκολη ανίχνευση (more private) Καλύτερη συμπεριφορά απέναντι σε multipath Απλός σχεδιασμός πομποδέκτη	Απαιτητικός και χρονοβόρος συγχρονισμός (long acquisition time) Απαιτήση για ευρυζωνικό κανάλι Ευαίσθητο σε near/far problem
Frequency Hopping	Μεγαλύτερος λόγος διάχυσης (spreading) φάσματος Μπορεί να προγραμματιστεί να αποφεύγονται περιοχές του φάσματος Σχετικά γρήγορος συγχρονισμός (short acquisition time) Ανθεκτικά σε near/far problem	Πολύπλοκοι συσχετιστές Δεν είναι κατάλληλα για μέτρηση αποστάσεως-χρόνου (ranging systems) Απαιτείται διόρθωση λαθών
Time Hopping	Καλή εκμετάλλευση του φάσματος (high bandwidth efficiency) Απλούστερη υλοποίηση από τα frequency hopping Χρήσιμα όταν υπάρχει περιορισμός για τη μέση εκτεταμένη ισχύ (average power limited), και όχι τη μέγιστη στιγμιαία ισχύ (peak power limited) Αποφεύγεται το near/far πρόβλημα στα συντονισμένα συστήματα	Ιδιαίτερα απαιτητικός ο συγχρονισμός (long acquisition time) Απαιτείται διόρθωση λαθών Υπάρχει απαίτηση για αποθήκευση δεδομένων

Πίνακας 2 Σύγκριση DS, FH και TH Spread Spectrum τεχνικών [3]

Υπάρχουν δύο διαφορετικές τεχνικές στα WCDMA συστήματα όσον αφορά την επικοινωνία του χρήστη με τον BS. Στο Frequency Division Duplex (FDD) χρησιμοποιούνται διαφορετικές συχνότητες στο uplink και στο downlink, για την επικοινωνία των χρηστών με τους σταθμούς βάσης. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης θα λαμβάνει δεδομένα σε μία συχνότητα αλλά θα εκπέμπει σε μια άλλη συχνότητα. Αντίθετα, στο Time Division Duplex (TDD) η επικοινωνία στο uplink και στο downlink γίνεται στις ίδιες συχνότητες αλλά σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (Εικόνα 14).



Εικόνα 14 Τρόπος λειτουργίας των τεχνικών FDD και TDD

### 3.5 Απολογισμός των δικτύων 3G

Η τρίτη γενιά δικτύων, παρά τις προβλέψεις και τις υψηλές προσδοκίες αποδείχτηκε αρκετά απογοητευτική, καθώς στην πραγματικότητα δεν προσφέρουν την αληθινή 3G εμπειρία στους χρήστες αλλά αποτελούν μία αρχική δοκιμαστική εκδοχή τους, με την αληθινή εκδοχή να αναμένεται μελλοντικά. Το πιο απογοητευτικό σημείο είναι ότι τελικά αντί της υποσχόμενης ύπαρξης ενός παγκόσμιου προτύπου, μόνο στην Αμερική αναπτύχθηκαν τρία ασύμβατα συστήματα. Η φωνή μεταφέρεται με κυκλώματα μεταγωγής (χαρακτηριστικό που κληρονομήθηκε από τα δίκτυα 2<sup>ης</sup> γενιάς) και όχι με το υποσχόμενο IP, ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων δεν είναι αυτοί που είχαν προβλεφθεί από τους κατασκευαστές. Αυτό οφείλεται κυρίως στην τεχνολογική ανωριμότητα των 3G δικτύων.

Αντίθετα, τα τέταρτης γενιάς δίκτυα αναμένεται να προσφέρουν στους χρήστες όλα όσα δεν κατάφεραν να δώσουν τα προηγούμενα δίκτυα. Τα 4G θα προσφέρουν αλληλεπιδρούσες υπηρεσίες πολυμέσων, όπως τηλεσυνδιάσκεψη, ασύρματο Internet, υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης (100Mbps), παγκόσμια κινητικότητα και φορητότητα υπηρεσιών σε χαμηλό κόστος. Πλέον, όλη η τεχνολογία θα στηρίζεται σε μεταγωγή πακέτων και όχι σε μεταγωγή κυκλωμάτων όπως στα 3G, καθώς επίσης και όλα τα στοιχεία του δικτύου θα είναι ψηφιακά (Πίνακας 3).

3G	4G
Συμβατότητα με 2G	Επέκταση χωρητικότητας των 3G κατά μία τάξη μεγέθους
Δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος και πακέτου	Δίκτυα μεταγωγής πακέτου μόνο
Συνδυασμός του υπάρχοντος και του νέου εξοπλισμού	Όλα ψηφιακά
Ρυθμοί μετάδοσης έως 2Mbps	Ρυθμοί μετάδοσης 100Mbps και άνω
Εύρος ζώνης 5 MHz	Εύρος ζώνης 100 MHz περίπου
Ζώνη συχνοτήτων 1.8 – 2.4 GHz	Ζώνη συχνοτήτων 2 – 8 GHz
Τεχνολογίες WCDMA, CDMA-2000 κ.α.	Τεχνολογίες OFDMA, MC-CDMA κ.α.
IPv4.0, IPv5.0, IPv6.0	IPv6.0

Πίνακας 3 Σύγκριση δικτύων 3G και 4G [8]

### 3.6 B3G: Η τεχνολογία HSPA

Η *Beyond 3G (B3G)* γενιά αποτελεί μία ενδιάμεση γενιά δικτύων 3.5G - 3.9G, η οποία ουσιαστικά συνδέει την τρίτη και την τέταρτη γενιά δικτύων. Περιλαμβάνει τα δίκτυα εκείνα όπου εκτός από την τεχνολογία WCDMA, έχουν ενσωματώσει και την τεχνολογία *HSPA (High Speed Packet Access)*, μια εξέλιξη του UMTS με στόχο τη διερεύνηση των δυνατοτήτων όσων αφορά την μεταφορά δεδομένων και την κάλυψη των αναγκών των νέων εφαρμογών υψηλών απαιτήσεων. Δύο είναι τα πρωτόκολλα που αποτελούν την τεχνολογία του προτύπου HSPA, τα *HSDPA (Downlink)* και *HSUPA (Uplink)*. Τα πρωτόκολλα αυτά παρέχουν βελτιωμένη απόδοση μέσα από τη χρήση βελτιωμένων σχημάτων κωδικοποίησης αλλά και τον επανακαθορισμό των πρωτοκόλλων με τα οποία οι σταθμοί βάσης και τα τερματικά επικοινωνούν, οδηγώντας σε καλύτερη χρήση του εύρους ζώνης που παρέχεται από το WCDMA.

Η τεχνολογία HSPA στοχεύει στην μειωμένη καθυστέρηση χρόνου μετ' επιστροφής (round trip delay), αυξημένη χωρητικότητα, υψηλότερο ρυθμό απόδοσης (throughput) κυψέλης και χρήστη, μειωμένη καθυστέρηση και υψηλότερη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων. Η HSPA βελτιώνει τους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων με την επίτευξη 28 Mbps για την κάτω ζεύξη και 11,5 Mbps για την άνω ζεύξη. Επιπλέον, μειώνει την καθυστέρηση και αυξάνει τη χωρητικότητα τόσο της κάτω ζεύξης κατά πέντε φορές αλλά και της άνω ζεύξης κατά δύο φορές σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα WCDMA.



### 3.7 Ασύρματες επικοινωνίες επόμενων γενεών

Οι υπηρεσίες τρίτης γενιάς έχουν κατακλείσει τον τεχνολογικό μας κόσμο, έχοντας φτάσει όμως σε επίπεδο κορεσμού. Η επιστημονική κοινότητα προχωρά και εστιάζει στην ανάπτυξη των συστημάτων τέταρτης γενιάς (4G) που είναι ήδη διαθέσιμα στους χρήστες αλλά αναμένεται να εμπλουτιστούν ακόμη περισσότερο στο προσεχές μέλλον. Το 4G αναπτύσσεται με στόχο να βελτιώσει την ποιότητα των υπηρεσιών και την ανάγκη για υψηλότερες ταχύτητες που έχουν θέσει εφαρμογές ήδη από την τρίτη γενιά κινητής τηλεφωνίας. Απώτερος στόχος είναι η ανάπτυξη ενός ενιαίου ολοκληρωμένου συστήματος επικοινωνιών το οποίο θα επιτρέπει έναν πάντα ενεργό και πάντα βέλτιστα συνδεδεμένο τρόπο επικοινωνίας. Αυτή η βασική ευρέως αποδεκτή ιδέα σκιαγραφεί ένα ετερογενές τοπίο επικοινωνίας το οποίο θα περιλαμβάνει διάφορα συστήματα ενσύρματης και ασύρματης πρόσβασης (PSTN/ADSL, GSM/GPRS, UMTS, WLAN, WiMAX) με έναν ολοκληρωμένο τρόπο, όπου ο χρήστης θα μπορεί να απολαμβάνει απρόσκοπτη συνδεσιμότητα μέσω πολλών διαφορετικών δικτύων επικοινωνιών και συνεχή πρόσβαση σε εφαρμογές, αξιοποιώντας τον πιο αποτελεσματικό συνδυασμό των διαθέσιμων ενσύρματων συστημάτων και δικτύων επικοινωνιών [11].

Τα μελλοντικά συστήματα επικοινωνιών θα είναι ετερογενή στη φύση τους σχηματίζοντας ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον το οποίο θα συνδυάζει διάφορες ασύρματες τεχνολογίες και συστήματα πρόσβασης με έναν ολοκληρωμένο τρόπο. Αυτά τα ανεξάρτητα δίκτυα πρόσβασης θα συνδέονται σε στοιχεία στον πυρήνα του δικτύου και θα στηρίζονται στο πρωτόκολλο IP, προκειμένου να εξασφαλιστεί μια κοινή βάση και να διασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα με τις υπάρχουσες επικοινωνιακές υποδομές.

Ανεξάρτητα από τις εσωτερικές τεχνικές λεπτομέρειες τους (τις χρησιμοποιούμενες συχνότητες, το πρωτόκολλο σηματοδότησης, τα πρότυπα διεπαφών), τα ετερογενή δίκτυα ασύρματης πρόσβασης αναμένεται να παρουσιάσουν ορισμένα στοιχεία που θα επιτρέπουν την ενοποίησή τους, όπως ο μηχανισμός δυναμικής ανάθεσης διευθύνσεων, η δυνατότητα ασφαλούς και διαφανούς μεταγωγής και τέλος η επαναδιαμόρφωση οντοτήτων του τερματικού και του δικτύου. Η ελάχιστη ταχύτητα που έχει τεθεί ως στόχος για τα 4G συστήματα είναι 1Gbps για ακίνητα περιβάλλοντα και 100 Mbps για κινούμενα. Πρόκειται για μια καθαρά All-IP πλατφόρμα ικανή να στηρίζει όλες τις IP εφαρμογές με υψηλή ποιότητα και πιστότητα. Το επόμενο βήμα εξέλιξης αποτελούν τα δίκτυα επικοινωνιών της επόμενης γενιάς τα οποία και αναμένεται να είναι μαζικά διαθέσιμα γύρω στο 2015.

Καθώς τη δεδομένη χρονική στιγμή δεν έχει υπάρξει οριστική προτυποποίηση της τεχνολογίας 4G, δύο είναι οι ανταγωνίστριες τεχνολογίες ως προς την υλοποίηση της δικτύωσης, η LTE Advanced της 3GPP και το WiMAX της IEEE. Υπεύθυνος φορέας για τη θέσπιση των προϋποθέσεων και στόχων του 4G όπως και της επιλογής του τελικού προτύπου είναι η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών, Τομέας Ραδιοεπικοινωνιών (ITU-R).

## Κεφάλαιο 4

### Η τυποποίηση του 4G από το 3GPP: LTE

Το 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.

Η εργασία τυποποίησης για το LTE πραγματοποιήθηκε με γοργούς ρυθμούς και τα πρώτα πρότυπα ολοκληρώθηκαν το δεύτερο εξάμηνο του 2007. Παρ' όλο που αναφέρεται ως σύστημα 4<sup>ης</sup> γενιάς (4G) αυτό δεν ισχύει καθώς δεν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις που έχει ορίσει ο διεθνής οργανισμός ITU-R. Γι' αυτό το λόγο, το LTE αναβαθμίστηκε σε LTE Advanced για να πληροί τις προϋποθέσεις έτσι ώστε να θεωρείται σύστημα 4G.

#### 4.1 Επισκόπηση

Το LTE αποτελεί πρότυπο για την ασύρματη επικοινωνία και εξέλιξη του GSM/UMTS, περιγράφοντας την εξέλιξη της κινητής τεχνολογίας που θα παραδώσει στους χρήστες μεγαλύτερες ταχύτητες δεδομένων, χαμηλής-λανθάνουσας κατάστασης, νέες υπηρεσίες με τη δημιουργία μιας νέας τεχνολογίας ράδιο-πρόσβασης, η οποία βελτιστοποιείται για την IP-βασισμένη διακίνηση των δεδομένων, ενώ επιλέον προσφέρει στους διαχειριστές του συστήματος μια απλή πορεία αναβάθμισης από τα υπάρχοντα 3G δίκτυα. Ο στόχος του LTE είναι να αυξήσει τη χωρητικότητα και τη ταχύτητα των υφιστάμενων δικτύων με τη χρησιμοποίηση καινοτόμων τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας και διαμόρφωσης σήματος, λειτουργώντας σε διαφορετικό εύρος ζώνης συχνότητων καθώς η διεπαφή του δεν είναι συμβατή με τα υφιστάμενα δίκτυα 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς.

Το πρότυπο του LTE είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων στη καθοδική ζεύξη (downlink) της τάξης των 300 Mbps και στην ανοδική (uplink) μέχρι και 75 Mbps. Το εύρος ζώνης του φέροντος σήματος είναι μεταβλητό, κυμαινόμενο από τα 1.4 έως τα 20 MHz και υποστηρίζονται τόσο η διπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDD) όσο και η διπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDD). Η αρχιτεκτονική του δικτύου βασίζεται σε μια απλοποιημένη μορφή αρχιτεκτονικής IP, το Evolved Packet Core (EPC), το οποίο σχεδιάστηκε για να αντικαταστήσει το GPRS Core Network και υποστηρίζει την απρόσκοπτη μετάδοση τόσο δεδομένων όσο και φωνής ακόμα και σε δίκτυα με παλαιότερη τεχνολογία δικτύου (GSM, UMTS, CDMA2000), αποσκοπώντας σε χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα. Η εξέλιξη του LTE είναι το LTE Advanced, το οποίο προτυποποιήθηκε το Μάρτιο του 2011, με τις αναβαθμισμένες υπηρεσίες του να αναμένεται να διατεθούν το 2013 [10].

## 4.2 Χαρακτηριστικά LTE

Το κύριο έργο του LTE είναι η μετάβαση από τα ενοποιημένα δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος και πακέτων (3G UMTS) που χρησιμοποιούνται σήμερα, και η απλοποίησή τους σε ένα ολοκληρωμένο δίκτυο αρχιτεκτονικής IP. Η διεπαφή αυτού του δικτύου ονομάζεται E-UTRA και τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι:

- Απλούστερη αρχιτεκτονική δικτύου.
- Χρησιμοποίηση διαμόρφωσης OFDMA για τη καθοδική ζεύξη και SC-FDMA για την ανοδική.
- Υποστήριξη διπλεξίας τόσο στο χρόνο όσο και στη συχνότητα (TDD, FDD) όπως επίσης και ημιαμφίδρομη FDD με την ίδια τεχνολογία πρόσβασης.
- Ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων στη καθοδική ζεύξη έως και 299.6 Mbps και στην ανοδική έως και 75.4 Mbps, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει ο εξοπλισμός του χρήστη. Έχουν οριστεί πέντε κατηγορίες ή κλάσεις τερματικών συσκευών. Η πιο χαμηλή υποστηρίζει μόνο απλή τηλεφωνία ενώ η μεγαλύτερη (η οποία απευθύνεται σε τερματικές συσκευές υψηλών προδιαγραφών) υποστηρίζει τις μέγιστες δυνατές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων. Όλες οι τερματικές συσκευές είναι ικανές να επεξεργαστούν σήμα εύρους ζώνης 20 MHz.
- Χαμηλές καθυστερήσεις κατά τη μεταφορά δεδομένων (καθυστέρηση IP πακέτων κάτω από 5 ms)
- Βελτιωμένη υποστήριξη για κινητές συσκευές ακόμη και αν αυτές κινούνται με ταχύτητες μέχρι και 500 χλμ/ώρα ανάλογα και με τη συχνότητα που χρησιμοποιείται.
- Βελτιωμένη φασματική ευελιξία: προτυποποίηση καναλιών στα 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz.
- Υποστήριξη κυψελών μεταβλητού μεγέθους από μερικές δεκάδες μέτρα έως και 100 χλμ. Το ιδανικό μέγεθος κυψέλης στις αγροτικές περιοχές (στις οποίες χρησιμοποιούνται χαμηλότερες συχνότητες) είναι στα 5 χλμ, με μέγεθος 30 χλμ η απόδοση είναι αρκετά καλή ενώ με μέγεθος 100 χλμ η απόδοση του δικτύου είναι ικανοποιητική. Σε αστικά περιβάλλοντα και γενικότερα σε περιβάλλοντα πόλεων χρησιμοποιούνται υψηλές συχνότητες έτσι ώστε να υποστηρίζονται υψηλές ευρυζωνικές ταχύτητες πρόσβασης. Σε αυτή τη περίπτωση κάθε κυψέλη του δικτύου έχει μέγεθος το πολύ 1 χλμ.
- Υποστήριξη τουλάχιστον 200 ενεργών συνδέσεων δεδομένων σε κάθε κανάλι, συχνότητας 5 MHz.
- Υποστήριξη διαλειτουργικότητας και συνύπαρξη με παλαιότερα πρότυπα ( πχ GSM/EDGE, UMTS, CDMA2000). Οι χρήστες θα μπορούν να πραγματοποιούν μια τηλεφωνική συνομιλία ή σύνδεση δεδομένων σε μια περιοχή με κάλυψη LTE και θα μπορούν να συνεχίσουν τη σύνδεσή τους χωρίς πρόβλημα ακόμα και σε περιοχές χωρίς κάλυψη LTE, χρησιμοποιώντας το υφιστάμενο δίκτυο GSM/GPRS ή W-CDMA ή CDMA2000.



- Ραδιοεπικοινωνιακό δίκτυο μεταγωγής πακέτων.
- Υποστήριξη υπηρεσιών όπως μετάδοση τηλεοπτικού προγράμματος στις κινητές συσκευές με τη χρήση των υποδομών του δικτύου LTE, αποτελώντας επίσης και άμεσο ανταγωνιστή του προτύπου DVB-H [12].

### 4.3 Αρχιτεκτονική LTE

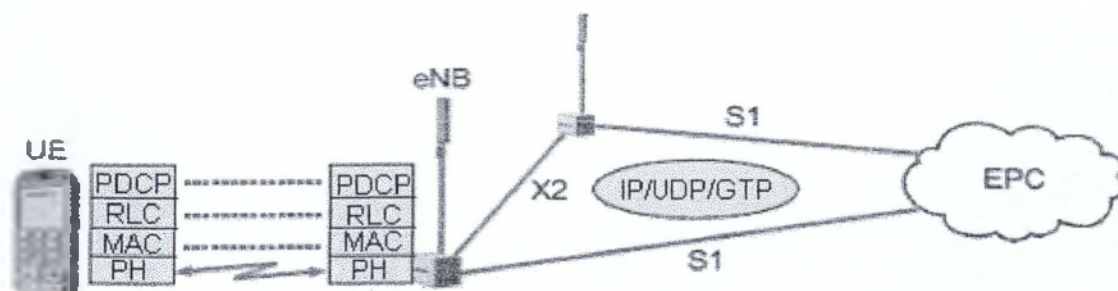
Επειδή το LTE είναι η εξέλιξη του UMTS , τα ισοδύναμα στοιχεία του LTE συνεπώς ονομάζονται Evolved UTRA (E-UTRA) και Evolved UTRAN (E-UTRAN). Αυτοί είναι οι επίσημοι όροι που χρησιμοποιούνται για να περιγραφεί το Radio Access Network (RAN) [10] και αναμένεται να βελτιώσουν την απόδοση του τελικού χρήστη, 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 [9]. 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)* [10].

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.

Το LTE έχει τεθεί σε απαιτήσεις απόδοσης που στηρίζονται στις τεχνολογίες του φυσικού επιπέδου όπως την ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας OFDM και τα συστήματα MIMO, έξυπνες κεραιές για να επιτύχουν αυτούς τους στόχους. 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 ) [9].

Το LTE, έναντι του προκατόχου του 3G UTRAN, υιοθετεί μια πολύ πιο επίπεδη και απλούστερη αρχιτεκτονική, η οποία περιλαμβάνει κυρίως την αφαίρεση του Radio Network Controller (RNC) και κατ'επέκταση τη μεταφορά των IP/UDP/GTP έξω από τους σταθμούς βάσης, γνωστούς ως eNodeB (eNB). Αυτές οι αλλαγές, που συνδέονται με μια παρόμοια, πολύ πιο απλή αρχιτεκτονική του κεντρικού δικτύου (core network architecture), εξασφαλίζουν μειωμένη λανθάνουσα κατάσταση σε όλο το δίκτυο (*Εικόνα 15*).





Εικόνα 15 Η Αρχιτεκτονική του LTE

Όλα τα στρώματα της λίστας πρωτοκόλλου διεπαφών αέρα (air interface protocol stack), συμπεριλαμβανομένου του Radio Resource Control (RRC), Radio Link Control (RLC) και του Medium Access Control (MAC) έχουν μετακινηθεί προς το σταθμό βάσης, και το eNB δίνει την οπισθωζεύξη (backhaul) με το EPC. Το eNB υποστηρίζει μια εύκαμπτη ένωση μεταξύ της πρόσβασης και του πυρήνα, που επιτρέπει το φορτίο να διαμοιράζεται μεταξύ των κόμβων του κεντρικού δικτύου. Μετά την αφαίρεση του RNC από την αρχιτεκτονική του δικτύου πρόσβασης οι παραδόσεις δια μέσω των eNB διαχειρίζονται χρησιμοποιώντας τη X2 διεπαφή, και μέσω της διεπαφής S1 τα eNB διασυνδέονται στο EPC.

Ο κύριος σκοπός της διεπαφής X2 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 eNB που μπορούν να προωθούνται ή μέσα σε τούνελ στο νέο eNB.

#### 4.3.1 Λειτουργικά Στοιχεία

Η αρχιτεκτονική του δικτύου αποτελείται από τα παρακάτω λειτουργικά στοιχεία:

- *Evolved Radio Access Network (RAN)*
- *Serving Gateway (S-GW)*
- *Mobility Management Entity (MME)*
- *Packet Data Network Gateway (P-GW)*

Το RAN αποτελείται από έναν κόμβο (eNB) ο οποίος διασυνδέεται με τον χρήστη (UE). Ο eNB περιέχει το Physical Layer (PHY), το Medium Access Control (MAC) και το Packet Data Control Protocol (PDCP) τα οποία περιλαμβάνουν τις λειτουργίες μετάδοσης από τον χρήστη, καθώς και τις λειτουργίες κρυπτογράφησης. Προσφέρει επίσης λειτουργίες Radio Resource Control (RRC) οι οποίες χρησιμοποιούνται σε ελέγχους σημάτων. Ο eNB επιτελεί πολλές λειτουργίες συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης των ραδιοκυμάτων, τον έλεγχο του εισαγόμενου σήματος, τις υπηρεσίες QoS, τις πληροφορίες κυψέλης, την κρυπτογράφηση και αποκρυπτογράφηση των δεδομένων του χρήστη αλλά και του δικτύου καθώς και τη συμπίεση και αποσυμπίεση των δεδομένων που ανεβάζει ή κατεβάζει ο χρήστης.

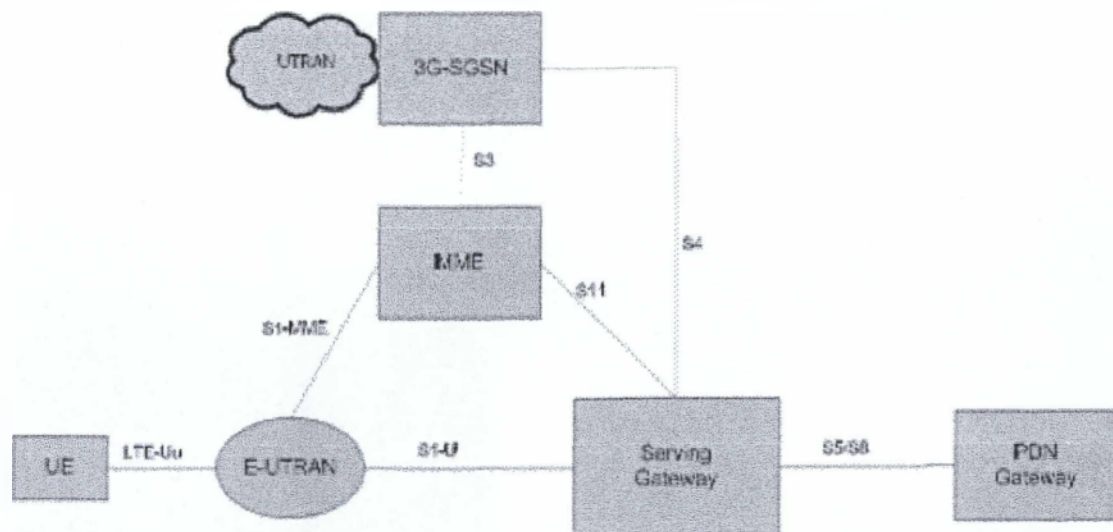
Η S-GW δρομολογεί και προωθεί τα πακέτα δεδομένων του χρήστη, καθώς επίσης λειτουργεί ως «γέφυρα» όταν ο χρήστης μετακινείται και αναγκάζει το eNB να πραγματοποιήσει τη λειτουργία της μεταγωγής σε άλλη κυψέλη. Επίσης, αποτελεί το σημείο διεπαφής ανάμεσα στο LTE και στις άλλες τεχνολογίες του 3GPP. Για τα UE που βρίσκονται σε κατάσταση αδράνειας, η S-GW κλείνει το μονοπάτι μετάδοσης των δεδομένων που κατεβαίνουν και στέλνει ειδοποίηση στο UE όταν φθάνουν κάποια δεδομένα που το αφορούν. Η S-GW διαχειρίζεται και αποθηκεύει τα στοιχεία των UE, όπως τις παραμέτρους της IP διεύθυνσής του και τις εσωτερικές πληροφορίες δρομολόγησης του δικτύου. Επίσης εκτελεί λειτουργίες ελέγχου κίνησης του δικτύου σε περίπτωση που αυτό απαιτηθεί.

Το MME είναι ο κόμβος κλειδί για την πρόσβαση στο δίκτυο LTE. Είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση της κατάστασης των UE, για τον εντοπισμό και τη διαδικασία σελιδοποίησης του δικτύου και για τις πιθανές αναμεταδόσεις που ίσως χρειαστούν. Συμμετέχει στη διαδικασία ενεργοποίησης και απενεργοποίησης του κάθε χρήστη στο δίκτυο και επίσης επιλέγει το κατάλληλο S-GW για κάθε UE στο κατάλληλο χρονικό σημείο της μεταγωγής. Είναι επίσης υπεύθυνο για την επικύρωση του χρήστη (αλληλεπιδρώντας με τον HSS). Το σήμα Non-Access Stratum (NAS) τερματίζει στον MME και είναι υπεύθυνο για την παραγωγή και κατανομή των προσωρινών αναγνωριστικών των UE. Ελέγχει αν έχει έγκριση ο UE να επικοινωνήσει με το Public Land Mobile Network (PLMN) του παρόχου και επιβάλλει περιορισμούς περιαγωγής. Το MME είναι το σημείο τερματισμού του δικτύου όσον αφορά την κρυπτογράφηση και την ακεραιότητα του σήματος NAS και διαχειρίζεται όλα τα κλειδιά ασφαλείας του. Η νόμιμη παρακολούθηση των σημάτων μπορεί επίσης να γίνει και μέσω των MME. Τέλος, παρέχει τις απαραίτητες λειτουργίες ελέγχου για την επικοινωνία του LTE με το 2G και 3G.

Η P-GW παρέχει την απαραίτητη συνδεσιμότητα των UE με τα εξωτερικά δίκτυα με το να αποτελεί το σημείο εισόδου και εξόδου της κυκλοφορίας του δικτύου LTE. Ένα UE μπορεί να έχει ταυτόχρονη σύνδεση με περισσότερα του ενός PDN GW για την πρόσβαση σε πολλαπλά PDN. Η P-GW εκτελεί τις πολιτικές που επιβάλλει το δίκτυο, το φιλτράρισμα των πακέτων που ανταλλάσσει ο κάθε χρήστης, τις υπηρεσίες χρέωσης, την υποστήριξη για παρακολούθηση του δικτύου και τον έλεγχο ασφαλείας των πακέτων. Ένας άλλος βασικός ρόλος της P-GW είναι η λειτουργία του ως σημείο διασύνδεσης μεταξύ των 3GPP τεχνολογιών με τις μη-3GPP τεχνολογίες όπως το WiMAX και το 3GPP2 (CDMA1x και EvDO).

#### 4.3.2 Συνεργασία με τα άλλα δίκτυα

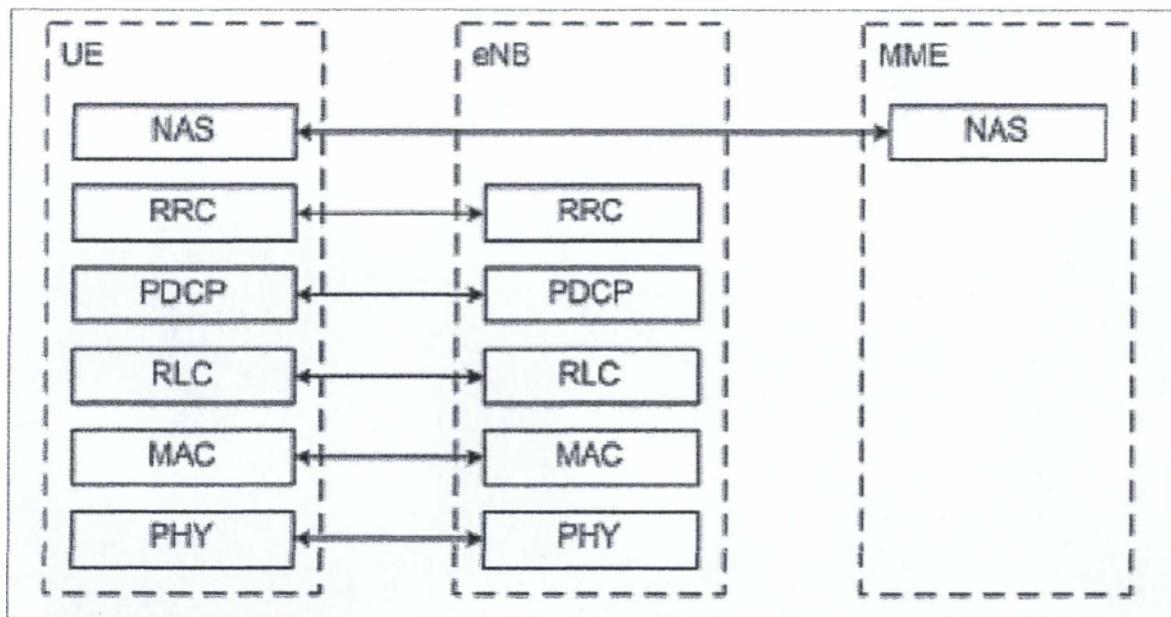
Το EPS υποστηρίζει επίσης την αλληλεπίδραση και την κινητικότητα (handover) με τα δίκτυα χρησιμοποιώντας άλλες ράδιο τεχνολογίες πρόσβασης (Radio Access Technologies), ειδικότερα GSM, UMTS, CDMA2000 και WiMAX. Η αρχιτεκτονική για την αλληλεπίδραση με δίκτυα 2G και 3G GPRS/UMTS φαίνεται στην *Εικόνα 16*. Η SGW 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 [13].



*Εικόνα 16 Αρχιτεκτονική της συνεργασίας του 3G UMTS*

### 4.3.3 Διαμοιρασμός Δικτύου

Η αρχιτεκτονική του LTE επιτρέπει στους παρόχους να μειώσουν το κόστος της ιδιοκτησίας και εκμετάλλευσης του δικτύου, επιτρέποντάς τους να έχουν ξεχωριστά Κεντρικό Δίκτυο (CN – Central Network) όπως το MME, το S-GW και το P-GW, ενώ τα eNB του E-UTRAN διαμοιράζονται από αυτά. Ο διαμοιρασμός αυτός ενεργοποιείται από το μηχανισμό S1-flex επιτρέποντας το κάθε eNB να συνδέεται σε πολλά CN. Όταν ένα τερματικό εισέρχεται στο δίκτυο, συνδέεται στο καταλληλότερο CN που βασίζεται στην ταυτότητα του παρόχου. Στην *Εικόνα 17*, παρουσιάζονται τα επίπεδα ελέγχου χρήστη (UE) καθώς και οι στοιβές ελέγχου των πρωτοκόλλων του χρήστη.



*Εικόνα 17 Η αρχιτεκτονική του LTE σε επίπεδο πρωτοκόλλων σε σχέση με τον χρήστη [14]*

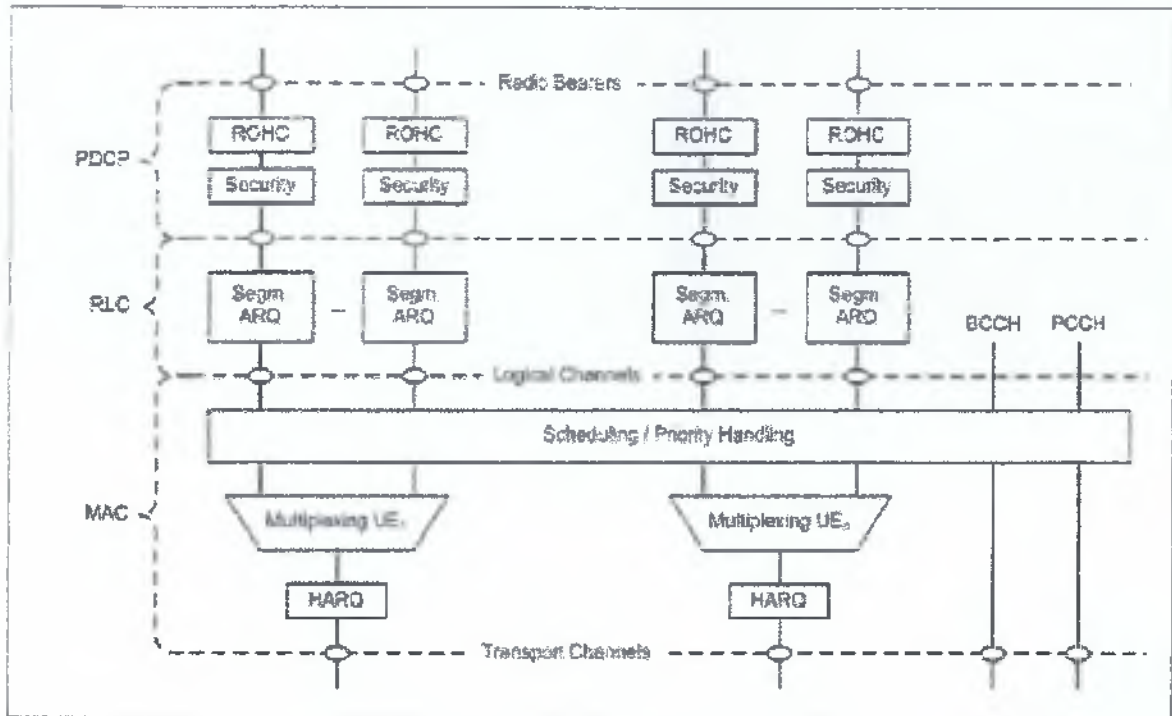
Στα επίπεδα ελέγχου του χρήστη, το πρωτόκολλο NAS που κινείται μεταξύ του MME και του UE, χρησιμοποιείται για σκοπούς ελέγχου όπως ο έλεγχος ταυτότητας, η δημιουργία και η υλοποίηση των απαραίτητων διακομιστών και η διαχείριση της κίνησης. Όλα τα μηνύματα του NAS είναι κρυπτογραφημένα και προστατεύεται η ακεραιότητά τους μέσω των MME και των UE. Το επίπεδο RRC στο eNB λαμβάνει αποφάσεις που σχετίζονται με το handover οι οποίες βασίζονται σε μετρήσεις γειτονικών κυψελών που γίνονται από το UE, οι οποίες μπορεί να έχουν σχέση με την περιοδικότητα της Ποιότητας των Πληροφοριών του Καναλιού (Channel Quality Information -CQI) και τις μετρήσεις και τις διαθέσιμες προσωρινών αναγνωριστικών που μπορεί να διαθέσει η κάθε κυψέλη σε κάθε UE. Το RRC επίσης εκτελεί τη μεταφορά του UE από το ένα eNB στο άλλο κατά τη διάρκεια του handover προστατεύοντας ταυτόχρονα την ακεραιότητα των μηνυμάτων του. Επιπλέον, είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία και τη συντήρηση των ραδιοκυμάτων που χρησιμοποιεί το δίκτυο.



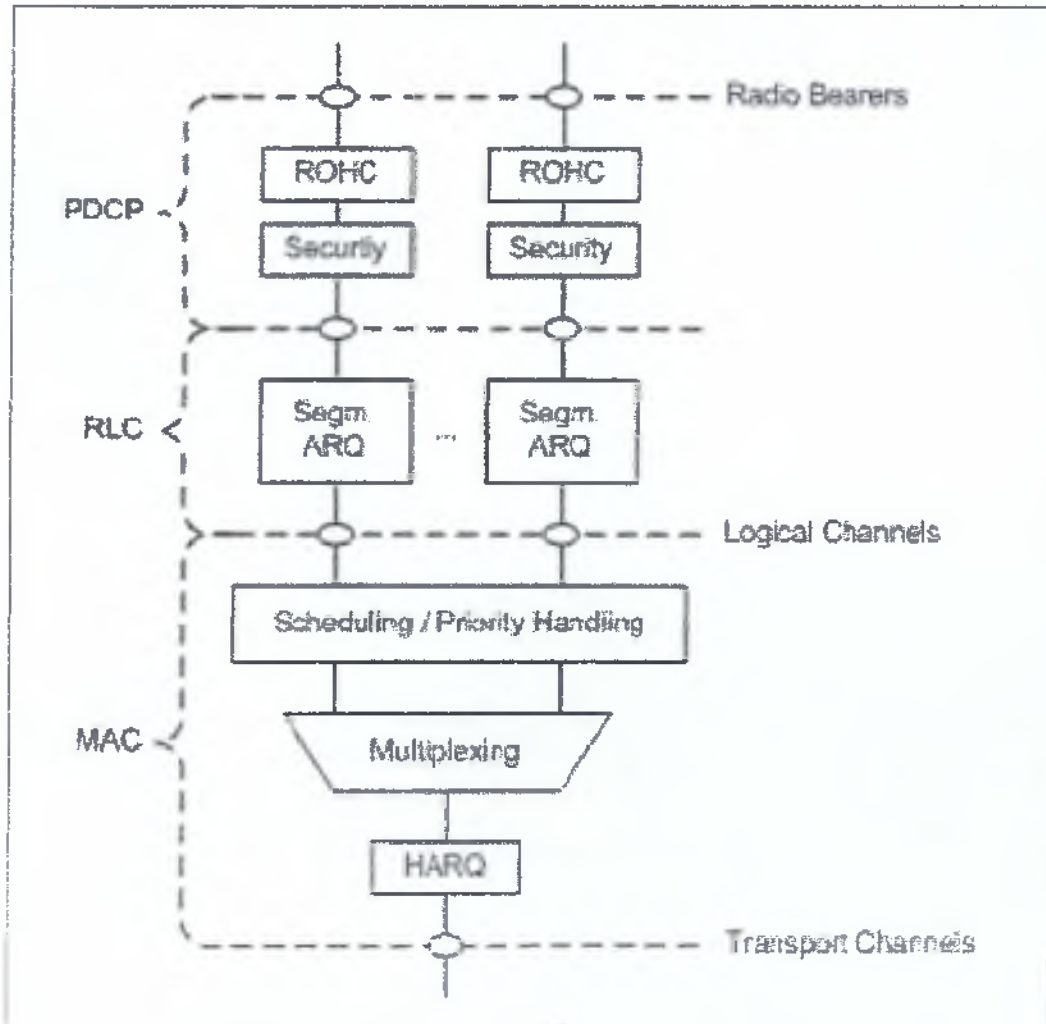
Το στρώμα PDCP είναι υπεύθυνο για τη συμπίεση και την αποσυμπίεση των κεφαλίδων των IP πακέτων των χρηστών χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Robust Header Compression (ROHC), καθιστώντας δυνατή την πιο αποτελεσματική χρήση του εύρους ζώνης που είναι διαθέσιμο. Αυτό το στρώμα εκτελεί επίσης την κρυπτογράφηση τόσο των δεδομένων του χρήστη, όσο και του επιπέδου ελέγχου του. Επειδή τα μηνύματα του NAS μεταφέρονται στο RPC, ουσιαστικά είναι διπλά κρυπτογραφημένα και η ακεραιότητά τους είναι κι αυτή διπλά προστατευμένη, μία φορά στο MME κι άλλη μία στο eNB.

Το στρώμα RLC χρησιμοποιείται για τη μορφοποίηση και τη μεταφορά της κίνησης ανάμεσα στο UE και στο eNB. Το RLC παρέχει διαφορετικούς τρόπους αξιοπιστίας για τις μεταδόσεις των δεδομένων. Κάποιοι από αυτούς τους τρόπους είναι ο Acknowledged Mode (AM), ο Unacknowledged Mode (UM), και ο Transparent Mode (TM). Ο UM είναι κατάλληλος για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (real time), διότι οι συγκεκριμένες υπηρεσίες είναι ευαίσθητες στις καθυστερήσεις και δε μπορούν να περιμένουν για τυχόν αναμεταδόσεις. Ο AM είναι καταλληλότερος για τις μη-πραγματικού χρόνου υπηρεσίες όπως οι λήψεις αρχείων. Ο TM χρησιμοποιείται όταν τα μεγέθη των PDU είναι γνωστά εκ των προτέρων (π.χ. στο broadcasting). Το RLC επίπεδο παρέχει επίσης την Υπηρεσία Μονάδων Δεδομένων (Service Data Units - SDU) στα παραπάνω στρώματα και εξαλείφει τη λήψη διπλών SDU από αυτά. Μπορεί επίσης να χωρίσει τα SDU σε τμήματα ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες.

Επιπλέον, υπάρχουν δύο επίπεδα αναμεταδόσεων παρέχοντας έτσι μεγαλύτερη αξιοπιστία τα οποία ονομάζονται Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) στο στρώμα MAC και το εξωτερικό ARQ στο στρώμα RLC. Το εξωτερικό ARQ καλείται να διαχειριστεί τα σφάλματα που δε διορθώνονται από το HARQ. Η διαδικασία που ακολουθεί είναι απλή χρησιμοποιώντας ένα μηχανισμό ανάδρασης διόρθωσης σφαλμάτων. Μια «N-διαδικασία σταμάτα-και-περίμενε» του HARQ χρησιμοποιείται και εκτελεί ασύγχρονες αναμεταδόσεις στα download των χρηστών και σύγχρονες στα upload τους. Σύγχρονο HARQ σημαίνει ότι οι αναμεταδόσεις των πακέτων του HARQ συμβαίνουν σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Επομένως, δεν απαιτείται κάποια ρητή σηματοδότηση η οποία να αναφέρει στο δέκτη το χρονοδιάγραμμα της αναμετάδοσης. Το ασύγχρονο HARQ προσφέρει την ευελιξία του προγραμματισμού των αναμεταδόσεων και βασίζεται στις συνθήκες της διεπαφής του αέρα. Τα στρώματα PDCP, RLC και MAC αποτελούν το στρώμα 2. Στις *Εικόνες 18* και *19* απεικονίζονται η δομή του στρώματος 2 για τα download και τα upload αντίστοιχα.



*Εικόνα 18 Η δομή του στρώματος 2 για το download*



*Εικόνα 19 Η δομή του στρώματος 2 για το upload*

## 4.4 Radio Channels

Όπως στα περισσότερα ραδιο συστήματα επικοινωνιών, η ραδιο-διεπαφή του LTE αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις. Όσον αφορά τις απαιτήσεις, 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 LTE να 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 [15]. Προκειμένου να είναι ευέλικτες και να επιτρέπουν διαφορετικά σχήματα για την εκπομπή δεδομένων, οι προδιαγραφές του LTE εισάγουν διάφορους τύπους καναλιών:

- Τα λογικά κανάλια (*logical channels*): τι εκπέμπεται
- Τα κανάλια μεταφοράς (*transport channels*): πως εκπέμπεται
- Τα φυσικά κανάλια (*physical channels*)

### 4.4.1 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 LTE είναι:

- *Broadcast Control Channel (BCCH)*: χρησιμοποιείται για τη μετάδοση πληροφοριών συστημάτων από το δίκτυο σε όλα τα κινητά τερματικά στην κυψέλη, καθώς πριν από την πρόσβαση του συστήματος, τα κινητά τερματικά χρειάζονται να αποκτήσουν οι πληροφορίες των συστημάτων για να ανακαλύψει πώς το σύστημα διαμορφώνεται και, γενικά, πώς να συμπεριφερθεί κατάλληλα μέσα σε μια κυψέλη.
- *Paging Control Channel (PCCH)*: χρησιμοποιείται για τη σελιδοποίηση των κινητών τερματικών των οποίων η θέση στο επίπεδο κυττάρων δεν είναι γνωστή στο δίκτυο, επομένως το μήνυμα σελιδοποίησης πρέπει να διαβιβαστεί στα πολλαπλάσια κύτταρα.
- *Common Control Channel (CCCH)*: χρησιμοποιείται για τη μετάδοση πληροφοριών ελέγχου από κοινού με την τυχαία προσπέλαση.

- *Multicast Control Channel (MCCH)*: χρησιμοποιείται για τη μετάδοση πληροφοριών ελέγχου που απαιτείται για την υποδοχή του MTCH.
- *Dedicated Control Channel (DCCH)*: χρησιμοποιείται για τη μετάδοση πληροφοριών ελέγχου προς-από ένα κινητό τερματικό, με το κανάλι να χρησιμοποιείται για τη μεμονωμένη διαμόρφωση των κινητών τερματικών όπως τα διαφορετικά μηνύματα παράδοσης.

Τα λογικά κανάλια κίνησης του LTE είναι:

- *Dedicated Traffic Channel (DTCH)*: χρησιμοποιείται για τη διαβίβαση στοιχείων των χρηστών από-προς ένα κινητό τερματικό, αποτελώντας τον τύπο λογικών καναλιών που χρησιμοποιείται για τη διαβίβαση όλων των uplink και downlink non-MBSFN συνδέσεων.
- *Multicast Traffic Channel (MTCH)*: χρησιμοποιείται για τη μετάδοση downlink των MBMS υπηρεσιών.

#### 4.4.2 Κανάλια μεταφοράς

Τα κανάλια μεταφοράς περιγράφουν το πώς 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 LTE είναι:

- *Broadcast Channel (BCH)*: παρέχει ένα σταθερό τρόπο μεταφορών, που παρέχεται από τις προδιαγραφές, και χρησιμοποιείται για τη μετάδοση μερών των πληροφοριών συστημάτων BCCH - συγκεκριμένα ο Master Information Block (MIB).
- *Paging Channel (PCH)*: χρησιμοποιείται για τη μετάδοση πληροφοριών σελιδοποίησης από το λογικό κανάλι PCCH., υποστηρίζοντας την ασυνεχή υποδοχή (DRX) για να επιτρέψει στο κινητό τερματικό να σώσει τη δύναμη μπαταριών με το να λαμβάνει το PCH μόνο στις προκαθορισμένες χρονικές στιγμές.
- *Downlink Shared Channel (DL-SCH)*: είναι το κύριο κανάλι μεταφορών που χρησιμοποιείται για διαβίβαση στοιχείων downlink συνδέσεων σε LTE και υποστηρίζει τα βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα του LTE όπως η δυναμική προσαρμογή ποσοστού και ο κανάλι-εξαρτώμενος σχεδιασμός στις περιοχές χρόνου και συχνότητας, hybrid ARQ με soft combining και χωρική πολυπλεξία. Υποστηρίζει επίσης DRX για να μειώσει την κατανάλωση ισχύος των κινητών-τερματικών, καθώς και για τη



μετάδοση των μερών των πληροφοριών συστημάτων BCCH που δεν χαρτογραφούνται στη BCH και για τις single-cells υπηρεσίες MBMS.

- *Multicast Channel (MCH)*: χρησιμοποιείται για να υποστηρίξει το MBMS και χαρακτηρίζεται από έναν ημι-στατικό τύπο μεταφορών και ημι-στατικό προγραμματισμό. Σε περίπτωση μετάδοσης πολυ-κυψελοειδών συστημάτων που χρησιμοποιεί MBSFN, ο σχεδιασμός και η διαμόρφωση σχήματος μεταφορών συντονίζονται μεταξύ των κυψελών που περιλαμβάνονται στη μετάδοση MBSFN.

Τα κανάλια ανερχόμενης μεταφοράς του LTE είναι:

- *Uplink Shared Channel (UL-SCH)*: το αντίστοιχο uplink στο DL-SCH, αποτελεί το uplink κανάλι μεταφορών που χρησιμοποιείται για τη διαβίβαση uplink στοιχείων.
- *Random Access Channel (RACH)*: ειδικό κανάλι μεταφοράς που υποστηρίζει περιορισμένες πληροφορίες ελέγχου, π.χ. κατά τη διάρκεια πρόωρων φάσεων δημιουργίας των επικοινωνιών ή στην περίπτωση αλλαγής της κατάστασης του RRC .

#### 4.4.3 Φυσικά κανάλια

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

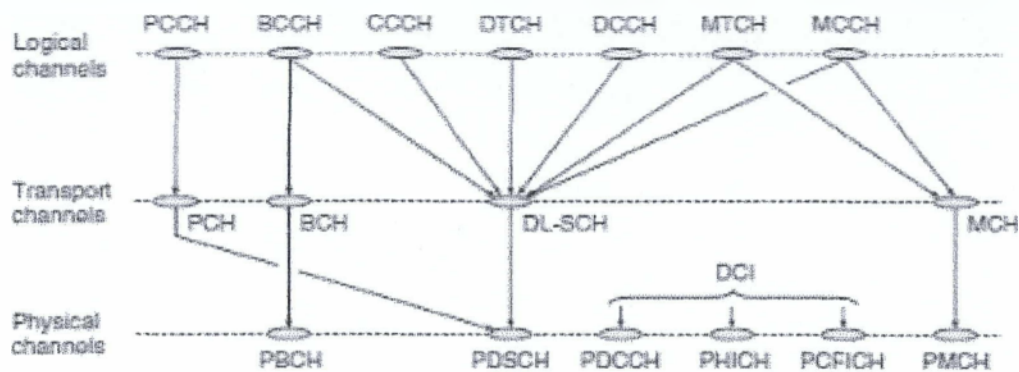
- *Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)*: μεταφέρει δεδομένα του χρήστη και σηματοδότηση υψηλού επιπέδου.
- *Physical Downlink Control Channel (PDCCH)*: μεταφέρει προγραμματισμένες εντολές για την ανερχόμενη σύνδεση.
- *Physical Multicast Channel (PMCH)*: μεταφέρει πληροφορίες Multicast/Broadcast.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

Τα φυσικά κανάλια που καθορίζονται στην ανερχόμενη σύνδεση είναι:

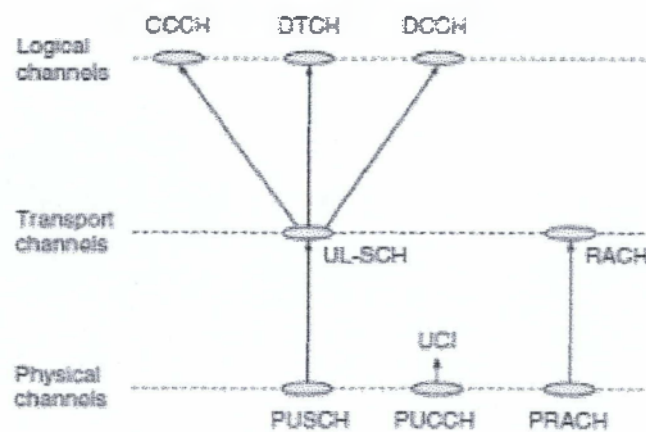
- *Physical Uplink Shared Channel (PUSCH)*: μεταφέρει δεδομένα του χρήστη και σηματοδότηση υψηλού επιπέδου.
- *Physical Uplink Control Channel (PUCCH)*: μεταφέρει πληροφορίες ελέγχου της ανερχόμενης σύνδεσης, περιλαμβάνοντας τις απαντήσεις ACK και NACK από το τερματικό στην μετάδοση κατερχόμενης σύνδεσης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

#### 4.4.4 Αντιστοίχιση καναλιών

Το MAC στρώμα εκτελεί την επικοινωνία μεταξύ των λογικών καναλιών και των καναλιών μεταφοράς, τους χρονοπρογραμματισμούς των διαφόρων UE και τις υπηρεσίες τους στις συνδέσεις τους για download και upload ανάλογα με τις σχετικές προτεραιότητες τους, επιλέγοντας επίσης και την ενδεδειγμένη μορφή μετάδοσης. Η επικοινωνία τους με τα κανάλια μεταφοράς παρουσιάζεται στην *Εικόνα 20*.



*Downlink channel mapping.*



*Uplink channel mapping.*

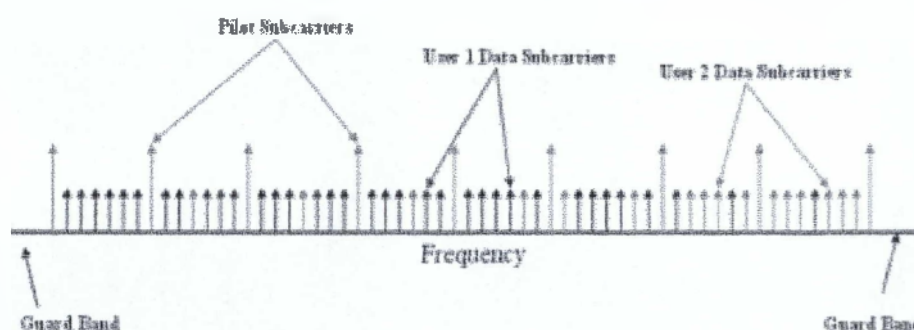
**Εικόνα 20** Η αντιστοίχιση των λογικών καναλιών στα κανάλια μεταφοράς

## 4.5 Φυσικό Επίπεδο

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). Χρησιμοποιεί πολλά συστήματα πρόσβασης με μέσο μετάδοσης τον αέρα, το *OFDMA* (*Orthogonal Frequency Multiple Access*) στο downlink και το *SC-FDMA* (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) στο uplink. Για τη βέλτιστη αξιοποίησή του, υιοθετούνται συστήματα κεραιών MIMO, τα οποία αποτελούν ουσιαστικό μέρος του.

### 4.5.1 OFDMA

Το OFDMA είναι μια multiuser έκδοση της ψηφιακής διαμόρφωσης OFDM. Η πολλαπλή πρόσβαση επιτυγχάνεται με την ανάθεση των υποσυνόλων των υποφερόντων (subcarriers) στους μεμονωμένους χρήστες (Εικόνα 21). Αυτό επιτρέπει την ταυτόχρονη χαμηλή μετάδοση μεγάλου ποσοστού στοιχείων από πολλούς χρήστες.



Εικόνα 21 Σύστημα Πολλαπλής Πρόσβασης OFDMA

Η OFDM είναι μια μορφή διαμόρφωσης με πολλές διαδρομές (multicarrier modulation) η οποία χωρίζει το προς μετάδοση μήνυμα σε τμήματα. Το διαθέσιμο φάσμα χωρίζεται επίσης σε ένα πλήθος καναλιών χαμηλού ρυθμού, και γίνεται ταυτόχρονη μεταφορά κάθε τμήματος σε ένα κανάλι χαμηλού ρυθμού. Στο πρότυπο OFDM, βασική ιδέα είναι η διαίρεση των ροών δεδομένων σε περαιτέρω ροές (υποκανάλια) με χαμηλότερο ρυθμό μετάδοσης από την αρχική. Οι υποροές στη συνέχεια διαμορφώνονται με χρήση κωδικών οι οποίοι είναι μεταξύ τους ορθογώνιοι. Τα υποκανάλια, λόγω της ορθογωνικότητας μπορούν να πλησιάζουν πολύ κοντά μεταξύ τους (ή να επικαλύπτονται) χωρίς να υπάρχει κίνδυνος παρεμβολής. Επιπλέον, λόγω των χαμηλών ρυθμών μετάδοσης αποφεύγεται και το φαινόμενο της διασυμβολικής παρεμβολής. Συνεπώς, με το διαχωρισμό ενός μηνύματος σε τμήματα και τη σχετικά αργή (λόγω χαμηλού εύρους ζώνης των επιμέρους καναλιών) παράλληλη αποστολή αυτών των τμημάτων, η επέκταση της καθυστέρησης στο δέκτη θα είναι αρκετά μικρή σε σύγκριση με το χρόνο μετάδοσης ενός bit. Το γεγονός αυτό, μαζί με τη διαπλοκή του μηνύματος μέσω πολλών καναλιών, οδηγεί σε μια σύνδεση μεγάλης χωρητικότητας, που θα είναι ανθεκτική στην πολύδρομη διάδοση. Το αποτέλεσμα είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιεί πολύ αποδοτικά το παρεχόμενο φάσμα συχνοτήτων.

### 4.5.2 SC-FDMA

Το SC-FDMA είναι ένα σύστημα πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης της συχνότητας. Αποτελεί μία εκδοχή πολλών χρηστών του Single-Carrier Frequency-Domain-Equalization (SC-FDE) συστήματος διαμόρφωσης. Το SC-FDE μπορεί να θεωρηθεί ως ένα γραμμικά προκωδικοποιημένο σύστημα OFDM, και το SC-FDMA σαν ένα γραμμικά προκωδικοποιημένο σύστημα OFDMA, εξού και LP-OFDMA (LP-linearly precoded). Μία άλλη θεώρησή του είναι αυτή του συστήματος μονού φέροντος πολλαπλής πρόσβασης. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των συμβατικών OFDM και OFDMA είναι ότι τα SC-FDE και LP-OFDMA/SC-FDMA σήματα έχουν χαμηλότερη μέγιστη προς την μέση τιμή (Peak to Average Power Ratio – PAPR) εξαιτίας της ενυπάρχουσας δομής του, μονού φέροντος. Τα χαρακτηριστικά του PAPR είναι σημαντικά για τον τεχνικό-οικονομικό σχεδιασμό των ενισχυτών ισχύος του εξοπλισμού χρήστη (UE). Ακόμη, η επεξεργασία σήματος του SC-FDMA έχει κάποιες ομοιότητες με αυτή του OFDMA, οπότε η παραμετροποίηση του downlink και του uplink μπορούν να εναρμονιστούν [16].

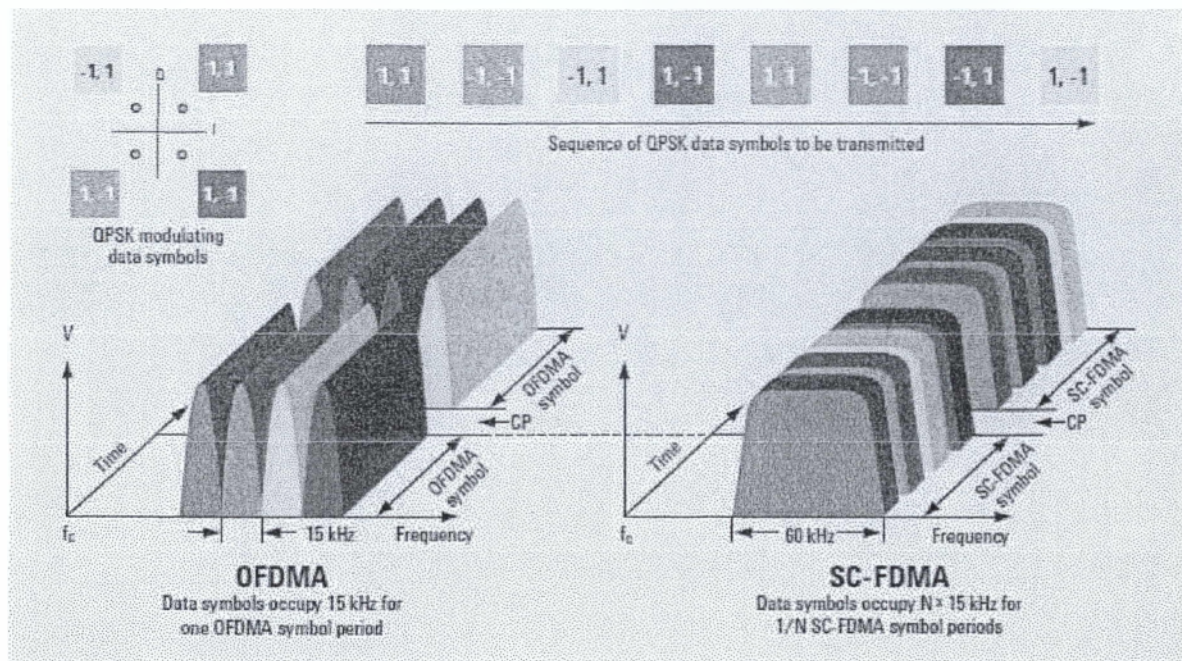
Αντίθετα με το OFDMA, το οποίο χρησιμοποιεί παράλληλη μετάδοση, το SC-FDMA μεταδίδει τα σύμβολα σειριακά, με αποτέλεσμα το PAPR να μειώνεται απλώνοντας την ισχύ ενός συμβόλου στα υποφέροντα.

### 4.5.3 Σύγκριση OFDMA / SC-FDMA

Το OFDMA είναι απλά μια επεξεργασία του OFDM που χρησιμοποιείται από 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 συχνότητας ανα χρήστη για να μετριάσει τα αποτελέσματα της εξασθένησης της περιορισμένης ζώνης.

Στην *Εικόνα 22* φαίνεται πώς μια σειρά συμβόλων QPSK απεικονίζεται στο χρόνο και στη συχνότητα από τα δύο διαφορετικά σχέδια διαμόρφωσης. Το παράδειγμα χρησιμοποιεί μόνο τέσσερις (N) υποφορείς πάνω από δύο περιόδους συμβόλων με τα δεδομένα φορτίων που αντιπροσωπεύονται από 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 22 Σύγκριση OFDMA και SC-FDMA

#### 4.5.4 LTE FDD/TDD

Η επέκταση των απαιτήσεων για κυψελωτές τηλεπικοινωνίες, καθώς και για το πλήθος από άλλες ασύρματες εφαρμογές, τοποθετεί ένα αντίστοιχο στέλεχος στο βασικό φυσικό πόρο που χρειάζεται για την υποστήριξή τους: το φάσμα. Λόγω των διαφορετικών αναγκών κάθε περιοχής και των διαφορετικών ιστορικών παραγόντων που έχουν σχηματίσει τη σημερινή κατανομή του φάσματός τους, η διαθεσιμότητα παγκοσμίως αρμονικά φάσματος για μία συγκεκριμένη τεχνολογία δεν μπορεί να εγγυηθεί. Επιπλέον, σε αρκετές περιοχές μία τάση προς τεχνολογική ουδετερότητα μέσα σε βιώσιμες συμφωνίες φάσματος αρχίζει να απελευθερώνει τις παραδοσιακές μία προς μία αντιστοιχίσεις μεταξύ των τεχνολογιών και του διευθυνσιοδοτημένου φάσματός τους και ως εκ τούτου να ανοίγει νέες αγορές.

Σ' αυτό το πλαίσιο, βασικός στόχος του σχεδιασμού του LTE είναι να διευκολύνει την ανάπτυξη για μία ευρύ περιοχή φασματικών περιβαλλόντων από την άποψη του εύρους ζώνης, της uplink-downlink duplex spacing<sup>4</sup> και των uplink-downlink ασυμμετριών. Με την υποστήριξη paired spectrum κατανομών (ξεχωριστά uplink και downlink φέροντα) μαζί με τις αυτόνομες unpaired κατανομές (uplink και downlink λειτουργούν στην ίδια συχνότητα φέροντος), η σπατάλη πολύτιμου φάσματος μπορεί να αποφευχθεί.

Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός από κατανομές του ράδιο-φάσματος που προορίζονται για χρήση στο FDD LTE. Οι ζώνες συχνοτήτων FDD είναι σε ζευγάρια (paired) για την ταυτόχρονη μετάδοση σε δύο συχνότητες, και έχουν επαρκή διαχωρισμό για να μην μειώσουν υπερβολικά την απόδοση του δέκτη τα μεταδιδόμενα σήματα. Εάν τα σήματα είναι πολύ κοντά, ο δέκτης μπορεί να «μπλοκαριστεί» και η ευαισθησία να μειωθεί.

<sup>4</sup> Duplex spacing είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το μέγεθος της συχνότητας διαχωρισμού μεταξύ των uplink και downlink φερόντων.

Ο διαχωρισμός πρέπει να είναι επαρκής για να επιτρέψει το roll-off του φιλτραρίσματος της κεραίας να δώσει επαρκή εξασθένιση του μεταδιδόμενου σήματος μέσα στη ζώνη λήψης.

Με το ενδιαφέρον στο TDD LTE, υπάρχουν αρκετές ξεχωριστές (unpaired) κατανομές συχνοτήτων που προορίζονται για τη χρήση στο LTE TDD. Οι κατανομές TDD LTE είναι ξεχωριστές επειδή το uplink και το downlink μοιράζονται την ίδια συχνότητα, καθώς είναι χρονικά πολυπλεγμένα.

Το LTE καθορίζεται για ένα ευρύ φάσμα από διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων, σε κάθε μία από τις οποίες ένα ή περισσότερα φέροντα μπορεί να λειτουργούν. Οι Πίνακες 4 και 5 δίνουν λεπτομέρειες για τις ζώνες συχνοτήτων για FDD και TDD χρήση αντίστοιχα. Για το FDD, ο αμφίδρομος διαχωρισμός δεν έχει πραγματικά καθοριστεί, αλλά τυπικά τα uplink και downlink φέροντα σε ένα ζεύγος είναι σε μία παρόμοια θέση στις αντίστοιχες ζώνες τους έτσι ώστε ο αμφίδρομος διαχωρισμός είναι συνήθως, περίπου,  $F_{DL\ low} - F_{UL\ low}$  όπως φαίνεται στον Πίνακα 5. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός από κατανομές του ράδιο-φάσματος που έχουν προοριστεί

Band Number	Uplink, (MHz)	Downlink, (MHz)	Band Gap (MHz)	Duplex Separation (MHz)	LTE Usage
	$F_{UL\ low} - F_{UL\ high}$	$F_{DL\ low} - F_{DL\ high}$			
1	1920–1980	2110–2170	130	190	Y
2	1850–1910	1930–1990	20	80	Y
3	1710–1785	1805–1880	20	95	Y
4	1710–1755	2110–2155	355	400	Y
5	824–849	869–894	20	45	Y
6	830–840	875–885	35	45	Y
7	2500–2570	2620–2690	50	120	Y
8	880–915	925–960	10	45	Y
9	1749.9–1784.9	1844.9–1879.9	60	95	Y
10	1710–1770	2110–2170	340	400	Y
11	1427.9–1452.9	1475.9–1500.9	23	48	Y
12	698–716	728–746	12	30	Y
13	777–787	746–756	21	31	Y
14	788–798	758–768	20	30	Y
17	704–716	734–746	18	30	Y

Πίνακας 4 LTE Ζώνες συχνοτήτων για FDD

Band	$F_{low} - F_{high}$ (MHz)	LTE
33	1900–1920	Y
34	2010–2025	Y
35	1850–1910	Y
36	1930–1990	Y
37	1910–1930	Y
38	2570–2620	Y
39	1880–1920	Y
40	2300–2400	Y

Πίνακας 5 LTE Ζώνες συχνοτήτων για TDD

Η επέκταση των απαιτήσεων για κυβελωτές τηλεπικοινωνίες, καθώς και για το πλήθος από άλλες ασύρματες εφαρμογές Ένας τυπικός εξοπλισμός χρήστη θα υποστηρίξει ένα συγκεκριμένο υποσύνολο από αυτές τις ζώνες βασισμένο στην επιθυμητή αγορά, καθώς η υποστήριξη όλων θα μπορούσε να είναι μία πρόκληση για τον πομποδέκτη, συγκεκριμένα για τα front-end εξαρτήματα όπως ενισχυτές ισχύος (PAs), φίλτρα και duplexers. Το σύνολο των ζωνών συχνοτήτων που έχει επιλεγεί θα καθορίσει τότε την ικανότητα του εξοπλισμού χρήστη να αλλάξει ζώνες, να περιηγείται (roam) μεταξύ εθνικών φορέων και να περιηγείται διεθνώς.

Κάθε ζώνη συχνοτήτων ρυθμίζεται να επιτρέπει λειτουργία σε μόνο ένα συγκεκριμένο σύνολο από channel bandwidths. Μερικές ζώνες συχνοτήτων δεν επιτρέπουν λειτουργία σε narrow bandwidth modes κάτω από τα 5MHz, την ώρα που άλλες δεν επιτρέπουν λειτουργία σε ευρύτερα bandwidths, γενικά των 15MHz ή υψηλότερα. Η κατάσταση δίνεται στον Πίνακα 6, ο οποίος παρουσιάζει τον αριθμό των υποστηριζόμενων μη επικαλυπτόμενων καναλιών για κάθε ζώνη συχνοτήτων και εύρος ζώνης. Το σύμβολο «\_» υποδηλώνει ότι το εύρος ζώνης του καναλιού δεν υποστηρίζεται στη συγκεκριμένη ζώνη, το «X» δείχνει ότι το εύρος ζώνης καναλιού είναι πολύ ευρύ για να υποστηριχθεί στη ζώνη. Οι τιμές στις αγκύλες δηλώνουν εύρος ζώνης για τα οποία η απαίτηση ευαισθησίας του UE δέκτη μπορεί να χαλαρώσει.

LTE band	Downlink bandwidth	Channel bandwidth (MHz)					
		1.4	3	5	10	15	20
1	60	—	—	12	6	4	3
2	60	42	20	12	6	[4]	[3]
3	75	53	23	15	7	[5]	[3]
4	45	32	15	9	4	3	2
5	25	17	8	5	[2]	—	—
6	10	—	—	2	[1]	X	X
7	70	—	—	14	7	4	[3]
8	35	25	11	7	[3]	—	—
9	35	—	—	7	3	[2]	[1]
10	60	—	—	12	6	4	3
11	25	—	—	5	[2]	[1]	[1]
12	18	12	6	[3]	[1]	—	X
13	10	7	3	[2]	[1]	X	X
14	10	7	3	[2]	[1]	X	X
...							
17	12	8	4	[2]	[1]	X	X
...							
33	20	—	—	4	2	1	1
34	15	—	—	3	1	1	X
35	60	42	20	12	6	4	3
36	60	42	20	12	6	4	3
37	20	—	—	4	2	1	1
38	50	—	—	10	5	—	—
39	40	—	—	8	4	3	2
40	[60]	—	—	—	10	6	5

Πίνακας 6 Αριθμός υποστηριζόμενων μη επικαλυπτόμενων καναλιών για κάθε ζώνη συχνοτήτων και εύρος ζώνης



#### 4.5.5 TD-SCDMA

Το *TD-SCDMA* (*Time Division Synchronous Code Division Multiple Access*) αναπτύχθηκε από κοινού από τη Siemens και την Κινέζικη Ακαδημία Τηλεπικοινωνιών (CATT) και είναι ένα από τα πέντε πρότυπα IMT-2000 που έγιναν δεκτά από την ITU. Τον Μάρτιο του 2001, το πρότυπο εγκρίθηκε επίσης από την 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 ταιριάζουν βέλτιστα 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 ραδιο τεχνολογίες που απαιτούν ξεχωριστές ζώνες για ανερχόμενη ζεύξη και κατερχόμενη ζεύξη (όπως το GSM, EDGE, W-CDMA ή cdma2000) τμημάτων 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 ταχύτερες 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 ραδιο προτύπου TD-SCDMA - συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των ενδο-κυττάρικης



παρέμβαση (χαρακτηριστικά κάθε τεχνολογία CDMA), καθώς και μεταξύ των κυττάρων παρεμβολή οδηγεί σε εξαιρετική αποδοτικότητα του φάσματος (3-5 φορές το GSM) [17]. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, των οποίων η 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 παρέμβασης των κυττάρων είναι μειωμένη όταν τα ποσοστά των δεδομένων ή ο αριθμός των χρηστών αυξάνεται. ως αποτέλεσμα, όταν αυξάνεται η κίνηση, ο χειριστής οφείλει να εισαγάγει μια αύξηση του αριθμού των σταθμών βάσης, προκειμένου να εξασφαλίζεται 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.
- *Μειωμένο κόστος της μεταφοράς*: χάρη στην κοινή διαπίστωση, έξυπνες κεραιές 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 το TD-SCDMA δεν επηρεάζεται από το cell-breathing και το soft handovers [18].

## 4.6 MIMO

Στις τηλεπικοινωνίες, *MIMO* (*Multiple Input Multiple Output*), στα ελληνικά Πολλαπλές Είσοδοι Πολλαπλές Έξοδοι (ΠΕΠΕ), είναι η χρήση πολλαπλών κεραιών και στον πομπό και στο δέκτη για τη βελτίωση της επίδοσης επικοινωνίας [17]. Πρόκειται για μια τεχνολογία που ανθεί στις μέρες μας, ως αποτέλεσμα της δημιουργίας των έξυπνων κεραιών, με σκοπό να βελτιώσει τις επιδόσεις των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων αυξάνοντας τους ρυθμούς μετάδοσης και την εμβέλεια χωρίς ταυτόχρονη αύξηση της ισχύος ή του εύρους ζώνης.

Στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα δύο είναι οι κύριοι περιορισμοί όσον αφορά την ποιότητα και την ταχύτητα των υπηρεσιών. Ο περιορισμός που θέτει ο Shannon ως προς τη μέγιστη πληροφορία που μπορεί να περάσει από ένα κανάλι όπως και το φαινόμενο των πολλαπλών αφίξεων του ίδιου σήματος στο δέκτη ως αποτέλεσμα ανακλάσεων (ανακλάσεις – διαφορετικοί δρόμοι – multipath). Τα πολλαπλά αντίγραφα του σήματος βεβαίως συμβάλουν στο δέκτη με το αυθεντικό σήμα και ουσιαστικά καταστρέφουν την πληροφορία.

Η χρήση συστημάτων MIMO παρέχει τη δυνατότητα παράκαμψης και των δύο αυτών περιορισμών. Όσον αφορά τη χωρητικότητα καναλιού, παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας πολλών ροών δεδομένων έτσι ώστε να πολλαπλασιάζεται η χωρητικότητα του καναλιού χρησιμοποιώντας πάντα το ίδιο εύρος ζώνης. Όσον αφορά το φαινόμενο του multipath, τα συστήματα MIMO ουσιαστικά το εκμεταλλεύονται για να αυξήσουν την ισχύ του σήματος στο δέκτη, με την τεχνική του precoding. Το ίδιο σήμα αποστέλλεται από πολλές κατευθυντικές κεραιές, οι οποίες εισάγουν κατάλληλη διαφορά φάσης στο σήμα, έτσι ώστε φτάνοντας τα σήματα στο δέκτη (από διαφορετικές διαδρομές) να είναι συμφασικά. Το αποτέλεσμα είναι να συμβάλουν θετικά κι έτσι να μεγιστοποιείται η ισχύς λήψης χωρίς όμως να αυξάνεται η συνολική ισχύς εκπομπής.

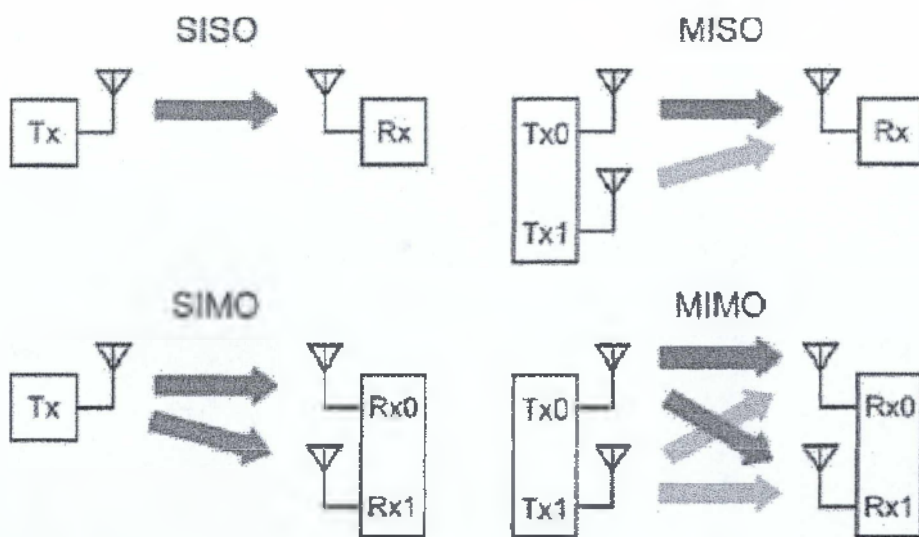
Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι των τεχνικών πολλαπλών κεραιών:

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 κεραιές και τα οποία αθροίζονται επικοδομητικά και να μειώσει την εξασθένιση της επίδρασης των πολλαπλών διαδρομών.

Το Spatial multiplexing απαιτεί διαμόρφωση κεραιών 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 ονομάζονται space-time κωδικοποίηση. Το σήμα εκπέμπεται από κάθε κεραία μετάδοσης με πλήρη ή σχεδόν ορθογώνια κωδικοποίηση.[17]

Όπως δείχνει η *Εικόνα 23*, υπάρχουν τέσσερις τρόποι να κάνουν χρήση του ραδιοκαναλιού. Για απλότητα, τα παραδείγματα που απεικονίζονται χρησιμοποιούν μόνο μία ή δύο κεραίες.



*Εικόνα 23 Τρόποι πρόσβασης ραδιοκαναλιών*

#### 4.6.1 Single Input Single Output (SISO)

Ο πιο βασικός τρόπος πρόσβασης ραδιοκαναλιού είναι η μονή είσοδος-μονή 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.

#### 4.6.2 Multiple Input Single Output (MISO)

Ο τρόπος πολλαπλή εισόδου μονής εξόδου (Multiple input single output - MISO) χρησιμοποιεί δύο ή περισσότερους πομπούς και ένα δέκτη. Το MISO αναφέρεται πιο συχνά ως εκπεμπόμενη πολυμορφία. Τα ίδια δεδομένα αποστέλλονται από τις δύο κεραίες 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

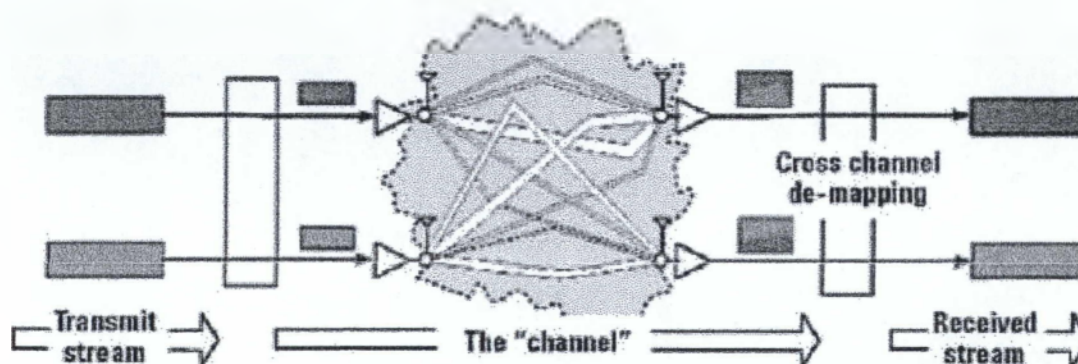


ποσοστά στοιχείων, αλλά υποστηρίζει τους ίδιους ρυθμούς δεδομένων με χρήση λιγότερης ισχύος. Η εκπεμπόμενη πολυμορφία μπορεί να ενισχυθεί με κλειστό βρόγχο ανάδρασης από το δέκτη που να δείχνει προς τον πομπό η βέλτιστη ισορροπία της φάσης και της ισχύος που χρησιμοποιείται για κάθε κεραία εκπομπής.

### 4.6.3 Multiple Input Multiple Output (MIMO)

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 ραδιοκάνάλι. 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 στην *Εικόνα 24*.



*Εικόνα 24 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.



#### 4.6.4 Πλεονεκτήματα 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.

Το κέρδος συστοιχίας (*Array gain*) ορίζεται ως η μέση αύξηση του λαμβανόμενου SNR<sup>5</sup> (Signal to Noise Ratio) 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.

Το κέρδος χωρικού διαφορισμού (*Spatial diversity gain*) μετριάζει την εξασθένηση του σήματος 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.

Η μείωση και αποφυγή παρεμβολών (*Interference reduction and avoidance*) 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 ανωτέρω οφέλη 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 ικανότητας, την κάλυψη και την αξιοπιστία.

---

<sup>5</sup> Το SNR εκφράζει το λόγο της ισχύος του σήματος προς την ισχύ του θορύβου.

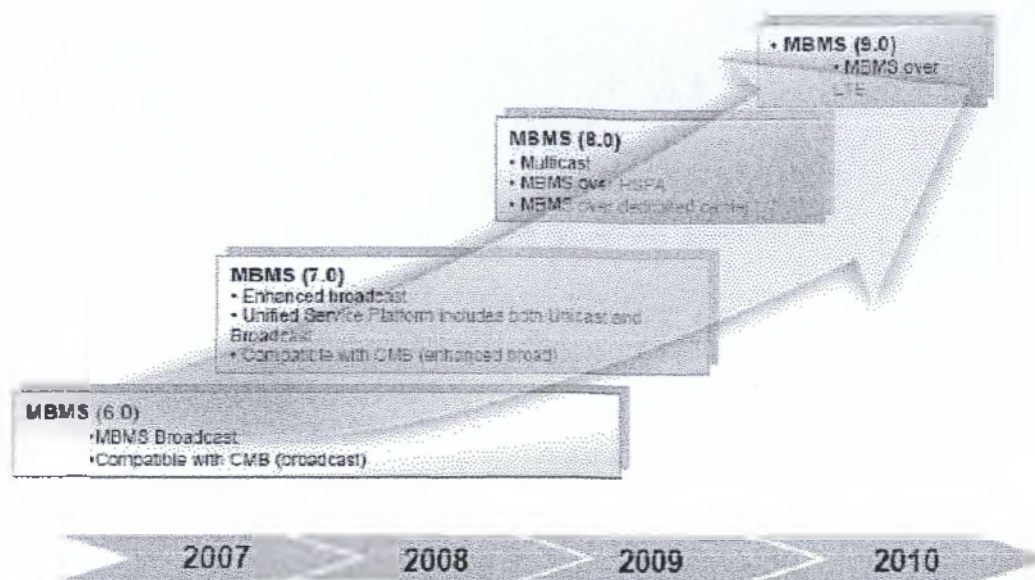
## 4.7 Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS)

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 ραδιόφωνου 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 25* 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 25 Η εξέλιξη της MBMS τεχνολογίας

#### 4.7.1 MBMS στο LTE

Μια αρχική LTE απαίτηση του σχεδιασμού ήταν να στηρίζει 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. [19].

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

#### 4.7.2 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 γνωρίζουν πόσες κυψέλες μεταδίδουν το σήμα.

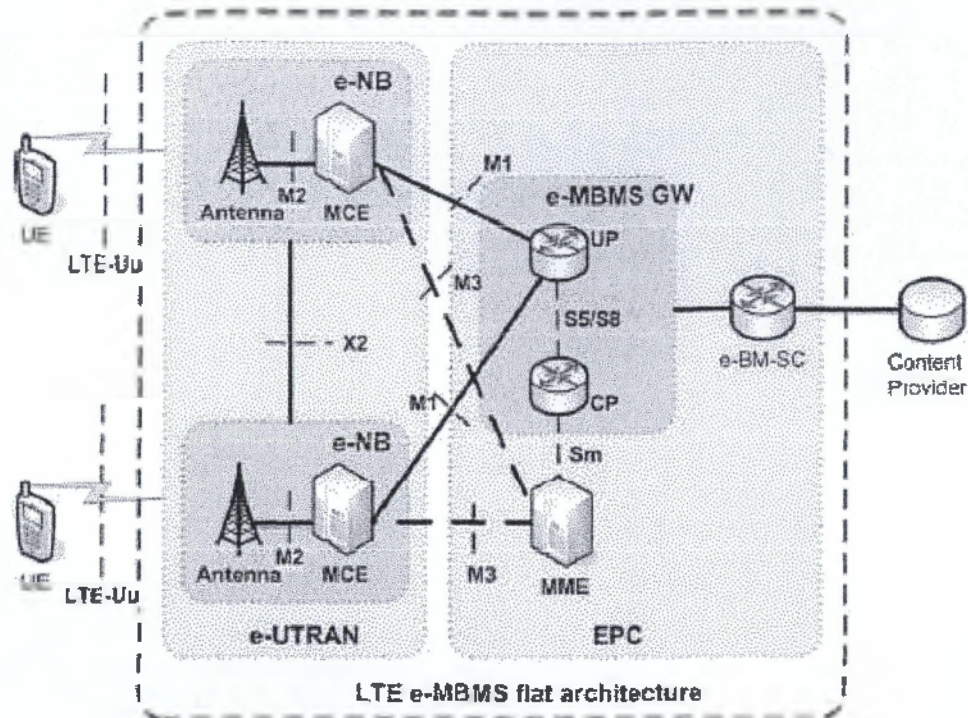
Ο τρόπος μετάδοσης MBSFN οδηγεί σε σημαντικές βελτιώσεις την φασματική απόδοση σε σύγκριση με το UMTS MBMS, καθώς η μετάδοση MBSFN βελτιώνει σημαντικά το σήμα σε Signal to Interference Noise Ratio (SINR). Αυτό είναι εξαιρετικά επωφελής στην άκρη κελιού, όπου μεταδόσεις (οι οποίες στο UMTS, θεωρούνται 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 η 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 υπηρεσία. 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.

#### 4.7.3 E-MBMS

Στο πλαίσιο του LTE το MBMS θα εξελιχθεί στο e-MBMS (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 στην *Εικόνα 26*. 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 της 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/συχνότητων ραδιοπόρων, το MCE είναι επίσης υπεύθυνο για την ραδιο διαμόρφωση π.χ. επιλογή της διαμόρφωσης και σχήματος κωδικοποίησης.





Εικόνα 26 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 Σηματοδοσίας (Session start/ stop) για 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.

Η M1 interface κάνει χρήση του πρωτοκόλου IP multicast για την παράδοση των πακέτων στο e-NBS, ενώ η M3 διεπαφή υποστηρίζει τον έλεγχο σύνοδου MBMS σηματοδότησης, π.χ. για έναρξης περιόδου λειτουργίας και τερματισμού. [33][34]

## 4.8 LTE-Advanced

Ασύρματο δίκτυο τέταρτης γενιάς (4G), έχει προβλεφθεί εδώ και αρκετό καιρό. Ο τυπικός ορισμός των 4G ασύρματων έχει αναπτυχθεί από την ομάδα Working Party 5D της ITU-R. 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.



Εικόνα 27 Συνολικό χρονοδιάγραμμα του IMT-Advanced και του LTE-Advanced

### 4.8.1 Απαιτήσεις του LTE-Advanced

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

- Ο υψηλός βαθμός κοινής λειτουργικότητα 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 έχουν καθιερωθεί ως στόχος)

Οι εργασίες του 3GPP να καθορίσει μια τεχνολογία ράδιο διεπαφής ξεκινούν στο Release 9 με τη μελέτη του LTE-Advanced. Οι απαιτήσεις για το LTE-Advanced [20] βασίζονται στις απαιτήσεις του ITU-R για IMT-Advanced καθώς και τους 3GPP φορείς για τις δικές τους 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 εξεταστούν από την 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.

#### 4.8.2 Προτάσεις για λύσεις του LTE-Advanced

Το αντικείμενο μελέτης του LTE-Advanced είναι σε πλήρη ροή καθώς και ένας μεγάλος αριθμός λύσεων που εξετάζονται από το 3GPP. Αρκετές κατηγορίες έρευνας επισημαίνονται παρακάτω, καθεμία από τις οποίες ανταποκρίνεται σε μια συγκεκριμένη απαίτηση του IMT-Advanced.

*Υποστήριξη ευρύτερου 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.



*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 περιορισμούς 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.

*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 εποικοδομητικά 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 δρομολογεί τα πακέτα μεταξύ της ενσύρματης και ασύρματης ζεύξης, ενεργώντας σαν ένα δρομολογητή IP.

*Ενισχυμένη εκπομπή MIMO:* ένα άλλο σημαντικό στοιχείο της τεχνολογίας LTE Advanced η δομή MIMO, όπως στη θεωρία αυτό προσφέρει έναν απλό τρόπο για να αύξει 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.



## Κεφάλαιο 5

### Η τυποποίηση του 4G από το IEEE: WiMAX

*WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)* αποκαλείται μια τεχνολογία τηλεπικοινωνιών η οποία προσφέρει ασύρματη μετάδοση δεδομένων δια μέσω πολλών μεθόδων πρόσβασης όπως φορητή ή πλήρως κινητή πρόσβαση στο Internet μέσω συνδέσεων ενός προς πολλών σημείων (point to multipoint links). Το όνομα WiMAX δόθηκε από το WiMAX Forum, το οποίο δημιουργήθηκε το 2001 και περιγράφεται ως «το τεχνολογικό πρότυπο που επιτρέπει τη μετάδοση του last mile της ασύρματης πρόσβασης στο Internet ως εναλλακτική στο cable και στο DSL». Παρέχει ρυθμό μετάδοσης περί τα 72 Mbps χωρίς καμία ανάγκη υποστήριξης καλωδιακών υποδομών, προσφέροντας ευρυζωνικές υπηρεσίες. Συνήθως ονομάζεται και Ασύρματη Ευρυζωνική Πρόσβαση (Broadband Wireless Access).

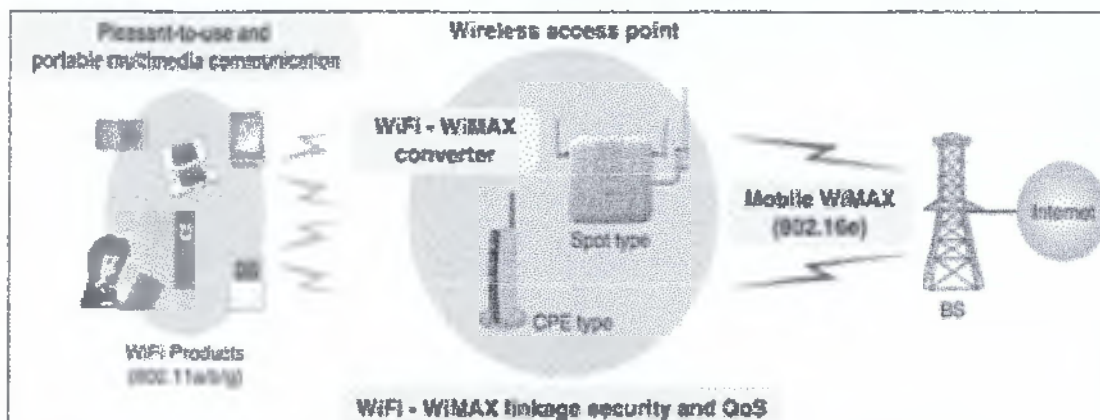
Το WiMAX είναι το επόμενο στάδιο ανάπτυξης των ευρυζωνικών συνδέσεων καθώς και ένας ολόκληρος ασύρματος κόσμος, που επεκτείνει την ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση σε νέες τοποθεσίες και μεγαλύτερες αποστάσεις, μειώνοντας παράλληλα το κόστος της ευρυζωνικότητας. Η τεχνολογία προσφέρει μεγαλύτερο εύρος ζώνης από τις ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες ασύρματων ευρυζωνικών συνδέσεων (π.χ. Wi-Fi) και παρέχει μια ασύρματη εναλλακτική λύση στην ενσύρματη επικοινωνία με παραδοσιακές μεταδόσεις μέσω καλωδίων (π.χ. DSL). Στην πραγματικότητα, το WiMAX βασίζεται στα πρότυπα που καταστούν εφικτή τη δυνατότητα ασύρματης μετάδοσης δεδομένων στα επίπεδα των καλωδιακών και των DSL γραμμών.

#### 5.1 Επισκόπηση

Το 2003 η IEEE υιοθέτησε το πρότυπο 802.16 γνωστό και σαν WiMAX, ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για ασύρματη πρόσβαση (με σταθερούς ρυθμούς) ευρείας ζώνης. Όπως συμβαίνει με τα πρότυπα της σειράς 802 για ασύρματα τοπικά δίκτυα, έτσι και το 802.16 καθορίζει μια οικογένεια προτύπων με επιλογές για συγκεκριμένες ρυθμίσεις. Δημιουργήθηκαν δύο πρότυπα το 802.16-2004 για Fixed wireless εφαρμογές και το 802.16e-2005 για Mobile wireless.

Το 802.16 σχεδιάστηκε ώστε να λειτουργεί σε μια ευρεία μπάνα συχνοτήτων η οποία εκτείνεται από 2 ως 66 GHz. Το αρχικό πρωτόκολλο του WiMAX όριζε το WiMAX στο εύρος των 10 με 66 GHz. Το πρωτόκολλο 802.16a αναβαθμίστηκε το 2004 σε 802.16-2004 προσθέτοντας προδιαγραφές για το εύρος 2 με 11 GHz. Υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης ως και 72 Mbps στον αέρα ενώ η πραγματική ταχύτητα στο Ethernet υπολογίζεται στα 50 Mbps. Οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν αγγίζουν τα 50 χλμ. σε συνθήκες οπτικής επαφής (Line Of Sight - LOS). Μια σημαντική διαφορά του προτύπου IEEE 802.16 σε σχέση με το IEEE 802.11 είναι ότι το πρώτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε συνθήκες μη οπτικής επαφής (Non-Line Of Sight - NLOS) φυσικά με ρυθμούς μετάδοσης πολύ χαμηλότερους των 50 Mbps και απόσταση γύρω στα 10 χλμ. [21]

Το πρότυπο 802.16e, γνωστό ως *Mobile WiMAX*, χαρακτηρίζεται από τη δυνατότητα φορητότητας και κάποια επιπλέον χαρακτηριστικά μεταξύ των υπολοίπων προτύπων. Αναμένεται να υποστηρίξει ασύρματες μεταδόσεις υψηλών ταχυτήτων απ' ευθείας στο κινητό του τελικού χρήστη, όπως το GPRS και το RTT. Το WiMAX έχει αναδειχτεί ως μια πολύ εφικτή λύση, λόγω των εγγενών του χαρακτηριστικών με τις ευρυζωνικές συνδέσεις που υπόσχονται πολλά για το μέλλον των ασύρματων επικοινωνιών, με αποτέλεσμα να έχει δημιουργήσει μεγάλες προσδοκίες καθώς η βιομηχανία ανταποκρίθηκε πλήρως και δεσμεύτηκε να προωθήσει την ευρυζωνικότητα σε νέα επίπεδα.



**Εικόνα 28** Γραφική αναπαράσταση σύνδεσης ενός χρήστη στο Internet μέσω ενός WiMAX δικτύου

Η ραχοκοκκαλιά του WiMAX βασίζεται σε μια τυπική σύνδεση σε ασύρματα δημόσια δίκτυα με χρήση οπτικών ινών, μικροκυματικών ζεύξεων, καλωδιακών συνδέσεων και άλλων υψηλών ταχυτήτων συνδεσιμότητες. Σε κάποιες περιπτώσεις, όπως στα δίκτυα βρόγχων, στα «Σημείου προς Πολλά Σημεία» (Point to Multipoint), το ίδιο το WiMAX χρησιμοποιείται ως ραχοκοκκαλιά. Στην ιδανική περίπτωση, το WiMAX πρέπει να χρησιμοποιεί κεραίες «Σημείου προς Σημείο» ως ραχοκοκκαλιά για να εισάγει σταθμούς βάσεις οι οποίοι βρίσκονται σε μακρινές αποστάσεις μεταξύ τους.

Ένας σταθμός βάσης στο WiMAX εξυπηρετεί σταθμούς συνδρομητών που χρησιμοποιούν NLOS ή συνδεσιμότητα LOS Point-to-Multi-Point. Ιδανικά, σε αυτή την περίπτωση το WiMAX πρέπει να χρησιμοποιεί κεραίες NLOS Point-to-Multi-Point προκειμένου να συνδέσει τους συνδρομητές του δικτύου με το σταθμό βάσης του. Ένας συνδρομητικός σταθμός Wimax CPE τυπικά εξυπηρετεί ένα ολόκληρο κτίριο χρησιμοποιώντας ενσύρματο ή ασύρματο LAN.

## 5.2 WiMAX Forum

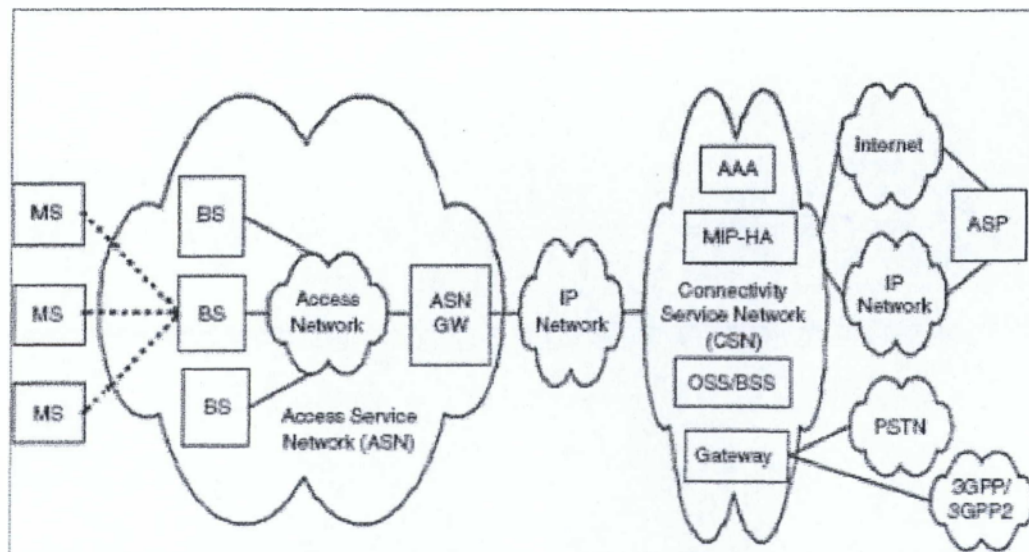


Η καθιέρωση προτύπων είναι κρίσιμη για τη μαζική υιοθέτηση μιας δεδομένης τεχνολογίας. Παρόλα αυτά από μόνη της δεν είναι αρκετή. Τα πρότυπα 802.11b WLAN επικυρώθηκαν το 1999, εντούτοις δεν έφθασαν στη μαζική υιοθέτηση μέχρι την εισαγωγή της Wi-Fi Alliance, η οποία επικύρωσε τη διαλειτουργικότητα του εξοπλισμού, ο οποίος άρχισε να γίνεται διαθέσιμος το 2001. Προκειμένου να εγγυηθεί η διαλειτουργικότητα στα ασύρματα συστήματα ευρείας ζώνης, το WiMAX Forum στρέφεται στην καθιέρωση ενός μοναδικού υποσυνόλου των βασικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων, που ομαδοποιούνται σε αυτά που αναφέρονται ως «προφίλ συστήματος» και που όλος ο εξοπλισμός πρέπει να τα ικανοποιεί. Αυτά τα προφίλ παράλληλα με μια συνεχή διαδικασία ελέγχου πρωτοκόλλων θα καθιερώσουν ένα παγκοσμίως διαλειτουργικό πρωτόκολλο, επιτρέποντας στους εξοπλισμούς διαφόρων προμηθευτών να λειτουργούν αρμονικά. Χαρακτηριστικά ένα τέτοιο πρωτόκολλο έχει καταλήξει ότι στις ΗΠΑ, το κυριότερο κομμάτι του φάσματος που θα αποδοθεί στις υλοποιήσεις WiMAX είναι στα 2.5GHz, ενώ στην Ευρώπη στα 3.5GHz. Η διαμόρφωση που θα χρησιμοποιείται είναι η 256-FTT OFDM.

## 5.3 Αρχιτεκτονική WiMAX

Το WiMAX έχει μια ενοποιημένη αρχιτεκτονική προκειμένου να είναι εφικτή η σύνδεση μεταξύ σταθερών και κινητών εφαρμογών που βασίζονται σε IP υπηρεσίες (Εικόνα 29). Γενικά το δίκτυο χωρίζεται σε τρία μέρη:

- *Κινητοί Σταθμοί (MS)*: χρησιμοποιούνται για πρόσβαση στο δίκτυο από τον χρήστη
- *Υπηρεσίες Πρόσβασης Δικτύου (ASN)*: περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους σταθμούς βάσης και μία ή περισσότερες πύλες ASN που αποτελούν το σημείο πρόσβασης του δικτύου
- *Υπηρεσίες Συνδεσιμότητας Δικτύου (CSN)*: παρέχει την IP συνδεσιμότητα και όλες τις λειτουργίες του IP δικτύου κορμού



Εικόνα 29 Η αρχιτεκτονική του WiMAX βασισμένη στο πρωτόκολλο IP



Τα συστατικά μέρη του WiMAX, τα οποία καθορίζουν και τον τρόπο λειτουργίας του είναι:

- *Ο Σταθμός Βάσης (BS)*: είναι υπεύθυνος για την παροχή πρόσβασης στους κινητούς σταθμούς. Πρόσθετες λειτουργίες μπορεί να είναι η διαχείριση της κίνησης σε επίπεδο κινητών σταθμών όπως η αλλαγή κυψέλης και η εγκατάσταση του καναλιού επικοινωνίας, η διαχείριση των πόρων της ασύρματης ζεύξης, η επιβολή QoS, η ταξινόμηση της κυκλοφορίας του δικτύου, το DHCP (Dynamic Host Control Protocol), η διαχείριση των κλειδιών και η διαχείριση της κυκλοφορίας σε περιπτώσεις multicast.
- *Πύλη Υπηρεσιών Πρόσβασης Δικτύου (ASN-GW)*: λειτουργεί συνήθως ως το δεύτερο στρώμα, ως το σημείο συγκέντρωσης της κυκλοφορίας μέσα σε ένα ASN. Πρόσθετες λειτουργίες οι οποίες μπορεί να είναι τμήμα της πύλης ASN περιλαμβάνουν την ενδο-ASN διαχείριση της τοποθεσίας και της σελιδοποίησης, τη διαχείριση των ασύρματων πόρων και τον έλεγχο των δικαιωμάτων, την προσωρινή αποθήκευση των προφίλ των συνδρομητών και των κλειδιών κρυπτογράφησης, την εγκατάσταση και τη διαχείριση των καναλιών επικοινωνίας με τους Σταθμούς Βάσης, το QoS και την επιβολή πολιτικής, τη διαχείριση της λειτουργικότητας σε αγνώστους συνδρομητές και τη δρομολόγηση σε επιλεγμένα CSN.
- *Υπηρεσία Συνδεσιμότητας Δικτύου (CSN)*: παρέχει συνδεσιμότητα στο Internet, στο ASP, σε άλλα δημόσια δίκτυα και σε εταιρικά δίκτυα. Το CSN ανήκει στο NSP και περιέχει servers οι οποίοι υποστηρίζουν αυθεντικοποίηση για τις συσκευές, τους χρήστες και συγκεκριμένες υπηρεσίες. Το CSN επίσης παρέχει τη διαχείριση της πολιτικής του QoS και της ασφαλείας για κάθε χρήστη. Το CSN είναι επίσης υπεύθυνο για τη διαχείριση των διευθύνσεων IP, για την υποστήριξη περιαγωγής μεταξύ διαφόρων NSP, για τη διαχείριση της θέσης μεταξύ των ASN, καθώς και για τη φορητότητα και την περιαγωγή μεταξύ των ASN.

Η αρχιτεκτονική του WiMAX επιτρέπει την ευέλικτη αποσύνθεση ή/και το συνδυασμό των λειτουργικών οντοτήτων κατά την κατασκευή των φυσικών συστατικών μερών του. Για παράδειγμα, τα ASN μπορούν να λειτουργήσουν και ως πομποδέκτες σταθμών βάσεων (BST), ως ελεγκτές σταθμών βάσεων (BSC) και ένα ASN-GW μπορεί να χρησιμοποιηθεί με παρόμοιο τρόπο όπως και στο GSM ως BTS, ως BSC και ως Κόμβος Υποστήριξης GPRS (SGSN) [22].



## 5.4 Φυσικό Επίπεδο

Το Φυσικό Στρώμα του WiMAX στο OFDM έχει κατασκευαστεί με τρόπο τέτοιο ώστε να είναι ικανό να επιτύχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, βίντεο και επικοινωνιών πολυμέσων και να συνδυάζεται με πολλά εμπορικά συστήματα ευρυζωνικών συνδέσεων όπως το LTE, το WiFi, το DSL, το DVB-H και το MediaFLO. Το OFDM είναι ένα πολύ έξυπνο και αποτελεσματικό σύστημα για τη μετάδοση δεδομένων με πολύ υψηλό ρυθμό σε ένα περιβάλλον χωρίς οπτική επαφή.

Το WiMAX υποστηρίζει προσαρμοστική διαμόρφωση και κωδικοποίηση ανάλογα με την ποιότητα – ένταση του σήματος. Έτσι λοιπόν μπορούμε να έχουμε 64QAM σε περίπτωση δυνατού σήματος, 16QAM και QPSK σε μέσες καταστάσεις, ενώ μπορεί να φτάσουμε και σε BPSK σε περιπτώσεις χαμηλού SNR. Έχουμε ουσιαστικά ίδιες διαμορφώσεις με το LTE Advanced μόνο που εδώ μπορούμε να πέσουμε και στο BPSK κάτι που σε αντίξοες συνθήκες θα είναι πιο αποδοτικό σε σχέση με το QPSK, που είναι η λιγότερο πολύπλοκη διαμόρφωση του πρώτου. Χρησιμοποιείται κλιμακούμενο OFDMA που υποστηρίζει εύρη ζώνης από 1.25MHz έως 20MHz. Επίσης υποστηρίζονται τεχνικές MIMO τόσο για την αύξηση το εύρους ζώνης όσο και για να προσδώσουν καλύτερα χαρακτηριστικά σε περιπτώσεις έλλειψης οπτικής επαφής. Αναμένεται ότι χρησιμοποιώντας 4x2 MIMO σε αστικές μικροκυβέλες σε ένα 20MHz TDD κανάλι, ένα σύστημα 802.16m θα υποστηρίζει 120Mbps downlink και 60Mbps uplink ταυτοχρόνως. Στόχος βεβαίως και απαιτούμενο από την ITU είναι τα 1Gbps στο downlink (για ακίνητα περιβάλλοντα) κάτι που δε μοιάζει ανέφικτο αν συνυπολογίσει κανείς ότι το συνολικό εύρος ζώνης που προβλέπει η ITU ανέρχεται σε 100MHz διάσπαρτα στο φάσμα [22].

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται οι διάφορες διαμορφώσεις και οι κωδικοποιήσεις που υποστηρίζονται από το WiMAX.

	Downlink	Uplink
Διαμόρφωση	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM; BPSK προεραϊτική για OFDMA-PHY	BPSK, QPSK, 16 QAM; 64 QAM (προεραϊτική)
Κωδικοποίηση	Υποχρεωτική: Συνελκτικικοί κώδικες σε ρυθμό: 1 2, 2 3, 3 4, 5 6	Υποχρεωτική: Συνελκτικικοί κώδικες σε ρυθμό: 1 2, 2 3, 3 4, 5 6
	Προεραϊτική: Συνελκτικικοί turbo κώδικες σε ρυθμό: 1 2, 2 3, 3 4, 5 6;	Προεραϊτική: Συνελκτικικοί turbo κώδικες σε ρυθμό: 1 2, 2 3, 3 4, 5 6;
	Επαναληπτικοί κώδικες σε ρυθμό: 1 2, 1 3, 1 6, LDPC.	Επαναληπτικοί κώδικες σε ρυθμό: 1 2, 1 3, 1 6, LDPC
	RS-κώδικες για OFDMA-PHY	

Πίνακας 7 Διαμορφώσεις και κωδικοποιήσεις WiMAX

Επειδή το φυσικό στρώμα του WiMAX είναι αρκετά ευέλικτο, η απόδοση των ρυθμών μετάδοσης των δεδομένων διαφέρει με βάση τις παραμέτρους λειτουργίας. Οι παράμετροι που έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο ρυθμό μετάδοσης του φυσικού στρώματος είναι το εύρος ζώνης του καναλιού και η διαμόρφωση και κωδικοποίηση που χρησιμοποιεί το σύστημα. Άλλες παράμετροι όπως ο αριθμός των υπο-καναλιών, ο χρόνος ελέγχου του OFDM και ο ρυθμός υπερδειγματοληψίας έχουν επίσης αντίκτυπο.

Στον Πίνακα 8 απεικονίζονται ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων του φυσικού στρώματος σε διάφορα κανάλια με διαφορετικό εύρος ζώνης και κωδικοποιήσεων.

Channel Bandwidth	3.5MHz	1.25MHz	5MHz	10MHz				
PHY mode	256 OFDM	128 OFDMA	512 OFDMA	1,024 OFDMA				
Oversampling	8/7	28/25	28/25	28/25				
Modulation & Code Rate	PHY-Layer Data Rate (kbps)							
	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
BPSK, 1/2	946	326	Not applicable					
QPSK, 1/2	1,882	653	504	154	2,520	653	5,040	1,344
QPSK, 3/4	2,822	979	756	230	3,780	979	7,560	2,016
16 QAM, 1/2	3,763	1,306	1,008	307	5,040	1,306	10,080	2,688
16 QAM, 3/4	5,645	1,958	1,512	461	7,560	1,958	15,120	4,032
64 QAM, 1/2	5,645	1,958	1,512	461	7,560	1,958	15,120	4,032
64 QAM, 2/3	7,526	2,611	2,016	614	10,080	2,611	20,160	5,376
64 QAM, 3/4	8,467	2,938	2,268	691	11,340	2,938	22,680	6,048
64 QAM, 5/6	9,408	3,264	2,520	768	12,600	3,264	25,200	6,720

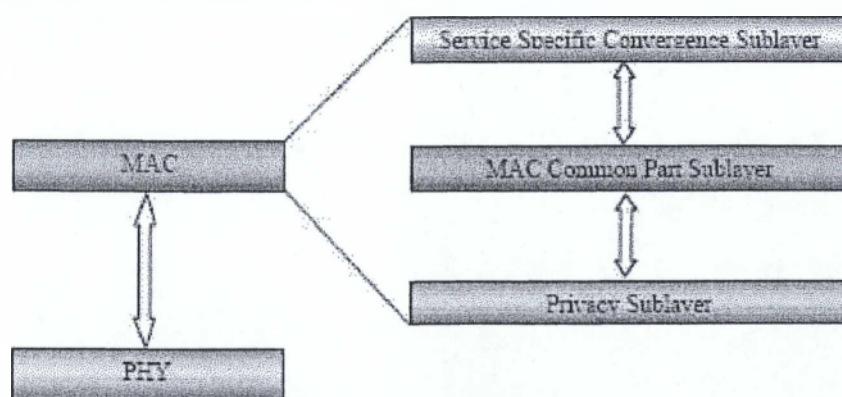
Πίνακας 8 Ρυθμοί μετάδοσης WiMAX

## 5.5 Επίπεδο MAC

Το WiMAX σχεδιάστηκε κατά βάση ώστε να καλύπτει κυρίως σημείο-προς-πολλαπλά σημεία συνδέσεις (point-to-multipoint), χωρίς ωστόσο να αποκλείεται και η χρήση του για σημείο-προς-σημείο συνδέσεις (point-to-point). Καλύπτει την ανάγκη για πολύ υψηλές ταχύτητες από και προς τους συνδρομητές. Οι αλγόριθμοι πρόσβασης και κατοχύρωσης του εύρους ζώνης πρέπει να προσαρμοστούν έτσι ώστε να εξυπηρετούν εκατοντάδες τερματικά ανά κανάλι. Οι υπηρεσίες που χρησιμοποιούν οι χρήστες, διαφέρουν στη μορφή τους και περιλαμβάνουν κίνηση με TDM διαμόρφωση, όπως η φωνή και το βίντεο, συνδέσεις IP και πακέτα VoIP. Για να μπορεί να υποστηρίξει αυτές τις υπηρεσίες το MAC επίπεδο, πρέπει να δέχεται και σταθερούς και εκρηκτικούς ρυθμούς μετάδοσης. Επιπλέον, αυτές οι υπηρεσίες πρέπει να κατοχυρώσουν και την αντίστοιχη Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS). Έτσι το 802.16 MAC επίπεδο, προσφέρει μεγάλο εύρος τύπων υπηρεσιών ανάλογων των ATM υπηρεσιών, όπως και των νεότερων Εγγυημένου Ρυθμού Πλαισίου (Guaranteed Frame Rate, GFR).

Υπάρχουν τρία υποεπίπεδα που σχηματίζουν το MAC επίπεδο (Εικόνα 30):

- *Υπόστρωμα Σύγκλισης Ειδικών Υπηρεσιών (MAC Service Specific Convergence Sublayer)*: υπεύθυνο για την αντιστοίχιση των υπηρεσιών προς και από τις συνδέσεις του MAC του Wi-MAX.
- *MAC Υπόστρωμα Κοινού Μέρους (MAC Common Part Sublayer)*: υπεύθυνο για λειτουργίες όπως η πακετοποίηση και η κατάτμηση των δεδομένων, οι αιτήσεις αναμετάδοσης και η ποιότητα υπηρεσίας (QoS).
- *Υπόστρωμα Ιδιωτικότητας (MAC Privacy Sublayer)*: υπεύθυνο για την αυθεντικοποίηση, την κρυπτογράφηση και την ανταλλαγή κλειδιών ασφαλείας.



Εικόνα 30 Αρχιτεκτονική MAC και PHY επιπέδων του WiMAX



### 5.5.1 Υποστρώματα σύγκλισης ειδικών υπηρεσιών

Το πρότυπο WiMAX ορίζει δύο ειδικών υπηρεσιών γενικά υποστρώματα σύγκλισης για την αντιστοίχιση υπηρεσιών προς και από τις συνδέσεις του MAC του WiMAX:

- Το υπόστρωμα σύγκλισης ATM είναι για υπηρεσίες ATM.
- Το υπόστρωμα σύγκλισης πακέτου ορίζεται για την αντιστοίχιση υπηρεσιών πακέτου όπως Internet Protocol version 4 ή 6 (IPv4, IPv6), Ethernet, και VLAN (Virtual Local Area Network).

Η κύρια λειτουργία του υποστρώματος είναι η ένταξη των SDU (Service Data Units) στη σωστή σύνδεση MAC, η διαφύλαξη ή ενεργοποίηση QoS, και η ενεργοποίηση της κατανομής εύρους ζώνης. Τα SDU είναι οι μονάδες που ανταλλάσσονται μεταξύ δύο γειτονικών στρωμάτων πρωτοκόλλων. Είναι οι μονάδες δεδομένων που λαμβάνονται στην καθοδική κατεύθυνση από το προηγούμενο υψηλότερο στρώμα και οι μονάδες δεδομένων που αποστέλλονται κατά την ανοδική κατεύθυνση στο επόμενο υψηλότερο στρώμα. Η αντιστοίχιση παίρνει διάφορες μορφές, ανάλογα με το είδος της υπηρεσίας. Εκτός από αυτές τις βασικές λειτουργίες, τα υποστρώματα σύγκλισης πραγματοποιούν πολύπλοκες λειτουργίες, όπως καταστολή κεφαλίδας ωφέλιμου φορτίου και ανακατασκευή, για την βελτίωση της εναέριας αποτελεσματικότητας.

### 5.5.2 Υπόστρωμα κοινού μέρους

Αυτό το επίπεδο είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία συνδέσεων. Υπάρχουν οι συνδέσεις για αρχική πρόσβαση βάσει συναγωνισμών, συνδέσεις για εκπομπή σε όλους τους σταθμούς στο DL καθώς και για τη σηματοδότηση εκπομπής σταθμοσκόπησης βάσει συναγωνισμού των ευρυζωνικών αναγκών των σταθμών συνδρομητών. Επιπλέον συνδέσεις δεσμεύονται για πολυεκπομπή (multicast) σταθμοσκόπησης βάσει συναγωνισμών. Το επίπεδο αυτό είναι επίσης υπεύθυνο για την Ποιότητα των Υπηρεσιών και για την αναμετάδοση πακέτων όταν υπάρχουν λάθη.

- *Πρόσβαση στο Μέσο με TDM/TDMA*: Το IEEE 802.16 MAC επίπεδο είναι σημαντικά διαφορετικό από αυτό του IEEE 802.11 Wi-Fi. Στο Wi-Fi όσοι σταθμοί συνδρομητών επιθυμούν να στείλουν δεδομένα στο μέσο πρόσβασης, ανταγωνίζονται για την προσοχή του Σταθμού Βάσης με τυχαίο τρόπο. Αυτό μπορεί να αναγκάσει τους απομακρυσμένους κόμβους από το ΣΒ να διακόπτονται επανειλημμένα από τους λιγότερο ευαίσθητους και πιο κοντινούς κόμβους, μειώνοντας έτσι κατά πολύ την απόδοσή τους. Και αυτό κάνει τις υπηρεσίες, όπως το VoIP ή το IPTV, που εξαρτώνται από ένα καθορισμένο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας (QoS), να μη διατίθενται για ένα μεγάλο αριθμό χρηστών.

Αντίθετα, στο 802.16 MAC επίπεδο ο σταθμός του συνδρομητή πρέπει μόνο να ανταγωνιστεί μία φορά για την αρχική είσοδο μέσα στο δίκτυο. Στη συνέχεια τού διατίθεται μια αποκλειστική χρονική θυρίδα από το σταθμό βάσης, που σημαίνει ότι οι άλλοι συνδρομητές δεν μπορούν να τη χρησιμοποιήσουν αλλά περιμένουν εκ περιτροπής τη σειρά τους. Το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί TDM ροές για τη μεταφορά



δεδομένων στους χρήστες (downlink), ενώ χρησιμοποιεί TDMA ροές για τη μεταφορά δεδομένων στους ΣΒ (uplink). Αυτός ο αλγόριθμος σχεδιασμού είναι σταθερός σε συνθήκες υπερφόρτωσης και σε μεγάλο αριθμό συνδρομητών (αντίθετα από το 802.11). Είναι επίσης πολύ πιο αποδοτικό στη χρήση του φάσματος. Η χρήση του αλγόριθμου TDM για την πρόσβαση στο μέσο, επιτρέπει χαμηλού κόστους υλοποιήσεις στις οποίες είναι δυνατό να συνδεθούν εκατοντάδες ή και περισσότεροι χρήστες. Ο κάθε χρήστης έχει μια αποκλειστική χρονοθυρίδα με αποτέλεσμα να μπορεί να απολαύσει υπηρεσίες με υψηλή ποιότητα.

- *Ποιότητα Υπηρεσίας*: το πρότυπο IEEE 802.16 παρέχει υψηλού επιπέδου ποιότητα υπηρεσίας (QoS). Το επίπεδο MAC του προτύπου είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει στους χρήστες, όταν οι ίδιοι το επιθυμούν, εγγυημένο ρυθμό μετάδοσης και ταυτόχρονα κίνηση μέγιστης προσπάθειας σε χρήστες που καλύπτονται από τον ίδιο ΣΒ, κάτι που το πρότυπο IEEE 802.11 δεν μπορούσε να εξασφαλίσει. Δηλαδή, αν υποθέσουμε ότι δύο χρήστες καλύπτονται από το ΣΒ, είναι δυνατό ο ένας χρήστης να έχει εγγυημένη ποιότητα υπηρεσίας και ο δεύτερος χρήστης να δέχεται και να στέλνει απλή IP κίνηση μέγιστης προσπάθειας κάτι που με το πρότυπο 802.11 δεν ήταν δυνατό. Δηλαδή χρήστες που βρισκόταν στην κάλυψη ενός Σημείου Πρόσβασης είχαν την ίδια ποιότητα υπηρεσίας.

Υπάρχουν τεσσάρων ειδών υπηρεσίες και οι αντίστοιχοι μηχανισμοί τους που διαχειρίζονται το παρεχόμενο εύρος ζώνης, ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη.

- *Υπηρεσίες Αυτόκλητης Αίτησης (Unsolicited Grant Services)*: οι UGS σχεδιάστηκαν για την υποστήριξη σταθερού ρυθμού μετάδοσης (Constant Bit Rate), όπως εξομοίωση T1/E1 και VoIP χωρίς καταστολή σιωπής.
- *Υπηρεσίες Σταθμοσκόπησης πραγματικού χρόνου (Real-Time Polling Services)*: οι rTPS σχεδιάστηκαν για την υποστήριξη υπηρεσιών πραγματικού χρόνου που παράγουν μεταβλητού μεγέθους πακέτα δεδομένων, όπως βίντεο MPEG ή VoIP με περιοδική καταστολή σιωπής.
- *Υπηρεσίες Σταθμοσκόπησης μη πραγματικού χρόνου (Non-Real-Time Polling Services)*: οι nrTPS σχεδιάστηκαν για την υποστήριξη υπηρεσιών μη πραγματικού χρόνου που απαιτούν μεταβλητό μέγεθος δεδομένων.
- *Υπηρεσίες Καλύτερης Προσπάθειας (Best Effort Services)*: οι BE υπηρεσίες παρέχονται τυπικά από το Διαδίκτυο σήμερα για πλοήγηση (web surfing).
- *Αυτόματη Έκκληση Αναμετάδοσης (Automatic Retransmission request, ARQ)*: με τη μέθοδο αυτή, τα λάθη που μπορεί να εισήχθησαν από τα ανώτερα επίπεδα κρύβονται και τα λανθασμένα πακέτα επανεκπέμπονται, βελτιώνοντας την από άκρο-σε-άκρο απόδοση του συστήματος.
- *Χρήση προσαρμοστικής διαμόρφωσης και κωδίκων διόρθωσης σφαλμάτων*: με χρήση συγκεκριμένων τρόπων διαμόρφωσης και εφαρμογή κωδίκων σφαλμάτων, όπως περιγράψαμε και στο φυσικό επίπεδο, αυξάνεται η χωρητικότητα του κάθε καναλιού

αφού αποδίδονται ο μέγιστος αριθμός bit ανά δευτερόλεπτο σε κάθε χρήστη. Έτσι δημιουργούνται αποτελεσματικές ζεύξεις για την καλύτερα μεταφορά των δεδομένων.

- *Αυτόματος Έλεγχος Ισχύος (Automatic Power Control)*: ο έλεγχος της ισχύος που εκπέμπει κάθε σταθμός βάσης, επιτρέπει τη δημιουργία κυψελοειδούς αρχιτεκτονικής, όπου ο κάθε σταθμός βάσης θα ελαχιστοποιεί τις παρεμβολές που προκαλεί σε γειτονικούς ΣΒ.

### 5.5.3 Υπόστρωμα Ιδιωτικότητας

- *Ασφάλεια και Κρυπτογράφηση*: την ασφαλή μετάδοση των δεδομένων στο WiMAX αναλαμβάνει ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης DES (Data Encryption Standard, Πρότυπο Κρυπτογράφησης Δεδομένων) και συγκεκριμένα μια παραλλαγή του αλγορίθμου, ο Triple DES. Το DES αναπτύχθηκε το 1970 από το Αμερικανικό Εθνικό Γραφείο Προτύπων. Η βασική ιδέα ήταν η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου κρυπτογράφησης που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί (και να βελτιωθεί) από διάφορες εταιρείες ή οργανισμούς. Το DES ανήκει στην οικογένεια των συμμετρικών αλγορίθμων και κάνει χρήση κλειδιών με μήκος 56 bit. Ο κλασικός αλγόριθμος DES είναι πλέον ξεπερασμένος, αφού με τη χρήση ενός σύγχρονου υπολογιστή μπορεί να παραβιαστεί σχετικά εύκολα. Στο μεταξύ, εφαρμόζοντας διάφορες τεχνικές επάνω στο DES, μπορούμε να αυξήσουμε σημαντικά την ασφάλειά του. Με τη μέθοδο Triple - DES, για παράδειγμα, το μήνυμα κωδικοποιείται τρεις φορές, με τρία διαφορετικά κλειδιά, προστατεύοντας κατά ικανοποιητικό βαθμό την ιδιωτικότητα του χρήστη.

Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα
Χρήση TDM/TDMA	Αποδοτικότητα εύρους ζώνης (Bandwidth efficiency)
Υποστήριξη μέχρι και 100 χρηστών ανά Base Station	Ικανότητα να υποστηρίξει αξιόπιστα πολλούς χρήστες
Υποστήριξη QoS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μικρή καθυστέρηση για υπηρεσίες όπως TDM Voice, VoIP</li> <li>• Ακριβής μεθόδους VBR κωδικοποίησης</li> </ul>
Υποστήριξη ARQ (Automatic Repeat Request)	Βελτιστή πρσ από άκρο σε άκρο κωδικοποίηση για σιωπηρή μετάδοση
Χρήση ημικονομικής διαμόρφωσης και κωδίκων κωδικοποίησης σφαιρικών	Αποκάλυψη προς ζεύξης ακ μέρους αυτών bits/σεκ σε κάθε χρήστη
Χρήση Triple DES για ασφάλεια	Προστασία δεδομένων
Automatic Power Control	Δυνατότητα για δημιουργία κυψελοειδούς αρχιτεκτονικής

Εικόνα 31 Χαρακτηριστικά επιπέδου MAC

## 5.6 Υπόστρωμα Σύγκλισης Εκπομπής

Μεταξύ του PHY και του MAC υπάρχει ένα υπόστρωμα σύγκλισης εκπομπής (Transmission Convergence – TC). Αυτό το στρώμα μετασχηματίζει MAC PDU μεταβλητού μήκους σε σταθερού μήκους μπλοκ FEC (συν πιθανώς ένα βραχύτερο μπλοκ στο τέλος κάθε αποστολής). Το στρώμα TC έχει μια PDU με τέτοιο μέγεθος που να ταιριάζει στο FEC μπλοκ που τρεχόντως γεμίζεται. Αρχίζει με ένα δείκτη που υποδεικνύει που αρχίζει η επόμενη κεφαλίδα MAC PDU εντός του FEC μπλοκ. Η μορφοποίηση του TC PDU επιτρέπει επανασυγχρονισμό στο επόμενο MAC PDU στην περίπτωση που το προηγούμενο FEC μπλοκ είχε αμετάκλητα σφάλματα.

## 5.7 Κινητό WiMAX IEEE 802.16e (Mobile WiMAX)

Το κινητό WiMAX είναι μια ευρυζωνική ασύρματη λύση που επιτρέπει τη σύγκλιση των κινητών και των σταθερών ευρυζωνικών δικτύων μέσω μιας κοινής τεχνολογίας ασύρματης πρόσβασης Ευρείας Περιοχής και μιας ευέλικτης δικτυακής αρχιτεκτονικής. Το κινητό WiMAX, υιοθετεί την Ορθογωνική Διαίρεση Συχνότητας Πολλαπλής Πρόσβασης (OFDMA) για βελτιωμένη απόδοση στην πολυδιάδευση που εμφανίζεται στα περιβάλλοντα μη οπτικής επαφής (NLOS). Η Επεκτάσιμη OFDMA (Scalable OFDMA) εισήχθη επίσης στο υποπρότυπο IEEE 802.16e, για να υποστηρίξει τα διαφορετικά εύρη ζώνης καναλιών από 1.25 έως 20 MHz. Η υποστήριξη περισσότερων ζωνών θα προστεθεί ανάλογα με τη ζήτηση της αγοράς. Οι κατασκευαστές εργάζονται μέσω του WiMAX Forum για να επιτύχουν τη συμβατότητα μεταξύ των παρόμοιων προφίλ συστημάτων.

### 5.7.1 Scalable OFDMA (SOFDMA)

Το SOFDMA είναι το OFDMA που χρησιμοποιείται στο Mobile Wi-MAX(802.16e). Η κλιμάκωση (scalability απο το Scalable OFDMA) υποστηρίζεται με τη ρύθμιση του μεγέθους του FFT καθορίζοντας το διάστημα συχνότητας των sub-carriers σε 10,94 kHz. Υποστηρίζει τα εύρη ζώνης καναλιών που κυμαίνονται από 1,25 MHz ως 20 MHz. Το SOFDMA προσθέτει την εξελιξιμότητα σε OFDMA. Με την κλιμάκωση εύρους ζώνης, το Mobile Wi-MAX μπορεί να συμμορφωθεί με τους διάφορους κανονισμούς συχνότητας παγκοσμίως.

Οι βασικές αρχές του SOFDMA συνοψίζονται στο γεγονός ότι το διάστημα μεταξύ των υποφερόντων είναι ανεξάρτητο από το εύρος ζώνης. Πιο συγκεκριμένα:

- Ο αριθμός των υποφερόντων κλιμακώνεται με το εύρος ζώνης.
- Η μικρότερη μονάδα της κατανομής εύρους ζώνης, βασισμένη στην έννοια των υποκαναλιών είναι καθορισμένη και ανεξάρτητη από το εύρος ζώνης.
- Ο αριθμός των υποκαναλιών κλιμακώνεται με το εύρος ζώνης και η χωρητικότητα κάθε μεμονωμένου υποκαναλιού παραμένει σταθερή.



Το SOFDMA θα είναι καλύτερο του 256 OFDM για συνδέσεις μη οπτικής πετυχαίνοντας τα εξής:

- Βελτίωση της κάλυψης μη οπτικής επαφής με τη χρησιμοποίηση των προηγμένων σχεδίων ποικιλομορφίας κεραιών, και των υβριδικών-Εκκλήσεων Αυτόματης Αναμετάδοσης (hARQ)
- Αυξανόμενο κέρδος συστήματος μέσω της πυκνότερης κατανομής του φάσματος, και βελτίωση της κάλυψης εσωτερικών χώρων
- Εισαγωγή των υψηλής απόδοσης τεχνικών κωδικοποίησης όπως η Τούρμπο Κωδικοποίηση και ο Μικρής Πυκνότητας Έλεγχος Ισοτιμίας (Low Density Parity Check, LDPC), ενισχύοντας την ασφάλεια και την απόδοση των συνδέσεων μη οπτικής επαφής.
- Η εισαγωγή των υποκαναλιών στην προς τα κάτω μετάδοση, θα επιτρέπει στους διαχειριστές να ανταλλάζουν το εύρος κάλυψης με την χωρητικότητα του καναλιού ή αντίστροφα.
- Βελτίωση της κάλυψης με την εισαγωγή των προσαρμοστικών συστημάτων κεραιών (Adaptive Antenna Systems, AAS) και των συστημάτων MIMO.
- Εξάλειψη των εξαρτήσεων από το εύρος ζώνης των καναλιών χάρη στα κενά διαστήματα των υποφερόντων, που επιτρέπουν την ίση απόδοση κάτω από οποιοδήποτε εύρος καναλιών RF (1.25-14 MHz)
- Ο ενισχυμένος γρήγορος αλγόριθμος μετασχηματισμού Φουριέ (FFT) μπορεί να ανεχτεί μεγαλύτερες καθυστερήσεις, αυξάνοντας την ανοχή στις παρεμβολές λόγω πολλαπλών δρόμων.

Τα SOFDMA και OFDMA256 δεν είναι συμβατά κι έτσι ο περισσότερος εξοπλισμός θα πρέπει να αντικατασταθεί. Εντούτοις, μερικοί κατασκευαστές προσπαθούν να παρέχουν μια πορεία μετάβασης για τον παλαιότερο εξοπλισμό στο SOFDMA που θα διευκόλυε τη μετάβαση εκείνων των δικτύων που έχουν κάνει ήδη επένδυση στο OFDMA256. Η υποστήριξη των μεταπομπών είναι μια άλλη κρίσιμη προσθήκη στην τροποποίηση 802.16e για την κινητή πρόσβαση. Η δυνατότητα να διατηρηθεί μια σύνδεση κινούμενη στα σύνορα κυψελών, είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την κινητικότητα και θα περιληφθεί ως απαίτηση στο προφίλ των συστημάτων 802.16e. Στο πρότυπο 802.16-2004 αν και προβλέπεται η ικανότητα μεταπομπής, στα σχεδιαζόμενα προφίλ η υποστήριξη δεν είναι απαραίτητη.

Το πρότυπο 802.16e WiMAX θα υποστηρίξει διαφορετικούς τύπους μεταπομπής, που κυμαίνονται από σκληρούς (hard) έως μαλακούς (soft) και η επιλογή τους αφήνεται στον διαχειριστή. Οι σκληρές μεταπομπές χρησιμοποιούν έναν τύπο κόψιμο-πριν από την-επανασύνδεση. Σ'αυτήν την περίπτωση η συσκευή των χρηστών συνδέεται με έναν μόνο σταθμό βάσης οποιαδήποτε στιγμή, πράγμα που καθιστά το σύστημα πιο απλό στην υλοποίηση αλλά εισάγει μια μικρή αδράνεια στη σύνδεση του συνδρομητή, μέχρι να συνδεθεί στον νέο σταθμό.

Οι μαλακές μεταπομπές είναι παρόμοιες με εκείνες που χρησιμοποιούνται σε μερικά κυψελοειδή δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και επιτρέπουν στη συσκευή των χρηστών να διατηρούν τη σύνδεση σε έναν σταθμό βάσης έως ότου συνδεθούν με έναν νέο (τύπος σύνδεση-πριν από-κόψιμο), μειώνοντας κατά συνέπεια την αδράνεια στη σύνδεση. Έτσι, ενώ εφαρμογές όπως η φωνή μέσω Διαδικτύου (VoIP) ή τα παιχνίδια επωφελούνται πολύ από τις μαλακές μεταπομπές, οι σκληρές μεταπομπές είναι ικανοποιητικές για τις υπηρεσίες δεδομένων. Τα Επίπεδα Υπηρεσίας (QoS) καθώς και οι Συμφωνίες Επιπέδων Υπηρεσιών (Service Level Agreement, SLA) διατηρούνται κατά τη διάρκεια των μεταπομπών.

Οι δυνατότητες περιαγωγής στους παρόχους υπηρεσιών μπορούν να εφαρμοστούν και στα δύο πρότυπα 802.16-2004 και 802.16e WiMAX, αλλά είναι ιδιαίτερα πολύτιμοι για τη φορητή και την κινητή πρόσβαση. Το WiMAX Forum δε σκοπεύει να συμπεριλάβει τις απαιτήσεις περιαγωγής στο 802.16e προφίλ συστήματος, καθώς θεωρεί ότι είναι μια υπηρεσία πιο υψηλού επιπέδου και υπερβαίνει το σκοπό του προγράμματος πιστοποίησης, το οποίο εστιάζει στα στρώματα PHY και MAC. Η ομάδα εργασίας των παρόχων υπηρεσιών καθώς και η ομάδα εργασίας δικτύων εντός του WiMAX Forum εργάζονται προς τον προσδιορισμό των λειτουργικών απαιτήσεων για μια πλατφόρμα περιαγωγής.

## 5.8. Χρήσεις του WiMAX

Λόγω των μεγάλων αποστάσεων που καλύπτει και ταυτόχρονα τους υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που μπορεί να παρέχει, το πρότυπο WiMAX βρίσκει πολλές εφαρμογές, λύνοντας σημαντικά προβλήματα που απασχολούσαν του τεχνικούς δικτύων σήμερα. Τρεις είναι οι βασικότερες χρήσεις του:

- *Δίκτυο κορμού στα κυψελωτά συστήματα κινητής τηλεφωνίας:* η εισαγωγή του προτύπου αναμένεται να μειώσει σημαντικά το κόστος εξάπλωσης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας μιας και αποτελεί μια οικονομικότερη πρόταση, αν συγκριθεί με την οπτική ίνα. Εξασφαλίζει ταυτόχρονα αξιοπιστία και υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης που απαιτούν τα δίκτυα κορμού των κινητών δικτύων επικοινωνιών.
- *Broadband on Demand:* παρέχει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης κάνοντας εφικτή τη χρήση της τεχνολογίας σε μεγάλες αποστάσεις για εφαρμογές πραγματικού χρόνου κάτι που με το πρότυπο IEEE 802.11 δεν ήταν εφικτό.
- *Παροχή κάλυψης σε περιοχές που είναι αδύνατο τα καλυφθούν με χρήση χαλκού ή οπτικής ίνας:* μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συμπλήρωμα δικτύων οπτικών ινών σε τμήματα του εδάφους στα οποία το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης δικτύων οπτικών ινών είναι απαγορευτικό.

## 5.9 Διασυνεργασία WiMAX – UMTS

Σκοπός της αρχιτεκτονικής δικτύων NGNA (Next Generation Network Architecture) είναι να υπάρξει η ικανότητα ασύρματης πρόσβασης από παντού και ανά πάσα στιγμή και η οποία θα παρέχει τις αυτόματες μεταγωγές (handover) για τις κινητές συσκευές που συνδυάζουν διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης εντός των ετερογενών δικτύων. Στο παρόν παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική διασυνεργασίας του WiMAX με το UMTS βάσει των προτύπων 3GPP και η οποία χαρακτηρίζεται από χαμηλή καθυστέρηση μεταγωγής και απώλειας πακέτων.

Το στρώμα MAC του WiMAX είναι σημαντικά διαφορετικό από αυτό του 802.11. Στο WiFi, το MAC χρησιμοποιεί πρόσβαση βάσει συναγωνισμών - όλοι οι σταθμοί συνδρομητών που επιθυμούν να επικοινωνήσουν με ένα σημείο πρόσβασης, συναγωνίζονται για την προσοχή του σε τυχαία βάση. Αυτό μπορεί να αναγκάσει τους απόμακρους από το AP κόμβους να διακόπτονται επανειλημμένα από τους λιγότερο ευαίσθητους, πιο κοντινούς κόμβους, μειώνοντας πολύ τη ρυθμοαπόδοσή τους. Αντιθέτως, στο 802.16 MAC ο σταθμός συνδρομητή πρέπει να συναγωνιστεί μόνο μία φορά, για την αρχική του είσοδο μέσα στο δίκτυο. Μετά από αυτό, διατίθεται μια χρονοθυρίδα από το σταθμό βάσης. Η χρονοθυρίδα μπορεί να διευρυνθεί ή να περιοριστεί, αλλά παραμένει ορισμένη στο συνδρομητή, με την έννοια ότι άλλοι συνδρομητές δεν μπορούν να την χρησιμοποιήσουν αλλά περιμένουν τη σειρά τους εκ περιτροπής. Αυτός ο αλγόριθμος προγραμματισμού είναι ανθεκτικός στην υπερφόρτωση και το μεγάλο αριθμό εγγραφών σε αντίθεση με το 802.11. Επίσης χαρακτηρίζεται από πολύ μεγαλύτερη αποδοτικότητα εύρους ζώνης. Ο αλγόριθμος επιτρέπει επίσης στο σταθμό βάσης να ελέγχει την ποιότητα της υπηρεσίας, με την εξισορρόπηση των αναθέσεων με βάση τις ανάγκες των σταθμών συνδρομητών.

Οι προδιαγραφές του WiMAX υπερνικούν πολλούς από τους περιορισμούς του Wi-Fi, με την παροχή αυξημένου εύρους ζώνης και ισχυρότερης κρυπτογράφησης. Οι παρούσες τεχνολογίες διαφοροποιούνται αρκετά όσον αφορά τα εύρη ζώνης, τις τεχνολογίες πρόσβασης στο μέσο, τους μηχανισμούς ασφάλειας, κλπ. Μια υποσχόμενη εξέλιξη είναι ο συνδυασμός των υπαρχόντων διαφορετικών ασύρματων τεχνολογιών ώστε να προσφέρεται πρόσβαση σε κινητές υπηρεσίες από οποιοδήποτε μέρος και ανά πάσα στιγμή. Μια κινητή συσκευή με πολλαπλές διεπαφές ασύρματων δικτύων μπορεί να αλλάζει τη σύνδεση μεταξύ των διαθέσιμων σημείων προσβάσεως υλοποιώντας διαφορετικές τεχνολογίες.

Το UMTS παρέχει υψηλή κινητικότητα με κάλυψη ευρείας περιοχής και υποστηρίζει από χαμηλούς έως μέτριους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Ωστόσο, οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων του UMTS δεν είναι αρκετοί για απαιτητικές εφαρμογές δεδομένων ενώ παράλληλα οι χρεώσεις είναι υψηλές. Η ιδέα για ενσωμάτωση UMTS με WLAN, η οποία επωφελείται από τον υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και το χαμηλό κόστος του WLAN, έχει προσελκύσει την ερευνητική κοινότητα και τους οργανισμούς προτυποποίησης τα τελευταία χρόνια. Σχετικά προσφάτως, το WiMAX παρέχοντας τις προδιαγραφές μιας ασύρματης διεπαφής σταθερών, φορητών, και κινητών ευρυζωνικών ασύρματων δικτύων πρόσβασης, έχει δώσει λύση στο πρόβλημα του τελευταίου μιλίου.



Πολύς λόγος γίνεται για το αν το UMTS και το WiMAX είναι ανταγωνιστικές ή συμπληρωματικές τεχνολογίες. Υποθέτοντας λοιπόν τη φιλική συνύπαρξη μπορούμε να θεωρήσουμε μια προσέγγιση διασυνεργασίας UMTS-WiMAX για την καλύτερη αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων και των δύο τεχνολογιών και την εξάλειψη των έκαστων ελαττωμάτων. Οι πάροχοι μπορούν να φτιάξουν ένα χαμηλού κόστους και υψηλής ταχύτητας δίκτυο WiMAX για να καλύψουν τα hot zones που είτε είναι επεκτάσεις του UMTS ή διασυνεργάσιμα με το UMTS ώστε να μεγιστοποιήσουν την αξιοποίηση ήδη εγκατεστημένων υποδομών. Δηλαδή, αναφορικά με τη γεωγραφική κάλυψη και το QoS, το WiMAX μπορεί να συμπληρώσει το UMTS. Η διασυνεργασία μεταξύ 3GPP και WiMAX είναι υπό μελέτη από το WiMAX Forum και προς το παρόν δεν εξετάζεται η πραγματική μεταγωγή μεταξύ των δύο συστημάτων καθώς βασίζεται στην επαναχρησιμοποίηση του μοντέλου διασυνεργασίας 3GPP-WLAN που έχει προταθεί από το 3GPP. Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει πλήρης ορισμός και αναφορά για την αρχιτεκτονική διασυνεργασίας μεταξύ WiMAX και UMTS.

Η ιδέα διασυνεργασίας δύο ή περισσότερων δικτύων πρόσβασης για την παροχή υπηρεσιών σε κινητούς χρήστες σε οποιοδήποτε μέρος και ανά πάσα στιγμή έχει τεθεί ήδη σε εφαρμογή. Υπάρχει πληθώρα ερευνών αλλά και εφαρμογών που επικεντρώνονται σε θέματα διασυνεργασίας μεταξύ WLAN και κινητών δικτύων. Υπάρχουν προτάσεις χρήσης ενός τερματικού με δυνατότητα διπλής επικοινωνίας η οποία επιτρέπει στο χρήστη να αλλάζει τη σύνδεση από το ένα ασύρματο δίκτυο πρόσβασης στο άλλο χωρίς απώλεια πακέτων. Η ιδέα είναι να υπάρχουν δύο διαφορετικές ασύρματες διεπαφές ταυτόχρονα ενεργές στην ίδια συσκευή. Ωστόσο, το να διατηρούνται πολλαπλές ενεργές διεπαφές μπορεί να αποτελέσει την αιτία αύξησης της καταναλισκόμενης ενέργειας στην κινητή συσκευή με αποτέλεσμα την ελάττωση του χρόνου ζωής της συσκευής. Γι αυτό είναι καλύτερα να είναι ενεργή μια ασύρματη διεπαφή κάθε φορά.

Η διασυνεργασία UMTS-WLAN εξετάζεται επί του παρόντος από το 3GPP. Μέχρι στιγμής, το WLAN λειτουργεί κυρίως ως επέκταση του δικτύου πρόσβασης 3GPP. Άξιο αναφοράς αποτελεί το γεγονός ότι η τεχνολογία UMA (Unlicensed Mobile Access), η οποία σκοπό έχει τη διαφανή μετάβαση επικοινωνίας μεταξύ του 2G και του δημοσίου ή ιδιωτικού μη αδειοδοτημένου ασύρματου δικτύου όπως WiFi, Bluetooth, έχει θεωρηθεί από το 3GPP ως πρότυπο.

Συνοψίζοντας τα δρώμενα περί διασυνεργασίας μεταξύ WLAN και κινητών δικτύων 3G, υπάρχουν δύο αρχιτεκτονικές προσέγγισης της διασυνεργασίας: σφιχτής σύζευξης (tight coupling) και χαλαρής σύζευξης (loose coupling).

Στην περίπτωση Tight Coupling τα δύο δίκτυα ενσωματώνονται στο επίπεδο Radio Access Network (RAN) – Core Network (CN). Με άλλα λόγια, επιτυγχάνεται η συνεργασία δύο διαφορετικών ασύρματων τεχνολογιών πρόσβασης με ένα μόνο Core Network. Αξίζει να σημειωθεί ότι χρειάζεται επιπλέον προτυποποίηση σε σχέση με το Loose Coupling αφού πρέπει να οριστεί η διεπαφή διασύνδεσης του WLAN με τον κόμβο του Core Network. Στην περίπτωση αυτή ο πάροχος υπηρεσιών είναι ο αποκλειστικός κάτοχος και λειτουργός του δικτύου WLAN. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα είναι ότι επαναχρησιμοποιούνται οι βασικές υποδομές των κινητών τεχνολογιών (cellular) και άρα αποφεύγεται η ανάγκη

ξεχωριστών συστημάτων αυθεντικοποίησης και τιμολόγησης ενώ παράλληλα δίνεται πρόσβαση σε μηνύματα SMS και MMS.

Η Loose Coupling προσφέρει μια κοινή διεπαφή για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των δικτύων. Τα δύο δίκτυα πρόσβασης δεν έχουν τίποτα κοινό, αλλά τα Core Networks συνδέονται μεταξύ τους. Δηλαδή, το WLAN χρησιμοποιεί τη βάση δεδομένων του 3G για πρόσβαση και αυθεντικοποίηση. Η υποστήριξη για διαχείριση κινητικότητας σ' αυτή την αρχιτεκτονική είναι εφικτή με τη χρήση Mobile IP. Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι επιτρέπει την εύκολη περιαγωγή μεταξύ των διαφόρων ανεξάρτητων κινητών και WLAN δικτύων σε περιβάλλοντα πολλών παρόχων υπηρεσιών.

## 5.10 WiMAX και Περιορισμοί

Μία από τις κοινές παρανοήσεις που πιθανώς συμβαίνουν στο WiMAX είναι το ότι πρόκειται να αποδίδει ταχύτητα της τάξεως των 70 Mbps σε απόσταση 48 χλμ. Το παραπάνω είναι αληθές αλλά σε ιδανικές συνθήκες, συνεπώς στις περισσότερες περιπτώσεις δεν θα υφίστανται τέτοιου μεγέθους ταχύτητες σε τέτοιες αποστάσεις. Πρακτικά, σε περιβάλλοντα όπως είναι οι επαρχιακές περιοχές όπου οι κεραιές μετάδοσης θα έχουν οπτική επαφή και θα απέχουν μεταξύ τους 10 χλμ. θα αγγίζουν ταχύτητες της τάξεως των 10 Mbps. Σε αστικά όμως περιβάλλοντα πιθανώς το 30% των κεραιών μετάδοσης να μην έχουν οπτική επαφή και συνεπώς οι χρήστες θα αγγίζουν ταχύτητες της τάξεως των 10 Mbps σε απόσταση 2 χλμ.. Άλλο ένα σημαντικό θέμα για τις αδυναμίες του WiMAX είναι το γεγονός ότι οι χρήστες στους διάφορους οριοθετημένους τομείς που θα βρίσκονται πρόκειται να μοιράζονται το bandwidth. Συνεπώς αναλόγως με την απασχόληση του δικτύου στους διάφορους τομείς θα εξαρτάται και η ανάλογη απόδοση. Τυπικά η κάθε κυψέλη θα μπορεί να παρέχει 100 Mbps backhaul. Οπότε αρκετοί χρήστες θα έχουν ένα εύρος υπηρεσιών 2, 4, 6, 8 ή 10 Mbps ούτως ώστε να μπορεί να διαμοιράζεται το φάσμα συχνοτήτων. Το παραπάνω μοντέλο μοιάζει αρκετά με αυτό του δικτύου GSM και του UMTS.

Στον πίνακα 9 γίνεται μια σύγκριση ασύρματων τεχνολογιών, παρουσιάζοντας τις μέγιστες ταχύτητες που θα μπορούσαν να επιτευχθούν σε ιδανικές συνθήκες (με όποια επιφύλαξη).

Standard	Family	Primary Use	Radio Tech	Downlink	Uplink
802.16e	WiMAX	Mobile Internet	MIMO-SOFDMA	70	70
HIPERMAN	HIPERMAN	Mobile Internet	OFDM	56.9	56.9
WiBro	WiBro	Mobile Internet	OFDMA	50	50
iBurst	iBurst 802.20	Mobile Internet	HC-SDMA	64	64
UMTS W-CDMA HSDPA+HSUPA	UMTS/3GSM	Mobile Internet	CDMA/FDD	.384 14.4	.384 5.76
UMTS-TDD	UMTS/3GSM	Mobile Internet	CDMA/TDD	16	16
LTE UMS	UMTS/4GSM	General 4G	OFDMA/MIMO /SC-FDMA (HSOPA)	>100	>50
1xRTT	CDMA2000	Mobile phone	CDMA	0.144	0.144
EV-DO 1x Rev. 0 EV-DO 1x Rev.A EV-DO Rev.B	CDMA2000	Mobile phone	CDMA/FDD	2.45 3.1 4.9xN	0.15 1.8 1.8xN

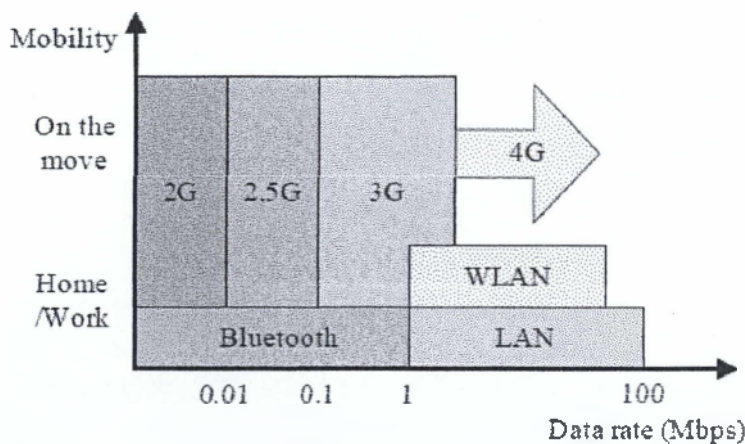
Πίνακας 9 Σύγκριση μεταξύ ασύρματων τεχνολογιών



## Κεφάλαιο 6

### Δίκτυα τέταρτης γενιάς (4G)

Η δημιουργία ενός ετερογενούς δικτύου με διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης και τερματικά τελικών χρηστών, το οποίο θα δίνει την δυνατότητα χρήσης σε πρωτότυπες και επαναστατικές υπηρεσίες, υλοποιείται μέσω της τέταρτης γενιάς ασύρματων δικτύων. Η φράση 4G δεν ορίζει απλώς ένα πρότυπο, αλλά περιγράφει ένα περιβάλλον στο οποίο τα δίκτυα θα διαλειτουργούν ώστε να παρέχουν επικοινωνία που θα μεταφέρεται χωρίς ασυνέχειες ανάμεσά τους. Στο ίδιο περιβάλλον θα είναι ενσωματωμένα δίκτυα 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς όπου θα επιτρέπεται η απρόσκοπτη και συνεχής μετάβαση από το ένα σύστημα στο άλλο. Η 4<sup>η</sup> γενιά, περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία, αναμένεται να έχει μια βαθιά επιρροή σε ολόκληρο το ασύρματο τοπίο και στη συνολική αλυσίδα της κινητής τηλεφωνίας.



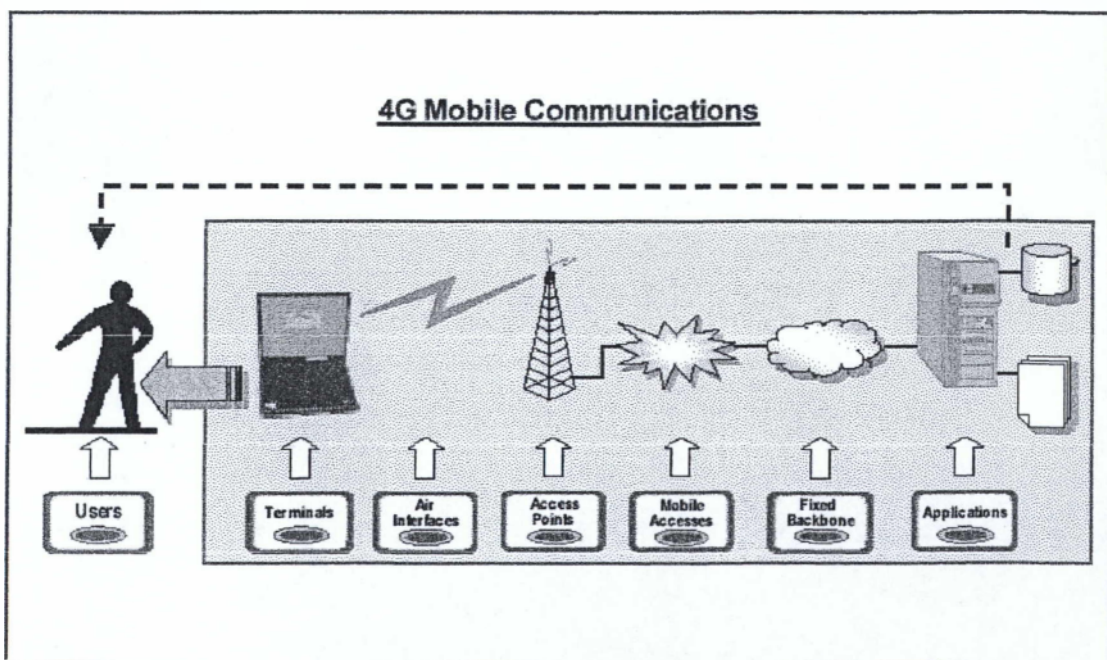
Εικόνα 32 Εξέλιξη κινητών επικοινωνιών

#### 6.1 Είσοδος στην 4<sup>η</sup> γενιά ασύρματων δικτύων

Παρ' όλη την προφανή καινοτομία τους, οι πρώτες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν για τα 4G ξεκίνησαν πριν από μια δεκαετία. Η πρώτη έρευνα έλαβε μέρος στην Ευρώπη στις αρχές της δεκαετίας του '90 με σκοπό να ερευνηθεί τεχνολογίες πολύ υψηλών ρυθμών που θα κάλυπταν τις ανάγκες για επικοινωνία μέχρι το 2020. Το πιο προχωρημένο σχέδιο αποτέλεσε το Mobile Broadband System (MBS), μια συνεργασία πολλών εταιριών και πανεπιστημίων υπό την επίβλεψη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στόχος του σχεδίου MBS, ήταν η δημιουργία ενός κυψελωτού συστήματος με μικρό χρόνο καθυστέρησης, εγγυημένο QoS και ρυθμό μετάδοσης στα 155 Mbps, χιλιάδες φορές γρηγορότερο από οτιδήποτε διαθέσιμο τότε. Παρά τη δυσκολία του σχεδίου, ο στόχος τους στέφθηκε με επιτυχία. Το 1995, το πρωτότυπο MBS ήταν βασισμένο σε TDMA τεχνική και παρείχε ρυθμό μετάδοσης 34 Mbps, ο οποίος αν και μικρότερος από το αναμενόμενο, ήταν ωστόσο αρκετά υψηλός. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς των σχεδιαστών, αναμενόταν ότι γύρω στο 2020 θα μπορούσε να αποτελέσει ένα λειτουργικό δίκτυο με κάποιες αλλαγές στην τεχνολογία.

Στα επόμενα χρόνια, πραγματοποιήθηκαν αρκετές έρευνες για την τεχνολογία και τις προσφερόμενες υπηρεσίες των 4G, και πλέον οι πρώτες δοκιμές δικτύων και τα πρώτα επιτεύγματα αποτέλεσαν πραγματικό γεγονός. Τον Ιούλιο του 2003, η DoCoMo είχε πετύχει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων 100Mbps και 20Mbps στην κάτω και άνω ζεύξη αντίστοιχα, σε εξωτερικούς χώρους με το ίδιο εύρος ζώνης 100MHz. Η DoCoMo συνεχίζει τις δοκιμές ως μέρος του προγράμματός της για την ανάπτυξη ενός παγκόσμιου 4G προτύπου σε συνεργασία με τον τομέα Ραδιοεπικοινωνίας της ITU (International Telecommunication Union). Το νέο δίκτυο 4G έχει για τις ευρυζωνικές υπηρεσίες τον ίδιο αντίκτυπο που είχε η κινητή τηλεφωνία για τις υπηρεσίες ομιλίας. Με λειτουργία σε πραγματικό χρόνο και 10πλάσιες ταχύτητες δεδομένων σε σχέση με τα κινητά ευρυζωνικά δίκτυα, οι καταναλωτές μπορούν να είναι πάντα συνδεδεμένοι, ακόμη και εν κινήσει. Το μέλλον πρόκειται να είναι ευοίωνο, αλλά είναι στα χέρια των πελατών, όχι στους πάροχους υπηρεσιών και σίγουρα όχι στους πάροχους δικτύων [23].

Ένας από τους όρους που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τα δίκτυα 4G είναι *MAGIC*, δηλαδή *Mobile multimedia* (κινητά πολυμέσα), *Anytime anywhere* (οποτεδήποτε οπουδήποτε), *Global mobility support* (παγκόσμια υποστήριξη κινητικότητας), *Integrated wireless solution* (ενοποιημένη ασύρματη λύση) και *Customized personal service* (προσωποποιημένες υπηρεσίες). Τα 4G συστήματα θα υποστηρίζουν όχι μόνο την επόμενη γενιά των κινητών ασύρματων δικτύων, αλλά επίσης θα υποστηρίζουν και τα σταθερά ασύρματα δίκτυα [11].



Εικόνα 33 Δίκτυα τέταρτης γενιάς

Τα πλεονεκτήματα της 4G τεχνολογίας είναι κυρίως η αποδοτικότητα φάσματος του συστήματος, η υψηλή χωρητικότητα του δικτύου, η υψηλή ποιότητα υπηρεσιών για την υποστήριξη των πολυμέσων της επόμενης γενιάς, η τεχνολογία για το packet switched network και το global roaming. Θα χρησιμοποιηθεί για να υποστηρίξει σε ποιότητα και αξία τις απαιτήσεις των επικείμενων εφαρμογών της τέταρτης γενιάς, όπως mobile TV και υπηρεσίες φωνής και δεδομένων οπουδήποτε και σε οποιαδήποτε στιγμή.

Η μεγάλη διαφορά των δικτύων τέταρτης γενιάς με τα προηγούμενα δίκτυα, εντοπίζεται στο γεγονός ότι καταργούνται πλέον οι κυψέλες και χρησιμοποιείται ένας μεγάλος αριθμός αναμεταδοτών (έξυπνες κεραιές). Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση των διαλείψεων και η εξασθένηση του σήματος που προκαλεί προβλήματα στους χρήστες λόγω της μακρινής τοποθέτησης των σταθμών βάσης από αυτούς.

Η τεχνολογία 4G έχει οριστεί από την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών ως «IMT Advanced», δηλαδή ως «Παγκόσμια Αναβαθμισμένη Τεχνολογία Τηλεπικοινωνιών». Μεγάλη προτεραιότητα στην 4G τεχνολογία δίνεται στα θέματα ασφαλείας του δικτύου και σε μια σειρά άλλων που χρήζουν επίλυσης και είναι τα εξής:

- Η ενσωμάτωση του IP πρωτοκόλλου το οποίο εξασφαλίζει μεγαλύτερη ασφάλεια καθώς και υψηλό ρυθμό αποστολής και λήψης δεδομένων από και προς τις κινητές συσκευές που χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία.
- Η δυνατότητα λήψης δεδομένων με ταχύτητα έως 100 Mbps μέσω του διαδικτύου και έως 1 Gbps μέσω του τοπικού δικτύου.
- Η εισαγωγή μιας νέας τεχνολογίας, της OFDMA, στη θέση της υβριδικής τεχνολογίας που χρησιμοποιείται στο 3G με το συνδυασμό του CDMA και του IS-95, στην οποία η ιδέα είναι για άλλη μια φορά η χρήση μεθόδων πολλαπλής πρόσβασης, αλλά όχι η TDMA ή η CDMA.
- Η χρήση του IEEE 802.16m το οποίο είναι η εξέλιξη του IEEE 802.16e που παρέχει το εμπορικό σήμα «4G» και ορίζεται ως WMBA (Wireless Mobile Broadband Access), αποτελώντας απλά μια ένδειξη δυνατότητας παροχής άμεσης πρόσβασης στο Internet, η υλοποίηση της οποίας βρίσκεται υπό εξέλιξη για την αποφυγή παρεμβολών στις φωνητικές κλήσεις σε περίπτωση ταυτόχρονης λήψης δεδομένων από μια ιστοσελίδα.
- Η δυνατότητα χρήσης του LTE και με διευθύνσεις IP, ακολουθώντας παρόμοιο τρόπο λειτουργίας με το TCP/IP και τις Ethernet συνδέσεις, με αποτέλεσμα οι τελικοί χρήστες να απολαμβάνουν υψηλά επίπεδα ασφαλείας και μεταφοράς δεδομένων, χαμηλές καθυστερήσεις, καθώς και δυνατότητα ρύθμισης του εύρους ζώνης ανάλογα με τις ανάγκες τους. Το LTE είναι συμβατό με το CDMA και κατά συνέπεια με τις προηγούμενες τεχνολογίες δικτύων κινητής τηλεφωνίας

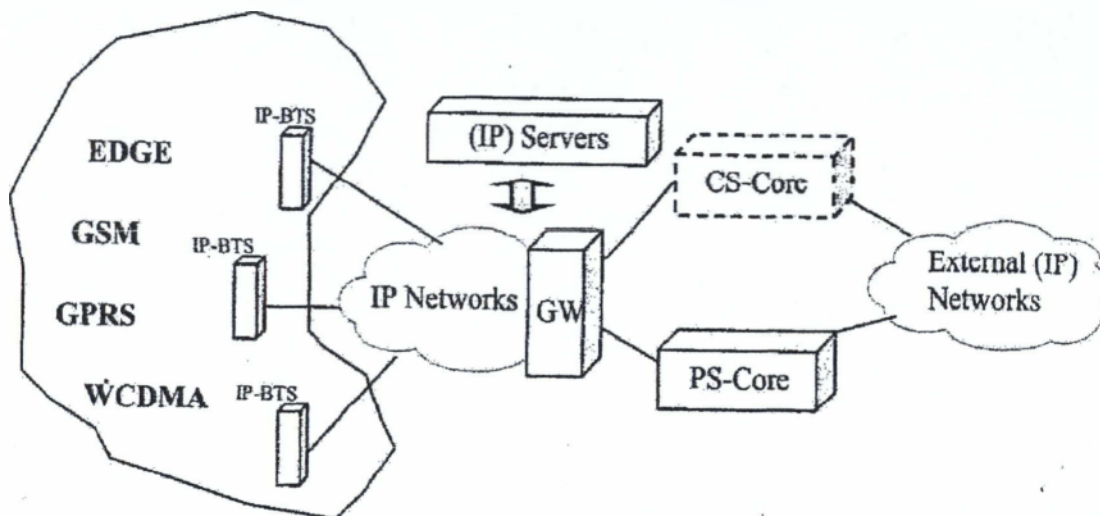
Οι επικρατέστερες τεχνολογίες για το φυσικό επίπεδο είναι η OFDM και το MC-CDMA, ενώ για τα ανώτερα επίπεδα είναι το All-IP και το WLAN [3].



## 6.2 All IP δίκτυα

Τα δίκτυα *All-IP* έχουν γίνει σχεδόν συνώνυμα με τα δίκτυα τέταρτης γενιάς. Η σημαντικότερη διαφορά μεταξύ του δικτύου All-IP και των δικτύων 3G εντοπίζεται στη λειτουργία του BSC, το οποίο διανέμεται τώρα στο BTS και σε ένα σύνολο από servers και πύλες.

Στην *Εικόνα 34* παρουσιάζεται ένα απλουστευμένο δίκτυο All-IP:



*Εικόνα 34* Δίκτυο All-IP

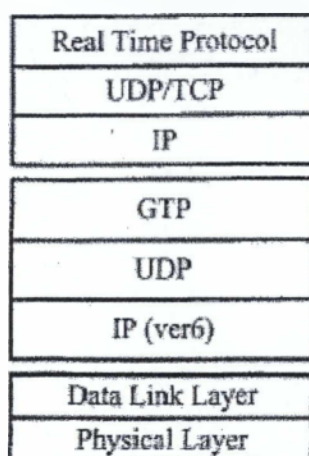
Τα διάφορα στοιχεία του δικτύου είναι τα εξής:

- *IP-BTS*: Η λειτουργία του IP σταθμού βάσης είναι παρόμοια με τα άλλα δίκτυα, λειτουργεί επίσης και ως mini-RNC/BSC και μπορεί να εκτελεί λειτουργίες των επιπέδων 1, 2 και 3. Υπάρχουν δύο τύποι: serving BTS και drift BTS (ισοδύναμα με serving RNC και drift RNC σε ένα δίκτυο WCDMA).
- *Διακομιστές IP (IP servers)*: Ο IP σταθμός βάσης δεν είναι σε θέση να πραγματοποιήσει όλες τις λειτουργίες RNC/BSC, οι οποίες είναι του επιπέδου δικτύου (network level). Οι διακομιστές IP χειρίζονται την ανταλλαγή μηνυμάτων (signalling) μεταξύ των στοιχείων του δικτύου, ρυθμίζουν αυτόματα (auto-tuning) τις παραμέτρους του δικτύου, με σκοπό την καλύτερη αξιοποίηση (utilization) των διαθέσιμων πόρων (resources). Δεδομένου ότι υπάρχουν πολλές τεχνολογίες, ένας τυπικός διακομιστής βελτιώνει την απόδοση (performance) και την αποδοτικότητα – επίδοση (efficiency) του δικτύου, σε σύγκριση με τους ξεχωριστούς διακομιστές για κάθε μια από τις διεπαφές (interfaces).
- *Πύλες - Gateways (GW)*: Είναι αρμόδιες για την αλληλεπίδραση των IP-RAN και των δικτύων IP-Core. Είναι συνήθως δύο τύπων: οι πύλες CS-GW (circuit-switched) χειρίζονται κλήσεις μεταγωγής κυκλώματος, ενώ οι πύλες PS-GW (packet-switched) χειρίζονται κλήσεις μεταγωγής πακέτου.

### 6.2.1 Σχεδιασμός δικτύου

Ο σχεδιασμός δικτύου (network planning) καλύπτει το δίκτυο πρόσβασης (access network) και το βασικό δίκτυο πακέτων (packet core network). Το βασικό δίκτυο φωνής (circuit core) αποτελεί υποσύνολο του βασικού δικτύου πακέτων. Η φωνή παραμένει κομμάτι της κινητής επικοινωνίας, αλλά θα μεταφέρεται αποκλειστικά μέσω του δικτύου πακέτων (σε αντιδιαστολή με τα δίκτυα 2G και 3G).

Η δομή των πρωτοκόλλων (protocol structure) παρουσιάζεται στην *Εικόνα 35*.



*Εικόνα 35 Δομή πρωτοκόλλων σε δίκτυο All-IP*

Η σημαντικότερη αλλαγή στο δίκτυο μετάδοσης (transmission network) είναι η χρήση του All-IP για τη ροή της κυκλοφορίας. Τα δίκτυα 3G χρησιμοποιούν ένα επίπεδο ATM (ATM layer), ασύγχρονο τρόπο μεταφοράς για τη ροή της κυκλοφορίας, ενώ ένα δίκτυο All-IP δεν έχει επίπεδο ATM, αλλά επίπεδο IP version 6. Ο σημαντικότερος αντίκτυπος αυτού του γεγονότος είναι οι μειωμένες κεφαλίδες (λιγότερη κίνηση στο δίκτυο). [MiRA04]

### 6.3 Συστήματα έξυπνων κεραιών

Τα συστήματα έξυπνων κεραιών αποκαλούνται συχνά ως *έξυπνες κεραιές (smart antennas)*, αλλά στην πραγματικότητα οι κεραιές από μόνες τους δεν είναι έξυπνες. Είναι η ψηφιακή δυνατότητα επεξεργασίας σήματος, σε συνδυασμό με τις κεραιές, οι οποίες καθιστούν το σύστημα έξυπνα.

Η χρήση των έξυπνων κεραιών στα κινητά τηλεπικοινωνιακά συστήματα προσφέρει τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της χωρικής διαφορικής λήψης (spatial diversity), γεγονός που βελτιώνει την αποδοτικότητα εύρους ζώνης. Μια έξυπνη κεραία αποτελείται από έναν αριθμό στοιχείων που συνδυάζονται μέσω ενός δικτύου διαμόρφωσης του διαγράμματος ακτινοβολίας (beamforming network) που καθορίζει τα σχετικά πλάτη και τις σχετικές φάσεις των στοιχείων. Αυτό το δίκτυο μπορεί να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας τεχνολογία RF ή τεχνολογία ψηφιακής επεξεργασίας σήματος πραγματικού χρόνου ή υβριδικές λύσεις. Με τη χρήση έξυπνων κεραιών επιτυγχάνεται χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος του κινητού τερματικού, μείωση της διασυμβολικής παρεμβολής, υψηλότερος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και ευκολία ολοκλήρωσης στο ήδη υπάρχων κυψελωτό σύστημα.

Ειδικά για σταθμούς βάσης, τα συστήματα έξυπνων κεραιών μέσω της ικανότητας του χωρικού διαχωρισμού σημάτων μπορούν να υποστηρίξουν την ανάθεση πολλαπλών κινητών χρηστών που επικαλύπτονται στο πεδίο του χρόνου και των συχνοτήτων σε ένα κοινό κανάλι επικοινωνίας. Αυτή η τεχνική είναι γνωστή ως πολλαπλή πρόσβαση με χωρισμό χώρου (Spatial Division Multiple Access- SDMA) και αυξάνει τη χωρητικότητα του συστήματος.

Επιπλέον, η τοποθέτηση έξυπνων κεραιών στους σταθμούς βάσης, αν και αυξάνει το κόστος ανά σταθμό, αυξάνει την περιοχή κάλυψης κάθε κυψέλης και μειώνει το συνολικό κόστος του συστήματος δραματικά, πολλές φορές κατά περισσότερο από 50% χωρίς υποβάθμιση της ποιότητας υπηρεσίας.

### 6.3.1 Επίπεδα ευφυΐας

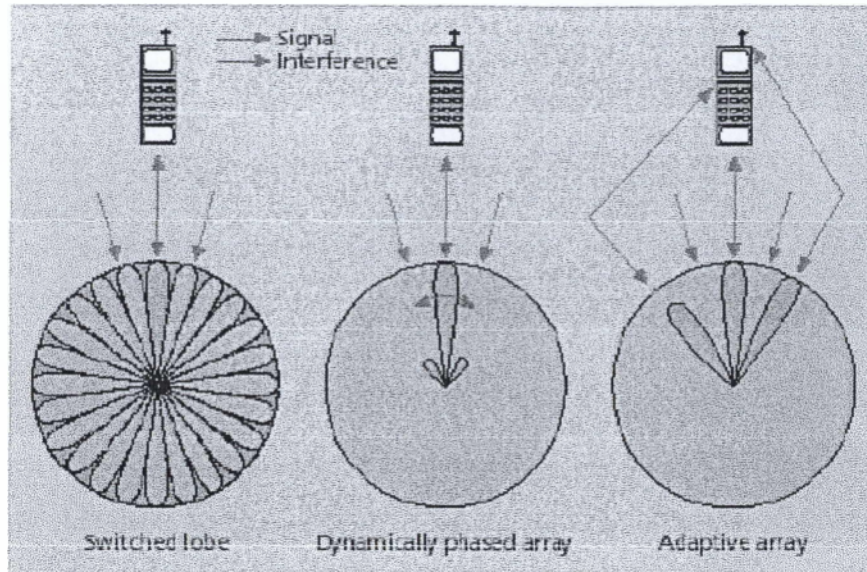
Τα επίπεδα «ευφυΐας» (levels of intelligence) για έξυπνες κεραιές είναι:

α) *Μεταβαλλόμενος λοβός (Switched lobe - SL)*: αποτελεί την απλούστερη τεχνική και υλοποιείται με μια βασική λειτουργία μεταβολής ανάμεσα σε ξεχωριστές κατευθυντικές κεραιές ή σε προσχεδιασμένες δέσμες μιας κεραιάς. Η υλοποίηση που παρέχει τη βέλτιστη απόδοση όσον αφορά την λαμβανόμενη ισχύ προτιμάται λόγω της υψηλότερης κατευθυντικότητας. Σε σύγκριση με την συμβατική κεραιά επιτυγχάνεται κάποιο κέρδος. Τέτοια κεραιά θα είναι ευκολότερο να ενσωματωθεί σε υπάρχοντα κυψελωτά δίκτυα σε σχέση με πιο πολύπλοκες προσαρμοζόμενες κεραιές, αλλά προσφέρει περιορισμένη βελτίωση.

β) *Κεραιές δυναμικής μεταβολής φάσης (Dynamically Phased Array - PA)*: με τη χρήση ενός αλγόριθμου κατεύθυνσης άφιξης (Direction of Arrival - DoA) για λαμβανόμενο σήμα από τον χρήστη, είναι δυνατός ο συνεχής εντοπισμός ενώ μπορεί να θεωρηθεί ως μια γενίκευση της αρχής του μεταβαλλόμενου λοβού. Επίσης, μεγιστοποιείται η λαμβανόμενη ισχύς.

γ) *Προσαρμοστικές κεραιές (Adaptive Array - AA)*: ένας αλγόριθμος DoA προστίθεται για τον εντοπισμό της κατεύθυνσης των πηγών των παρεμβολών (άλλοι χρήστες). Το διάγραμμα ακτινοβολίας προσαρμόζεται ώστε να εξουδετερώνει τους παρεμβολείς, και μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να λαμβάνει σήματα πολλαπλών δρόμων τα οποία μπορούν να συνδυαστούν, με χρήση ειδικών αλγορίθμων και τεχνικών χωρικής διαφορικής λήψης. Αυτές οι τεχνικές μεγιστοποιούν το λόγο σήματος προς παρεμβολή (Signal to Interference Ratio - SIR).





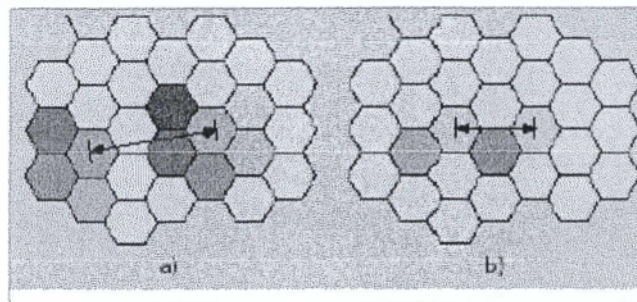
Εικόνα 36 Επίπεδα ευφύιας για έξυπνες κεραιές

Τα συμβατικά κινητά συστήματα συνήθως χρησιμοποιούν κάποια μορφή διαφορικής λήψης (χωρική ή πολωτική). Οι προσαρμοστικές κεραιές μπορούν να θεωρηθούν ως ένα εξελιγμένο σχήμα διαφορικής λήψης. Οι κεραιές μεταβολής φάσης θα έχουν μεγαλύτερη βελτίωση στο κέρδος από τις κεραιές μεταβαλλόμενου λοβού καθώς όλα τα στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συνδυασμό διαφορικής λήψης (diversity combine).

### 6.3.2 Πλεονεκτήματα έξυπνων κεραιών

Οι βελτιώσεις καθώς και τα πλεονεκτήματα που προσφέρονται από ενός έξυπνες κεραιές συνοψίζονται στα εξής:

- *Αύξηση αριθμού χρηστών:* Λόγω ενός στοχευμένης φύσης των συχνοτήτων ενός υπάρχει η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης ενός (Εικόνα 37), που επιτρέπει την αύξηση του αριθμού των χρηστών. Περισσότεροι χρήστες στον ίδιο χώρο σημαίνει ότι ο πάροχος του δικτύου έχει μικρότερο λειτουργικό κόστος όσον αφορά την αγορά φάσματος συχνοτήτων.



Εικόνα 37 Απόσταση κυψελών με επαναχρησιμοποίηση συχνότητας  
α) με χρήση συμβατικής κεραιάς, β) με χρήση έξυπνης κεραιάς

- *Αυξημένο εύρος:* Η ραδιοκάλυψη αποτελεί το σημαντικότερο κριτήριο για την τοποθέτηση σταθμών βάσης. Δεδομένου ότι οι έξυπνες κεραιές είναι περισσότερο κατευθυντικές από ενός παραδοσιακές κεραιές, η αύξηση του βεληνεκούς είναι εφικτή. Αυτό σημαίνει ότι δεν απαιτούνται ενός κεραιές και σταθμοί βάσης για την παροχή κάλυψης, καθώς οι σταθμοί βάσης μπορούν να τοποθετηθούν πιο μακριά ο ενός από τον άλλο, κάτι που αποτελεί μια πιο οικονομική λύση.
- *Νέες υπηρεσίες:* Οι έξυπνες κεραιές χρησιμοποιούν «στοχευμένα» σήματα στην κατεύθυνση ενός την οποία η κεραιά μεταδίδει, με αποτέλεσμα το κέρδος που απαιτείται προκειμένου να επικοινωνήσει με μια συσκευή να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό ενός θέσης μιας συσκευής με σχετική ακρίβεια. Αυτό δίνει τη δυνατότητα ενός παρόχους δικτύων να προσφέρουν νέες υπηρεσίες σε συσκευές, ενός καθοδήγηση για υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης κοντά στη θέση ενός συσκευής, χωρικές πληροφορίες αλλά και παιχνίδια που υπάρχουν κοντά σε αυτή τη θέση.
- *Ασφάλεια:* Οι έξυπνες κεραιές παρέχουν φυσιολογικά αυξημένη ασφάλεια, καθώς τα σήματα δεν ακτινοβολούνται ενός ενός ενός κατευθύνσεις, ενός σε μια συμβατική πολυκατευθυντική κεραιά. Η υποκλοπή συνδιάλεξης είναι πολύ δυσκολότερη, καθώς ο υποκλοπέας θα πρέπει να βρίσκεται στην ίδια τοποθεσία ή μεταξύ των δύο επικοινωνούντων συσκευών.

- *Μειωμένη διάδοση πολλαπλών δρόμων:* Χρησιμοποιώντας μια στενή δέσμη κεραίας στο σταθμό βάσης η διάδοση πολλαπλών δρόμων μπορεί να μειωθεί. Η πραγματική μείωση εξαρτάται από τη διαμόρφωση εδάφους και δεν είναι πάντα σημαντική. Παρά το γεγονός ότι οι εξισωτές καναλιών και οι δέκτες RAKE συχνά αντιμετωπίζουν επιτυχώς το πρόβλημα αυτό, είναι πιθανόν να μην συμβεί το ίδιο σε συνδέσεις πολύ μεγάλης ταχύτητας, γεγονός που διευκολύνει τη σχεδίαση μελλοντικών modems για τη μείωση στη διάδοση πολλαπλών δρόμων.
- *Μειωμένες παρεμβολές:* Παρεμβολές που προκαλούνται συνήθως από μεταδόσεις λόγω ακτινοβολίας ενός ενός κατευθύνσεις είναι λιγότερο πιθανό να συμβούν λόγω ενός κατευθυντικότητας που εισήγαγαν οι έξυπνες κεραίες. Αυτό βοηθά τόσο στην ικανότητα επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων όσο και στην επίτευξη μεγαλύτερης εμβέλειας.
- *Αυξημένο εύρος ζώνης:* Το εύρος ζώνης που διατίθεται αυξάνει τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων αλλά και τη χρήση πολλών μονοπατιών από τα οποία ένα σήμα μπορεί να μεταδοθεί ώστε να φτάσει σε μια συσκευή.
- *Εύκολη ενσωμάτωση:* Οι έξυπνες κεραίες δεν αποτελούν ένα νέο πρωτόκολλο ή πρότυπο, άρα μπορούν να συνεργαστούν εύκολα με ενός ήδη υπάρχουσες μη έξυπνες κεραίες και συσκευές.

### 6.3.3 Μειονεκτήματα έξυπνων κεραιών

Τα μειονεκτήματα των έξυπνων κεραιών στην πλειοψηφία ενός σχετίζονται με το κόστος και είναι τα εξής:

- *Περιπλοκότητα:* Είναι προφανές ότι ενός πομποδέκτη που χρησιμοποιεί έξυπνη κεραία είναι πολύ πιο πολύπλοκος από ένα παραδοσιακό πομποδέκτη σταθμού βάσης. Η κεραία χρειάζεται ξεχωριστές συνδέσεις με τον πομποδέκτη για κάθε ένα από τα στοιχεία καθώς και ακριβή ρύθμιση σε πραγματικό χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι οι βλάβες ή τα προβλήματα που ίσως παρουσιαστούν μπορεί να είναι πιο δύσκολο να διαγνωστούν και πιο πιθανό να συμβούν.
- *Κόστος αγοράς:* Η διαδικασία σύνθεσης των λοβών ενός έξυπνης κεραίας απαιτεί σημαντικό υπολογιστικό φόρτο ειδικά στην περίπτωση προσαρμοστικών κεραιών. Αυτό σημαίνει ότι ενός σταθμός βάσης με έξυπνες κεραίες πρέπει να διαθέτει πολύ δυνατούς επεξεργαστές και συστήματα ελέγχου, συνεπώς οι σταθμοί βάσης με έξυπνες κεραίες είναι πολύ πιο ακριβοί από ενός αντίστοιχους παραδοσιακούς. Επιπλέον, οι έξυπνες κεραίες είναι πολύ πιο ακριβές από ενός συμβατικές κεραίες, καθώς χρησιμοποιούν την τελευταία λέξη ενός τεχνολογίας. Ωστόσο, το κόστος αυτό αντισταθμίζεται με το κόστος του φάσματος συχνοτήτων.

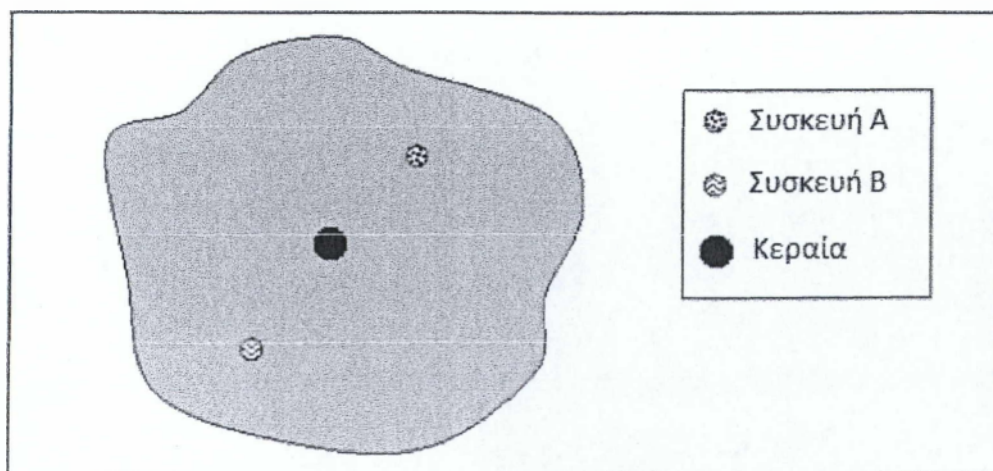


- *Μεγαλύτερο μέγεθος:* Λόγω ενός συστοιχίας κεραιών που χρησιμοποιούνται από τα έξυπνα συστήματα κεραιών, το συνολικό μέγεθος είναι πολύ μεγαλύτερο από τα παραδοσιακά συστήματα, καθώς μια στοιχειοκεραία με μεγάλο αριθμό στοιχείων είναι αναγκαία ώστε η έξυπνη κεραία να έχει αποδεκτό κέρδος. Τυπικές στοιχειοκεραίες αποτελούμενες από 6-10 οριζόντια διαχωριζόμενα στοιχεία έχουν προταθεί για εξωτερικά περιβάλλοντα κινητών επικοινωνιών. Η αναγκαία απόσταση μεταξύ των στοιχείων είναι 0.4-0.5 μήκη κύματος, επομένως μια στοιχειοκεραία με οκτώ στοιχεία έχει μήκος περίπου 1.2m στα 900 MHz και 60cm στα 2 GHz. Αυτό μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα σε ένα κοινωνικό πλαίσιο, καθώς οι κεραιές μπορεί να θεωρηθούν ως επικίνδυνες ή άσχημες για την υγεία των πολιτών.
- *Διαχείριση εξοπλισμού:* Οι έξυπνες κεραιές, παρόλο που στηρίζονται κυρίως στην τεχνολογία RF, απαιτούν βελτιωμένες λειτουργίες δικτύων ενός η διαχείριση εξοπλισμού και κινητικότητας. Όταν δημιουργείται μια νέα σύνδεση, ή μια υπάρχουσα σύνδεση ανατίθεται σε ένα νέο σταθμό βάσης, καμία γωνιακή πληροφορία δεν είναι διαθέσιμη στο νέο σταθμό βάσης, με αποτέλεσμα να χρειάζεται κάποιος εναλλακτικός τρόπος εντοπισμού του χρήστη. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί επιτρέποντας στο σταθμό βάσης να σαρώνει την κυψέλη συνεχώς με μία δέσμη ανίχνευσης, η οποία κυρίως θα ψάχνει υποψήφιους για νέα σύνδεση ή ανάθεση από άλλη κυψέλη. Μια άλλη δυνατότητα αποτελεί η χρήση ενός εξωτερικού συστήματος για εντοπισμό θέσης (GPS).

#### 6.3.4 Τύποι έξυπνων κεραιών

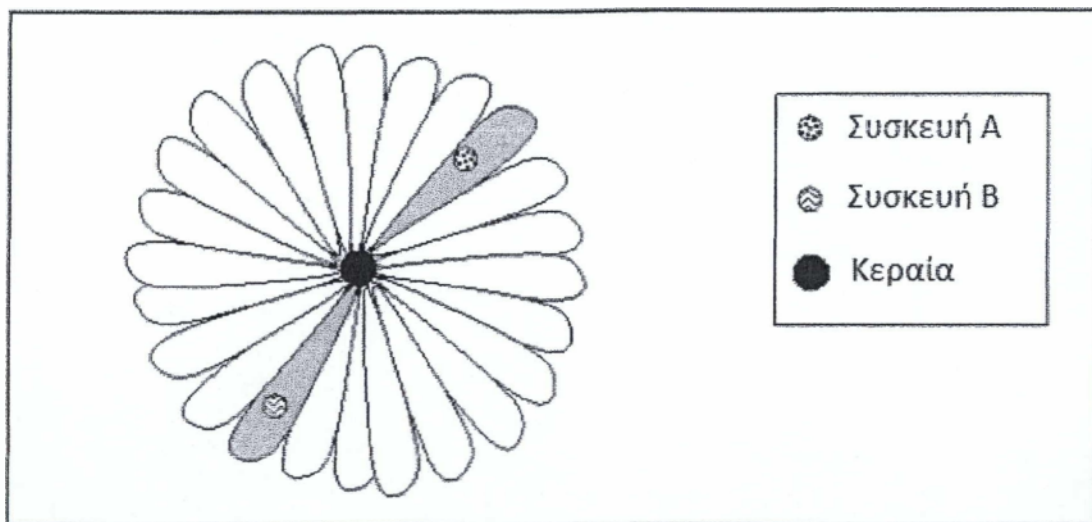
Υπάρχουν διάφοροι κύριοι τύποι έξυπνων κεραιών, οι οποίοι μπορούν να θεωρηθούν ως εξελικτικοί τύποι, με τον κάθε τύπο να είναι πιο περίπλοκος και έξυπνότερος από τον προκάτοχό του.

- *Κανονική Κεραία:* Δεν αποτελεί μια έξυπνη κεραία, αλλά προσπαθεί να εκπέμψει σήμα όσο το δυνατόν περισσότερο ομοιόμορφα γύρω από αυτή (Εικόνα 38).



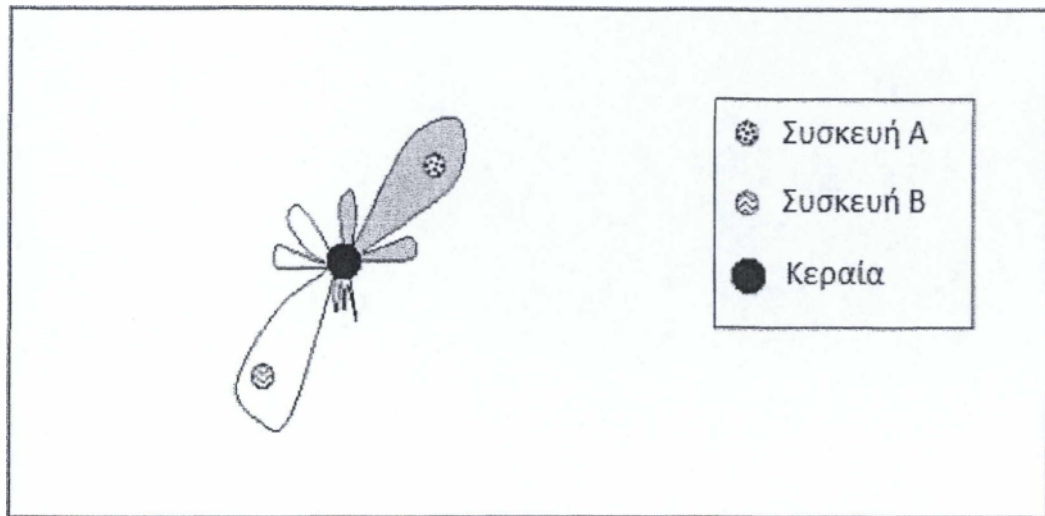
Εικόνα 38 Πεδίο ακτινοβολίας κανονικής κεραιάς

- *Switched Lobe ή Switched beam*: Διαθέτει μια σειρά από κατευθυντικά στοιχεία κεραίας, καλύπτοντας και της 360° γύρω της. Το στοιχείο της την κατεύθυνση της συσκευής όπου λαμβάνει χώρα η επικοινωνία, είναι αυτό που χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τη μετάδοση και τη λήψη. Σε περίπτωση που μια συσκευή κινείται έξω από την ακτίνα της στοιχείου της κεραίας, η κεραία στρέφει τη μετάδοση και τη λήψη της σε ένα στοιχείο που μπορεί να φτάσει τη συσκευή. Οι switched lobe κεραίες παρέχουν τη δυνατότητα καλής ενσωμάτωσης με της υφιστάμενες συνήθειες κεραίες. Επιπλέον, είναι λιγότερο περίπλοκες από της της έξυπνες κεραίες, άρα μπορούν να εφαρμοστούν με χαμηλότερο κόστος. Αποτελούν καλές επιλογές για χρήση σε παλαιότερα δίκτυα, ειδικότερα σε περιπτώσεις που οι συγκεκριμένες υποδομές πρόκειται να καταργηθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα.



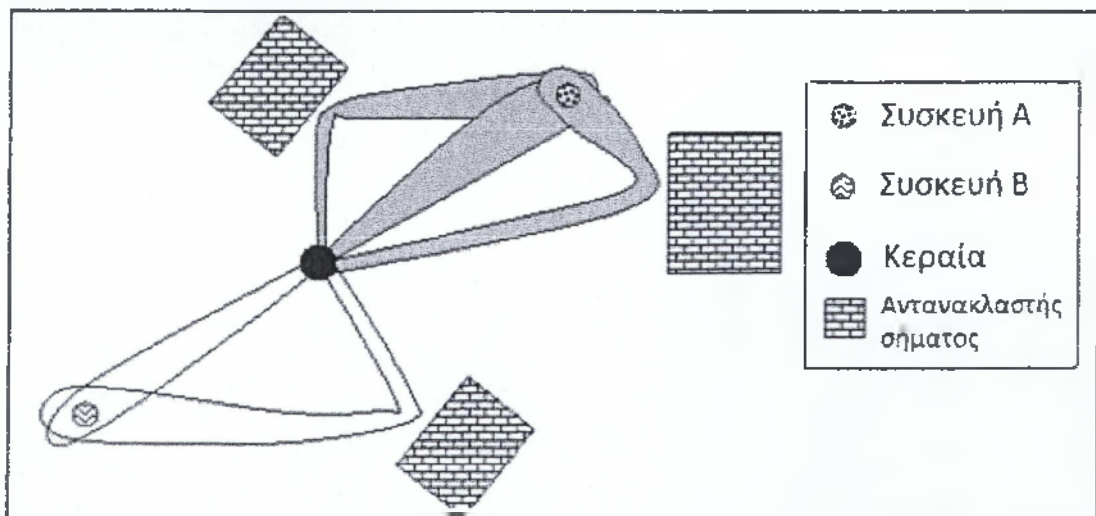
Εικόνα 39 Πεδίο ακτινοβολίας switched lobe κεραίας

- *Κεραία δυναμικά συγχρονισμένων συστοιχιών (Phased array)*: Η συστοιχία εκπέμπει μια ακτίνα της μια συσκευή ψηφιακά, με την ενεργοποίηση ορισμένων παγκατευθυντικών στοιχείων στη συστοιχία η οποία έχει πολλαπλασιαστική επίδραση για να διαμορφώσει μια ακτίνα. Η δέσμη αυτή, μπορεί στη συνέχεια να κατευθυνθεί ή στοχευθεί της την κατεύθυνση μιας συσκευής με τη σταδιακή μετάδοση του σήματος στα στοιχεία και την προσαρμογή του κέρδους για κάθε στοιχείο της κεραίας, οδηγώντας τη δημιουργημένη ακτίνα στην επιθυμητή συσκευή. Δεδομένου ότι οι ακτίνες σχηματίζουν ψηφιακά την ίδια σειρά στοιχείων μπορούν να στοχεύσουν ταυτόχρονα της συσκευές σε της συχνότητες. Υποθέτοντας ότι δύο ακτίνες δε δημιουργούν παρεμβολές μεταξύ της, οι δύο συσκευές θα μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ίδια συχνότητα μετάδοσης.



Εικόνα 40 Πεδίο ακτινοβολίας δυναμικά συγχρονισμένης κεραίας

- Addaptive array:** Είναι παρόμοια με μια δυναμικά συγχρονισμένη κεραία ωστόσο, εκτελεί περισσότερες «έξυπνες» λειτουργίες, προσαρμόζεται στο περιβάλλον της λαμβάνοντας υπόψη της παρεμβάλλουσες συσκευές, καθώς και πολλαπλές διαδρομές σημάτων. Οι συσκευές που προκαλούν παρεμβολές μπορούν να μπλοκαριστούν μειώνοντας την ισχύ του σήματος που λαμβάνουν από την κεραία και αυξάνοντάς την σε της. Με τη δημιουργία ακτίνων της της κατευθύνσεις της πορείας των σημάτων μπορούν να επιτευχθούν πολλαπλές διαδρομές σήματος, που σημαίνει ότι ένα συνδυασμένο σήμα μπορεί να μεταδοθεί από πολλαπλές δέσμες. Αυτό παρέχει ένα πολύ καλύτερο λόγο σήματος της θόρυβο παρέχοντας μια πολύ πιο καθαρή επικοινωνία με μια συσκευή.

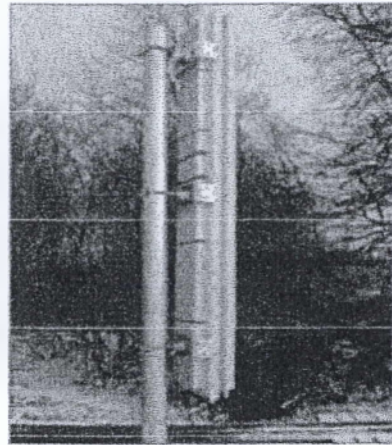


Εικόνα 41 Πεδίο ακτινοβολίας addaptive array κεραίας



- *Ενεργή Κεραία – Active Antenna Systems (ASS)*: Έχει έναν ενισχυτή ο οποίος βρίσκεται πολύ κοντά της, και χρησιμοποιείται μόνο για τη λήψη σημάτων.

Η όλη ιδέα είναι να καθοριστεί το SNR πριν το σήμα ταξιδέψει κατά μήκος της γραμμής επικοινωνίας όπου γίνεται ευαίσθητο σε παρεμβολές και σε απώλειες.



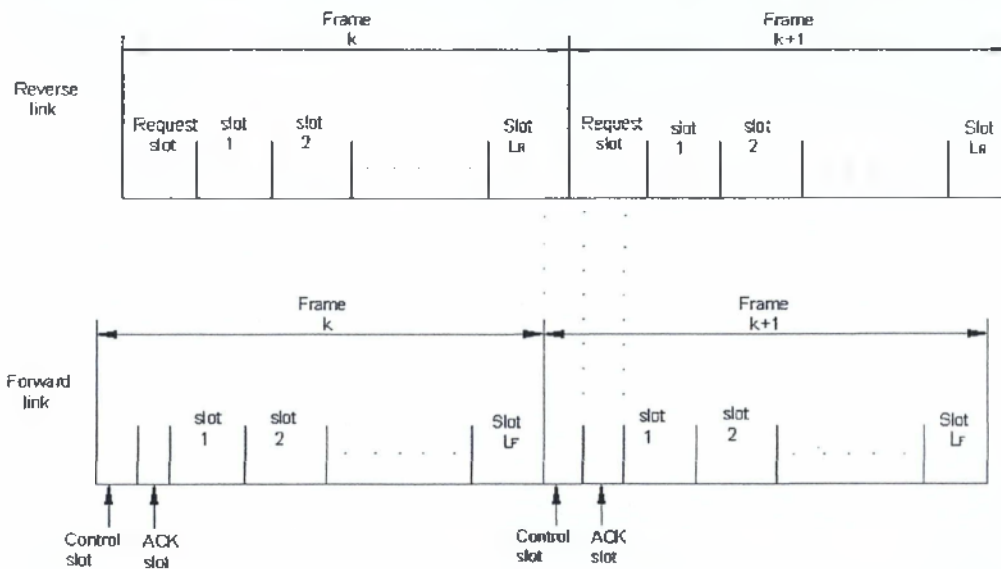
*Εικόνα 42 Ενεργή κεραία*

### 6.3.5 Σχεδιασμός κάλυψης

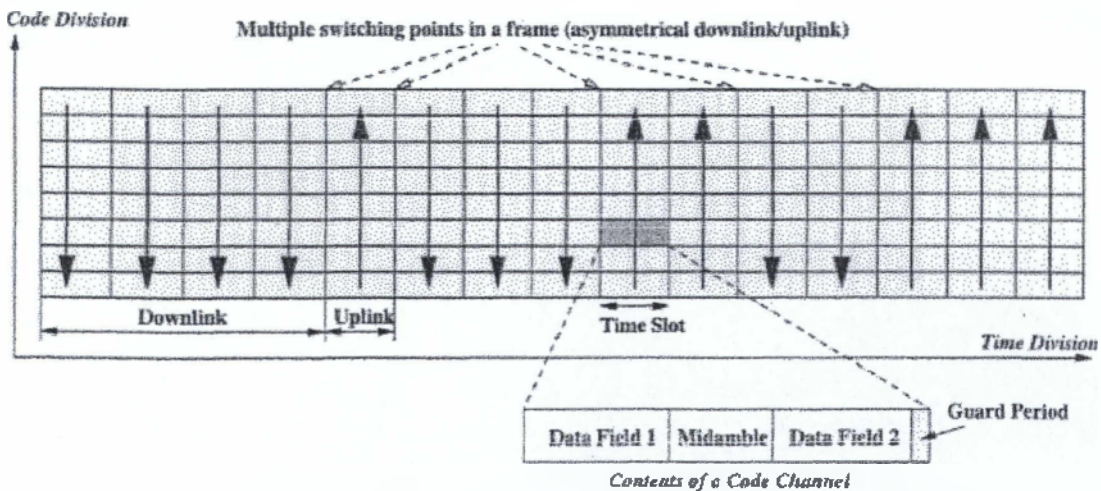
Η θέση των έξυπνων κεραιών λαμβάνεται πάντα υπόψη για τη βέλτιστη λειτουργία τους. Οι σταθμοί βάσης πρέπει να είναι ικανοί να διαχωρίζουν τους χρήστες με βάση την γωνία ώστε οι έξυπνες κεραιές να έχουν το επιθυμητό κέρδος. Αυτό σημαίνει ότι μερικές από τις παραδοσιακές στρατηγικές για το σχεδιασμό κάλυψης (radio planning) πρέπει να αναθεωρηθούν. Λόγω της κατευθυντικής δέσμης που «εκτοξεύεται» από μια έξυπνη κεραία, η ιδανική θέση για αυτή δεν είναι πάντα η ίδια με μια παραδοσιακή κεραία. Στα υπάρχοντα δίκτυα οι σταθμοί βάσης είναι συχνά τοποθετημένοι κατά μήκος των αυτοκινητοδρόμων και των σιδηροδρομικών γραμμών. Η χρήση έξυπνων κεραιών επιβάλλει τη μετακίνηση των σταθμών βάσης μακριά από το δρόμο ή τις γραμμές, ώστε να βελτιωθεί η ικανότητα διαχωρισμού των χρηστών με βάση τη γωνία.

## 6.4 Κυβελωτά συστήματα 4<sup>ης</sup> γενιάς

Τα κυβελωτά συστήματα 4<sup>ης</sup> γενιάς στοχεύουν στην εξυπηρέτηση των εξαιρετικά απαιτητικών πολυμεσικών υπηρεσιών. Στο φυσικό στρώμα χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο TDMA/CDMA, το οποίο υλοποιείται σε κατάσταση FDD σε μακροκυβελικό περιβάλλον και σε κατάσταση TDD σε μικρο-κυβελικό και πικο-κυβελικό περιβάλλον. Η δομή των πλαισίων απεικονίζεται στην *Εικόνα 43* και στην *Εικόνα 44* αντίστοιχα.



*Εικόνα 43 Αρχιτεκτονική πλαισίου συστήματος FDD TDMA/CDMA δικτύου*



*Εικόνα 44 Αρχιτεκτονική πλαισίου TDD TDMA/CDMA δικτύου*

### 6.4.1 FDD/TDD TD-CDMA

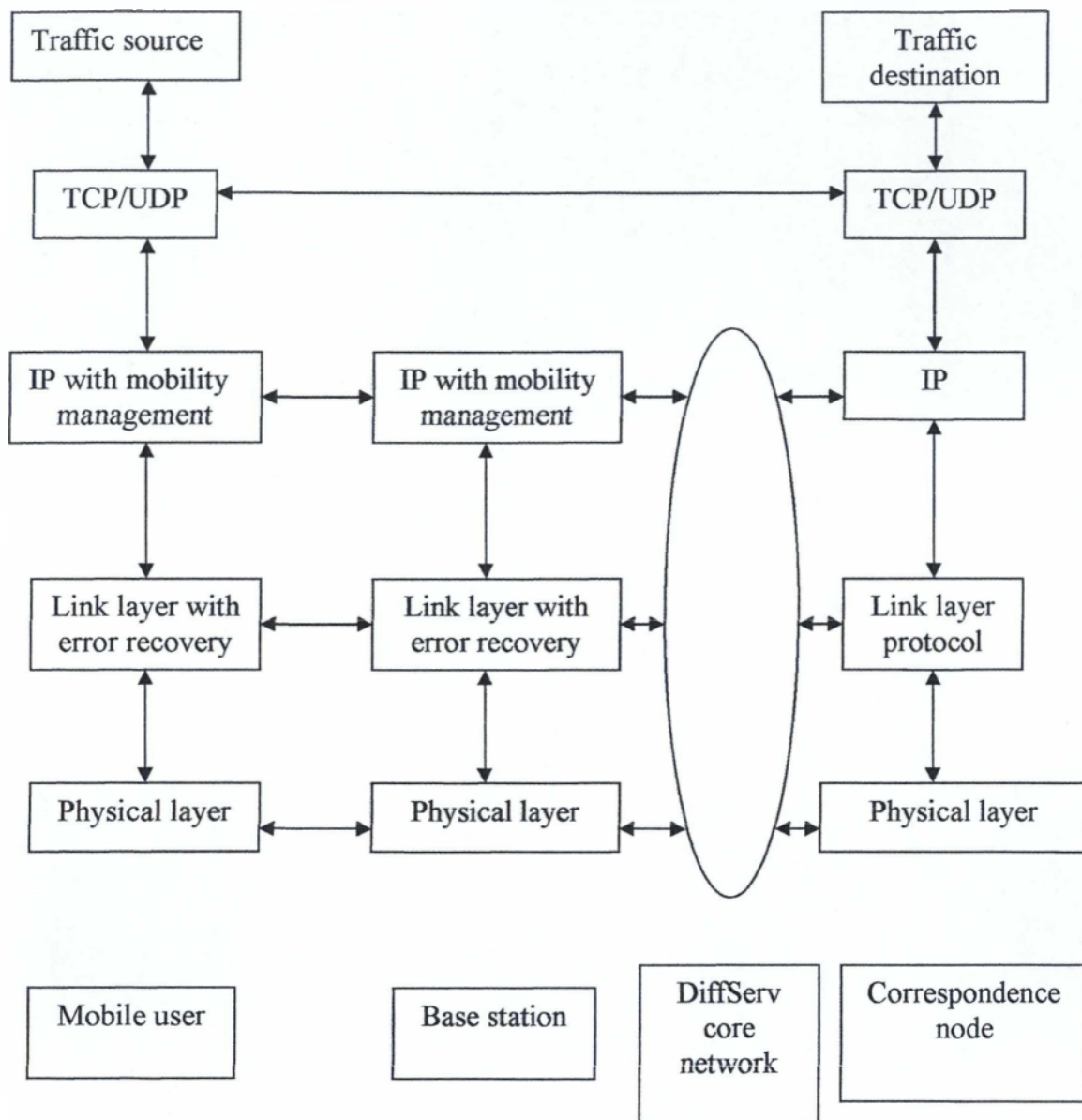
Ο απώτερος στόχος των δικτύων 4ης γενιάς είναι η αύξηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων στα 20 Mbps. Προκειμένου να ικανοποιήσουν την αρχή του οπουδήποτε, οποτεδήποτε, χρησιμοποιούν μία ετερογενή All-IP αρχιτεκτονική, η οποία συμπεριλαμβάνει διαφορετικά δίκτυα ασύρματης πρόσβασης, όπως κυψελωτά δίκτυα τέταρτης γενιάς, ασύρματα LAN (WLAN), Bluetooth και εξαιρετικά ευρείας ζώνης συστήματα (Ultra WideBand – UWB). Το IP χρησιμοποιείται ως το κοινό πρωτόκολλο στρώματος δικτύου. Διαφορετικά ασύρματα δίκτυα εξασφαλίζουν διασυνεργασία με το κινητό IP, ώστε να παρέχεται ενιαία πρόσβαση διαδικτύου στους κινητούς χρήστες.

Η ενοποίηση πολλαπλών υποσυστημάτων στην τέταρτη γενιά επιφέρει πολλές προκλήσεις, όπως η διαλειτουργικότητα υποσυστημάτων και η παροχή ποιότητας υπηρεσίας από άκρη σε άκρη σε διαφορετικές εφαρμογές του διαδικτύου. Η παροχή ποιότητας υπηρεσίας είναι δύσκολη ακόμα και σε ενσύρματα δίκτυα λόγω των μεταβαλλόμενων απαιτήσεων QoS και της ετερογενούς φύσης της πολυμεσικής κίνησης (π.χ. χρονομεταβλητοί ρυθμοί μετάδοσης). Σε ένα ασύρματο περιβάλλον η κατάσταση είναι χειρότερη, λόγω των περιορισμένων ραδιοπόρων και των χαρακτηριστικών του ασύρματου καναλιού. Τα παραπάνω προβλήματα έρχονται να αντιμετωπίσουν με επιτυχία νέα πρωτόκολλα MAC στο στρώμα ζεύξης των κυψελωτών συστημάτων 4<sup>ης</sup> γενιάς. Τα νέα πρωτόκολλα MAC αποσκοπούν σε υψηλό κέρδος πολυπλεξίας και αποδοτική χρησιμοποίηση πόρων.

Στο σταθμό βάσης εντοπίζονται μηχανισμοί όπως ο προτεραιοποιητής πακέτων, ο χρονοπρογραμματιστής πακέτων και ο ελεγκτής αποδοχής κλήσης. Ο σταθμός βάσης είναι υπεύθυνος για την κατανομή των πόρων στην ασύρματη ζεύξη, καθώς και ο ακραίος δρομολογητής ενός δικτύου κορμού διαφοροποιημένων υπηρεσιών. Στον σταθμό βάσης τα πακέτα των κινητών χρηστών κατηγοριοποιούνται με βάση την κλάση υπηρεσίας που ανήκουν. Ο χρονοπρογραμματισμός πακέτων γίνεται ανά ροή, με σκοπό να μειωθεί η υπολογιστική πολυπλοκότητα της κατανομής πόρων. Στο διαφοροποιημένων υπηρεσιών δίκτυο κορμού δεν χρειάζεται πληροφορία ανά ροή, οπότε αυτό διατηρείται απλό και γρήγορο.

Στο κεντρικό δίκτυο δεν χρειάζεται πληροφορία για κάθε ροή, καθώς ένας κεντρικός δρομολογητής παρέχει, βάση του πεδίου σηματοδοσίας, ξεχωριστές συμπεριφορές σε διαφορετικές κατηγορίες πακέτων. Κατά συνέπεια το κεντρικό δίκτυο διατηρείται απλό και ο σταθμός βάσης είναι υπεύθυνος για τη περίπλοκη λειτουργία, όπως η κατάσταση κίνησης της κάθε ροής και η σηματοδοσία. Η αρχιτεκτονική στοιβας πρωτοκόλλων παρουσιάζεται στην *Εικόνα 45*. Η επίδραση του στρώματος IP στην επίδοση του συστήματος δεν εξετάζεται, αφού το στρώμα IP παράγει μία σταθερή επικεφαλίδα (overhead) και δεν επηρεάζει καθοριστικά τη γενική επίδοση. Με άλλα λόγια, την επίδοση του συστήματος θεωρείται πως την καθορίζουν μόνο αλληλεπιδράσεις μεταξύ του στρώματος μεταφοράς και του στρώματος σύνδεσης.





Εικόνα 45 Αρχιτεκτονική στοίβας πρωτοκόλλων σε 4G CDMA κυψελωτά δίκτυα

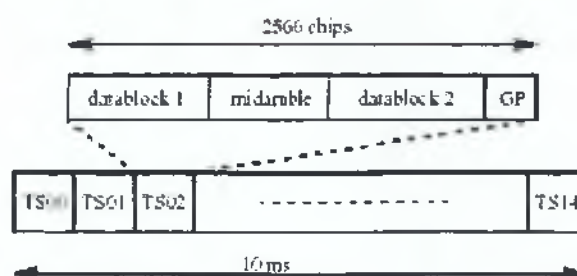
Στο σύστημα προτείνεται μία αρχιτεκτονική κάθετης σύζευξης πρωτοκόλλων για την παροχή QoS σε τέταρτης γενιάς TDMA/CDMA FDD/TDD κυψελωτά δίκτυα. Στην προτεινόμενη κάθετη σύζευξη, επιτυγχάνεται βέλτιστη κατανομή πόρων για τη κίνηση φωνής και δεδομένων στο στρώμα ζεύξης με ταυτόχρονη εγγύηση QoS στο στρώμα μεταφοράς. Το νέο πρωτόκολλο MAC είναι εξαιρετικά ευέλικτο και μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικές κλάσεις κίνησης με μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών και απαιτήσεων. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο βασίζεται στη δέσμευση πόρων με τη βοήθεια χρονοπρογραμματιστή. Δεδομένου ότι το εύρος ζώνης αποτελεί τον πολυτιμότερο πόρο σε ένα ασύρματο τηλεπικοινωνιακό σύστημα, δίνεται έμφαση στη μεγιστοποίηση της διέλευσης καθώς και στην ελαχιστοποίηση των μπλοκαρισμένων και απορριπτόμενων ροών λόγω έλλειψης πόρων μετάδοσης.

Το παρουσιαζόμενο πρωτόκολλο ενσωματώνει ένα νέο χρονοπρογραμματιστή MAC ο οποίος πραγματοποιεί την επιλογή και την αποδοτική εξυπηρέτηση των πακέτων που πρόκειται να μεταδοθούν σε πλαίσια άνω ζεύξης. Για κάθε νέο πλαίσιο, ο χρονοπρογραμματιστής πακέτων αποδίδει προτεραιότητες κατανομής πόρων και εξυπηρετεί τα πακέτα υψηλότερης προτεραιότητας. Πακέτα με ίδιες ή παρόμοιες απαιτήσεις BER, προσπαθούν να μεταδίδονται στις ίδιες χρονοσχιμές, με στόχο τη μεγιστοποίηση της διέλευσης. Οι προτεραιότητες κατανομής πόρων και μετάδοσης καθορίζονται σύμφωνα με τους χρόνους ληξιπρόθεσμης παράδοσης των πακέτων και την κλάση της υπηρεσίας που ανήκουν.

#### 6.4.2 Νέο πρωτόκολλο MAC

Ένα ευρείας ζώνης TD-CDMA κυψελωτό σύστημα έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- *Πολλαπλά σημεία μεταγωγής μεταξύ άνω και κάτω ζεύξης:* Λόγω όπως κατάστασης αμφιδρόμησης με διαίρεση χρόνου (Time Division Duplexing – TDD), επιπρόσθετη παρεμβολή προέρχεται από ετερογενείς ασυμμετρίες άνω ζεύξης, κάτω ζεύξης σε διαφορετικές κυψέλες. Όπως δυναμικός αλγόριθμος ανάθεσης καναλιού χρησιμοποιείται συνήθως για να προσαρμόσει τα σημεία μεταγωγής μεταξύ άνω και κάτω ζεύξης ώστε να μειώνεται τέτοια παρεμβολή.
- *Αρχιτεκτονική έλεγχου ισχύος ανοικτού βρόχου στην άνω ζεύξη:* Δεδομένου ότι η κατάσταση TDD χρησιμοποιείται στο ευρείας ζώνης TD-CDMA, οι απώλειες διαδρομής στην άνω ζεύξη μπορούν να μετρηθούν από το σήμα κάτω ζεύξης. Επομένως, ο έλεγχος ισχύος ανοικτού βρόχου υιοθετείται στην άνω ζεύξη.
- *Ασυνεχής μετάδοση:* Ένα κωδικό κανάλι δε μεταδίδει πακέτα σε όπως όπως χρονοσχιμές όπως πλαίσιου, αλλά το ίδιο κωδικό κανάλι σε διαφορετικές χρονοσχιμές μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διαφορετικά κινητά τερματικά. Η δομή του πλαισίου όπως ευρείας ζώνης TD-CDMA συστήματος φαίνεται στην *Εικόνα 24*, όπου άνω και κάτω ζεύξη πολυπλέκονται στο πεδίο του χρόνου. Γενικά, το φορτίο κίνησης όπως άνω ζεύξης και όπως κάτω ζεύξης είναι ασυμμετρικά και σημεία πολλαπλής μεταγωγής υπάρχουν μεταξύ μεταδόσεων άνω και κάτω ζεύξης. Κανάλια πολλαπλών κωδικών συνυπάρχουν σε μία χρονοσχιμή και κάθε κωδικό κανάλι συνίσταται από δύο πεδία δεδομένων, ένα ενδιάμεσο πεδίο και μία περίοδο προστασίας. Σε λειτουργία πολλαπλών κωδικών (MultiCode MC) τόσο στην άνω ζεύξη όσο και στη κάτω ζεύξη, διαφορετικοί ρυθμοί μετάδοσης όπως κινητού τερματικού μπορούν να επιτευχθούν μεταβάλλοντας τον αριθμό των κωδικό καναλιών για το κινητό τερματικό.



Εικόνα 46 Δομή πλαισίου TD CDMA συστήματος

Στη λειτουργία MC οι κώδικες όπως κινητού τερματικού παράγονται από όπως αλληλουχίες υποκωδικών, και κατά συνέπεια η αυτοπαρεμβολή μεταξύ των κωδικών του ίδιου χρήστη αποφεύγεται. Πολλά κανάλια μεταφοράς καθορίζονται για ευρείας ζώνης TD-CDMA δίκτυα όπως προδιαγραφές όπως 3GPP.

Ο μέγιστος αριθμός από κωδικό κανάλια σε μία χρονοσχιστή καθορίζεται από το νέο αλγόριθμο κατανομής ελάχιστης ισχύος. Τα σημεία μεταγωγής μεταξύ άνω ζεύξης και κάτω ζεύξης, καθορίζονται από ένα δυναμικό αλγόριθμο κατανομής καναλιών (Dynamic Channel Allocation – DCA). Η μονάδα δεδομένων πακέτου MAC (PDU) στα κανάλια DCHs, BCH ή RACH αντιστοιχεί σε ένα κωδικό κανάλι σε μία χρονοσχιστή μέσω διαδικασιών όπως η προσάρτηση CRC, η κωδικοποίηση καναλιού, το γέμισμα ενδιάμεσων πεδίων και η προσαρμογή ρυθμού.

### 6.4.3 TD-CDMA FDD

Η κίνηση σε επόμενης γενιάς κυψελωτά ασύρματα δίκτυα αναμένεται να αποτελεί ένα μίγμα φωνής, δεδομένων και μηνυμάτων video. Οι περισσότερες υπηρεσίες και εφαρμογές διαθέσιμες σήμερα στα ενσύρματα δίκτυα προσαρμόζονται και επεκτείνονται στα ασύρματα περιβάλλοντα. Τα πακέτα που παράγονται από μελλοντικές κινητές πλατφόρμες ανήκουν σε μία από τις αρκετές κλάσεις κίνησης, κάθε μία από τις οποίες επιδεικνύει μία μεγάλη ποικιλία από χαρακτηριστικά και έμφυτες απαιτήσεις, όπως ο ρυθμός μετάδοσης, ο μέγιστος ανεκτός ρυθμός λανθασμένων bit (BER) και προδιαγραφές ληξυπρόθεσμων παραδόσεων. Λόγω της αναμενόμενης μεταβλητότητας στη μεταδιδόμενη κίνηση, παραδοσιακά πρωτόκολλα ελέγχου πρόσβασης στο μέσο βασισμένα στη φωνή (voice-based MAC protocols), έχουν φτωχή απόδοση σε μελλοντικά ασύρματα δίκτυα. Αυτό που απαιτείται είναι μία νέα γενιά εξαιρετικά ευέλικτων πρωτοκόλλων MAC που μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν στις μεταβαλλόμενες συνθήκες και απαιτήσεις της σχεδιαζόμενης κίνησης πολυμέσων σε μελλοντικά ασύρματα δίκτυα.

Η πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα έχει αναδυθεί ως μία από τις περισσότερο υποσχόμενες τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης για μελλοντικά ασύρματα δίκτυα πολυμέσων και έχει επιλεγεί για συστήματα IMS-2000 από οργανισμούς τυποποίησης παγκοσμίως. Για CDMA συστήματα φωνής βασισμένα στο IS-95 πρότυπο, ο έλεγχος ισχύος χρησιμοποιείται για να καταπολεμήσει το πρόβλημα του κοντά – μακριά, διατηρώντας σχεδόν σταθερή τη λαμβανόμενη ισχύ στο σταθμό βάσης. Σε περίπτωση που αυτό το συμβατικό σχήμα ελέγχου ισχύος εφαρμοστεί για κίνηση πολυμέσων χωρίς καμία τροποποίηση, η χωρητικότητα περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη κίνηση με τη χαμηλότερη απαίτηση BER. Συμπερασματικά, είναι περιττό να προγραμματίζονται ταυτόχρονες μεταδόσεις πακέτων φωνής και δεδομένων, αφού το κανάλι μετάδοσης πρέπει να μπορεί να ικανοποιήσει τη πιο αυστηρή προδιαγραφή BER μεταξύ όλων των πακέτων που μεταδίδονται στον ίδιο χρόνο.

Ο συμβατικός έλεγχος ισχύος κλειστού βρόγχου μπορεί εύκολα να επεκταθεί για να υποστηρίξει κίνηση πολυμέσων με την ανάθεση διαφορετικών στάθμων ισχύος σε διαφορετικούς τύπους κίνησης. Επιπροσθέτως, διατηρείται η λαμβανόμενη ισχύς σε μία



σταθερή στάθμη για κάθε τύπο κίνησης ανεξαρτήτως ποιός είναι ο ρυθμός μετάδοσης. Αρκετές προσεγγίσεις προτείνουν βέλτιστο έλεγχο ισχύος για κίνηση πολυμέσων πολλαπλών ρυθμών υπό την έννοια της μεγιστοποίησης της χωρητικότητας ή της ελαχιστοποίησης της συνολικής μεταδιδόμενης ισχύος. Σε αρκετές περιπτώσεις η βέλτιστη κατανομή ισχύος επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης πληροφορίας μέτρησης του καναλιού.

Πολιτικές προγραμματισμού της σειράς των μεταδόσεων πακέτων πολυμέσων θα έχουν μεγάλη επίδραση στην αποδοτικότητα και στην επίδοση των πρωτοκόλλων MAC σε μελλοντικά ασύρματα δίκτυα. Ο σχεδιασμός ενός αποδοτικού προγραμματιστή πακέτων είναι ένα δύσκολο έργο το οποίο τυπικά συμπεριλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό αλληλοσυγκρουόμενων απαιτήσεων που πρέπει να αναλυθούν και να ζυγιστούν πριν την εύρεση μίας ισορροπημένης και δίκαιης λύσης. Αρκετά κριτήρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κατευθυντήριες οδηγίες για το σχεδιασμό ενός αποδοτικού προγραμματιστή πακέτων π.χ. μεγιστοποίηση της διέλευσης, ελαχιστοποίηση του πλήθους των απωλεσθέντων πακέτων, υποστήριξη των ποσοτικών εγγυήσεων ποιότητας υπηρεσίας και προγραμματισμός σύμφωνα με μία προκαθορισμένη δομή προτεραιοτήτων. Αρκετοί αλγόριθμοι χρονοπρογραμματισμού έχουν προταθεί για εγγυημένη επίδοση υπηρεσίας σε ενσύρματα δίκτυα μεταγωγής πακέτου.

Ο στόχος των διαφόρων μεθόδων χρονοπρογραμματισμού είναι να παρέχουν εγγυήσεις επίδοσης σε όρους καθυστέρησης, διακύμανσης καθυστέρησης, διέλευσης και ρυθμού απωλεσθέντων πακέτων. Όλες οι στρατηγικές χρονοπρογραμματισμού εκτελούνται σε πραγματικό χρόνο, απαιτώντας συνεπώς αλγόριθμους περιορισμένης υπολογιστικής πολυπλοκότητας. Ένα νέο MAC πρωτόκολλο που έχει προταθεί είναι το αποκαλούμενο WISPER. Στο πρωτόκολλο αυτό, οι προτεραιότητες μετάδοσης των πολυμεσικών πακέτων καθορίζονται σύμφωνα με τις BER απαιτήσεις τους. Το WISPER μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται σε TD/CDMA δίκτυα και βασίζει την εκχώρηση πόρων στις απαιτήσεις των χρηστών. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το ασύρματο εύρος ζώνης ίσως αποτελεί τον ελάχιστο και πολύτιμο πόρο σε ένα ασύρματο σύστημα επικοινωνίας, οι κύριοι στόχοι του πρωτοκόλλου είναι η μεγιστοποίηση της διέλευσης και η ελαχιστοποίηση του πλήθους των απωλεσθέντων πακέτων. Στο WISPER η διέλευση μεγιστοποιείται με τη ρύθμιση των μεταδόσεων των πακέτων σύμφωνα με τις κατηγορίες της κίνησης και με το χρονοπρογραμματισμό των μεταδόσεων τους στα κινητά τερματικά στο μέγιστο δυνατό ρυθμό μετάδοσης. Επιπλέον, οι απώλειες πακέτων ελαχιστοποιούνται με τη χρήση ενός νέου σχήματος προτεραιοποιητή πακέτων το οποίο καθορίζει τη σειρά μετάδοσης τους με βάση τον εναπομείναντα χρόνο, μέχρι το πακέτο να θεωρηθεί ληξιπρόθεσμο. Δεδομένου ότι το πρωτόκολλο ταξινομεί τα πακέτα σε διαφορετικές χρονοσχισμές βασισμένο στις τιμές στόχους τους BER, το συμβατικό σχήμα ελέγχου ισχύος μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μία στάθμη ισχύος για κάθε χρονοσχισμή, το οποίο υλοποιείται απλά συγκρινόμενο με άλλες μεθόδους ελέγχου ισχύος που χρησιμοποιούν διαφορετικές στάθμες ισχύος στον ίδιο χρόνο για κάθε χρονοσχισμή.

#### 6.4.4 Το μοντέλο συστήματος CDMA

Στο μοντέλο CDMA όλα τα πακέτα δεδομένων μεταδίδονται σ' ένα βασικό ρυθμό. Ένα κινητό τερματικό για να αυξήσει το ρυθμό μετάδοσής του κατά  $m$  φορές σε σχέση με το βασικό ρυθμό, δηλαδή να μετατραπεί σε ένα  $m$  ρυθμού κινητό τερματικό, πρέπει να μπορεί να μεταδώσει  $m$  πακέτα ταυτόχρονα. Στη θεωρία, λόγω άλλους ορθογωνικότητας πολλαπλές ροές που μεταδίδονται από το ίδιο κινητό τερματικό δε παρεμβάλλουν η μία με την άλλη. Στη πραγματικότητα άλλους, πάντα υπάρχει κάποια αμοιβαία παρεμβολή. Σε κάθε κινητό τερματικό που γίνεται αποδεκτό στο ασύρματο δίκτυο, εκχωρείται άλλους διαφορετικός τυχαίος πρωταρχικός κώδικας PN από μία δεξαμενή με κώδικες ειδικά δεσμευμένων γι' αυτό το σκοπό, ο οποίος μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί αφού ένα κινητό τερματικό τερματίσει την ασύρματη σύνδεσή του. Χρησιμοποιώντας αυτό το κωδικό, το κινητό τερματικό τοποθετεί ένα πακέτο αίτησης αποδοχής στη χρονοσχισμή αίτησης.

Η χρονοσχισμή αίτησης περιλαμβάνει τον αριθμό αναγνώρισης του κινητού τερματικού, πληροφορία για τη κατηγορία άλλους κίνησης που πρόκειται να μεταδοθεί, άλλους ικανότητες μέγιστου ρυθμού μετάδοσης του κινητού τερματικού και – αν είναι εφαρμόσιμοι – τα χαρακτηριστικά των ρυθμών bit (ελάχιστα και μέγιστα όρια ρυθμών bit) άλλους κίνησης που πρόκειται να μεταδοθεί. Η χρονοσχισμή αίτησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δύο σκοπούς: α) Να τεθούν οι αιτήσεις αποδοχής από νέα κινητά τερματικά τα οποία θέλουν να γίνουν αποδεκτά στο ασύρματο δίκτυο και β) Να τεθούν αιτήσεις μετάδοσης από κινητά τερματικά που αυτή τη περίοδο είναι καταχωρημένα στο ασύρματο δίκτυο.

Συγκρούσεις μπορούν να συμβούν στη χρονοσχισμή αίτησης αν υπάρχουν δύο ή περισσότερες αιτήσεις αποδοχής που χρησιμοποιούν τον ίδιο κώδικα PN ή αν το συνολικό πλήθος των ταυτόχρονων πακέτων αίτησης έχει ως αποτέλεσμα ανεξέλεγκτη αμοιβαία παρεμβολή. Εφόσον δεν υπάρχει καμία σύγκρουση, ένα κινητό τερματικό θα διατηρήσει τον ίδιο κώδικα PN καθώς ταξιδεύει διαμέσου διαφορετικών κυψελών στο δίκτυο.

Στην περίπτωση που ένα κινητό τερματικό έχει νέα πακέτα έτοιμα για μετάδοση, πρέπει να στείλει μία αίτηση μετάδοσης στο σταθμό βάσης υποδεικνύοντας το πλήθος των πακέτων στη νέα παρτίδα άλλους και την αντίστοιχη τιμή ληξιπρόθεσμης παράδοσης των πακέτων (αντιστρόφως, το κινητό τερματικό μπορεί να καθορίσει το χρόνο γέννησης των πακέτων, ώστε η τιμή ληξιπρόθεσμης παράδοσης να μπορεί να υπολογιστεί με μία αφαίρεση). Ένα κινητό τερματικό στέλνει την αίτηση μετάδοσης είτε χρησιμοποιώντας τη χρονοσχισμή αίτησης είτε φορτώνοντας την αίτηση μετάδοσης σε ένα προηγουμένως μεταδιδόμενο πακέτο δεδομένων. Η τελευταία μέθοδος χρησιμοποιείται όποτε είναι εφικτό, προκειμένου να μειωθεί ο ανταγωνισμός στη χρονοσχισμή αίτησης. Σε κάθε περίπτωση, οι αιτήσεις μεταδίδονται χρησιμοποιώντας τον εκχωρημένο πρωταρχικό κώδικα PN του κινητού τερματικού. Αφού ληφθεί μία αίτηση, μία δομή δεδομένων χρησιμοποιείται από το σταθμό βάσης για να διαφυλάξει τη διαδρομή άλλους παρτίδας που συνδέεται με την αίτηση, η οποία περιλαμβάνει πληροφορίες άλλους το κινητό τερματικό στο οποίο ανήκει η παρτίδα, την τιμή ληξιπρόθεσμης παράδοσης των πακέτων και το πλήθος των πακέτων στην

παρτίδα. Αυτές οι πληροφορίες φυλάσσονται μέχρι τα πακέτα στη παρτίδα να έχουν ληφθεί επιτυχημένα ή μέχρι να θεωρηθούν ληξιπρόθεσμα και να απορριφθούν.

Για τη κάτω ζεύξη, ο σταθμός βάσης έχει αποκλειστικό έλεγχο άλλους άλλους τα κάτω κίνησης και συνεπώς δεν χρειάζονται χρονοσχιστές αιτήσεων για το σταθμό βάσης. Η χρονοσχιστή ελέγχου χρησιμοποιείται για να παρέχει ειδοποίηση αποδοχής στα κινητά τερματικά που αιτήθηκαν αποδοχής στο δίκτυο και για να παρέχουν οδηγίες μετάδοσης στα κινητά τερματικά τα οποία προηγουμένως αιτήθηκαν άδειας να μεταδώσουν πακέτα. Άλλους σταθμός βάσης δε χρειάζεται να στείλει ένα αριθμό αναγνώρισης όταν προσπαθεί να επικοινωνήσει με ένα δεδομένο κινητό τερματικό, αλλά απλά χρειάζεται να μεταδώσει το μήνυμα του χρησιμοποιώντας τον ίδιο πρωταρχικό κώδικα PN που χρησιμοποιείται από το κινητό τερματικό. Όταν ο σταθμός βάσης απαντά σε μία αίτηση για μετάδοση πακέτου, προδιαγράφει άλλους χρονοσχιστές και το αντίστοιχο πλήθος πακέτων που μπορούν να μεταδοθούν στο επόμενο πλαίσιο. Η χρονοσχιστή ελέγχου μπορεί άλλους να χρησιμοποιηθεί από το σταθμό βάσης για να παρέχει πληροφορία επιβεβαίωσης για τα πακέτα τα οποία λήφθηκαν επιτυχημένα σε προηγούμενο πλαίσιο [24].

Για το πλαίσιο άνω ζεύξης, η χρονοσχιστή αίτησης δε μπορεί να είναι η τελευταία χρονοσχιστή στο πλαίσιο, αφού ο σταθμός βάσης χρειάζεται χρόνο να επεξεργαστεί άλλους αιτήσεις και να υπολογίσει άλλους αναθέσεις χρονοσχιστών πριν ξεκινήσει το επόμενο πλαίσιο άνω ζεύξης. Η ακριβής θέση άλλους χρονοσχιστής αίτησης εξαρτάται από άλλους ικανότητες επεξεργασίας του σταθμού βάσης. Άλλους, αφού τα κινητά τερματικά χρειάζονται να έχουν έγκαιρα άλλους δικές άλλους αναθέσεις χρονοσχιστών μετάδοσης, το πλαίσιο κάτω ζεύξης δεν είναι ευθυγραμμισμένο με το πλαίσιο άνω ζεύξης και ξεκινά πάντοτε με τη χρονοσχιστή ελέγχου. Επιπρόσθετα, το τέλος άλλους χρονοσχιστής ελέγχου δε συμπίπτει με την αρχή του επόμενου πλαισίου άνω ζεύξης. Αυτό συμβαίνει ώστε τα κινητά τερματικά να έχουν το χρόνο να επεξεργαστούν άλλους απαντήσεις του σταθμού βάσης. Επιπλέον, το μέγεθος των χρονοσχιστών ελέγχου και αίτησης δεν είναι απαραίτητα ίσο με το μέγεθος των χρονοσχιστών δεδομένων (τυπικά, οι χρονοσχιστές ελέγχου θα είναι μικρότερες από άλλους χρονοσχιστές δεδομένων).

Το πρωτόκολλο WISPER καθορίζει χρονοσχιστές που μπορούν να υποστηρίξουν συγκεκριμένα BER και προγραμματίζει μεταδόσεις πακέτων με τέτοιο τρόπο ώστε το ασύρματο εύρος ζώνης να μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά. Σε ένα κανάλι επικοινωνίας, το BER αποτελεί μία συνάρτηση αρκετών παραγόντων, άλλους π.χ. θερμικού θορύβου, παρεμβολής, λαμβανομένης ισχύος σήματος, διαμόρφωσης, του προχωρημένου σχήματος διόρθωσης λαθών που χρησιμοποιείται κ.α. Άλλους παράγοντας θεμελιώδους σημασίας στο προσδιορισμό του BER είναι ο αριθμός των κινητών τερματικών που παράλληλα μεταδίδουν στο ίδιο εύρος ζώνης καναλιού. Αυτό συμβαίνει επειδή στο CDMA, από τη προοπτική άλλους πομπού, οποιαδήποτε άλλη ταυτόχρονη μετάδοση στην ίδια ζώνη συχνοτήτων συμβάλλει ως θόρυβος στο μεταδιδόμενο σήμα. Οι τιμές μετάδοσης BER μπορούν να μειωθούν χρησιμοποιώντας επαρκείς τεχνικές κωδικοποίησης διόρθωσης λαθών.



Για να χρησιμοποιηθεί το διαθέσιμο εύρος ζώνης αποτελεσματικά, τα πακέτα που έχουν είτε ίσες είτε σχεδόν άλλους άλλους προδιαγραφές μέγιστων BER πρέπει να μεταδίδονται στην ίδια χρονοσχιμή. Μία αποτελεσματική οργάνωση των πακέτων άλλους χρονοσχιμές άλλους πλαίσιο δε περιορίζεται στην ομαδοποίηση πακέτων, με άλλους ή παρόμοιες προδιαγραφές μέγιστων ανεκτών BER, στην ίδια χρονοσχιμή. Εάν σε ένα δεδομένο χρόνο, υπάρχουν περισσότερα διακεκριμένα πακέτα απ' αυτά που μπορούν να μεταδοθούν στο επόμενο πλαίσιο, τότε πρέπει απαραίτητα να επιλεγούν τα πακέτα εκείνα που πρέπει να μεταδοθούν πρώτα (στο επόμενο πλαίσιο). Η επιλογή αυτών των πακέτων μπορεί να γίνει σύμφωνα με αρκετά κριτήρια, άλλους εγγύτητα ληξυπρόθεσμης παράδοσης πακέτου, προτεραιότητα πακέτου, και άλλους λόγους ώστε συγκεκριμένα όρια επίδοσης (π.χ. μέγιστη καθυστέρηση και διακύμανση καθυστέρησης, ρυθμός απωλεσθέντων πακέτων) να μην παραβιάζονται.

#### **6.4.5 Παρεχόμενη ποιότητα υπηρεσίας σε CDMA κυψελωτά συστήματα 4G**

Η αρχιτεκτονική ασύρματων δικτύων τέταρτης γενιάς συμπεριλαμβάνει διαφορετικά δίκτυα ασύρματης πρόσβασης, συγκολλημένα με το Mobile IP που παρέχει παρόμοια πρόσβαση Internet τις κινητούς χρήστες. Η ποιότητα τις υπηρεσίας που παρέχεται σε διαφορετικά ασύρματα δίκτυα, αποτελεί μία μεγάλη πρόκληση στην εγκατάσταση τις τέτοιας ετερογενούς αρχιτεκτονικής, καθώς είναι περισσότερο σύνθετη σε ένα κυψελωτό σύστημα CDMA λόγω τις παρεμβολής και τις περιορισμένης χωρητικότητας. Η αρχιτεκτονική κάθετης σύζευξης πρωτοκόλλων που παρέχουν ποιότητα υπηρεσίας σε κυψελωτά δίκτυα CDMA 4<sup>ης</sup> γενιάς, συνδυάζει πρωτόκολλα του στρώματος μεταφοράς και κατανομής πόρων του στρώματος σύνδεσης για τη διπλή εγγύηση των απαιτήσεων QoS υψηλότερου στρώματος και την επίτευξη αποδοτικής χρησιμοποίησης πόρων σε χαμηλότερο στρώμα. Τις παρέχεται ένα σύστημα μεταγωγής πακέτου για την επίτευξη αποδοτικής πολυπλεξίας. Ο χρονοπρογραμματιστής του MAC χρησιμοποιεί μόνο για κάθε ροή πληροφορία στον πίνακα δρομολογίων των πακέτων, μειώνοντας σημαντικά την πολυπλοκότητα υπολογισμού και την υπερφόρτωση του συστήματος.

Η περασμένη δεκαετία υπήρξε μάρτυρας τις εκπληκτικής ταχύτητας ανάπτυξης των δικτύων κινητών επικοινωνιών. Τα κυψελωτά συστήματα τις δεύτερης γενιάς, τις το GSM και το IS-95, έφεραν μία επανάσταση από την αναλογική στη ψηφιακή τεχνολογία, αποτελώντας τα σημερινά επικρατούντα συστήματα, παρέχοντας υπηρεσίες φωνής και δεδομένα χαμηλού ρυθμού μεταγωγής κυκλώματος. Τις, τα συστήματα τρίτης γενιάς, γνωστά ως Διεθνείς Κινητές Τηλεπικοινωνίες (International Mobile Telecommunications 2000 – IMT-2000), αποσκοπούν στη παροχή κινητών υπηρεσιών πολυμέσων και την επίτευξη τις μέγιστου ρυθμού bit των 2 Mbps.

Όταν τις συμβατικός με το IP, κινητός χρήστης μετακινείται μεταξύ διαφορετικών δικτύων ασύρματης πρόσβασης, το ισοδύναμο ποσό πόρων πρέπει να καθοριστεί και να διατεθεί στο νέο δίκτυο για να εγγυηθεί QoS κατά τη διάρκεια εξυπηρέτησης του χρήστη. Αυτό το έργο είναι περισσότερο σύνθετο σε ένα κυψελωτό σύστημα πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα τέταρτης γενιάς αφού η χωρητικότητα του συστήματος είναι

περιορισμένη λόγω παρεμβολών και η ισχύς πρέπει τις να θεωρηθεί ως ένα είδος πόρου μαζί με το εύρος ζώνης. Όταν διαφορετικές εφαρμογές υποστηρίζονται, τότε ένα αποδοτικό πρωτόκολλο MAC μεταγωγής πακέτου απαιτείται σε κυψελωτά συστήματα CDMA τέταρτης γενιάς προκειμένου να επιτευχθεί υψηλό κέρδος πολυπλεξίας και αποδοτική αξιοποίηση πόρων.

Για παροχή ποιότητας υπηρεσίας σε δίκτυα IP, η προσέγγιση των διαφοροποιημένων υπηρεσιών (Differentiated Services – DiffServ) έχει εμφανιστεί ως μία αποδοτική και ανερχόμενη λύση για να εξασφαλίσει ποιότητα υπηρεσίας στο διαδίκτυο, βασισμένη στη διεκπεραίωση τις αριθμού κατηγοριών κίνησης. Μία κάθετα συζευγμένη αρχιτεκτονική πρωτοκόλλων για κυψελωτά δίκτυα τέταρτης γενιάς που παρέχουν QoS σε κινητούς συνδρομητές διαφοροποιημένων υπηρεσιών, συνδυάζει πρωτόκολλα του στρώματος μεταφοράς και κατανομή πόρων στο στρώμα σύνδεσης για να εγγυηθεί και παροχή QoS στο στρώμα μεταφοράς και αποδοτική χρησιμοποίηση των πόρων στο στρώμα σύνδεσης. Η ποιότητα υπηρεσίας του στρώματος μεταφοράς εξασφαλίζεται με τις ελάχιστους ισοδύναμους πόρους που απαιτούνται στο στρώμα σύνδεσης και ως εκ τούτου στο φυσικό στρώμα. Ο χρονοπρογραμματιστής του MAC στο στρώμα σύνδεσης βασίζεται σε πληροφορία για κάθε ροή. Κατά συνέπεια, μειώνει τη πολυπλοκότητα υπολογισμού και την υπερφόρτωση του συστήματος συγκρινόμενος με άλλα σχήματα MAC τα οποία χρησιμοποιούν πληροφορία για κάθε πακέτο ώστε να καθορίσουν τη προτεραιότητα χρονοπρογραμματισμού.

Οι μεταδόσεις στην άνω ζεύξη αποτελούν το επίκεντρο, αφού η κατανομή πόρων σ' αυτή, λόγω πολλαπλής πρόσβασης, είναι πολύ περισσότερο πολύπλοκη απ' ό τι στη μετάδοση κάτω ζεύξης. Ο σταθμός βάσης είναι υπεύθυνος για τη κατανομή πόρων στην ασύρματη σύνδεση. Είναι τις ο ακραίος δρομολογητής του κεντρικού δικτύου DiffServ. Στο σταθμό βάσης τα πακέτα από τις κινητούς χρήστες είναι κατηγοριοποιημένα μέσω τις μηχανισμού σηματοδοσίας πακέτου σύμφωνα με τις συμβάσεις επιπέδου υπηρεσιών

#### 6.4.6 Κλάσεις κίνησης

Αποτελούν όπως κατηγορίες κίνησης (Traffic classes) οι οποίες καθορίζονται όπως διαφοροποιημένες υπηρεσίες και είναι:

- *Εξαιρετική υπηρεσία για κίνηση φωνής (Premium service for voice traffic)*
- *Εγγυημένη υπηρεσία για κίνηση δεδομένων (Assured service for data traffic)*

Η εξαιρετική υπηρεσία αποσκοπεί στην παροχή σύνδεσης χαμηλών απωλειών, χαμηλής καθυστέρησης και χαμηλής διακύμανσης (jitter) και προορίζεται για πραγματικού χρόνου εφαρμογές όπως Voice over IP (VoIP) και βίντεο διασκέψεις. Μία τέτοια υπηρεσία φαίνεται στα τελικά σημεία ως μία εικονική μισθωμένη γραμμή [25].

Η εγγυημένη υπηρεσία παρέχει μία αξιόπιστη σύνδεση με στόχο ένα ρυθμό μετάδοσης, γνωστός ως υλοποιημένος ρυθμός πληροφορίας (CIR), ακόμα και κατά τη διάρκεια συμφόρησης του δικτύου.

#### 6.4.7 Πρωτόκολλα στρώματος μεταφοράς

Το πρωτόκολλο δεδομενογραφημάτων χρήστη (*User Datagram Protocol – UDP*) είναι κατάλληλο για πραγματικού χρόνου εφαρμογές (VoIP, voice chat, κ.α.) αφού δε χρησιμοποιεί αναμεταδόσεις για να εγγυηθεί αξιόπιστη παράδοση. Χρησιμοποιείται στο σύστημα ως το πρωτόκολλο στρώματος μεταφοράς (Transport layer protocol), για την εξαιρετική υπηρεσία φωνής. Όταν επίσης χρήστης φωνής εκπέμπει, γεγονός που το αντιλαμβάνεται το δίκτυο με διαδικασίες εντοπισμού δραστηριότητας φωνής Voice Activity Detection (VAD), τότε τα UDP πακέτα θα παράγονται περιοδικά, σε ένα ρυθμό εξαρτώμενο από το ρυθμό κωδικοποίησης, το μέγεθος του UDP πακέτου και το μέγεθος επίσης επικεφαλίδας του πακέτου. Η απαίτηση QoS για εξαιρετική υπηρεσία φωνής εγγυάται μέγιστο ρυθμό πληροφορίας με ένα μικρό όριο καθυστέρησης. Εάν ένα UDP πακέτο δε καταφέρει να παραδοθεί στο τελικό χρήστη μέσα σε ένα στενό χρονικό περιθώριο, θα απορρίπτεται. Επίσης, η πιθανότητα απόρριψης (dropping probability) είναι περιορισμένη από άνω φράγμα.

Αντιθέτως, το πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης (*Transmission Control Protocol – TCP*) μπορεί να παρέχει αξιόπιστη απ' άκρη σ' άκρη μετάδοση πάνω από την αναξιόπιστη υπηρεσία IP. Το πρωτόκολλο TCP είναι κατάλληλο για εξασφαλισμένη υπηρεσία. Η απαίτηση QoS για την εγγυημένη υπηρεσία δεδομένων είναι ο εγγυημένος CIR με αξιόπιστη απ' άκρη σ' άκρη μετάδοση (δηλαδή, Η επιτευγμένη TCP διέλευση πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με το απαιτούμενο CIR).

Θεωρώντας ένα διαυγές στρώμα IP, κάθε πακέτο στρώματος μεταφοράς (UDP ή TCP) τεμαχίζεται σε ένα αριθμό από πακέτα στρώματος ζεύξης για μετάδοση πάνω από μία ασύρματη ζεύξη με ροπή σε σφάλματα.

#### 6.4.8 Αρχιτεκτονική χρονικού πλαισίου στρώματος σύνδεσης

Στο στρώμα ζεύξης, μία υβριδική πακετοποιημένη αρχιτεκτονική πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χρόνου/διαίρεσης κώδικα (*TD/CDMA*) παρέχει ευελιξία στο χρονικό προγραμματισμό και ταυτόχρονες μεταδόσεις από διαφορετικούς χρήστες (Link layer time frame architecture). Στην TD/CDMA αρχιτεκτονική, ο χρόνος διαιρείται σε πλαίσια σταθερού μήκους. Σε κάθε χρονοσχιμή χρησιμοποιείται πολυπλεξία CDMA με ένα σταθερό κέρδος εξάπλωσης. Ένα πακέτο πληροφορίας στρώματος σύνδεσης μπορεί να χωρέσει σε μία χρονοσχιμή. Εάν μία ροή είναι προγραμματισμένη να μεταδώσει αρκετά πακέτα σε ένα πλαίσιο, ο χρονοπρογραμματιστής προσπαθεί να τα τοποθετήσει στην ίδια σχισμή με ορθογωνικό πολλαπλό κώδικα CDMA (MC-CDMA). Τα πακέτα θα φθάσουν στο σταθμό βάσης χωρίς παρεμβολή το ένα με το άλλο εξαιτίας του ίδιου περιβάλλοντος μετάδοσης. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται η χωρητικότητα του συστήματος.



#### 6.4.9 Ανάκαμψη από λάθη στο στρώμα ζεύξης

Το TCP αρχικά αναπτύχθηκε για ενσύρματα δίκτυα με αξιόπιστες φυσικές συνδέσεις. Όταν μία TCP σύνδεση περιλαμβάνει μία ασύρματη ζεύξη στην από άκρη σε άκρη διαδρομή της, η επίδοσή της υποφέρει από σοβαρή υποβάθμιση της διέλευσης, καθώς το TCP θεωρεί τις απώλειες πακέτων λόγω της αναξιόπιστης ασύρματης μετάδοσης ως μία ένδειξη συμφόρησης του δικτύου, μειώνοντας το ρυθμό μετάδοσης της σύνδεσης. Επακόλουθα αυξάνει το ρυθμό μετάδοσης σε ένα πιο αργό ρυθμό και επομένως υποχρησιμοποιεί το διαθέσιμο ασύρματο εύρος ζώνης. Από την άλλη πλευρά, το UDP από μόνο του δεν παρέχει εκείνους του μηχανισμούς που θα εξασφαλίσουν τη σωστή χρονική παράδοση ή άλλες εγγυήσεις QoS, αλλά επαναπαύεται σε υπηρεσίες χαμηλότερου στρώματος για την πραγματοποίησή τους. Προκειμένου να βελτιωθούν οι επιδόσεις των UDP και TCP πάνω σε ένα ασύρματο κανάλι, είναι απαραίτητο να καταφύγουμε σε έλεγχο λαθών στρώματος ζεύξης.

Συνήθως χρησιμοποιούνται δύο κατηγορίες μηχανισμών ελέγχου λαθών:

- *Προωθημένη διόρθωση λαθών (Forward Error Correction - FEC)*
- *Αυτόματη αίτηση επανάληψης (Automatic Repeat reQuest - ARQ)*

Ο μηχανισμός FEC διορθώνει τα λάθη σε βάρος του πλεονασμού και της υπολογιστικής πολυπλοκότητας. Στο μηχανισμό ARQ, με τη χρήση κώδικα εντοπισμού λάθους, συμπεριλαμβανομένου στο μεταδιδόμενο πακέτο, λάθη μπορούν να εντοπιστούν στο τελικό δέκτη και αναμετάδοση μπορεί να ζητηθεί μέσω ενός καναλιού ανάδρασης. Υπάρχουν υβριδικά συστήματα FEC/ARQ συμπληρωμένα με έλεγχο κυκλικού πλεονασμού (Cyclic Redundancy Check - CRC) τα οποία συστήνονται από πρόσφατες μελέτες ως οι περισσότερο κατάλληλοι υποψήφιοι για ασύρματες μεταδόσεις. Το υβριδικό FEC/ARQ είναι σχεδιασμένο με βάση την ακρίβεια μετάδοσης και απαιτήσεις καθυστέρησης για διαφορετικές κατηγορίες κίνησης.

Μία ροή εγγυημένης υπηρεσίας χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο TCP στο στρώμα μεταφοράς, ενώ χαρακτηρίζεται από ανεκτικότητα στη καθυστέρηση και απαιτεί υψηλή αξιοπιστία. Συνεπώς σε μία ροή εγγυημένης υπηρεσίας επιτρέπονται απεριόριστες αναμεταδόσεις. Εάν ένα πακέτο στρώματος ζεύξης μεταδοθεί επιτυχημένα σε ένα πλαίσιο άνω ζεύξης, μία επιβεβαίωση λαμβάνεται στο κινητό τερματικό πριν τις πακετό-σχισμές του επόμενου πλαισίου άνω ζεύξης. Διαφορετικά το πακέτο θα αναμεταδίδεται επαναλαμβανόμενα μέχρι να ληφθεί επιτυχημένα. Ο κύριος προβληματισμός γύρω από τις απεριόριστες αναμεταδόσεις είναι η πιθανότητα εισαγωγής ανταγωνιστικών αναμεταδόσεων μεταξύ του TCP και του ARQ του στρώματος ζεύξης εξαιτίας πρόωρα ληξιπρόθεσμων TCP μεταδόσεων και εκτός λειτουργίας του μηχανισμού παράδοσης TCP πακέτων [24].

Αυτή η αρνητική συνέπεια γίνεται αμελητέα σε ένα σύστημα όταν:

- Με τον έλεγχο ισχύος, τα γεγονότα απώλειας πακέτου στο στρώμα ζεύξης είναι περίπου ανεξάρτητα.
- Η πιθανότητα επιτυχημένης μετάδοσης πακέτου στο στρώμα ζεύξης σε βέλτιστη κατανομή πόρων είναι υψηλή (π.χ. 90%).
- Οι επιβεβαιώσεις ACKs για μεταδόσεις της άνω ζεύξης μπορεί να σταλούν πίσω εγκαίρως.
- Η υλοποίηση TCP συνήθως χρησιμοποιεί μία χονδρική τιμή στο timeout (π.χ. 500 ms) προσαρμόζοντας την σύμφωνα με το μετρημένο χρόνο round-trip-time (RTT).

Όλοι αυτοί οι παράγοντες καθορίζουν ότι η πιθανότητα πρόωρων timeout και η πιθανότητα να βρεθεί εκτός λειτουργίας ο μηχανισμός παράδοσης TCP πακέτων είναι αμελητέες. Ο κινητός χρήστης χρησιμοποιεί μία ουρά αναμονής, με τυχαία έγκαιρη ανίχνευση (Random Early Detection - RED), ως τον απομονωτή (buffer) TCP πακέτων. Ο αλγόριθμος RED έχει την ικανότητα να ελέγχει τη καθυστέρηση στην ουρά αναμονής και να αποτρέπει συνεχόμενες απώλειες πακέτων. Οι απώλειες πακέτων στην ουρά αναμονής RED θα ανακτώνται με TCP μηχανισμούς ελέγχου λαθών. Ως αποτέλεσμα, η εγγυημένη υπηρεσία κινητού χρήστη θα δει μία από άκρη σε άκρη μετάδοση χωρίς λάθη. Η απαίτηση διέλευσης της εγγυημένης υπηρεσίας βασίζεται στη σύζευξη του στρώματος μεταφοράς (πρωτόκολλο TCP) και του στρώματος ζεύξης.

Για τις ευαίσθητες στις καθυστερήσεις ροές φωνής που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο UDP, εξετάζονται περιορισμένες αναμεταδόσεις. Το πλήθος των αναμεταδόσεων καθορίζεται βάση του περιθωρίου καθυστέρησης στην υπηρεσία φωνής. Εάν ένα πακέτο στρώματος ζεύξης δε ληφθεί από το σταθμό βάσης με επιτυχία μέσα στο χρονικό περιθώριο των αναμεταδόσεων, τότε το πακέτο και τα υπόλοιπα του ίδιου UDP πακέτου θα απορριφθούν. Το πλήθος των αναμεταδόσεων καθορίζεται βάση του λαμβανόμενου λόγου ενέργειας bit σήματος προς τη πυκνότητα παρεμβολής συν το θόρυβο, στο φυσικό στρώμα. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζονται και το όριο καθυστέρησης και το όριο ρυθμού απωλεσθέντων πακέτων του πρωτοκόλλου UDP, στο στρώμα μεταφοράς.

## 6.5 Στόχοι συστημάτων 4<sup>ης</sup> γενιάς

Στόχος της 4<sup>ης</sup> γενιάς είναι η ανάπτυξη συστημάτων πλήρως βασισμένα στην τεχνολογία IP. Αυτό πρόκειται να επιτευχθεί με την σύγκλιση ενσύρματων και ασύρματων τεχνολογιών που θα είναι δυνατόν να παρέχουν ταχύτητες μετάδοσης από 100 Mbps έως και 1 Gbps, με εξαιρετική ποιότητα και υψηλό επίπεδο ασφαλείας. Οι κυρίαρχες τεχνολογίες θα είναι η τεχνολογία *OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)* και η *OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)* για την καλύτερη τοποθέτηση πολλαπλών χρηστών. Επίσης, η 4G τεχνολογία θα βασίζεται μόνο σε μεταγωγή πακέτων, σε αντίθεση με τη 3G που υποστήριζε μετάδοση και με μεταγωγή κυκλωμάτων.



Οι βασικοί στόχοι για τα συστήματα 4<sup>ης</sup> γενιάς είναι οι εξής:

- *Διαλειτουργικότητα:* Τα συστήματα τέταρτης γενιάς πρέπει να παρουσιάζουν ευέλικτη διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών των υπάρχοντων ασύρματων δικτύων, όπως τα κυψελικά δίκτυα, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, τα δορυφορικά δίκτυα, τα δίκτυα προσωπικής περιοχής και τα συστήματα σταθερών ασύρματων ζεύξεων. Η έννοια της διαλειτουργικότητας θα παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα περιαγωγής μεταξύ δικτύων διαφορετικών προτύπων με αδιάλειπτη παροχή υπηρεσιών, με στόχο τη μετατροπή της παγκόσμιας επικοινωνιακής υποδομής σε ένα ενιαίο δίκτυο που θα είναι προσβάσιμο από τους χρήστες ανεξάρτητα από συγκεκριμένες μεθόδους προσπέλασης.
- *Υποστηρίζόμενο εύρος ζώνης και χρόνος ζωής μπαταριών:* Τα τερματικά των δικτύων επόμενης γενιάς θα υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα επιλογών εύρους ζώνης, που θα κυμαίνεται από μερικά Kbps έως 100 Mbps ή και παραπάνω. Οι μπαταρίες των συσκευών αναμένεται να έχουν χρόνο ζωής περίπου μία εβδομάδα, καθώς και μείωση βάρους και όγκου.
- *Σταθερό δίκτυο μεταγωγής πακέτων:* Η αρχιτεκτονική τέταρτης γενιάς αναμένεται να χρησιμοποιεί ένα ασυνδεδασμένο (connectionless) σταθερό δίκτυο μεταγωγής πακέτων (βασισμένο στο πρωτόκολλο IP) προκειμένου να διασυνδέει τα διάφορα ασύρματα δίκτυα.



- *Μεταβολή εύρους ζώνης για την ασύρματη πρόσβαση:* Η διασύνδεση των διαφορετικών δικτύων σε μια κοινή πλατφόρμα θα παρέχει ένα δίκτυο που θα αποτελείται από διαφορετικά - επικαλυπτόμενα επίπεδα, τα οποία και θα προσφέρουν διαφορετικές ταχύτητες πρόσβασης στους χρήστες, ανάλογα με τη γεωγραφική τους θέση.
- *Προηγμένοι σταθμοί βάσης:* Οι σταθμοί βάσης των δικτύων μελλοντικών γενιών θα χρησιμοποιούν έξυπνες κεραιές προκειμένου να αυξήσουν τη χωρητικότητα του δικτύου, καθώς και θα υποστηρίζουν ένα πλήθος διασυνδέσεων ώστε να παρέχουν πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα τερματικών.
- *Υψηλότερες ταχύτητες πρόσβασης:* Τα συστήματα τέταρτης γενιάς αναμένεται να παρέχουν ταχύτητες μεγαλύτερες από τα 50 Mbps, ενώ τα συστήματα τρίτης γενιάς παρέχουν στην καλύτερη περίπτωση ανώτατο όριο ταχύτητας των 2 Mbps [21].

## 6.6 Προβλεπόμενα χαρακτηριστικά 4G τεχνολογίας

Αν και δεν υπάρχει καθολικός ορισμός για το τι θα αποτελεί την 4G τεχνολογία και ποιο θα είναι το χαρακτηριστικό σημείο της, το όραμα της 4G τεχνολογίας αναπτύσσεται με τη βοήθεια διαφορετικών απόψεων ανά τον κόσμο.

Στην Ευρώπη, το 4G παρουσιάζεται ως ένα δίκτυο μέσα σε άλλα δίκτυα που περιλαμβάνει διασύνδεση μεταξύ των δικτύων και των διαφόρων συσκευών. Σε αυτό τον τύπο δικτύου, οι ακόλουθες διαφορετικές τεχνολογίες θα μπορούσαν να συνυπάρξουν με αδιάληπτες (seamless) συνδέσεις όπως:

- Κυψελωτή κινητή τηλεφωνία (2, 2.5, 3G)
- Ασύρματο τοπικό δίκτυο LAN (IEEE 802.11 x)
- Δίκτυο προσωπικής περιοχής (Bluetooth)
- Ψηφιακή ευρεία μετάδοση (βίντεο, ήχος, DVB, DAB)
- Ασύρματο δίκτυο οικιακής ψυχαγωγίας

Στις ΗΠΑ, το 4G αναμένεται να είναι ο συνδυασμός του ασύρματου δικτύου τοπικής πρόσβασης (WLAN) και του IEEE 802.20, ενώ στην Ασία το 4G προβλέπεται ως μια εναέρια διεπαφή που θα υποστηρίζει μέχρι 100 Mbps ρυθμούς για υψηλή φορητότητα και 1Gbps για χαμηλή.

Οι απαιτήσεις των συστημάτων 4<sup>ης</sup> γενιάς συνοψίζονται παρακάτω:

- *Υψηλός ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας με εύρος από 20-200 Mbps*: Ασύρματα LAN και ασύρματα συστήματα πρόσβασης ευρείας ζώνης λειτουργούν ήδη στη ζώνη των 5 GHz και έχουν αναπτυχθεί στην Ιαπωνία (MMAC), στην Ευρώπη (Hyperlan 2) και στην Αμερική (IEEE 802.11) με ταχύτητα 20-30 Mbps. Η ελάχιστη ταχύτητα που έχει τεθεί ως στόχος για τα 4G συστήματα θα είναι 10-20 Mbps για ακίνητα περιβάλλοντα και 2 Mbps για κινούμενα οχήματα.
- *Μεγαλύτερη χωρητικότητα και μικρότερο κόστος ανά bit*: Η χωρητικότητα των 4G συστημάτων πρέπει να είναι τουλάχιστον δέκα φορές υψηλότερη από την αντίστοιχη των 3G για να εξυπηρετήσει την εκρηκτικά αυξανόμενη κίνηση των πολυμέσων, ενώ το κόστος ανά bit πρέπει να μειωθεί δραματικά ώστε η χρέωση να μην είναι απαγορευτική.
- *Εξαιρετική ποιότητα παροχής υπηρεσιών (QoS)*: Τα ασύρματα συστήματα χρησιμοποιούν περιορισμένο εύρος συχνοτήτων και μεταδιδόμενης ισχύος υποφέροντας από συμφόρηση, με αποτέλεσμα να κρίνεται αναγκαία η εξαιρετική ποιότητα υπηρεσιών για την υποστήριξη διαφορετικών εφαρμογών, ιδιαίτερα αυτών που απαιτούν επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.
- *Υποστήριξη Internet νέας γενιάς*: Η υποστήριξη πρωτοκόλλων Internet νέας γενιάς (IPv6) και πολυμετάδοσης (multicasting) είναι σημαντική, ιδιαίτερα για εφαρμογές ηλεκτρονικού εμπορίου.
- *Πληρέστερη χωρική κάλυψη με μεταβλητή ταχύτητα μετάδοσης*: Καθώς οι ταχύτητες μετάδοσης αυξάνονται, το απαιτούμενο επίπεδο λαμβανομένου σήματος αυξάνεται ανάλογα (η επιδιωκόμενη ταχύτητα των συστημάτων 4G είναι μεγαλύτερη από δύο τάξεις μεγέθους σε σχέση με τα υπάρχοντα συστήματα, άρα σε περίπτωση που δεν προστεθεί ένας μεγάλος αριθμός σταθμών βάσης θα μειωθεί η ακτίνα της κυψέλης και θα υποβαθμιστεί η κάλυψη στο εσωτερικό των κτιρίων). Η χρήση τέτοιων συστημάτων μετάδοσης μεταβλητής απόστασης και ταχύτητας (wide-range variable-speed) κρίνεται ως αναγκαία για ικανοποιητική κάλυψη εσωτερικών χώρων και μετάβαση σε διαφορετική κυψέλη χωρίς προβλήματα ανεξαρτήτως της τεχνολογίας των συστημάτων (3G, 4G).
- *Ομοιά διασύνδεση με συστήματα 3G, σταθερά και ασύρματα δίκτυα (WLAN)*: Η χρήση τεχνολογίας μέσω IP επιτρέπει την ομοιά διασύνδεση διαφορετικών τεχνολογιών, με αποτέλεσμα ο κάθε χρήστης να μπορεί να επιλέγει το καλύτερο δίκτυο ανά περίπτωση (ανάλογα με τον χρόνο, το χώρο και το κόστος).
- *Προσαρμογή φυσικής και λογικής πρόσβασης (Physical and MAC interface)*: Δημιουργία αλγορίθμων για εξοικονόμηση ενέργειας μέσα στις φορητές συσκευές με σκοπό την προσαρμογή, αναλόγως του δικτύου που χρησιμοποιείται κάθε φορά [26].

Τα ασύρματα δίκτυα θα παρέχουν στο χρήστη υψηλής απόδοσης επικοινωνία χωρίς ασυνέχειες, όμοια της αντίστοιχης προσφερόμενης από τα ενσύρματα δίκτυα. Τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς αναμένεται να υποστηρίζουν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, τουλάχιστον κατά μια τάξη μεγέθους, και επαρκή ποιότητα υπηρεσιών (QoS) σε σχέση με τα 3<sup>ης</sup> γενιάς δίκτυα. Η κατανομή φάσματος πρόκειται να είναι τέτοια ώστε να υποστηρίζονται αυτοί οι υψηλοί ρυθμοί πάνω σε κυψέλες μεσαίου μεγέθους.



Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων θα είναι 100Mbps και άνω, και θα παρέχουν υπηρεσίες πολυμέσων με χαμηλότερο κόστος. Τα δίκτυα που θα χρησιμοποιούνται, αναμένεται να αποτελούνται εξ' ολοκλήρου από κυκλώματα μεταγωγής πακέτων, ενώ όλα τα στοιχεία του δικτύου θα είναι ψηφιακά. Επιπλέον, σημαντικό χαρακτηριστικό των δικτύων 4<sup>ης</sup> γενιάς θα αποτελέσει η χαμηλή ιεραρχία στην αρχιτεκτονική, με σημεία πρόσβασης και τερματικά να υποστηρίζουν πολλαπλούς τρόπους πρόσβασης.

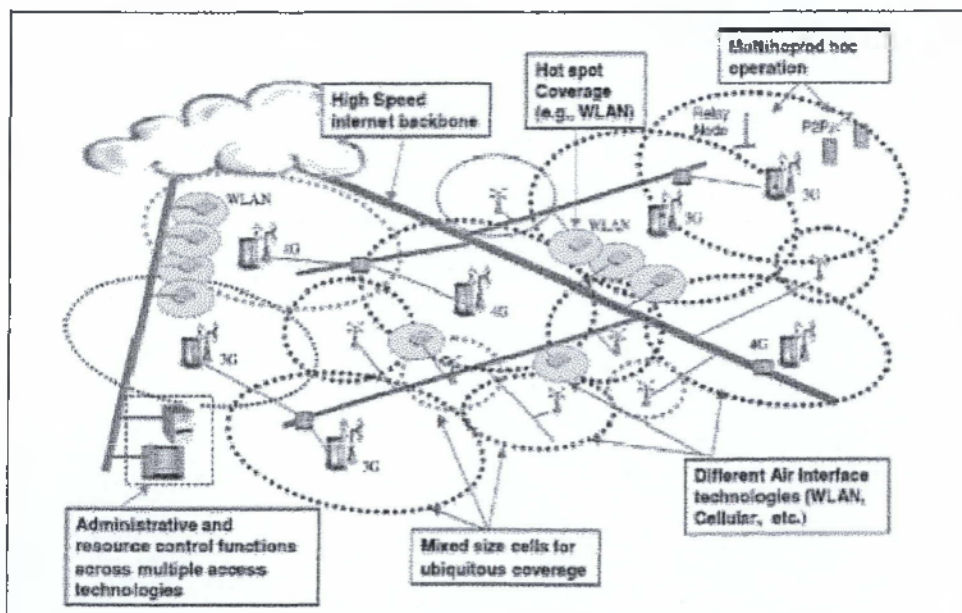
Για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων, τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς θα παρουσιάζουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- *Πανταχού κάλυψη υπηρεσιών:* οι χρήστες αναμένεται να απολαμβάνουν οποιαδήποτε υπηρεσία επιθυμούν οπουδήποτε και οποτεδήποτε, χωρίς να παρεμποδίζονται από περιορισμούς που ενυπάρχουν σε ένα ασύρματο δίκτυο.
- *Βελτιωμένη συνδεσιμότητα:* οι χρήστες πρόκειται να είναι συνέχεια συνδεδεμένοι στα πιο επαρκή δίκτυα πρόσβασης, όσον αφορά στη χρησιμοποίηση πόρων του δικτύου, ώστε να εξασφαλίζονται κάθε φορά η ζητούμενη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) και οι απαιτήσεις κινητότητας.
- *Συνεχής σύνδεση:* οι χρήστες θα είναι πάντοτε συνδεδεμένοι στο ετερογενές δίκτυο, θα μπορούν να συνδέονται και να τυγχάνουν ελάχιστης καθυστέρησης στην πρόσβαση, για όσο διάστημα το τερματικό τους είναι σε λειτουργία.

Η εξ' ολοκλήρου κάλυψη μιας υπηρεσίας μπορεί να μετρηθεί από τη διαθεσιμότητα της σε μια περιοχή για έναν ελάχιστο αριθμό χρηστών. Το σύστημα, προσφέρει στον πάροχο τη δυνατότητα μεγιστοποίησης της χωρητικότητας με την απαγόρευση της πρόσβασης σε ειδικές υπηρεσίες, για κάποιους χρήστες. Ως αποτέλεσμα, ο πάροχος δύναται να προσαρμόζει τις δυνατότητες του συστήματος στις προσφερόμενες υπηρεσίες χωρίς να διακινδυνεύεται η κάλυψη της υπηρεσίας.



Τα 3<sup>ης</sup> γενιάς δίκτυα αντιμετωπίζουν πρόβλημα κορεσμού, καθώς οι υπηρεσίες που προσφέρουν αδυνατούν να εξυπηρετήσουν πολλούς χρήστες ταυτόχρονα. Αντίθετα, τα 4<sup>ης</sup> γενιάς δίκτυα παρέχουν τη δυνατότητα υποστήριξης ενός μεγάλου αριθμού χρηστών και της κάλυψης υπηρεσιών οπουδήποτε και οποτεδήποτε, που οφείλεται στην υψηλότερη επάρκεια φάσματος που επιτυγχάνεται με τη χρήση καινοτόμων τεχνικών στις διεπαφές ραδιοεπικοινωνίας και τον εμπλουτισμό των τεχνικών κάλυψης. Πολλές διαφορετικές ασύρματες διεπαφές ραδιοεπικοινωνίας (WLAN, 2G και 3G κυψελωτά συστήματα, peer-to-peer κ.α.) με ποικιλία στα μεγέθη των κυψελών, σχηματίζουν ένα ολοκληρωμένο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης, η αρχιτεκτονική του οποίου βασίζεται στην ιδέα της βέλτιστης συνδεσιμότητας, όπως παρουσιάζεται στην *Εικόνα 47*.



*Εικόνα 47 Αρχιτεκτονική Ολοκληρωμένου Δικτύου Ασύρματης Πρόσβασης*

Η διαλειτουργικότητα δικτύων αποτελεί τάση η οποία έχει ξεκινήσει με τα τρίτης γενιάς δίκτυα να λειτουργούν χωρίς ασυνέχειες με τα ασύρματα LANs, παρέχοντας πανταχού πρόσβαση. Το βασικό κριτήριο σύνδεσης ενός χρήστη σε οποιοδήποτε από τα παραπάνω δίκτυα πρόσβασης θα είναι η μεγιστοποίηση της εμπειρίας από τη πλευρά του χρήστη, καθώς και η εξασφάλιση της οικονομικότερης χρήσης των πόρων από τη πλευρά του παρόχου. Σημειώνεται πως ο διαχωρισμός των χρηστών στα διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης αποτελεί ένα πολύ σημαντικό ζήτημα [27].

## 6.7 Υπηρεσίες και εφαρμογές 4<sup>ης</sup> γενιάς

Η ανάπτυξη των εφαρμογών και οι υπηρεσίες που μια νέα τεχνολογία προσφέρει, αποτελεί σε κάθε περίπτωση το μείζον ερώτημα και τον κύριο στόχο αυτής. Η τεχνολογία από μόνη της δεν είναι ο στόχος αλλά το μέσο για κάποιο στόχο. Και ο στόχος είναι η ανάπτυξη εφαρμογών και υπηρεσιών που θα γίνουν καθημερινή συνήθεια για τους χρήστες, και θα τους δώσουν την απαραίτητη βοήθεια για να καλύψουν τις όποιες ανάγκες τους.

Μερικές από τις εφαρμογές και υπηρεσίες που θα προσφέρουν τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς υπάρχουν ήδη, με αποτέλεσμα να βελτιστοποιήσουν τις υπηρεσίες αυτές, ενώ ταυτόχρονα αναμένεται να δημιουργηθούν και άλλες που θα φέρουν πραγματική επανάσταση στους αντίστοιχους χώρους. Αυτό που είναι σίγουρα αδύνατο να προβλεφθεί είναι τα τεχνολογικά επιτεύγματα, η εξέλιξη του πολιτισμού καθώς και οι ανάγκες των πελατών στο μέλλον.

Τα κινητά τηλέφωνα 4<sup>ης</sup> γενιάς θα έχουν ρυθμοαπόδοση 100 Mbps, ισοδύναμη της ταχύτητας στις επικοινωνίες των οπτικών ινών. Αναμένεται λοιπόν, οι χρήστες να έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν μεγάλης ευκρίνειας τηλεόραση στα κινητά τους ακόμη και όταν θα βρίσκονται επιβιβασμένοι σε ταχύτατα τρένα. Οι υπηρεσίες που προσφέρονται από τα δίκτυα τρίτης γενιάς θα συνεχίσουν να προσφέρονται και από την τέταρτη γενιά δικτύων, παρουσιάζοντας ωστόσο σημαντικές αλλαγές στην ποιότητα και την ταχύτητα. Υπηρεσίες που μέχρι σήμερα δεν είναι ευρέως διαδεδομένες (π.χ. τηλεσυνδιάσκεψη), αναμένεται να γνωρίσουν μεγάλη αναγνώριση εξαιτίας της καλύτερης ποιότητας που προσφέρουν και της διαφοροποίησής τους ανάμεσα στα υπάρχοντα μοντέλα της αγοράς. Αντίστοιχα, υπηρεσίες που είναι ήδη ευρέως διαδεδομένες (π.χ. μουσική), θα αποκτήσουν ακόμη μεγαλύτερη απήχηση στο κοινό.

Ο τομέας που προβλέπεται να επωφεληθεί από τις εξελίξεις αναμένεται να είναι το ηλεκτρονικό εμπόριο. Τα 4G βοηθούν στο κατέβασμα (downloading) ολόκληρων τραγουδιών ή μουσικών κομματιών, αλλάζοντας την ανταπόκριση της αγοράς σημαντικά. Επίσης, μεγάλη άνθηση έχουν γνωρίσει και τα on-line παιχνίδια, όπως και τα τυχερά παιχνίδια.

Τα 4G δίκτυα επιτρέπουν αρχικά τη μετάδοση υψηλής ποιότητας video χωρίς διακοπές και άλλες μορφές δεδομένων μεγάλης ταχύτητας, που αποτελούν μερικά από τα κύρια οφέλη τους και σημαντικοί λόγοι για τη συνεχή ανάπτυξή τους. Ωστόσο, υπάρχουν ήδη δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς που προσφέρουν αυτές τις υπηρεσίες και το WiMAX υπόσχεται να κάνει το ίδιο. Το ερώτημα που προκύπτει είναι το κατά πόσο απαραίτητη και αναπόφευκτη είναι η ανάγκη για τα 4G δίκτυα.

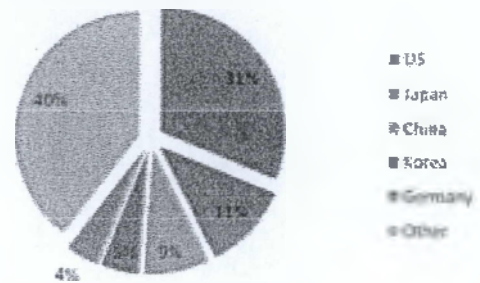
Σύμφωνα με έρευνες, το όλο θέμα έγκειται στον αριθμό των εγγεγραμμένων συνδρομητών και τη γενικότερη ζήτηση για τις υπηρεσίες αυτού του είδους. Τα δίκτυα 3<sup>ης</sup> γενιάς δεν μπορούν να υποστηρίξουν πολλούς χρήστες, ενώ η 4<sup>η</sup> γενιά δικτύων προβλέπεται να είναι ικανή να προσφέρει τέτοιου είδους υπηρεσίες σε πολλούς πελάτες. Σε επίπεδο ζήτησης για υπηρεσίες δεδομένων (data-based), αναμένεται να υπάρχει μεγάλη ποικιλία επιλογής. Κάποιοι χρήστες ίσως επιλέξουν υπηρεσίες video,

ορισμένοι ίσως θέλουν να μεταφέρουν εικόνες υψηλής ανάλυσης και ακόμη κάποιοι άλλοι πιθανότατα να βρίσκουν πιο χρήσιμες τις εταιρικές εφαρμογές ή άλλες εκλεπτυσμένες υπηρεσίες. Σε κάθε περίπτωση, όσο η ζήτηση των πελατών θα αυξάνεται σε ποσότητα αλλά και ποιότητα, τόσο περισσότερο θα αναδιώνεται η αξία των 4G δικτύων.

Παρακάτω παρατίθεται ένας ενδεικτικός κατάλογος υπηρεσιών και εφαρμογών 4<sup>ης</sup> γενιάς:

- *Τηλεπαρουσία (tele-presence)*: εφαρμογές που χρησιμοποιούν όλες τις ανθρώπινες αισθήσεις για να παρέχουν στους χρήστες την αίσθηση της πραγματικής ύπαρξης σε μια συγκεκριμένη περιοχή, υπηρεσίες εικονικής πραγματικότητας πραγματικού χρόνου με υποστήριξη εφαρμογών εικονικών συνεδριάσεων με αποδοτικές τεχνικές συμπίεσης και πρόσβαση σε ταχύτητες της τάξης των 100 Mbps, μικρές μεταβολές στην καθυστέρηση και υψηλά επίπεδα ποιότητας υπηρεσιών (ουσιαστικά η εξέλιξη των σημερινών τηλεδιασκέψεων).
- *Πρόσβαση σε πληροφορίες (info-access)*: δυνατότητα στιγμιαίας πρόσβασης σε μεγάλους όγκους δεδομένων (π.χ. μεγάλα αρχεία βίντεο και ήχου), εφαρμογές λιγότερο ευαίσθητες στη μεταβολή καθυστέρησης, με απαιτήσεις μέγιστων ταχυτήτων, ασύμμετρη κίνηση, με αναλογία εύρους ζώνης κατωφερών-ανωφερών συνδέσεων κοντά στο 50 προς 1.
- *Επικοινωνία μεταξύ μηχανών*: εφαρμογές που παρέχουν δυνατότητα επικοινωνίας σε συσκευές για λόγους συντήρησης, ή πρόσθετης νοημοσύνης και λειτουργικότητας (π.χ. επικοινωνία με ασύρματες διασυνδέσεις τμημάτων εξοπλισμού των μηχανών ενός αυτοκινήτου με προμηθευτές σε περιπτώσεις δυσλειτουργιών).
- *Ευφυείς αγορές (intelligent markets)*: άμεση πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με τις τιμές και τα χαρακτηριστικά των προϊόντων που προσφέρονται από καταστήματα (π.χ. αυτόματη σύνδεση τερματικού με το φορέα παροχής πληροφοριών ενός καταστήματος για λήψη πληροφοριών σχετικά με τα προς πώληση προϊόντα).
- *Ασφάλεια (security)*: εξασφάλιση ακεραιότητας των μεταφερόμενων δεδομένων, υπηρεσίες ασφαλείας για την προστασία των προσωπικών δεδομένων των χρηστών, με αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση των τραπεζικών συναλλαγών, των ηλεκτρονικών πληρωμών και γενικότερα του ηλεκτρονικού εμπορίου.

Global top five 4G markets, 2014



Data is share of global 4G subs  
Source: Informa Telecoms & Media



- *Υπηρεσίες βασισμένες στη γεωγραφική θέση*: δυνατότητα επακριβούς καθορισμού της θέσης ενός χρήστη (ιδιαίτερα χρήσιμες εφαρμογές σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης εντοπισμού με υψηλή ακρίβεια, ανιχνεύοντας τη γεωγραφική θέση του τηλεφώνου του χρήστη που αδυνατεί να προσδιορίσει τη θέση του, από το δίκτυο).
- *Εικονική πλοήγηση (virtual navigation)*: τοπογραφικά στοιχεία πάντα διαθέσιμα και απολύτως ενημερωμένα σε μια απομακρυσμένη βάση δεδομένων, όσον αφορά την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο χώρος, η τοποθεσία, το κτίριο και η διαδρομή που ενδιαφέρει τον χρήστη (εντοπισμός αξιοθέατων, δυνατότητα επιλογής δρόμων με τη μικρότερη κίνηση ή εναλλακτικών δρόμων σε περιπτώσεις ατυχημάτων κ.α.).
- *Τηλειατρική (telemedicine)*: εφαρμογές της κλινικής ιατρικής στις οποίες η ιατρική πληροφορία μεταφέρεται μέσω δικτύου για σκοπούς διαβούλευσης, ιατρικές διαδικασίες ή εξετάσεις (πρόσβαση σε ιατρικά αρχεία και δυνατότητα τηλεδιάσκεψης των πληρωμάτων των ασθενοφόρων με γιατρούς, γρήγορη μετάδοση ιστορικού ασθενών με σεβασμό στα προσωπικά δεδομένα τους, παρακολούθηση από απόσταση, παροχή κλινικής φροντίδας).
- *Σταθμός πληροφορίας (infostation)*: δυνατότητα λήψης μεγάλου αριθμού αρχείων ή πολυμέσων από το δίκτυο ανά πάση στιγμή (π.χ. κατά τη διάρκεια της οδήγησης σε έναν αυτοκινητόδρομο από και προς το χώρο εργασίας).
- *Εφαρμογές τηλε-γεωδαισίας (tele-geoprocessing)*: συνδυασμός συστημάτων γεωγραφικής πληροφορίας (GIS), συστημάτων παγκοσμίου προσδιορισμού θέσης (GPS) και ασύρματων κινητών συστημάτων υψηλής χωρητικότητας.
- *Εφαρμογές διαχείρισης κρίσεων*: έγκυρη και έγκαιρη πληροφόρηση σε περιπτώσεις φυσικών και άλλων καταστροφών, όταν ολόκληρος ο τηλεπικοινωνιακός ιστός έχει παραλύσει και είναι αναγκαία η γρήγορη επαναλειτουργία των τηλεπικοινωνιών. (η αυξημένη χωρητικότητα των ασύρματων συστημάτων ευρείας ζώνης 4G τα οποία θα περιλαμβάνουν υπηρεσίες Internet και video θα επιτρέψουν την αποκατάσταση σε διάστημα ωρών σε αντιδιαστολή με τα ενσύρματα συστήματα που θα απαιτούσαν ημέρες ή ακόμα και εβδομάδες).
- *Εκπαίδευση μέσω Internet*: εκπαίδευση εξ αποστάσεως με χρήση πολυμεσικού υλικού από χρήστες, καθώς και παροχή ασύρματων επικοινωνιών ευρείας ζώνης για κατοίκους αραιοκατοικημένων ή απομακρυσμένων περιοχών.
- *Κινητά δίκτυα υπολογιστών*: διευκόλυνση οικονομικών συναλλαγών, επιχειρηματικών πράξεων και επιστημονική συνεργασία από απόσταση (με ανάλογο τρόπο με τα σταθερά δίκτυα) [21].

## 6.8 Ετερογενή δίκτυα

Η τέταρτη γενιά ασύρματων δικτύων, δημιουργεί ένα ετερογενές δίκτυο περιλαμβάνοντας πολλά διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης και τερματικά τελικών χρηστών, το οποίο επιτρέπει την εισαγωγή και παροχή πρόσβασης σε πολυάριθμες και πλούσιες σε χαρακτηριστικά υπηρεσίες, ενσωματώνοντας στο ίδιο περιβάλλον τα 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς δίκτυα. Από την πρώτη στιγμή της εισαγωγής τους, υπήρχε βέλπστη πρόσβαση σε ψηφιακές υπηρεσίες οποτεδήποτε και οπουδήποτε, ανεξαρτήτως δικτύου ή τερματικού και ανάλογα με τις προτιμήσεις κάθε χρήστη.

### 6.8.1 Διαχείριση Κινητότητας

Στην τεχνολογία των ετερογενών δικτύων, βασικό χαρακτηριστικό αποτελεί η Διαχείριση Κινητότητας (Mobility Management). Στο ετερογενές περιβάλλον της 4<sup>ης</sup> γενιάς δικτύων οι χρήστες έχουν πρόσβαση σε έναν αυξανόμενο αριθμό δικτύων που κυμαίνονται από τα παραδοσιακά δίκτυα GSM και GPRS ως τα τρέχοντα αναδιδόμενα δίκτυα Wi-Fi και UMTS. Για την διευκόλυνση της συνέχισης των υπηρεσιών σε όλα τα δίκτυα, οι χρήστες πρέπει να διατηρούν την δυνατότητα περιαγωγής από το ένα δίκτυο στο άλλο. Το τεχνικό προαπαιτούμενο για μια τέτοια συμπεριφορά περιαγωγής είναι η διαχείριση κινητότητας, η οποία περιλαμβάνει τον έλεγχο του δικτύου στο οποίο συνδέεται το τερματικό του χρήστη, τη διαδικασία ανακάλυψης νέων δικτύων πρόσβασης, καθώς και το πέρασμα από το ένα δίκτυο στο άλλο.

Καθώς οι υπηρεσίες που μπορούν να υποστηριχτούν από ένα δίκτυο εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του και τους περιορισμούς του (π.χ. χωρητικότητα), κρίνεται αναγκαία σε κάποιες περιπτώσεις η προσαρμογή τους στο περιβάλλον του νέου δικτύου. Ενδεικτικά, αναφέρεται η ύπαρξη δύο τεχνολογιών διαχείρισης κινητότητας: το MIP (Mobile Internet Protocol) και το SIP (Session Internet Protocol). Το MIP αποτελεί μια διανγή λύση διαχείρισης κινητότητας στο επίπεδο δικτύου για εφαρμογές βασισμένες στο IP. Το SIP αποτελεί ένα πρωτόκολλο στο επίπεδο εφαρμογής για την εκκίνηση, διατήρηση και τερματισμό ενοτήτων.

Το MIP κρίνεται επαρκές για TCP συνδέσεις και για τις περισσότερο κοινές εφαρμογές Internet (π.χ. http, chat), ενώ το SIP κρίνεται κατάλληλο για εφαρμογές πραγματικού χρόνου με αυστηρές απαιτήσεις χρόνου.

### 6.8.2 Επιλογή Δικτύου Πρόσβασης

Η προεπιλεγμένη ρύθμιση στα περισσότερα GSM τερματικά, είναι η αυτόματη επιλογή δικτύου. Η ρύθμιση αυτή είναι αποθηκευμένη στο τερματικό, καθώς ελάχιστοι είναι αυτοί που επιλέγουν μηχανική επιλογή δικτύου. Αυτόματη επιλογή δικτύου σημαίνει ότι όταν ο χρήστης κινείται έξω από την κάλυψη ενός GSM δικτύου, το τερματικό αυτόματα ψάχνει και επιλέγει ένα άλλο δίκτυο. Ο χρήστης δεν έχει καμία ανάμειξη στην επιλογή, παρά μόνο όταν δε μείνει ικανοποιημένος με τις υπηρεσίες του επιλεγόμενου δικτύου, οπότε και μπορεί να επιλέξει μηχανικά ένα νέο δίκτυο. Βασικό μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι ο χρήστης θα πρέπει πρώτα να επιλέξει δίκτυο και μετά να πληροφορηθεί για το ποιες υπηρεσίες προσφέρονται από αυτό.

Όσον αφορά στα UMTS δίκτυα, η μεταγωγή γίνεται πάντοτε σε GSM δίκτυο. Το χαρακτηριστικό αυτό κρίνεται απαραίτητο διότι η κάλυψη του UMTS αρχικά είναι περιορισμένη. Σε κέντρα πόλεων, όπου η χωρητικότητα σε κανάλια GSM φωνής είναι περιορισμένη, οι πάροχοι μπορούν να μετάγουν τους χρήστες στις λιγότερο συμφορημένες συχνότητες του UMTS. Παρομοίως, όταν ένας χρήστης απομακρύνεται από μια περιοχή κάλυψης UMTS, μπορεί να μετάγεται αυτόματα σε GSM. Η μεταγωγή ανάμεσα σε αυτά τα δίκτυα γίνεται από τους πάροχους χωρίς να ενημερώνεται ο χρήστης. Επίσης χρησιμοποιούνται και άλλες ασύρματες τεχνολογίες, με πιο επιτυχή το WLAN, ενώ τα κινητά τερματικά είναι εξοπλισμένα με πολλαπλές διεπαφές για να μπορούν να συνδέονται σε πολλά είδη δικτύων την ίδια στιγμή.

Η επιλογή ανάμεσα στα δίκτυα GSM, GPRS, UMTS, WLAN και DVB-T δεν είναι προκαθορισμένη αλλά πραγματοποιείται με βάση ορισμένα κριτήρια που αφορούν κυρίως τόσο στο δίκτυο όσο και στον ίδιο το χρήστη.

Τα κριτήρια επιλογής δικτύου αφορούν πληροφορίες σχετικά με:

- α) τη διαθέσιμη χωρητικότητα του δικτύου τη δεδομένη χρονική στιγμή
- β) ποιες υπηρεσίες υποστηρίζει
- γ) το επίπεδο ποιότητας των προσφερόμενων υπηρεσιών
- δ) τη δυνατότητα πρόσβασης στο δίκτυο από το συγκεκριμένο χρήστη
- ε) το κόστος

Η διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας των παραπάνω πληροφοριών παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες, καθώς αποθηκεύονται σε διαφορετικές οντότητες (το τερματικό, το δίκτυο, την πλατφόρμα υπηρεσιών και τον πάροχο υπηρεσιών), είναι διαθέσιμες σε διαφορετικές μορφές ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιεί κάθε σύστημα, και ο τρόπος ανταλλαγής τους ανάμεσα στα δίκτυα και στα τερματικά δεν είναι καθορισμένος. Επιπλέον, οι πληροφορίες αυτές μεταβάλλονται συχνά (δυναμικές) και είναι ορισμένες φορές περιορισμένες ή και καθόλου διαθέσιμες.



### 6.8.3 Πλατφόρμα Διαχείρισης Ετερογενών Δικτύων

Για να εξασφαλιστεί η δυνατότητα περιήγησης των χρηστών από το ένα δίκτυο πρόσβασης στο άλλο χωρίς διακοπές και σύμφωνα με τις προσωπικές τους προτιμήσεις, θα πρέπει τα ετερογενή δίκτυα να είναι σε θέση να ανταλλάσσουν πληροφορίες που αφορούν στις συνόδους, τις εφαρμογές και το προφίλ του χρήστη μέσω μιας οντότητας, η οποία θα αποτελεί μια πλατφόρμα διαχείρισης. Η πλατφόρμα που δημιουργήθηκε για να διαχειρίζεται τα παραπάνω δίκτυα ονομάζεται και *4G Πλατφόρμα Υπηρεσιών* και αναμένεται να προσφέρει πολλά οφέλη στους τελικούς χρήστες, τους πάροχους υπηρεσιών και τους πάροχους δικτύου.

Πιο συγκεκριμένα, τα οφέλη για τους *τελικούς χρήστες* αναμένεται να είναι:

- Η αυτόματη επιλογή δικτύου ανάλογα με τις προτιμήσεις τους
- Μια μόνο συνδρομή στην πλατφόρμα υπηρεσιών και όχι σε κάποιον πάροχο
- Παντού και πάντοτε σύνδεση και πρόσβαση, ανεξαρτήτως τοποθεσίας
- Παροχή ίδιων ποιοτικά και ποσοτικά υπηρεσιών ανεξάρτητα από την περιοχή που βρίσκονται
- Πλούσιες σε χαρακτηριστικά υπηρεσίες
- Διαχείριση του προφίλ τους και προφύλαξη των προσωπικών τους στοιχείων
- Διατήρηση μιας συνόδου τους κατά τη διάρκεια μεταπομπής

Τα οφέλη για τους *πάροχους υπηρεσιών* αναμένεται να είναι:

- Προφύλαξη των τεχνολογιών και των δικτύων πρόσβασης από μη εξουσιοδοτημένα πρόσωπα
- Παροχή ενός συνόλου διεπαφών
- Παροχή επαυξημένων υπηρεσιών, όπως αρχεία με τα προφίλ των χρηστών και τις τοποθεσίες
- Συμπληρωματικές λειτουργίες, όπως η πιστοποίηση αυθεντικότητας, η χρέωση και ο λογαριασμός κάθε χρήστη

Τα οφέλη για τους *πάροχους δικτύων* θα είναι :

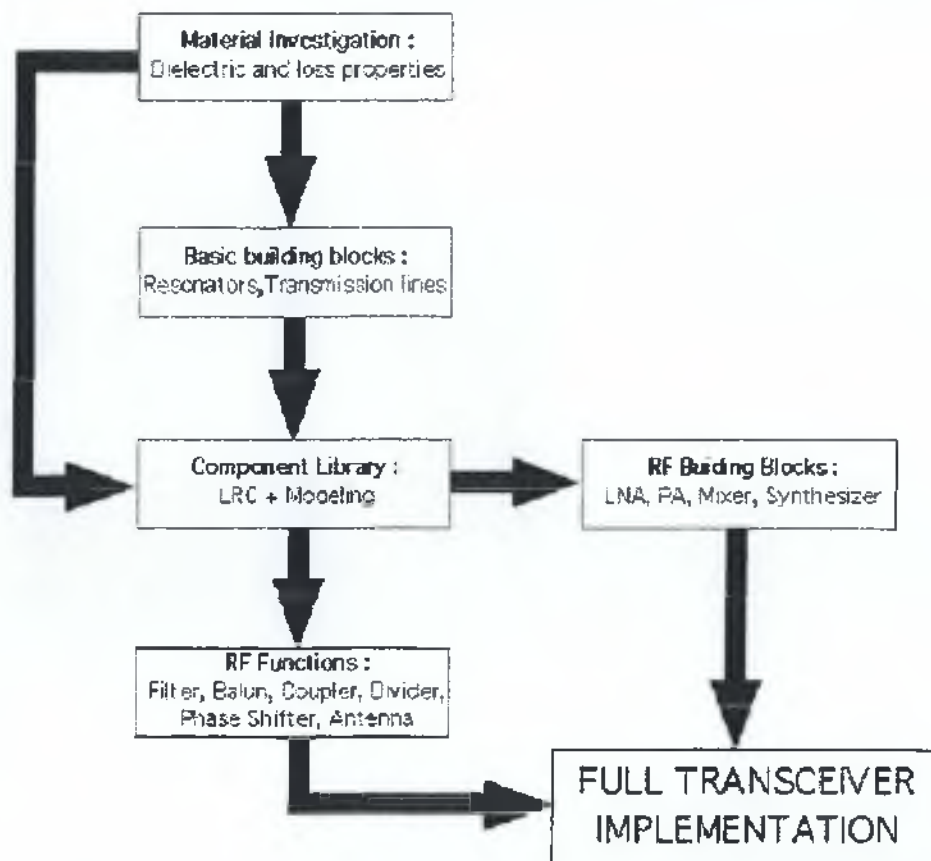
- Επιπλέον έσοδα από χρήστες που επισκέπτονται – χωρίς να αποτελούν συνδρομητές – τα δίκτυά τους
- Συμπληρωματικές λειτουργίες, όπως η πιστοποίηση αυθεντικότητας, η χρέωση και ο λογαριασμός κάθε χρήστη

Ελάχιστη διαχείριση καθώς δεν υπάρχει ανάγκη διατήρησης αρχείων συνδρομητών

## 6.9 Διαδικασία σχεδίασης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων 4G

Η υλοποίηση ενός πλήρους συστήματος αποτελεί έναν συνδυασμό ολοκληρωμένων παθητικών στοιχείων με MMICs που αποτελούνται από ενεργά στοιχεία με ή χωρίς κυκλώματα προσαρμογής υλοποιημένα στο chip. Μια προσεκτική σχεδίαση της τοποθέτησης των στοιχείων σε διαφορετικά επίπεδα είναι αναγκαία για τον προσδιορισμό των στοιχείων που πρέπει να ολοκληρωθούν στο ίδιο chip (on chip) ή στο ίδιο επίπεδο (on board). Η τεχνολογία BGA (Ball-Grid-Array) έχει επιδείξει ικανοποιητικά αποτελέσματα για συνδέσεις RF συστημάτων με τυπωμένα κυκλώματα για συχνότητες έως 36 GHz [28].

Η διαδικασία σχεδίασης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων τέταρτης γενιάς απεικονίζεται στην *Εικόνα 48*, όπου ο στόχος είναι η υλοποίηση ενός πλήρους πομποδέκτη.

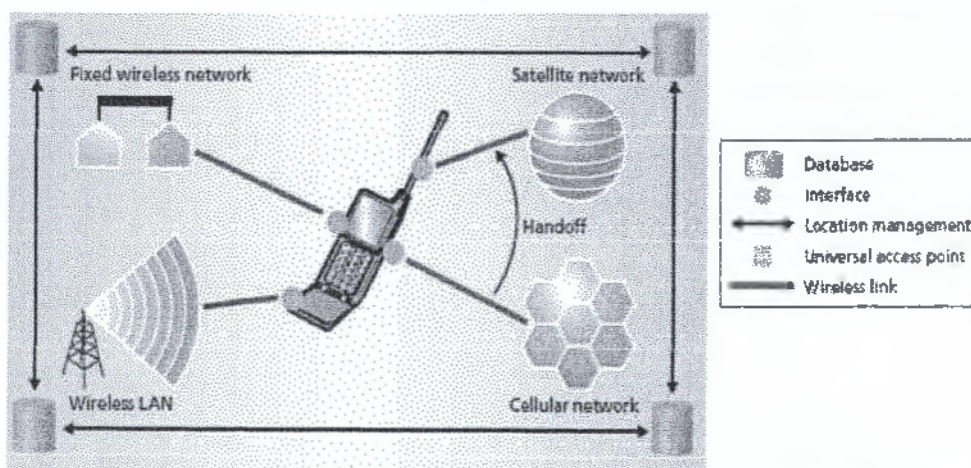


*Εικόνα 48 Διαδικασία σχεδίασης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων 4G*

## 6.10 Επίτευξη διαλειτουργικότητας

Η διαλειτουργικότητα θα οδηγήσει στην ανάγκη πρόσβασης σε διαφορετικά ασύρματα δίκτυα μέσω του ίδιου τερματικού. Οι πιθανές λύσεις που μπορούν να προσδιοριστούν σε αυτό το πρόβλημα είναι οι εξής:

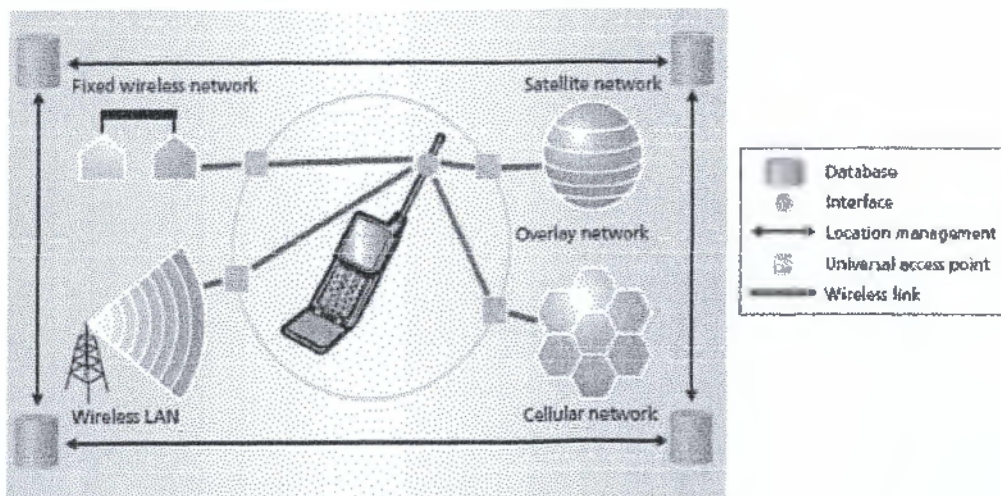
- *Τερματικά πολλαπλού τρόπου λειτουργίας (Multi-mode terminals):* Η επιλογή αφορά την περαιτέρω ανάπτυξη των παλαιότερων συστημάτων και έχει εφαρμοστεί στο παρελθόν (π.χ. κυψελικά τηλέφωνα συμβατά με AMPS και CDMA). Απαιτεί ένα ενιαίο τερματικό που θα είναι σε θέση να επικοινωνήσει με διαφορετικά ασύρματα δίκτυα, ενσωματώνοντας επιπλέον διασυνδέσεις στο τερματικό, μία για κάθε διαφορετικό ασύρματο δίκτυο. Μία συσκευή πολλαπλού τρόπου λειτουργίας επιτρέπει στο χρήστη να ξεκινήσει μεταπομπή (handoff) μεταξύ δικτύων, χωρίς να απαιτείται τροποποίηση του δικτύου ή των αλληλεπιδρώντων συσκευών (Εικόνα 49). Η επιλογή αυτή θα προσφέρει αυξημένη κάλυψη και αξιόπιστη πρόσβαση στις υπηρεσίες σε περίπτωση διακοπής λειτουργίας ενός ή περισσότερων δικτύων σε μια περιοχή. Επιπλέον, δεν αυξάνει την πολυπλοκότητα του σταθερού μέρους του δικτύου, καθώς η πρόσθετη πολυπλοκότητα ενσωματώνεται στις κινητές συσκευές. Κάθε δίκτυο μπορεί να έχει μια βάση που θα κρατά την τοποθεσία του χρήστη, τα χαρακτηριστικά της συσκευής, την κατάσταση του δικτύου και τις προτιμήσεις του χρήστη. Ωστόσο, στην αρχιτεκτονική αυτή παρουσιάζονται προβλήματα με ζητήματα ποιότητας υπηρεσίας (QoS).



Εικόνα 49 Επίτευξη διαλειτουργικότητας με συσκευή πολλαπλού τρόπου λειτουργίας

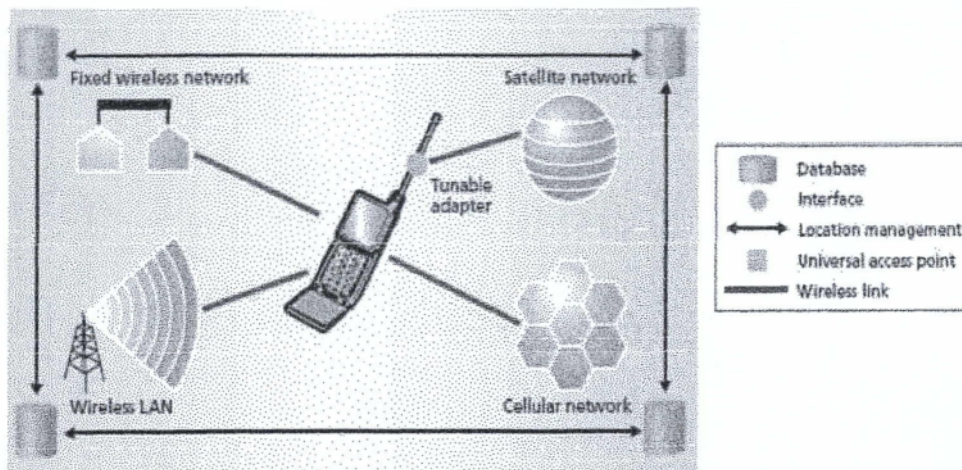


- Δίκτυο επικάλυψης (Overlay network):* Οι χρήστες έχουν πρόσβαση στο δίκτυο μέσω σημείων πρόσβασης (UAPs - Universal Access Points) ενός δικτύου επικάλυψης. Κατά τη διαδικασία σύνδεσης, το σημείο πρόσβασης θα επιλέγει το ασύρματο δίκτυο με το οποίο θα συνδεθεί τελικά το τερματικό. Αυτή η επιλογή μπορεί να βασίζεται σε κάποιες προκαθορισμένες επιλογές από το χρήστη, στη διαθεσιμότητα των πόρων των διαφόρων δικτύων, στις απαιτήσεις για ποιότητα υπηρεσιών, κ.λπ. Κάθε σημείο πρόσβασης αποθηκεύει πληροφορίες για το χρήστη, το δίκτυο και τη συσκευή. Στη περίπτωση αυτή, μεταπομπή (handoff) πραγματοποιείται όταν ο χρήστης μετακινείται από ένα UAP σε ένα άλλο UAP (Εικόνα 50). Δεδομένου ότι ένα σημείο πρόσβασης μπορεί να ελέγξει τους πόρους που χρησιμοποιούνται από ένα χρήστη, η αρχιτεκτονική υποστηρίζει την εύκολη υλοποίηση πολιτικών τιμολόγησης.



Εικόνα 50 Επίτευξη διαλειτουργικότητας με δίκτυο επικάλυψης

*Κοινό πρωτόκολλο πρόσβασης (Common access protocol):* Η επιλογή απαιτεί τη χρήση ενός ή δύο τυποποιημένων πρωτοκόλλων πρόσβασης στα ασύρματα δίκτυα. Μία συσκευή ικανή να εναλλάσσεται αυτόματα μεταξύ δικτύων είναι εφικτή, αν τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να υποστηρίξουν ένα κοινό πρωτόκολλο για να προσπελάσουν ένα δορυφορικό δίκτυο και ένα άλλο πρωτόκολλο για τα επίγεια δίκτυα. Μια πιθανή επιλογή για τα ασύρματα δίκτυα είναι να χρησιμοποιηθούν είτε κυψέλες ασύγχρονου τρόπου μεταφοράς (Asynchronous Transfer Mode, ATM) με επιπλέον κεφαλίδες (headers), είτε κυψέλες ασύρματου ATM (Wireless ATM, WATM) [29].

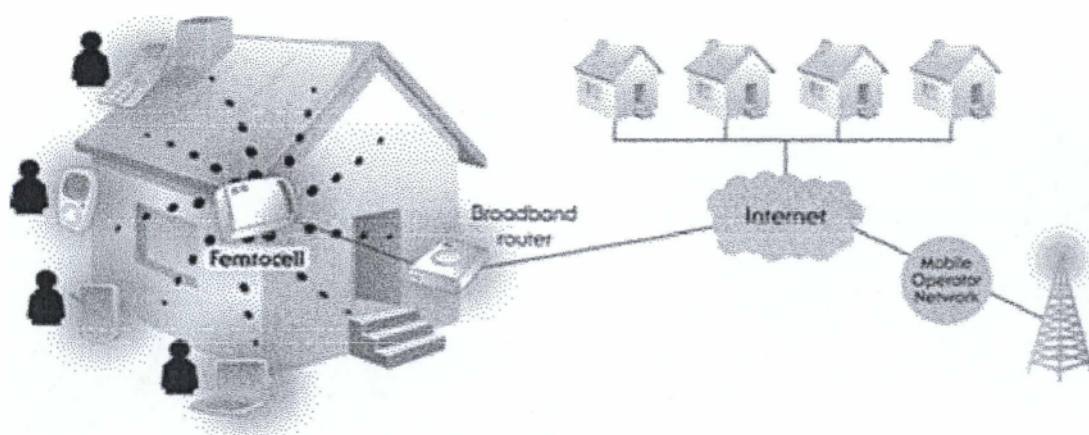


**Εικόνα 51** Επίτευξη διαλειτουργικότητας με κοινό πρωτόκολλο πρόσβασης

## 6.10 Femtocells

Φαίνεται ότι το μέλλον στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και παροχής ασύρματων υπηρεσιών υψηλής ταχύτητας και ποιότητας ανήκει στις φεμτοκυψέλες (femtocells). Τα femtocells έχουν μέγιστη ακτίνα τα 12 μέτρα. Με ένα femtocell σε κάθε δεύτερο σπίτι είναι δυνατή η αύξηση μέχρι και 100 φορές στον αριθμό των κυψελών σε σχέση με το μοντέλο των μακροκυψελών, επιδεικνύοντας τεράστια δυναμική αύξησης της χωρητικότητας.

Τα τελευταία χρόνια γίνεται μεγάλη συζήτηση για τη χρήση femtocells, παρόλο που δεν αντιμετωπίζεται ακόμη σαν μια βασική πρωτοβουλία για το 4G. Η σημασία αυτής της υλοποίησης δεν μπορεί, πάντως, να υποτιμηθεί αφού η πιθανή χρήση της θα αντιμετωπίσει τους περιορισμούς τόσο της χωρητικότητας όσο και της κάλυψης των σημερινών συστημάτων, ενώ οι καλύτερες για την ακτινοβολία συνθήκες που θα υπάρχουν σε περιβάλλοντα femtocells θα μπορέσουν να αυξήσουν τις ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων.



Τα femtocells έχουν δοκιμαστεί ανεπιτυχώς πολλές φορές στο παρελθόν, κυρίως για τηλεφωνικές υπηρεσίες. Το κατά πόσο θα χρησιμοποιηθούν στο μέλλον θα εξαρτηθεί από την κατανόηση των λαθών του παρελθόντος καθώς και από τις προοπτικές που θα δώσουν στη μετάδοση δεδομένων. Ο κρίσιμος παράγοντας που θα κάνει τη μεγάλη διαφορά είναι το Femtoforum, που προσπαθεί να επιλύσει διάφορα σχετικά προβλήματα και να διασφαλίσει την εμπορική επιτυχία των femtocells.



## 6.11 Εξελίξεις και Μελλοντικές τάσεις

Η 4<sup>η</sup> γενιά ασύρματων επικοινωνιών αναπτύσσεται και οι εξελίξεις στην τεχνολογία αλλά και στην αγορά συμβαίνουν τώρα και είναι ραγδαίες. Μεγάλες αλλαγές πρόκειται να γίνουν και στα μελλοντικά κινητά τηλέφωνα, με τους τελικούς χρήστες να αποφασίζουν ποια τάση προτιμούν και ποια όχι. Σύμφωνα με τις προβλέψεις των ερευνητών, πολύ σύντομα τα 4G τηλέφωνα θα βρίσκονται σε πολλά καταστήματα. Ήδη η Ιαπωνία, η Κίνα και η Κορέα έχουν συμφωνήσει να αναπτύξουν από κοινού τεχνολογίες για κινητά τηλέφωνα 4<sup>ης</sup> γενιάς, τα οποία έχουν ήδη εμφανιστεί στην αγορά το 2011. Η συμφωνία στοχεύει στην υιοθέτηση από τις τρεις χώρες ενός κοινού ενοποιημένου πρωτοκόλλου, το οποίο αναμένεται να αποτελέσει παγκόσμιο πρότυπο, καθώς και οι τρεις χώρες μαζί αποτελούν το 30% των χρηστών κινητών τηλεφώνων σε ολόκληρο τον κόσμο.

Διάφορες μορφές της τεχνολογίας 4G έχουν αναπτυχθεί από εταιρείες, όπως είναι η IPWireless, η Navini, η AirtayComm και η Broadstorm, που προσφέρουν έναν δυναμικό συνδυασμό δυνατοτήτων. Στις μέρες μας, αρκετά συστήματα τεχνολογίας 4G έχουν ήδη τεθεί σε λειτουργία, με τις πρώτες εμπορικές εφαρμογές των δικτύων 4G να έχουν πραγματοποιηθεί σε τμήματα των ΗΠΑ, του Καναδά, της Νέας Ζηλανδίας, της Γερμανίας, της Ιταλίας και της Ολλανδίας.

Παρ' όλα τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα δίκτυα τρίτης γενιάς, αυτό δεν φαίνεται να εμποδίζει μεγάλες εταιρείες του χώρου της κινητής τηλεφωνίας από την επίδειξη της λύσης δικτύων κινητής τηλεφωνίας επόμενης γενιάς με την επωνυμία NGMN (Siemens) ή την συνεργασία για την ανάπτυξη ενός (4G) WiMAX δικτύου στις Ηνωμένες Πολιτείες (Sprint Nextel, Motorola, Intel). Στην Ασία, η Samsung συνεχίζει την προώθηση της WiBRO λύσης της, στη Νότια Κορέα.

Στο ίδιο διάστημα, αρκετοί πάροχοι της αμερικανικής, της ασιατικής και της ευρωπαϊκής ηπείρου, σχημάτισαν την NGMN Ltd, με στόχο την απευθείας ενημέρωση των λιανικών πωλητών σχετικά με τις απαιτήσεις υποδομών για την λύση επόμενης γενιάς. Σκοπός τους είναι να μειώσουν την ανάγκη για βαθμιαίες αναβαθμίσεις (UMTS-HSDPA-HSUPA).

Η Samsung πραγματοποίησε ήδη επίδειξη ασύρματης τεχνολογίας, στην οποία χρήστες που στέκονταν σε ένα σταθερό σημείο είχαν σύνδεση 1Gbps, ενώ χρήστες σε κίνηση με ταχύτητα μέχρι 70 μίλια την ώρα είχαν σύνδεση 100 Mbps. Η Ericsson έχει υπογράψει συμφωνία για την κατασκευή δικτύου 4G για την πρωτεύουσα της Σουηδίας, τη Στοκχόλμη. Η υλοποίηση του κινητού ευρυζωνικού δικτύου 4G θα προσφέρει τις υψηλότερες ταχύτητες δεδομένων από ποτέ με την καλύτερη διαδραστικότητα και ποιότητα. Η σύμβαση αυτή είναι η πρώτη σύμβαση της Ericsson για εμπορική υλοποίηση του LTE. Λειτουργίες όπως παρακολούθηση τηλεοπτικών εκπομπών σε HD Video ή περιήγηση σε απαιτητικά flash sites και sites κοινωνικής δικτύωσης θα είναι δυνατές για πελάτες υπηρεσιών κινητής ευρυζωνικότητας στο δίκτυο 4G που βασίζεται στο LTE.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) επέλεξε και επίσημα τη συχνότητα των 800MHz για τα ασύρματα δίκτυα τέταρτης γενιάς. Επομένως, το 4G στις χώρες της ΕΕ θα λειτουργεί σύντομα σε αυτή τη συχνότητα, με την προθεσμία για την ολοκλήρωση των διαδικασιών να εκπνέει πολύ σύντομα. Συγκεκριμένα, η ΕΕ αποφάσισε ότι τα 4G δίκτυα θα

λειτουργούν στα 800 MHz το αργότερο μέχρι την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2013. Με άλλα λόγια, τα κράτη-μέλη έχουν λιγότερο από ένα χρόνο για να εναρμονιστούν με τις νέες ρυθμίσεις και να έχουν ελευθερώσει τη συχνότητα 800 MHz (μέσω της μετάβασης στην ψηφιακή τηλεόραση) για τα ασύρματα ευρυζωνικά δίκτυα.

Η μπάντα των 800 MHz χρησιμοποιείται αυτή τη στιγμή για τη μετάδοση αναλογικού τηλεοπτικού σήματος. Κατά συνέπεια, θα πρέπει πρώτα να «φύγει» η αναλογική τηλεόραση από αυτή τη συχνότητα και μετά να χρησιμοποιηθεί για το 4G. Οι ευρωπαϊκές αρχές αναγνωρίζουν ότι δε θα είναι όλες οι χώρες έτοιμες για την αλλαγή σε λιγότερο από ένα χρόνο και για το λόγο αυτό θα υπάρξουν εξαιρέσεις. Με δεδομένο ότι το ψηφιακό τηλεοπτικό σήμα στην Ελλάδα απέχει πολύ ακόμα από το να καλύψει όλη την επικράτεια, θα πρέπει να θεωρείται σχεδόν δεδομένο ότι η χώρα μας θα είναι μέσα στις εξαιρέσεις. Η συχνότητα 1.200 MHz θα διατεθεί για τη μετάδοση δεδομένων φορητών συσκευών μετά το 2013 αλλά πριν το 2015. Από την ημερομηνία αυτή και ύστερα, θα αποφασιστεί εάν απαιτείται ελευθέρωση και άλλων συχνοτήτων.

Το LTE είναι ήδη έτοιμο και διατίθεται τώρα σε 20 χώρες μέσω 29 εμπορικών δικτύων. Στην Αμερική, τα πρώτα smartphones συμβατά με LTE κυκλοφορούν ήδη στην αγορά και μερικοί χρήστες στην Αμερική και τη Γερμανία προβλέπουν ότι το LTE θα έχει λάβει τις διαστάσεις του σημερινού δικτύου UMTS ήδη μέχρι το 2013. Η καλύτερη γεωγραφική κάλυψη σημαίνει ότι το υψηλό εύρος ζώνης θα διατίθεται όταν το όχημα ταξιδεύει στον αυτοκινητόδρομο ή σε βασικά οδικά δίκτυα.

Στην δίνη της εξέλιξης και των LTE δικτύων κινητής τηλεφωνίας έχει μπει και η Cosmote και κατά συνέπεια η Ελλάδα. Εξαιρετικά νέα αποτελούν οι προβλέψεις για ταχύτητες που θα φτάνουν μέχρι και τα 100 Mbps για τη λήψη δεδομένων (downlink) και 45 Mbps για την αποστολή (uplink), αλλά και για όσους θέλουν να αναπτύξουν την επόμενη γενιά υπηρεσιών που απαιτούν wireless broadband και δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς. Η εταιρεία έχει ήδη υποβάλει αίτημα για την παροχή της σχετικής άδειας για πιλοτικές δοκιμές από το Υπουργείο Υποδομών Μεταφορών και Δικτύων, καθώς προτίθεται να αναπτύξει το πιλοτικό δίκτυο LTE στις περιοχές Αμαρουσίου και Χαλανδρίου, όπου βρίσκονται οι τεχνικές της υπηρεσίες.

Όσον αφορά το μέλλον των κινητών επικοινωνιών, αυτό περιέχει προς το παρόν το WiMAX 2 και τα πρώτα σημάδια του 5G. Ο λόγος της τόσο σύντομης ανάπτυξης του WiMAX 2.0 είναι η ενσωμάτωση όλο και περισσότερων υπηρεσιών στις κινητές επικοινωνίες. Στατιστικά, από τη στιγμή που εμφανίστηκε το 3G στην αγορά, η αύξηση της μεταφοράς δεδομένων κάθε χρόνο αυξάνεται με ρυθμούς περί τα 108%. Το WiMAX 2.0 αποτελεί την επόμενη γενιά του WiMAX και αναμένεται να διατεθεί στην αγορά μέσα στο 2012. Βρίσκεται στο στάδιο ανάλυσης από τις μεγάλες εταιρίες τηλεπικοινωνιακών ειδών για την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη υποστήριξη υπηρεσιών γίνεται.

Τα πλεονεκτήματα που υπόσχεται να προσφέρει έναντι της πρώτης έκδοσης είναι:

- Νέο φάσμα στη μάντα FDD και TDD
- Υποστήριξη για ζώνες συχνοτήτων IMT-A
- Διπλάσια (τουλάχιστον) αύξηση του ρυθμού διακίνησης δεδομένων
- Προηγμένες μέθοδοι διαχείρισης παρεμβολών
- Μείωση καθυστέρησης για πρόσβαση στο δίκτυο (10 – 20 ms), επιτρέποντας τη λειτουργία πιο απαιτητικών υπηρεσιών
- Υποστήριξη για αυτό-οργανωμένα δίκτυα (Self-organised networks)
- Υποστήριξη για ολοκληρωμένους σταθμούς αναμετάδοσης (Relay stations)
- Υποστήριξη για υπηρεσίες τοποθεσίας (Location services)
- Υποστήριξη για βελτιωμένες υπηρεσίες multicasting και broadcasting
- Πολλαπλούς μεταφορείς (έως και τα 100 MHz)
- Συνύπαρξη μεταξύ των σταθμών βάσεων του 16e και 16m και υποστήριξη της «προς-τα-πίσω» συμβατότητας
- Βελτίωση των VoIP κλήσεων (2-3 φορές) ανά MHz
- Συνύπαρξη πολλαπλών τεχνολογιών όπως Bluetooth, Wi-Fi και WiMAX
- Τεχνολογία μεταγωγών «Inter Radio Access»
- Βελτιωμένος χρονοπρογραμματισμός και νέες πολιτικές QoS
- Απευθείας αναβάθμιση χωρίς αλλαγή του υπάρχον δικτύου WiMAX 1.0



Το 5G αποτελεί την εξέλιξη του 4G, και τοποθετείται χρονολογικά γύρω στο 2020. Ως εξέλιξη της τέταρτης γενιάς, αναμένεται λογικά να φέρει μια νέα επανάσταση στις επικοινωνίες μέσω – και όχι μόνο - των κινητών τηλεφώνων [30].

Πιο συγκεκριμένα, το 5G αναμένεται να προσφέρει:

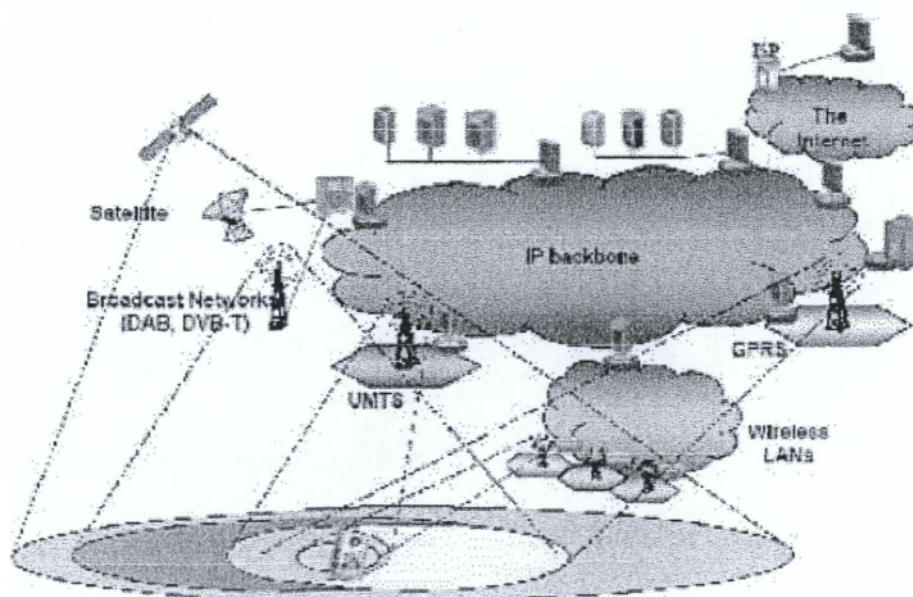
- Υψηλής ευκρίνειας και ταυτόχρονα αμφίδρομη ζώνη διαμόρφωσης για χρήστες κινητών τηλεφώνων πολύ υψηλών προδιαγραφών και απαιτήσεων
- Προηγμένες μεθόδους τιμολόγησης που θα την καταστήσουν ελκυστικότερη και αποτελεσματικότερη
- Εργαλεία εποπτείας του συνδρομητή για γρήγορη δράση
- Υψηλής ποιότητας υπηρεσίες βασισμένες σε «Πολιτικές Αποφυγής Λάθους»
- Υποστήριξη μετάδοσης δεδομένων σε ταχύτητες Gigabit με σχεδόν 65.000 συνδέσεις
- Στατιστικά στοιχεία κίνησης που το καθιστούν πιο ακριβές
- Απομακρυσμένη διαχείριση μέσω της οποίας ένας χρήστης θα μπορεί να έχει την βέλτιστη και γρήγορη λύση
- Διαγνωστικά εργαλεία εξ' αποστάσεως
- Πραγματική ταχύτητα περί τα 25 Mbps
- Υποστήριξη Ιδιωτικού Εικονικού Δικτύου (Virtual Private Network – VPN)
- Περισσότερο βελτιωμένη συνδεσιμότητα

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Το 4G στοχεύει να αποτελέσει μια λύση χαμηλού κόστους για υψηλής ποιότητας ασύρματη broadband μετάδοση, αλλά το μεγάλο QoS και οι υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων που απαιτούνται μετριάζουν αυτή την προοπτική. Οι υψηλές ταχύτητες καθώς και τα συστήματα υψηλής αποδοτικότητας αυξάνουν το κόστος των τερματικών και της υποδομής. Αν δεν υπάρχει ούτε ζήτηση για υψηλές ταχύτητες αλλά ούτε η ικανότητα να προσφερθούν ομοιόμορφα, τότε το 4G δεν έχει λόγο ύπαρξης. Αν, τελικά, το 4G αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τη συμφόρηση στα σημερινά συστήματα, τότε πολλές εναλλακτικές τεχνολογίες –που βασίζονται στα ήδη υπάρχοντα και εξελισσόμενα στάνταρ 2G και 3G – θα το εκτοπίσουν από την αγορά. Ιδιαίτερα τα femtocells που βασίζονται σε απλούστερες, ήδη υπάρχουσες διαμορφώσεις αλλά και το εξελισσόμενο Wi- Fi έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν υψηλής απόδοσης, οικονομικές εναλλακτικές και να πραγματοποιήσουν την εξέλιξη των ευρύμπαντων ασύρματων επικοινωνιών.

Τα δίκτυα 4<sup>ης</sup> γενιάς έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον αρκετών εταιρειών, ιδιαίτερα στην Ιαπωνία, όπου αρκετές επιχειρήσεις έχουν εξαγγείλει την ανάπτυξη δικτύων 4G, στα οποία οι χρήστες θα απολαμβάνουν ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων μέχρι 100 Mbps καθώς κινούνται και μέχρι 1 Gbps καθώς είναι ακίνητοι. Πιστεύεται πως, αν και ούτε σήμερα χρησιμοποιούνται πλήρως οι δυνατότητες του 3G, η ύπαρξη μιας τόσο γρήγορης πλατφόρμας μεταφοράς δεδομένων θα δημιουργήσει νέες υπηρεσίες που θα εκμεταλλεύονται αυτές τις δυνατότητες.

Αν και δεν υπάρχει καθολικός ορισμός για το τι θα αποτελεί την 4G τεχνολογία και ποιο θα είναι το χαρακτηριστικό σημείο της, το όραμα της 4G τεχνολογίας αναπτύσσεται, με τη βοήθεια διαφορετικών απόψεων ανά τον κόσμο. Η νέα γενιά ασύρματων δικτύων πρόκειται να δημιουργήσει ένα παγκόσμιο ετερογενές δίκτυο, το οποίο θα ενσωματώνει τα δίκτυα 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> γενιάς. Το μέλλον πρόκειται να είναι ευόωνο, αλλά βρίσκεται στα χέρια των πελατών, όχι στους πάροχους υπηρεσιών και σίγουρα όχι στους πάροχους δικτύων.



Εικόνα 52 Το όραμα των δικτύων 4G

Οι περισσότεροι φορείς κινητής τηλεφωνίας που έχουν υιοθετήσει την 4G τεχνολογία προτιμούν το LTE έναντι του WiMAX. Συγκεκριμένα, η AT&T, η T-Mobile, η Verizon, η Cox Communications, η Bell Mobility, η Telus, η Vodafone, η France Telecom, η «δικιά μας» Cosmote είναι κάποιες από τις πολλές που χρησιμοποιούν το LTE, ενώ το WiMAX χρησιμοποιείται μόνο από την Sprint και την Clearwire.

Ο λόγος είναι απλός: Οικονομικός! Το LTE δημιουργήθηκε με σκοπό να χρησιμοποιείται αποκλειστικά από συγκεκριμένες συσκευές μέσω συγκεκριμένων εφαρμογών, με αποτέλεσμα ο φορέας να διατηρεί τον απόλυτο έλεγχο του δικτύου και να χρεώνει αναλόγως τη συσκευή. Αυτό σημαίνει πως σε περίπτωση που ένας χρήστης θέλει να συνδεθεί σε μια υπηρεσία (π.χ. Facebook, Google maps, Hotmail), υποχρεούται να χρησιμοποιήσει τη συγκεκριμένη εφαρμογή που παρέχει ο φορέας του και να πληρώνει ανά MB.

Το WiMAX από την άλλη, κατασκευάστηκε με γνώμονα την ίδια λογική που έχει και το DSL στο σπίτι: ένα μηνιαίο πάγιο και πρόσβαση παντού. Το μειονέκτημα έγκειται στο γεγονός ότι οι μικρές συσκευές δεν μπορούν να διαχειριστούν ολόκληρο το Internet.

Ο έλεγχος του δικτύου αποτελεί έναν πολύ σημαντικό παράγοντα για τους παρόχους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών προκειμένου να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη τους. Με τη χρήση του LTE, ο φορέας λαμβάνει περισσότερα χρήματα και συνεπώς μπορεί να βελτιώνει συνεχώς τις υπηρεσίες που παρέχει στους τελικούς χρήστες, ενώ αντίθετα με τη χρήση του WiMAX δεν έχει τη δυνατότητα να το κάνει.

Η επόμενη γενιά ασύρματης επικοινωνίας καθώς και κάποιες από τις υπηρεσίες της βρίσκονται ήδη σε εφαρμογή έστω και σε πρώιμο στάδιο. Οι ολοκληρωμένες εφαρμογές και τεχνολογίες θα είναι διαθέσιμες για τους χρήστες περίπου στα μέσα της δεκαετίας και αναμένεται να αλλάξουν εξ ολοκλήρου την εικόνα που έχουμε για τις ασύρματες επικοινωνίες.

*Και μην ξεχνάμε!*

*Η τεχνολογία των επικοινωνιών δε σταματά ποτέ*

*και η εξέλιξή της πάντα θα δημιουργεί πόλο έλξης!*



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Pahlavan K. (2003). *Principles of Wireless Networks: An Unified Approach*, Prashant Krishnamurthy
- [2] Wang X. (2004). *Wide-Band TD-CDMA MAC With Minimum Power Allocation and Rate and BER Scheduling for Wireless Multimedia Networks*, IEEE/ACM transactions on networking, vol. 12, no. 1
- [3] Mishra R. A. (2004.) *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation – 2G/ 2.5G/ 3G... Evolution to 4G*, John Wiley and Sons Ltd.
- [4] Korhonen J. (2003). *Introduction to 3G Mobile Communications*, Artech House
- [5] Bannister J., Mather P., Coope S. (2005). *Convergence Technologies for 3G Networks, IP, UMTS, EGPRS and ATM*, Wiley
- [6] Santhi K. R., Kumaran G. S. (2006). *Migration to 4G: Mobile IP based Solutions*
- [7] Ahmad J., Garrison B., Gruen J., Kelly C., Pankey H. (2003). *4G Wireless Systems*, Next-Generation Wireless Working Group
- [8] Aravantinos E., Fallah M. H. (2008). *Potential Scenarios And Drivers Of The 4G Evolution*
- [9] Motorola Technical White Paper. *Long Term Evolution (LTE): A Technical Overview*, 2009
- [10] Anritsu White Paper, *Future technologies and testing for Fixed Mobile Convergence, SAE and LTE in cellular mobile communications*, 2008
- [11]] Govil J. & J. (2008). *4G: Functionalities Development and an Analysis of Mobile Wireless Grid*, First International Conference o Emerging Trends in Engineering and Technology
- [12] Κακαβέτσος Β. (2007). *Μελέτη μελλοντικού UMTS δικτύου (4G) με IP διασύνδεση στο Core Network*, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών
- [13] Holma H., Toskala A. (2006). *HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Ratio Access for Mobile Communications*, John Wiley & Sons
- [14] Ericsson White Paper. *LTE: An Introduction*, 2007
- [15] Correia M. L. (2006). *Mobile Broadband Multimedia Networks: Techniques, Models and Tools for 4G*, London, Elsevier
- [16] Lescuyer P., Lucidame T. (2008). *Evolved Packet System (EPS): The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS*, John Wiley & Sons
- [17] Awan H., Abdulla K., Abbas S., Ahsan A. (2008). *Implementation of Smart Antenna System Using Genetic Algorithm and Artificial Immune System*

- [18] Jiang H., Zhuang W. (2008). *Quality of service provisioning in future 4G CDMA cellular networks*. University of Waterloo
- [19] Sanchez – Hernandez A. D. (2008). *Multiband Integrated Antennas for 4G terminals*, Boston, Artech House
- [20] Fotheringham V., Sharma C. (2008). *Wireless Broadband – Conflict and Convergence*, New Jersey, IEEE Press, Wiley
- [21] Nicopolitidis P., Obaidat M. S., Papadimitriou G. I., Pomportsis A.S. (2006). *Wireless Networks – Ασύρματα Δίκτυα*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα
- [22] Phan T. H., Mohamad E., Takahiko Y. (2006). *The Architecture of Mobile Multimedia Metropolitan Area Network towards the Future of the 4G Mobile System*
- [23] Rouffet D., Kerboeuf S., Cai L., Capdevielle V. (2005). *4G Mobile*, Technical Paper
- [24] Rahayu Y., Rajkumar R., Ramachandran K. (2006). *Improvement Fourth Generation (4G) Using Channel Shortening Method*, International RF And Microwave Conference Proceedings
- [25] Courcoubetis C., Weber R. (2003). *Pricing Communication Networks: Economics, Technology and Modelling*, Wiley
- [26] Τεντζέρης Μ. (2001). *Ασύρματα Συστήματα 3<sup>ης</sup> (3G) και 4<sup>ης</sup> (4G) γενεάς: Προκλήσεις του Μέλλοντος*, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Η.Π.Α.
- [27] Χρυσοβαλάντης Κ. (2007). *Προσομοίωση και εκτίμηση απόδοσης δικτύων κινητής τηλεφωνίας τέταρτης γενιάς*
- [28] Jamalipour A. (2003). *The Wireless Mobile Internet – Architecture, Protocols and Services*, Wiley
- [29] Γκατζόφλιας Δ. (2006). *Interworking of 2G, 3G and 4G Wireless Networks*, ΔΠΜΣ στα Πληροφοριακά Συστήματα, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
- [30] Santhi K. R., Srivastava V. K., SenthilKumaran G., Butare E. A. (2010). *Goals Of The True Broad band's Wireless Next Wave (4G-5G)*

## **Ηλεκτρονικές Πηγές**

[www.umts-forum.org](http://www.umts-forum.org)

[www.wimaxforum.org](http://www.wimaxforum.org)

[www.encyclopedia.com](http://www.encyclopedia.com)

[www.orbit-lab.org](http://www.orbit-lab.org)

[www.webopedia.com](http://www.webopedia.com)

[www.beyond4g.org](http://www.beyond4g.org)

[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

[www.iec.org](http://www.iec.org)

[www.cosmote.gr](http://www.cosmote.gr)

[www.wind.com.gr](http://www.wind.com.gr)

[www.vodafone.gr](http://www.vodafone.gr)

<http://en.wikipedia.org>