

**Τμήμα
Μηχανικών
Πληροφορικής τ.ε.**

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Δυτικής Ελλάδας

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Τεχνολογίες LTE-4G και μελέτη της αγοράς
τηλεπικοινωνιών στην Ελλάδα**

**Κατσίκας Δημήτριος
Παπαδημητρίου Πολύκαρπος**

Επιβλέπων καθηγητής: Ασημακόπουλος Γεώργιος

Αντίρριο Μάρτιος 2016

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή
Αντίρριο, Ημερομηνία

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή
2. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή
3. Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή

Ευχαριστίες

Με την εκπόνηση της παρούσας εργασίας ολοκληρώνουμε επιτυχώς την ακαδημαϊκή σταδιοδρομία στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδος.

Με την ευκαιρία αυτή θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους συμφοιτητές μας που ξεκινήσαμε μαζί αυτόν τον αγώνα για μόρφωση και πρόοδο.

Φυσικά πολλές ευχαριστίες οφείλουμε και σε όλους τους καθηγητές μας που στη διάρκεια αυτών των ετών μας δίδαξαν , μας καθοδήγησαν και μας παρότρυναν να πετύχουμε στον σκοπό μας.

Ιδιαίτερος θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή μας κ. Ασημακόπουλο Γεώργιο για την επίβλεψη της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Τέλος, θέλουμε να ευχαριστήσουμε την οικογένειά μας για την στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| Ευχαριστίες | 3 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών | 7 |
| 1.1 Ιστορική Αναδρομή των Κινητών Επικοινωνιών | 7 |
| 1.2 Δίκτυα 1ης Γενιάς(1G) | 7 |
| 1.3 Δίκτυα 2ης Γενιάς(2G) | 8 |
| 1.4 Δίκτυα 3ης Γενιάς (3G) | 9 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : 3GPP LTE (Release 8) | 11 |
| 2.1 LTE - Ένα βήμα πριν την 4 ^η γενιά..... | 11 |
| 2.2 Κύρια Χαρακτηριστικά LTE Release 8..... | 12 |
| 2.3 Φάσμα Λειτουργίας..... | 13 |
| 2.3.1 Κατανομή του Φάσματος Συχνοτήτων..... | 13 |
| 2.3.2 FDD και TDD Ζώνες Συχνοτήτων..... | 14 |
| 2.4 Αρχιτεκτονική Δικτύου EPS..... | 14 |
| 2.4.1 Δίκτυο Κορμού..... | 15 |
| 2.4.2 Δίκτυο Πρόσβασης | 16 |
| 2.5 Κανάλια Μεταφοράς , Λογικά Κανάλια, Φυσικά Κανάλια | 20 |
| 2.5.1 Downlink..... | 20 |
| 2.5.2 Uplink..... | 21 |
| 2.5.3 Λογικά Κανάλια | 22 |
| 2.6 Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης Φυσικού Επιπέδου | 23 |
| 2.7 Πρωτόκολλα Ελέγχου σφαλμάτων και Αναμετάδοσης..... | 25 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Το 3GPP LTE-Advanced (Release 11) ως πρότυπο 4ης γενιάς | 27 |
| 3.1 Από το LTE στο LTE-Advanced | 27 |
| 3.2 IMT-advanced..... | 28 |
| 3.2.1 Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU)..... | 28 |
| 3.2.2 Προδιαγραφές IMT-advanced | 29 |
| 3.3 Χαρακτηριστικά LTE-Advanced | 30 |
| 3.3.1 Προς τα πίσω συμβατότητα | 31 |
| 3.3.2 Διπλεξία | 31 |
| 3.3.3 Διαμόρφωση..... | 31 |
| 3.3.4 FDD και TDD Ζώνες Συχνοτήτων | 32 |
| 3.4 Υπηρεσίες LTE-Advanced..... | 33 |
| 3.4.1 Machine Type Communication (MTC)..... | 36 |

| | |
|--|----|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Τεχνολογίες LTE-Advanced..... | 40 |
| 4.1 Carrier Aggregation (CA)..... | 40 |
| 4.1.1 Τύποι εφαρμογής Carrier Aggregation..... | 41 |
| 4.1.2 Διαμόρφωση Serving cells στην CA..... | 42 |
| 4.1.3 TDD διπλεξία στην Inter-band CA..... | 43 |
| 4.1.4 Σηματοδοσία Ελέγχου στο CA..... | 44 |
| 4.1.5 Multiple Timing Advance..... | 44 |
| 4.2 MIMO..... | 45 |
| 4.2.1 MIMO στο LTE-Advanced | 46 |
| 4.2.2 Σήματα αναφοράς (reference signals) | 48 |
| 4.3 Τεχνικές CoMP (Coordinated Multi-point) | 49 |
| 4.3.1 Αρχιτεκτονική δικτύου CoMP..... | 50 |
| 4.3.2 Downlink CoMP | 52 |
| 4.3.3 Uplink CoMP | 54 |
| 4.3.4 Πλεονεκτήματα CoMP | 54 |
| 4.4 Enhanced Inter-Cell Interference Coordination (eICIC)..... | 55 |
| 4.5 EPDCCH Κανάλι..... | 56 |
| 4.6 Enhanced - Multimedia Broadcast Multicast Services (e-MBMS)..... | 57 |
| 4.6.1 Αρχιτεκτονική LTE δικτύου με eMBMS | 57 |
| 4.6.2 Νέα κανάλια και Δομή καναλιού e-MBMS | 59 |
| 4.6.3 Service continuity | 60 |
| 4.6.4 Γιατί eMBMS;..... | 61 |
| 4.7 In-Device Coexistence (IDI)..... | 61 |
| 4.8 Εξοικονόμηση ενέργειας | 62 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Παγκόσμια και Ελληνική Αγορά LTE-Advanced | 63 |
| 5.1 Η παγκόσμια αγορά LTE | 63 |
| 5.2 Ζήτηση κινητών ευρυζωνικών δικτύων..... | 66 |
| 5.2.1 Αποτίμηση του έτους 2012 | 66 |
| 5.2.2 Προβλέψεις για το διάστημα 2012-2017 | 66 |
| 5.2.3 Οι επιπτώσεις των 4G δικτύων στην κίνηση δεδομένων..... | 68 |
| 5.3 Η κινητή τηλεφωνία στην Ελλάδα..... | 69 |
| 5.3.1 Ιστορική ανασκόπηση | 69 |
| 5.3.2 Πραγματικοί και ιδεατοί πάροχοι κινητής τηλεφωνίας..... | 73 |
| 5.3.3 Η αγορά κινητών επικοινωνιών σήμερα | 78 |

| | |
|--|----|
| 5.3.4 Ρυθμιστικές Αρχές - ΕΕΤΤ | 79 |
| 5.3.5 Φάσμα συχνοτήτων (ραδιοφάσμα) | 82 |
| 5.3.6 Το LTE/4G στην Ελλάδα | 85 |
| 5.4 Τιμολόγηση LTE-Advanced υπηρεσιών | 86 |
| 5.5 Παραδείγματα τιμολόγησης 4G υπηρεσιών στην Ελλάδα και την υπόλοιπη Ευρώπη | 87 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΑΝΑΦΟΡΕΣ..... | 90 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Συστήματα Κινητών Επικοινωνιών

Στο παρόν κεφάλαιο παρατίθεται μία πολύ σύντομη αναδρομή στα δίκτυα κινητών επικοινωνιών 1^{ης} έως και 3^{ης} γενεάς καθώς επίσης και στα χαρακτηριστικά αυτών, κυρίως όσον αφορά στις ταχύτητες και τις υπηρεσίες που υποστηρίζουν.

1.1 Ιστορική Αναδρομή των Κινητών Επικοινωνιών

Οι Ασύρματες Επικοινωνίες αποτελούν έναν ταχέως αναπτυσσόμενο κλάδο, άρρηκτα συνδεδεμένο με τη βιομηχανία της κινητής τηλεφωνίας. Ο «δεσμός» αυτός αποτελεί βασικό παράγοντα για τη συνεχή εξέλιξη και βελτίωση των ασύρματων δικτύων και των συστημάτων κινητών επικοινωνιών ευρείας ζώνης, ώστε να προσφέρουν υπηρεσίες υψηλών προδιαγραφών στον ολοένα αυξανόμενο αριθμό χρηστών. Ήδη από το 1996, ο αριθμός των νέων συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας ξεπέρασε αυτόν των συνδρομητών σταθερής. Σήμερα, σχεδόν τα % των κατοίκων της υψηλίου χρησιμοποιούν κινητό τηλέφωνο, ενώ κατά το έτος 2012 υπολογίστηκε ότι αριθμός των συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας-παγκοσμίως-ανερχόταν σε 6 δισεκατομμύρια. Παράλληλα, καταλυτικό ρόλο στην εξέλιξη αυτή διαδραματίζει η ανάπτυξη υψηλής τεχνολογίας τερματικών συσκευών, που προφέρουν πολλά περισσότερα από απλές υπηρεσίες εικόνας και ήχου, όπως για παράδειγμα πλοήγηση στο διαδίκτυο, μεταφορά αρχείων και live streaming υπηρεσίες.

Οι ρίζες των κινητών επικοινωνιών ανάγονται πίσω στο 1896, όταν ο Guglielmo Marconi εφευρίσκει τον τηλεγράφο, και τελικά κατορθώνει το 1901 να στείλει τηλεγραφικά σήματα σε απόσταση 1800 μιλίων. Έπειτα, σπουδαία τεχνολογικά επιτεύγματα ακολούθησαν το ένα μετά το άλλο (ραδιόφωνο, τηλεόραση, δορυφόροι, κινητά τηλέφωνα κ.α.). Παράλληλα, αναπτύσσονταν δίκτυα κινητών επικοινωνιών, τα οποία ωστόσο πέρασαν από αρκετά στάδια εξέλιξης. Ας προχωρήσουμε όμως μία σύντομη αναφορά στις γενιές δικτύων και τα χαρακτηριστικά τους :

1.2 Δίκτυα 1ης Γενιάς(1G)

Τα δίκτυα πρώτης γενιάς είναι αναλογικά κυψελωτά συστήματα, τα οποία

χρησιμοποιούνταν μόνο για υπηρεσίες φωνής, και βασίζονταν στην FM διαμόρφωση και στην τεχνική διαίρεσης συχνότητας FDD. Στις σκανδιναβικές χώρες, στην Ελβετία, στην Ολλανδία και στην Ανατολική Ευρώπη χρησιμοποιήθηκε το πρότυπο NMT (Nordic Mobile Telephone), ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και στην Αυστραλία το AMPS (Advanced Mobile Phone System), και το TACS (Total Access Communications System) στο Ηνωμένο Βασίλειο. Βεβαίως, υπάρχουν και άλλα πρότυπα πρώτης γενιάς που υιοθετήθηκαν σε άλλες χώρες. Αυτά τα τηλεπικοινωνιακά πρότυπα εισήχθησαν κατά τις δεκαετίες του 1970 και του 1980.

1.3 Δίκτυα 2ης Γενιάς (2G)

Τα δίκτυα πρώτης γενιάς λειτούργησαν έως ότου έδωσαν την σκυτάλη στα δίκτυα δεύτερης γενιάς. Τα δίκτυα δεύτερης γενιάς βασίστηκαν εξ' ολοκλήρου σε ψηφιακές τεχνικές. Οι τηλεφωνικές συνομιλίες ήταν ψηφιακά κωδικοποιημένες και κρυπτογραφημένες, παρέχοντας ασφάλεια στην επικοινωνία, ενώ παράλληλα υποστήριζαν μεγαλύτερο αριθμό χρηστών κάνοντας αποδοτικότερη διαχείριση του φάσματος συχνοτήτων. Επιπρόσθετα, ξεχωρίζουν από τα δίκτυα 1ης γενιάς, καθώς είναι τα πρώτα που εισάγουν υπηρεσίες μετάδοσης δεδομένων, όπως τα μηνύματα κειμένου SMS. Βασικότερος εκπρόσωπος αυτής της γενιάς είναι το GSM (Global System for Mobile Communications), ένα πολύ επιτυχημένο πρότυπο το οποίο άρχισε να αναπτύσσεται το 1982, το 1989 ολοκληρώθηκε η προτυποποίησή του από το ETSI (European Telecommunication Standard Institute) και το 1991 ξεκίνησε η εμπορική του εκμετάλλευση σε όλη την Ευρώπη και σε αρκετές χώρες τον υπόλοιπων ηπείρων. Παρέχει ταχύτητες για υπηρεσίες φωνής έως και 13Kbps, και υπηρεσίες δεδομένων έως 9.6 Kbps. Άλλα 2G πρότυπα αποτελούν το CDMA, το οποίο κυριάρχησε στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και στην Ασία, καθώς και το digital AMPS.

Παρά την καλή ποιότητα σε υπηρεσίες φωνής που προσέφερε το GSM, εμφανίστηκε γρήγορα η ανάγκη για την ανάπτυξη προτύπων που θα προσφέρουν καλύτερες υπηρεσίες δεδομένων. Έρχονται, συνεπώς, στο προσκήνιο τα 2.5G δίκτυα τα οποία αποτελούν τη «γέφυρα» μεταξύ 2G και 3G προτύπων. Κυρίαρχο 2.5G πρότυπο αποτελεί το GPRS, το οποίο εμφανίζεται στα τέλη της δεκαετίας του 1990 και

μετεξελιίσεται στο EDGE (Enhanced Data for Global Evolution)-^ οποίο είναι ένα 2.7G πρότυπο. Το GPRS (General Packet Radio System) επαναστατεί σε σχέση με τις έως τότε τεχνολογίες δικτύων, αφού βασίζεται στο GSM δίκτυο που χρησιμοποιεί μεταγωγή κυκλώματος, ενώ παράλληλα εισάγει πάνω σε αυτό και τη μεταγωγή πακέτου για την μεταφορά δεδομένων. Πετυχαίνει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, από 15 έως 40 Kbps. Επίσης, άξιο αναφοράς είναι ότι το GPRS δίνει τη δυνατότητα χρήσης υπηρεσιών όπως η Υπηρεσία Μηνυμάτων Πολυμέσων (MMS) και η σύνδεση στο διαδίκτυο (WAP,e-mail,www κ.α), ενώ οι χρεώσεις υπολογίζονται βάσει των megabytes κι όχι ανά λεπτό-όπως στις τεχνολογίες μεταγωγής κυκλώματος. Τέλος, ένα ακόμη 2.5G πρότυπο είναι το 1xRTT, που θεωρείται ως απόγονος του CDMA.

1.4 Δίκτυα 3ης Γενιάς (3G)

Η ITU (International Telecommunications Union) σχεδίασε μια σειρά-γενιά προτύπων για κινητές συσκευές και δίκτυα κινητών επικοινωνιών, την International Mobile Telecommunacations-2000 (IMT-2000) ή όπως είναι ευρύτερα γνωστή 3η γενιά. Οι προδιαγραφές που ορίζονται αφορούν σε ταχύτητες τουλάχιστον της τάξης των 200Kbps, και υποστήριξη για μετάδοση δεδομένων σε κινητούς σταθμούς με υψηλή κινητικότητα. Επιπρόσθετα, τα πρότυπα αυτά στοχεύουν στην πρόσβαση των τερματικών στο διαδίκτυο με υψηλές ταχύτητες, στην ταυτόχρονη χρήση υπηρεσιών φωνής και δεδομένων και στην υποστήριξη πολυμεσικών εφαρμογών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι πιο πρόσφατες εκδόσεις του 3G (3.5G,3.7G) οι οποίες παρέχουν ευρυζωνική πρόσβαση πολλών Mbps σε smartphones αλλά και φορητούς υπολογιστές.

Κυρίαρχο ρόλο στα πρότυπα 3G διαδραματίζουν το UMTS και το CDMA2000. Το UMTS αναπτύχθηκε με βάση το GSM 2G πρότυπο από τη ομάδα εργασίας 3GPP ενώ το CDMA2000 βασίστηκε στο CDMA 2G πρότυπο και αναπτύχθηκε από την ομάδα 3GPP2. Το UMTS υιοθετήθηκε κυρίως στην Ευρώπη, στην Κίνα και στην Ιαπωνία με μόνη διαφορά ότι στην Ευρώπη και στην Ιαπωνία χρησιμοποιείται η ραδιο-διεπαφή WCDMA ενώ στην Κίνα αναπτύχθηκε και χρησιμοποιείται η TD-SCDMA (Time Division- Synchronous Code Division Multiple Access). Το UMTS με WCDMA πρότυπο εξελίχθηκε αργότερα στο HSPA το οποίο προσέφερε ταχύτητες ως και 14.4 Mbps στο downlink και 5.76 Mbps στο uplink. Η πιο πρόσφατη έκδοσή του είναι το

HSPA+, η οποία προτυποποιείται στις εκδόσεις 7 και 8 της 3GPP, και προσφέρει έως 168 Mbps στο downlink και έως 22 Mbps στο uplink. Το HSPA+ υπόσχεται αξιόλογες επιδόσεις σε πολυμεσικές εφαρμογές, εισάγει τεχνικές MIMO, και η αρχιτεκτονική του είναι επίπεδη προσεγγίζοντας αυτή του LTE. Το LTE, στο οποίο θα αναφερθούμε στο επόμενο κεφάλαιο, ξεκινά ως πρότυπο 3ης γενιάς-αφού από την έκδοση 10 και έπειτα ικανοποιεί τις απαιτήσεις για τα πρότυπα 4ης γενιάς. Το LTE Release 8 συχνά αναφέρεται και ως 3.9G πρότυπο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : 3GPP LTE (Release 8)

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το πρότυπο 3.9G LTE, το οποίο θέτει τα θεμέλια για την 4G εποχή στις κινητές επικοινωνίες. Αναφερόμαστε στα βασικά χαρακτηριστικά του προτύπου, όπως η αρχιτεκτονική, η ταχύτητες, τα κανάλια και το φάσμα λειτουργίας.

2.1 LTE - Ένα βήμα πριν την 4^η γενιά

Η 3rd Generation Partnership Project (3GPP) αποτελεί μια συμφωνία συνεργασίας μεταξύ ομάδων ενώσεων τηλεπικοινωνιών, η οποία ιδρύθηκε το 1998 με αρχικό σκοπό τη δημιουργία προτύπων για την ανάπτυξη ενός παγκοσμίως εφαρμόσιμου συστήματος κινητών επικοινωνιών 3^{ης} γενιάς (3G). Οργανώνοντας σε Εκδόσεις (Releases) τα χαρακτηριστικά και τις προδιαγραφές των εκάστοτε προτύπων, η 3GPP ξεκινά το έργο της αναπτύσσοντας το 3G πρότυπο UMTS/WCDMA στο Release 99. Έπειτα, στο Release 5 μας εισάγει στο HSDPA, ενώ στο Release 6 στο HSUPA. Το σημαντικότερο, όμως, βήμα για την εξέλιξη και την πορεία των ασύρματων επικοινωνιών γίνεται το 2009 με την Release 8, όπου πέρα από το πρότυπο HSPA+ παρουσιάζεται και το πρότυπο Long Term Evolution (LTE) - ή πιο επίσημα Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN). Το LTE έμελλε να αποτελέσει τον προπομπό μιας νέας εποχής για τις ραδιοεπικοινωνίες, της 4^{ης} γενιάς (4G) δικτύων κινητών επικοινωνιών. Κύριος στόχος των LTE δικτύων είναι η γεφύρωση του χάσματος μεταξύ των πολύ υψηλών ταχυτήτων μετάδοσης των WLAN δικτύων και των υψηλής κινητικότητας κυψελωτών δικτύων. Το πρώτο δημόσιο δίκτυο LTE εγκαταστάθηκε από την εταιρεία TeliaSonera, στο Όσλο και στην Στοκχόλμη τον Δεκέμβριο του 2009, ενώ έως τον Νοέμβριο του 2010 είχαν εγκατασταθεί συνολικά 12 LTE δίκτυα παγκοσμίως.

2.2 Κύρια Χαρακτηριστικά LTE Release 8

Η τεχνολογία LTE εισάγει πολλά καινοτόμα στοιχεία, ξεχωρίζοντας αισθητά από τον προκάτοχο της - την UMTS τεχνολογία. Πιο κάτω, παρατίθενται τα σημαντικότερα από αυτά :

Ταχύτητα : Το πρότυπο LTE σχεδιάστηκε με στόχο να προσφέρει ταχύτητες έως και 326Mbps στην κατερχόμενη ζεύξη (Downlink) και έως 75Mbps στην ανερχόμενη ζεύξη (Uplink) .

Εύρος Ζώνης : Το εύρος ζώνης του φέροντος σήματος είναι μεταβλητό, βαθμωτό, κυμαινόμενο από τα 1.4 έως τα 20 MHz με προτυποποίηση καναλιών στα 1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz.

Διπλεξία: Υποστηρίζονται τόσο η διπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDD) όσο και η διπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDD).

Διαμόρφωση: Στην κατερχόμενη ζεύξη γίνεται χρήση της OFDM διαμόρφωσης του σήματος ενώ στην ανερχόμενη της SC-FDMA.

Κωδικοποίηση : Προσαρμοσμένη κωδικοποίηση μέχρι 64QAM στην κατερχόμενη ζεύξη και 16QAM στην ανερχόμενη.

MIMO: Ιδιαίτερα σημαντική είναι η χρήση τεχνικών MIMO (Multi Input-Multi Output), τόσο σε επίπεδο ενός χρήστη (Single User-MIMO) όσο και σε επίπεδο πολλών χρηστών ταυτόχρονα (Multi-User-MIMO) π.χ. 2x1, 1x2, 2x2, 4x2, 2x4 και 4x4.

Μεταβλητό Μέγεθος Κυψέλης: Το πρότυπο LTE υποστηρίζει την ύπαρξη 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 του δικτύου είναι αρκετά καλή, ενώ με μέγεθος 100 χλμ είναι ικανοποιητική. Αντίθετα, σε αστικά περιβάλλοντα, χρησιμοποιούνται υψηλές συχνότητες, έτσι ώστε να υποστηρίζονται υψηλές ευρυζωνικές ταχύτητες πρόσβασης. Σε αυτή την περίπτωση κάθε κυψέλη του δικτύου έχει μέγεθος το πολύ 1 χλμ.

Καθυστερήσεις: Η τεχνολογία LTE παρουσιάζει χαμηλές καθυστερήσεις κατά τη

μεταφορά δεδομένων έως και 10ms, και στις αλλαγές κατάστασης των κινητών σταθμών (από idle σε active) έως και 100ms.

Συμβατότητα: Το LTE πρότυπο υποστηρίζει τόσο διαλειτουργικότητα όσο και συνύπαρξη με παλαιότερα πρότυπα (πχ gSm/eDGE, UMTS, CDMA2000). Οι χρήστες μπορούν να πραγματοποιούν μια τηλεφωνική συνομιλία ή σύνδεση για μεταφορά δεδομένων σε μια περιοχή με κάλυψη LTE, και επιπροσθέτως να συνεχίσουν τη σύνδεσή τους χωρίς προβλήματα ακόμα και σε περιοχές χωρίς κάλυψη LTE, χρησιμοποιώντας το υφιστάμενο δίκτυο.

Αρχιτεκτονική: Το LTE βασίζεται σε μία ALL-IP αρχιτεκτονική μεταγωγής πακέτου, αρκετά απλοποιημένη σε σχέση με τα UMTS δίκτυα που κάνουν κατά περίπτωση χρήση μεταγωγής κυκλώματος/πακέτου.

2.3 Φάσμα Λειτουργίας

Το φάσμα λειτουργίας LTE οργανώνεται σε μπάντες-ζώνες συχνοτήτων. Πολλές από αυτές είναι νέες και σχεδιάστηκαν αποκλειστικά για χρήση από αυτό, όπως για παράδειγμα η ζώνη 15 . Ωστόσο, άλλες μπάντες προϋπήρχαν της προτυποποίησης του LTE, και χρησιμοποιούνταν σε άλλους τύπους κυψελωτών δικτύων όπως τα UMTS (π.χ. ζώνη 34). Αξίζει, βέβαια, να τονίσουμε ότι το LTE είναι σε θέση να χρησιμοποιεί επιπλέον τις συχνότητες του ψηφιακού μερίσματος (Digital Dividend) στα 700/800 MHz (π.χ. ζώνη 12 και 14) που μένουν ελεύθερες από την μετάβαση στην ψηφιακή εκπομπή του τηλεοπτικού σήματος. Ένα ακόμα σημαντικό κομμάτι που αφορά στο φάσμα συχνοτήτων είναι η χρήση διαφορετικών ζωνών σε κάθε γωνία του πλανήτη, αφού οι ρυθμιστικές θέσεις διαφέρουν για κάθε χώρα. Κατ' επέκταση, είναι προφανές ότι η κατανομή αυτή δυσχεραίνει στην περιαγωγή (roaming), αφού οι συνηθισμένες κινητές συσκευές δεν είναι σε θέση να λειτουργήσουν υπό μεγάλη ποικιλία συχνοτήτων.

2.3.1 Κατανομή του Φάσματος Συχνοτήτων

Αν και η 3GPP είναι σε θέση να καθορίσει τις ζώνες συχνοτήτων στις οποίες μπορεί να λειτουργήσει η LTE τεχνολογία, η πραγματική κατανομή γίνεται σε διεθνές

επίπεδο από την ITU. Στη συνέχεια, οι επιμέρους διοικήσεις της κάθε χώρας μπορούν να διαθέσουν τη χρήση του ραδιοφάσματος που έλαβαν κατά το δοκούν.

2.3.2 FDD και TDD Ζώνες Συχνότητων

Οι ζώνες συχνότητων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το LTE Release 8, στα πρώτα του βήματα, είναι αριθμημένες από το 1 έως και το 41. Στην FDD διπλεξία χρησιμοποιούνται οι ζώνες 1 ως 22, ενώ στην TDD οι ζώνες 33 ως 41. Η κατανομή αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η FDD απαιτεί ζεύγη ζωνών συχνότητων-μία για το uplink και μια για το downlink-ενώ στην TDD χρησιμοποιείται η ίδια ζώνη και για το uplink και για το downlink-αφού ο διαχωρισμός γίνεται στο πεδίο του χρόνου.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι ζώνες αυτές μπορεί και να επικαλύπτονται, με αποτέλεσμα να είναι εφικτό-αν και απίθανο- ότι τόσο TDD όσο και FDD μεταδόσεις να είναι παρούσες σε μια συγκεκριμένη ζώνη συχνότητων LTE. Ωστόσο, είναι ιδιαίτερα σημαντικό το γεγονός ότι αυτή η «επικάλυψη» μπορεί να λύσει το πρόβλημα της περιαγωγής σε περιπτώσεις όπου οι αλληλεπικαλυπτόμενες μπάντες αντιστοιχούν σε διαφορετικές χώρες.

Για παράδειγμα, αν κάποιος ζει στην Αμερική και έχει συσκευή σχεδιασμένη να λειτουργεί στην ζώνη 3, και ταξιδέψει στην Ιαπωνία όπου έχει δοθεί η ζώνη 9, τότε η συσκευή του θα μπορέσει να λειτουργήσει χωρίς προβλήματα. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονίσουμε ότι οι ζώνες στις οποίες αναφερόμαστε αφορούν στις αρχικές ζώνες συχνότητων που ορίστηκαν για το LTE Release 8. Στα επόμενα χρόνια, αφού έλαβαν χώρα σκληρές διαπραγματεύσεις, κατέστη δυνατό να αποκτηθούν επιπρόσθετες ζώνες τις οποίες και θα αναφέρουμε στο επόμενο κεφάλαιο.

2.4 Αρχιτεκτονική Δικτύου EPS

Η 3GPP παρουσίασε και διευκρίνισε στο Release 8 τα συστατικά εκείνα στοιχεία του δικτύου στο οποίο βασίζεται η LTE τεχνολογία. Ως Evolved Packet System (EPS) αναφέρεται το συνολικό δίκτυο το οποίο αποτελείται από :

- Το δίκτυο κορμού (System Architecture Evolution-SAE), ένα επίπεδης αρχιτεκτονικής, All-IP δίκτυο

- Το δίκτυο πρόσβασης Evolved Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) ή απλά LTE

2.4.1 Δίκτυο Κορμού

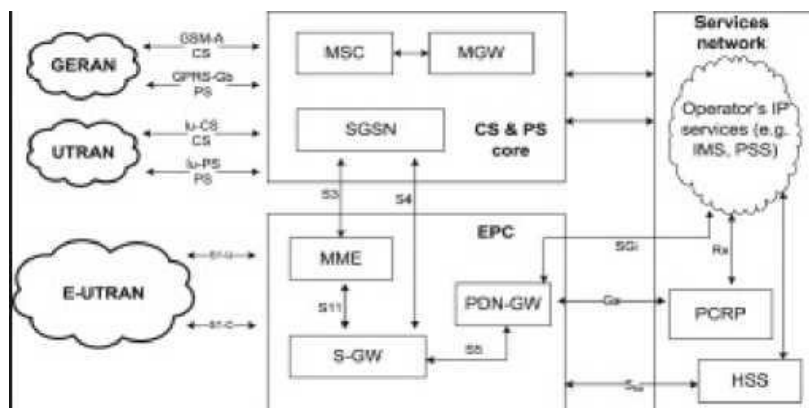
Το Evolved Packet Core (EPC) είναι το βασικό συστατικό του δικτύου κορμού SAE. Η αρχιτεκτονική του είναι επίπεδη, ριζικά εξελιγμένη σε σχέση με αυτή των προηγούμενων τεχνολογιών δικτύων, και βασισμένη στο IP πρωτόκολλο δικτύου και τη μεταγωγή πακέτου, συνεπώς, δεν υποστηρίζει τη μεταγωγή κυκλώματος[6]. Σχεδιάστηκε προκειμένου να υποστηρίξει υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων και μικρές καθυστερήσεις, όπως απαιτεί η νέα γενιά δικτύων.

Κύρια συστατικά του είναι οι παρακάτω λογικοί κόμβοι :

- **Serving Gateway (S-GW):** Είναι ο κόμβος στη μεριά χρήστη που συνδέει το EPC με το E-UTRAN μέσω της διεπαφής S1-u (user plane). Βασική λειτουργία του είναι ο έλεγχος της κινητικότητας του δικτύου και η διατήρηση των συνδέσεων δεδομένων ανάμεσα στους σταθμούς βάσης eNB και στο PDN Gateway [4]. Δρομολογεί και προωθεί τα πακέτα των χρηστών, ενώ ταυτόχρονα χειρίζεται ως «γέφυρα» καταστάσεις handover. Σε περιπτώσεις αδράνειας του τερματικού ενός χρήστη, αποδεσμεύει το κατερχόμενο κανάλι μετάδοσης δεδομένων και στέλνει ειδοποίηση στο τερματικό όταν φθάνουν δεδομένα που το αφορούν. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι αποτελεί διεπαφή ανάμεσα στην LTE και στις υπόλοιπες 3GPP τεχνολογίες. Τέλος, είναι υπεύθυνο για τη συγκέντρωση στατιστικών που αφορούν στο κανάλι. Κάθε χρήστης έχει πρόσβαση σε ένα διαφορετικό S-GW. Μέσω της S4 διεπαφής συνδέεται με τον κόμβο SGSN που βρίσκεται στο δίκτυο κορμού 2G και 3G τεχνολογιών.
- **Packet Data Network Gateway (PDN Gateway ή P-GW):** Είναι ο κόμβος που συνδέει το EPC-και γενικότερα όλο το LTE δίκτυο πρόσβασης και κορμού-με το Διαδίκτυο. Είναι επιφορτισμένος με την κατανομή των IP διευθύνσεων στα τερματικά. Αποτελεί τη διεπαφή ανάμεσα στο LTE και στις Non-3GPP τεχνολογίες, όπως το CDMA2000 και το WiMAX. Ένας χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση σε περισσότερα του ενός P-GW.

- **Policy and Charging Rules Function (PCRF):** Αποτελεί τον κόμβο που εκτελεί τις πολιτικές που επιβάλλει το δίκτυο, όντας παράλληλα υπεύθυνος για τον έλεγχο της QoS (Quality of Service). Επιβλέπει τη ροή των πακέτων, και ασχολείται με το φιλτράρισμα αυτών. Τέλος, υλοποιεί την πολιτική χρεώσεων, και σε περιπτώσεις που απαιτείται δυναμική πολιτική ή έλεγχος χρεώσεων χρησιμοποιείται το στοιχείο δικτύου Applications Function (AF).
- **Home Subscriber Service (HSS):** Ο κόμβος αυτός ουσιαστικά αποτελεί μία βάση δεδομένων όπου κρατούνται όλες οι πληροφορίες-εγγραφές των χρηστών του δικτύου.

Είναι πολύ σημαντικό να μην συγχέουμε στο μυαλό μας τους λογικούς και τους φυσικούς κόμβους. Όλοι οι κόμβοι στους οποίους αναφερθήκαμε αποτελούν λογικούς κόμβους.



Εικόνα 2.1 : EPC Δίκτυο κορμού

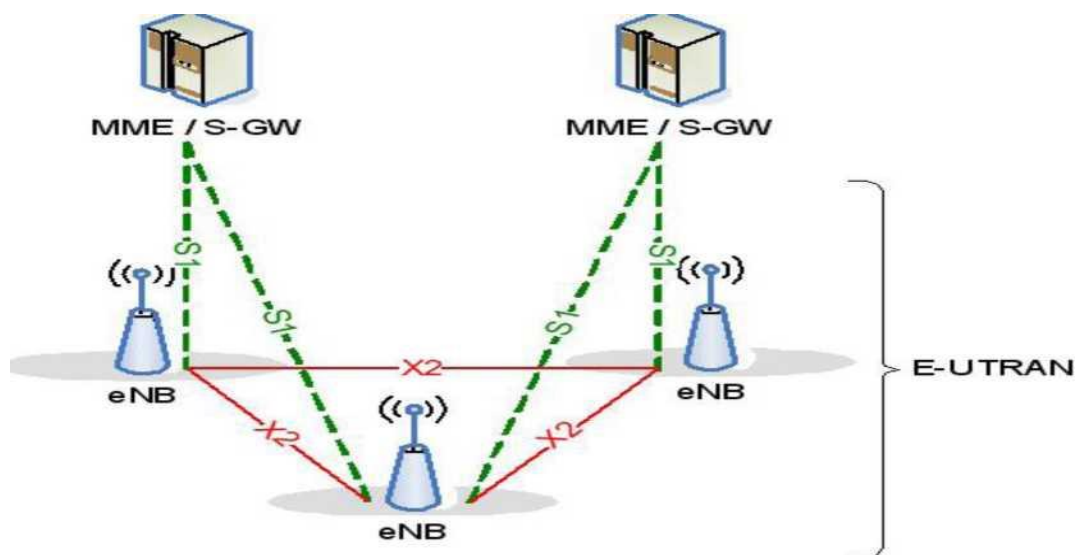
2.4.2 Δίκτυο Πρόσβασης

Το δίκτυο πρόσβασης LTE είναι το E-UTRAN, μία απλοποιημένη επίπεδης αρχιτεκτονικής ραδιο-διεπαφή που αποτελείται από ένα και μόνο είδος κόμβων (Rel. 8), τους ενισχυμένους κόμβους B (evolved node B - eNB). Είναι βασισμένο σε IP αρχιτεκτονική και στη μεταγωγή πακέτου, ωστόσο είναι ιδιαίτερα σημαντικό το γεγονός ότι προσφέρει δια-λειτουργικότητα με άλλα συστήματα επικοινωνιών όπως

τα GSM/EDGE, UMTS, CDMA2000, WiMAX.

Οι βασικές λειτουργίες με τις οποίες είναι επιφορτισμένο το E-UTRAN συνοπτικά είναι οι ακόλουθες [8] :

- **Radio resource management (RRM):** Πρόκειται για το έργο της διαχείρισης των ραδιο-πόρων και των νέων συνδέσεων. Πιο συγκεκριμένα, ασχολείται με τη διαχείριση της κινητικότητας, την αποδοχή νέων συνδέσεων, τον προγραμματισμό και την κατανομή των ραδιο-πόρων στους UEs (User Equipment)-τόσο στο downlink όσο και στο uplink.
- **Συμπύεση Κεφαλίδας:** Η συμπύεση κεφαλίδας των IP πακέτων βοηθά στο να γίνει αποτελεσματικότερη η λειτουργία της ραδιο-διεπαφής, ειδικά σε περιπτώσεις πακέτων VoIP όπου το ωφέλιμο φορτίο έχει πολύ μικρό μέγεθος.
- **Κρυπτογράφηση:** Όλα τα δεδομένα τα οποία μεταφέρονται μέσω της ραδιο-διεπαφής κρυπτογραφούνται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παροχή υπηρεσιών ασφαλείας.



Εικόνα 2.2: E-UTRAN δίκτυο πρόσβασης

2.4.2.1 Ενισχυμένος Κόμβος Β (eNB)

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το E-UTRAN έχει επίπεδη αρχιτεκτονική, αφού αποτελείται από ένα μόνο είδος κόμβων, τους eNBs. Οι eNBs αποτελούν εξέλιξη των

BTS στα GSM δίκτυα, και των Node B στο UTRA των UMTS δικτύων.

Συνδέονται μεταξύ τους μέσω της X2 διεπαφής, ενώ με το EPC μέσω της S1 διεπαφής και S1-c). Η ύπαρξη της X2 διεπαφής αποδεικνύεται ιδιαίτερα σημαντική σε περιπτώσεις μεταπομπής (handover). Ίσως το πιο ενδιαφέρον χαρακτηριστικό τους είναι ότι συνδυάζουν την λειτουργία των NBs κόμβων και του επιπέδου RNC(Radio Network Controller), το οποίο ελέγχει τους eNBS στην UTRA αρχιτεκτονική των UMTS δικτύων. Κατά συνέπεια, όλες οι λειτουργίες ελέγχου και διαχείρισης κινητικότητας εκτελούνται πολύ ταχύτερα και με ελάχιστη επιβάρυνση του δικτύου κορμού.

2.4.2.2 Στοιβά Πρωτοκόλλων Σύνδεσης

Μία σύντομη απεικόνιση της στοιβάς πρωτοκόλλων που ακολουθούνται στο επίπεδο ενός eNB της τεχνολογίας LTE έχει ως εξής :

- **Επίπεδο 1:** Πρόκειται για το φυσικό επίπεδο της στοιβάς πρωτοκόλλων, το οποίο μεταφέρει όλη την κίνηση από τα κανάλια MAC (Medium Access Control) στη ραδιο-διεπαφή, πραγματοποιεί έλεγχο ισχύος και μετρήσεις για το RRC (Radio Resource Control) επίπεδο.
- **Επίπεδο 2 :** Περιλαμβάνει τα πρωτόκολλα MAC(Medium Access Control), RLC (Radio Link Control) και PDCP(Packet Data Convergence Protocol) :
 - > **MAC:** Το στρώμα MAC είναι αρμόδιο για την χαρτογράφηση μεταξύ λογικών καναλιών και καναλιών μεταφοράς. Προσφέρει μια σειρά από λογικά κανάλια στο RLC υπόστρωμα, το οποίο πολυπλέκει σε φυσικά κανάλια τα κανάλια μεταφοράς. Φροντίζει για την ιεράρχηση των λογικών καναλιών σε έναν UE και τον δυναμικό προγραμματισμό μεταξύ των διαφόρων UEs. Τέλος, μέσω του πρωτοκόλλου HARQ πραγματοποιεί χειρισμό λαθών.
 - > **RLC:** Το RLC επίπεδο παρέχει 3 τρόπους αξιοπιστίας για τη μεταφορά δεδομένων: α) Acknowledged Mode (AM), για υπηρεσίες μη πραγματικού χρόνου, β) Uncknowledged Mode (UM), για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου που είναι ευαίσθητες στις καθυστερήσεις, και γ) Transparent Mode, για υπηρεσίες όπου το μέγεθος των PDUs είναι εξαρχής γνωστά όπως στο broadcasting. Είναι υπεύθυνο για την μεταφορά των PDUs (Packet Data Units) από τα ανώτερα επίπεδα της στοιβάς, τη διόρθωση σφαλμάτων μέσω του πρωτοκόλλου ARQ (μόνο κατά την AM μεταφορά δεδομένων), την διατήρηση της αλληλουχίας, τον τεμαχισμό και την επανασυναρμολόγηση

των RLC SDUs (Service Data Units)(μόνο για UM και AM μεταφορά δεδομένων). Να σημειώσουμε ότι τα πακέτα που λαμβάνει ένα επίπεδο λέγονται Service Data Units (SDUs) ενώ τα πακέτα που στέλνει Protocol Data Units (PDUs).

> **PDCP:** Το στρώμα PDCP είναι υπεύθυνο για τη συμπίεση και αποσυμπίεση των κεφαλίδων των IP πακέτων μέσω της μεθόδου ROHC (Robust Header Compression). Επιπρόσθετα, φροντίζει για την κρυπτογράφηση των δεδομένων του χρήστη αλλά και του επιπέδου ελέγχου.

• **Επίπεδο 3 :** Το επίπεδο 3 περιλαμβάνει το πρωτόκολλο RRC (Radio Resource Control) στη μεριά του eNB, όπως επίσης και το πρωτόκολλο NAS στη μεριά του MME :

> **RRC:** Βασικές λειτουργίες του επιπέδου RRC περιλαμβάνουν την εκπομπή πληροφοριών του συστήματος σχετικών τόσο με το non-access stratum (NAS) όσο και το access stratum (AS), τη σελιδοποίηση, την εγκαθίδρυση, τη διατήρηση και την αποδέσμευση των RRC συνδέσεων μεταξύ των UEs και του E-UTRAN. Επιπρόσθετα, είναι υπεύθυνο για λειτουργίες ασφαλείας, όπως η διαχείριση κλειδιών :

Καταστάσεις Λειτουργίας Κινητών Σταθμών: Η λειτουργία των UEs σε ένα δίκτυο LTE ,στο επίπεδο RRC, εναλλάσσεται μεταξύ δύο καταστάσεων :

❖ **RRC_Idle:** Η μετάδοση δεδομένων με τον σταθμό βάσης είναι ανενεργή, αλλά η συσκευή έχει ταυτότητα και η θέση της παρακολουθείται μέσα στο δίκτυο [4].

❖ **RRC_Connected:** Η μετάδοση δεδομένων με τον σταθμό βάσης είναι ενεργή. Σε κάθε αποστολή δεδομένων προς έναν UE γίνεται αξιολόγηση του καναλιού, ώστε ο eNB να ρυθμίσει κατάλληλα τις παραμέτρους

μετάδοσης.

Οι εναλλαγές μεταξύ των δύο καταστάσεων δεν πρέπει να ξεπερνούν τα 50ms.

- > **NAS:** Αποτελεί το υψηλότερο στρώμα του επιπέδου ελέγχου μεταξύ του UE και του MME. Υποστηρίζει την κινητικότητα των UE και τις διαδικασίες διαχείρισης συνεδριών, όπως η εγκαθίδρυση και διατήρηση της IP συνδεσιμότητας μεταξύ και PDN GW.

2.5 Κανάλια Μεταφοράς , Λογικά Κανάλια, Φυσικά Κανάλια

Προκειμένου να μεταφερθούν οι διάφοροι τύποι δεδομένων μέσα στο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης, χρησιμοποιούνται 3 είδη καναλιών : τα φυσικά κανάλια, τα κανάλια μεταφοράς και τα λογικά κανάλια. Τα μηνύματα ελέγχου και σηματοδοσίας και τα δεδομένα χρηστών είναι παραδείγματα της κίνησης του ασύρματου δικτύου που ανταλλάσσεται προκειμένου τα επίπεδα πρωτοκόλλων να συνεργαστούν και να αποδώσουν τα επιθυμητά αποτελέσματα και υπηρεσίες στους χρήστες. Ο ορισμός αυτών των 3 τύπων καναλιών επιτρέπει στα δεδομένα να κινηθούν με τρόπο οργανωμένο και σαφώς κατανοητό. Στις 3 επόμενες υποενότητες αναφέρουμε κάποια ενδεικτικά κανάλια που αντιστοιχούν στις κατηγορίες που προαναφέραμε.

2.5.1 Downlink

Φυσικά Κανάλια: Πρόκειται για κανάλια μετάδοσης τα οποία μεταφέρουν τα δεδομένα του χρήστη καθώς επίσης και μηνύματα ελέγχου μεταξύ των υποστρωμάτων του φυσικού επιπέδου. Διακρίνονται σε κανάλια δεδομένων και κανάλια ελέγχου .

- **Physical Broadcast Channel (PBCH):** Το PBCH κανάλι χρησιμοποιείται για την εκπομπή βασικών πληροφοριών του συστήματος στην κυψέλη. Μεταφέρει πληροφορίες του συστήματος σχετικά με τους UEs που έχουν πρόσβαση σε αυτό.

- **Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH):** Χρησιμοποιείται προκειμένου να πληροφορήσει τον UE σχετικά με τον τύπο των δεδομένων που έλαβε. Επιπλέον, κάνει γνωστό το μέγεθος του PDCCH.
- **Physical Downlink Control Channel (PDCCH):** Βασικό έργο του PDCCH καναλιού είναι να φέρει βασικές πληροφορίες προγραμματισμού του συστήματος όπως η κατανομή πόρων στο downlink. Περιέχει ένα μήνυμα γνωστό ως Downlink Control Information (DCI), το οποίο φέρει τις πληροφορίες ελέγχου για έναν UE ή για ομάδες UE
- **Physical Hybrid ARQ Indicator Channel (PHICH):** Το κανάλι αυτό χρησιμοποιείται προκειμένου να μεταφέρει σήματα HARQ ACK ή NACK τα οποία δηλώνουν την ορθή αποστολή και λήψη πακέτων δεδομένων.

Κανάλια Μεταφοράς: Τα κανάλια μεταφοράς αποτελούν το «κλειδί» για την επικοινωνία μεταξύ του υποστρώματος MAC και του φυσικού επιπέδου.

- **Broadcast Channel (BCH):** Είναι το LTE κανάλι που αντιστοιχεί στο Broadcast Control Channel (BCCH).

- **Downlink Shared Channel (DL-SCH):** Είναι το βασικό κανάλι για τη μεταφορά δεδομένων στην κατερχόμενη ζεύξη (downlink) και χρησιμοποιείται από πολλά λογικά κανάλια.

Multicast Channel (MCH): Χρησιμοποιείται για να μεταφέρει την MCCH πληροφορία για την δημιουργία πολλών μεταδόσεων.

2.5.2 Uplink

Φυσικά Κανάλια: Πρόκειται για κανάλια μετάδοσης τα οποία μεταφέρουν τα δεδομένα του χρήστη καθώς επίσης και μηνύματα ελέγχου[5].

- **Physical Uplink Control Channel (PUCCH) :** Είναι αρμόδιο για την μεταφορά πληροφοριών ελέγχου.

- **Physical Uplink Shared Channel (PUSCH)** :Χρησιμοποιείται για την μεταφορά της κίνησης στο επίπεδο 1 της στοίβας πρωτοκόλλων.
- **Physical Random Access Channel (PRACH)** : Χρησιμοποιείται για λειτουργίες τυχαίας πρόσβασης. Είναι η μόνη ασύγχρονη μετάδοση που μπορεί να κάνει ένας UE μέσα στο LTE δίκτυο.

Κανάλια Μεταφοράς: Τα κανάλια μεταφοράς φυσικού επιπέδου παρέχουν στο επίπεδο MAC απαραίτητες για την λειτουργία του πληροφορίες.

- **Uplink Shared Channel (UL-SCH)** : Είναι το βασικό κανάλι για τη μεταφορά δεδομένων στην ανερχόμενη ζεύξη (uplink) και χρησιμοποιείται από πολλά λογικά κανάλια .
- **Random Access Channel (RACH)** : Χρησιμοποιείται για λειτουργίες τυχαίας πρόσβασης.

2.5.3 Λογικά Κανάλια

Τα λογικά κανάλια αποτελούν την 3^η κατηγορία καναλιών η οποία χρησιμοποιείται σε ένα LTE δίκτυο. Ορίζουν τον τύπο της πληροφορίας που μεταδίδεται στο ασύρματο δίκτυο. Μεταφέρουν πακέτα δεδομένων και μηνύματα σηματοδότησης μεταξύ του RLC και του MAC πρωτοκόλλου. Χωρίζονται σε 2 υποκατηγορίες, τα κανάλια ελέγχου και τα κανάλια κίνησης.

Κανάλια Ελέγχου: Τα κανάλια ελέγχου μεταφέρουν όλη την πληροφορία στη μεριά

ελέγχου (control plane):

- **Broadcast Control Channel (BCCH):** Παρέχει πληροφορίες ελέγχου σε όλα τα τερματικά που είναι συνδεδεμένα με έναν eNB.
- **Paging Control Channel (PCCH):** Χρησιμοποιείται για σελιδοποίηση δεδομένων όταν αναζητείται κάποια μονάδα στο σύστημα.
- **Common Control Channel (CCCH):** Χρησιμοποιείται για πληροφορίες

τυχαίας πρόσβασης όπως για παράδειγμα όταν εγκαθιδρύεται μία νέα σύνδεση.

- **Multicast Control Channel (MCCH):** Χρησιμοποιείται για πληροφορίες που απαιτούνται σε περιπτώσεις όπως η multicast λήψη.
- **Dedicated Control Channel (DCCH):** Μεταφέρει πληροφορίες ελέγχου, όπως πληροφορίες σχετικά με τον έλεγχο ισχύος ή την μεταπομπή (handover).

Κανάλια Κίνησης: Τα κανάλια κίνησης μεταφέρουν όλη την πληροφορία στη μεριά χρήστη (user plane)

- **Dedicated Traffic Channel (DTCH):** Χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των δεδομένων του χρήστη.
- **Multicast Traffic Channel (MTCH):** Χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των multicast δεδομένων.

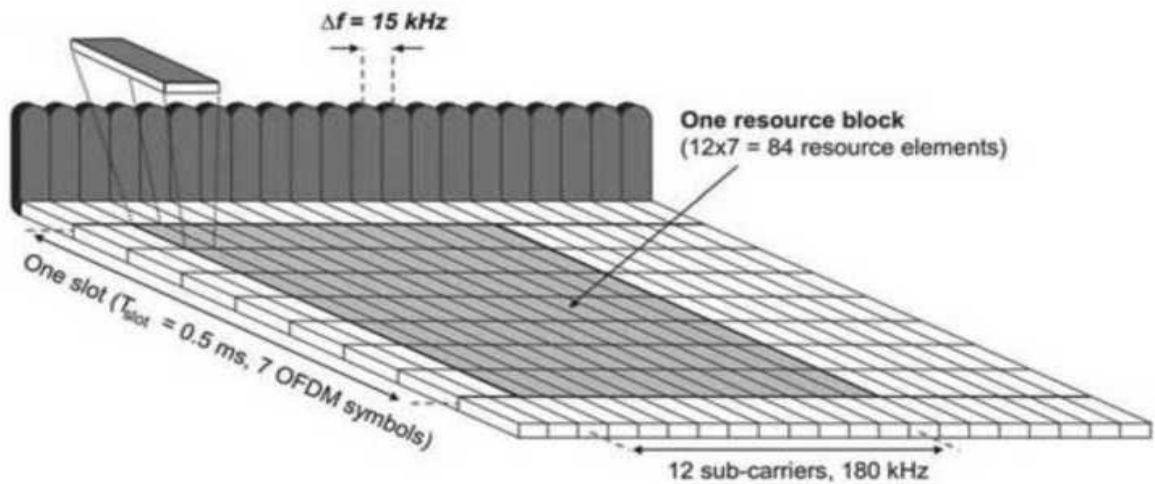
2.6 Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης Φυσικού Επιπέδου

Το φυσικό επίπεδο του LTE χρησιμοποιεί τις τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) και SC-FDMA (Single Carrier - FDMA) για την ανερχόμενη και κατερχόμενη ζεύξη αντίστοιχα. Η OFDM ικανοποιεί τις απαιτήσεις της τεχνολογίας LTE για ευελιξία φάσματος σε συνδυασμό με οικονομικά αποδοτικές λύσεις για τα πολύ ευρέα φέροντα (carriers), με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.

Με την τεχνική αυτή το εύρος ζώνης της ζεύξης διαιρείται σε ίσου μεγέθους υπό - φέροντα (sub-carriers) με διάστημα 15KHZ μεταξύ τους. Τα OFDM σύμβολα ομαδοποιούνται σε «resource blocks» καθένα από τα οποία, όποιο κι αν είναι το εύρος ζώνης του καναλιού, περιέχει 12 υποφέροντα των 7 συμβόλων. Στο πεδίο του χρόνου κάθε TTI (Transmission Time Interval) έχει διάρκεια 1ms και αποτελείται από 2 χρονοθυρίδες (Tslot) των 0.5 ms και 7 OFDM συμβόλων.

Μια ιδιαίτερα σημαντική λεπτομέρεια συνιστά το γεγονός ότι η τεχνική αυτή έχει

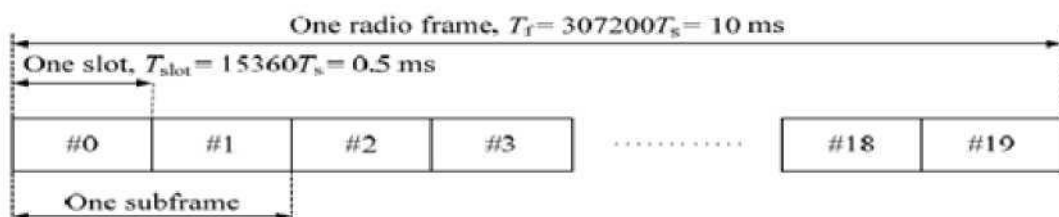
εμπλουτιστεί με τη χρήση ενός κυκλικού προθέματος CP (Cyclic Prefix) προκειμένου να αποφευχθεί η διασυμβολική παρεμβολή σε ένα κανάλι πολλαπλών διαδρομών. Κατά συνέπεια, το εύρος ζώνης δεν καταλαμβάνεται αποκλειστικά από τα υποφέροντα αυτά καθ'αυτά αλλά και από τα CP. Το μέγεθος ενός CP είναι 4μs (short) ή 16.7μs (long).



Εικόνα 2.3: OFDM τεχνική

SC-FDMA, είναι μια τεχνική παρόμοια με την OFDM, που ωστόσο έρχεται να αντιμετωπίσει ένα βασικό μειονέκτημα της. Η OFDM έχει υψηλές απαιτήσεις ισχύος και προϋποθέτει τη χρήση δαπανηρών ενισχυτών με απαιτήσεις για γραμμικότητα. Η SC-FDMA αντιμετωπίζει το παραπάνω πρόβλημα ομαδοποιώντας τα «resource blocks», μειώνοντας τις απαιτήσεις για γραμμικότητα και κατ'επέκταση την κατανάλωση ισχύος. Λόγω των χαμηλών απαιτήσεων ισχύος συνεισφέρει στην παράταση ζωής της μπαταρίας του UE.

Τέλος, και στις δύο τεχνικές η δομή των υποπλαισίων είναι ίδια στην FDD και την TDD διπλεξία.



[13]

Εικόνα 2.4: FDD OFDM δομή πλαισίων

2.7 Πρωτόκολλα Ελέγχου σφαλμάτων και Αναμετάδοσης

Το πρότυπο LTE προκειμένου να παρέχει αξιοπιστία και ταχύτητα στη μετάδοση δεδομένων, ενσωματώνει δύο μηχανισμούς ελέγχου σφαλμάτων και αναμετάδοσης- το Hybrid Automatic Repeat reQuest (HARQ) του επιπέδου MAC και το Automatic Repeat reQuest (ARQ) του επιπέδου RLC. Ο ρόλος του μηχανισμού ARQ είναι απλός και συμπληρωματικός αυτού του HARQ. Όταν ληφθεί ένα πακέτο δεδομένων με σφάλματα (τα οποία εντοπίζει το ARQ), τότε το πακέτο απορρίπτεται και ζητείται αναμετάδοση από τον αποστολέα. Από τη άλλη, ο μηχανισμός HARQ προβλέπει την προσωρινή αποθήκευση ενός πακέτου με σφάλματα σε έναν ενταμιευτή (buffer) και την παράλληλη αποστολή αιτήματος στον αποστολέα για αναμετάδοση ενός αντιγράφου του λανθασμένου πακέτου. Η εν λόγω αίτηση στέλνεται στο κανάλι PUCCH. Στο τέλος τα δύο πακέτα συνδυάζονται και αποκωδικοποιούνται ώστε να εξαχθούν τα σωστά δεδομένα. Στόχος του HARQ είναι η γρήγορη λειτουργία του ελέγχου σφάλματος και της αίτησης αναμετάδοσης προς τον αποστολέα προκειμένου η αναμετάδοση να συμβεί με την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση. Για το λόγο αυτό, η παραπάνω διαδικασία συμβαίνει για κάθε λαμβανόμενο μπλοκ δεδομένων. Ο μηχανισμός HARQ περιλαμβάνει stop-and-wait (SAW) διαδικασίες. Πρακτικά, κάθε φορά που η διαδικασία αποστολέας στείλει ένα μπλοκ δεδομένων, απενεργοποιείται (δεν στέλνει άλλα μπλοκ) μέχρι να λάβει μία θετική ή μια αρνητική απάντηση (ACK/NACK) από τη μεριά προορισμού. Αν η απάντηση είναι ACK, τότε η διαδικασία θα στείλει ένα νέο μπλοκ δεδομένων που αναμένει στην ουρά αποστολής, ενώ αν η απάντηση είναι NACK τότε στέλνεται εκ νέου το προηγούμενο μπλοκ, αφού είτε δεν ελήφθη καθόλου από την μεριά λήψης είτε ελήφθη με λάθη. Με μία πρώτη ματιά η παραπάνω διαδικασία δείχνει να εισάγει καθυστέρηση στην αποστολή των πακέτων, το μυστικό όμως της μη καθυστέρησης κρύβεται πίσω από την ύπαρξη πολλαπλών διαδικασιών αποστολής, όπου στην περίπτωση του FDD LTE είναι 8. Κάθε μία από τις διαδικασίες είναι υπεύθυνη για την αποστολή των μπλοκ, κι αν ακόμα κάποιες από αυτές «καθυστερούν» γιατί αναμεταδίδουν «παλιά» πακέτα, υπάρχουν άλλες που αναλαμβάνουν την μετάδοση νέων.

Οι εκπομπές HARQ γίνονται ασύγχρονα στην κατερχόμενη ζεύξη (η αναμετάδοση των μπλοκ γίνεται οποιαδήποτε στιγμή, ανάλογα τον φόρτο του καναλιού) και σύγχρονα στην ανερχόμενη (η αναμετάδοση γίνεται στο προκαθορισμένο slot, χωρίς πρόσθετη σηματοδότηση).

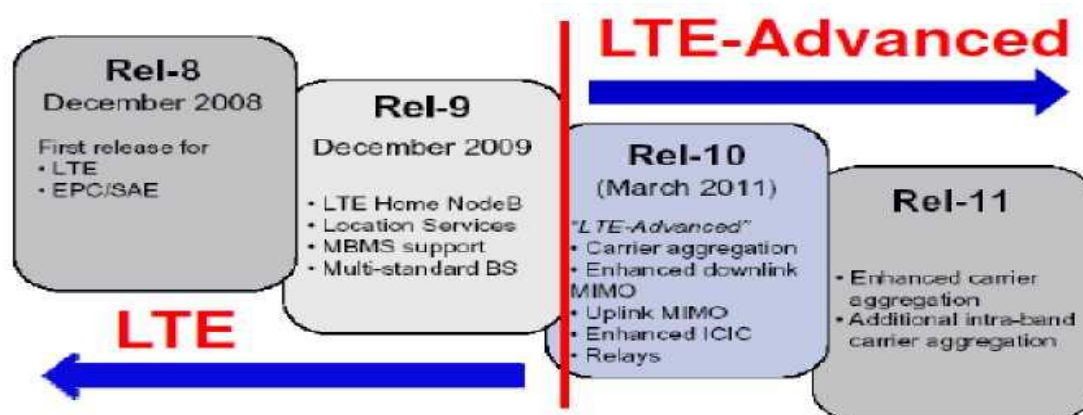
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Το 3GPP LTE-Advanced (Release 11) ως πρότυπο 4ης γενιάς

Στο παρόν κεφάλαιο εισαγόμαστε στα χαρακτηριστικά του 4G προτύπου LTE-Advanced και παρουσιάζουμε τις προδιαγραφές με βάση τις οποίες δημιουργήθηκε. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στις προσφερόμενες υπηρεσίες του προτύπου και κυρίως στην επικοινωνία μηχανής με μηχανή (MTC-Machine Type Communication).

3.1 Από το LTE στο LTE-Advanced

Η 3GPP, προκειμένου να ικανοποιήσει τις προδιαγραφές που έθεσε η ITU-R (International Telecommunication Union - Radiocommunication sector) - για τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς (4G) - στο IMT-advanced (International Mobile Telecommunications- Advanced), ξεκίνησε το 2008 τις εργασίες ανάπτυξης μίας τεχνολογίας, βασισμένης στο LTE release 8, η οποία ονομάστηκε LTE-advanced. Το LTE-advanced υπόσχεται πολύ υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, ελάχιστες καθυστερήσεις στη μετάδοση, βελτίωση στη φασματική απόδοση του συστήματος τόσο για τους χρήστες που βρίσκονται κοντά στον σταθμό βάσης όσο και για τους χρήστες στα άκρα της κυψέλης καθώς επίσης και μεγάλη αύξηση στη χωρητικότητα του συστήματος ώστε να ικανοποιεί τον ολοένα αυξανόμενο αριθμό χρηστών. Στο release 10 της 3GPP, ορίστηκαν οι πρώτες βελτιώσεις αλλά και η εισήχθησαν νέες λειτουργίες που έρχονται να εμπλουτίσουν το 3G πρότυπο LTE release 8 καθιστώντας το ως ένα πρότυπο 4^{ης} γενιάς. Οι εργασίες και οι πειραματικές δοκιμές για το release 10 ολοκληρώθηκαν τον Μάρτιο του 2011 και παράλληλα ξεκίνησαν οι εργασίες για την προτυποποίηση του LTE release 11, οι οποίες με τη σειρά τους ολοκληρώθηκαν τον Δεκέμβριο του 2012. Το release 11 έρχεται περισσότερο να βελτιώσει τις λειτουργίες και τις τεχνικές του release 10, παρά να εισάγει νέες. Οι δύο αυτές εκδόσεις (releases) της 3GPP για το LTE - η release10 και η release 11- συνθέτουν το πρώτο στάδιο ανάπτυξης της τεχνολογίας LTE-advanced - το LTE-A - το οποίο μας εισάγει στον κόσμο μιας νέας γενιάς δικτύων - των 4G δικτύων. Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε και θα αναλύσουμε όλα τα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες της τεχνολογίας LTE - advanced του release 11, ωστόσο πρέπει να επισημάνουμε ότι οι περισσότερες από αυτές εισήχθησαν κατά το release10 και

βελτιώθηκαν στη νεότερη έκδοση 11.



Εικόνα 3.1: LTE και LTE-Advanced 3GPP releases

3.2 IMT-advanced

3.2.1 Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU)

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) είναι ο εξειδικευμένος οργανισμός των Ηνωμένων Εθνών που ασχολείται με ζητήματα που αφορούν τον τομέα των Τηλεπικοινωνιών και των τεχνολογιών αυτού. Η ITU δραστηριοποιείται στους τομείς των Ευρυζωνικών Δικτύων, των Ασύρματων Επικοινωνιών, της Δορυφορικής Μετεωρολογίας, της ράδιο-αστρονομίας και σε πολλούς ακόμη. Το φάσμα των λειτουργιών της είναι ιδιαίτερα ευρύ περιλαμβάνοντας δραστηριότητες όπως η ανάπτυξη τηλεπικοινωνιακών προτύπων παγκοσμίως εφαρμόσιμων, ο διαμοιρασμός του ράδιο-φάσματος (όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2), η ανάθεση δορυφορικών τροχιών, η βελτίωση των τηλεπικοινωνιακών υποδομών κ.α.

Συνίσταται από 4 τομείς, κάθε ένας από τους οποίους χειρίζεται από τη δική του σκοπιά της δραστηριότητες του οργανισμού. Οι εν λόγω τομείς είναι οι εξής :

- Τομέας Ράδιο-επικοινωνιών (ITU-R)

- Τομέας Τυποποίησης (ITU-T)
- Τομέας Ανάπτυξης (ITU-D)
- ITU TELECOM

3.2.2 Προδιαγραφές IMT-advanced

Το 2008 ο τομέας Ράδιο-τηλεπικοινωνιών της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU-R) έθεσε μία σειρά προδιαγραφών - ελάχιστων απαιτήσεων για τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα 4^{ης} γενιάς υπό την ονομασία IMT-advanced (International Mobile Telecommunications). Ο προκάτοχος του IMT-advanced είναι το IMT-2000 το οποίο αντίστοιχα έθεσε τις προδιαγραφές για τα συστήματα 3^{ης} γενιάς. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφέρουμε πως ο όρος «4G» είναι ανεπίσημος και προσδίδεται στα δίκτυα που ακολουθούν τις IMT-advanced προδιαγραφές. Πιο συγκεκριμένα [15] :

- Παγκόσμια εφαρμόσιμο σύστημα , το οποίο όμως διατηρεί την ευελιξία να υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών και εφαρμογών με οικονομικά αποδοτικό τρόπο.
- Συμβατότητα των υπηρεσιών με άλλα IMT αλλά και σταθερά δίκτυα.
- Υψηλή ποιότητα κινητών υπηρεσιών.
- UE (User Equipment) κατάλληλοι για παγκόσμια χρήση (λόγω της κατανομής του ράδιο-φάσματος ανά τον κόσμο).
- Υπηρεσίες, εφαρμογές και εξοπλισμός φιλικά προς τον χρήστη.
- Δυνατότητες για παγκόσμια περιαγωγή.
- Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης για την υποστήριξη προηγμένων υπηρεσιών και εφαρμογών. Ως στόχοι ορίστηκαν τα 100 Mbps για υψηλή και 1 Gbps για χαμηλή κινητικότητα.

Με την οριστικοποίηση των ανωτέρω απαιτήσεων, η 3GPP οργάνωσε ομάδες μελέτης προκειμένου να εξετάσουν και να προτείνουν τρόπους ικανοποίησης τους, με απώτερο σκοπό την ανάπτυξη ενός προτύπου -μέσω των ομάδων εργασίας- το οποίο θα πληρεί τις προϋποθέσεις μίας 4G τεχνολογίας. Η προσπάθεια αυτή ήδη φανερώνεται από το 3GPP release 9. Ωστόσο, το πρώτο πρότυπο που προτείνεται από

την 3GPP και αναγνωρίζεται ως IMT-advanced πρότυπο, είναι το LTE-Advanced (release 10). Μοναδικός ανταγωνιστής του LTE - advanced, υπήρξε -και συνεχίζει να είναι- το WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Το WiMAX προτάθηκε από την IEEE ως IMT-advanced πρότυπο και έγινε δεκτό μαζί με το LTE-advanced από την ITU-R.

3.3 Χαρακτηριστικά LTE-Advanced

Το LTE-Advanced έρχεται να βελτιώσει τον προκάτοχο του, LTE, προκειμένου να επιτύχει τους στόχους που θέτει το IMT-Advanced πρότυπο. Με κύριο γνώμονα την αύξηση της χωρητικότητας, την καλύτερη διαχείριση του ραδιο-φάσματος και τη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου, κατάφερε να αυξήσει τις ταχύτητες μετάδοσης των δεδομένων στο downlink και στο uplink στα 1Gbps και 500 Mbps αντίστοιχα σε καταστάσεις μηδενικής κινητικότητας, ενώ στα 100 και 10 Mbps σε ακραίες καταστάσεις υψηλής κινητικότητας. Οι προαναφερθέντες ρυθμοί, που αφορούν σε καταστάσεις υψηλής κινητικότητας, αξίζει να σημειώσουμε ότι ξεπερνούν κατά πολύ τις προσδόκιμες ταχύτητες του 3.9G LTE προτύπου σε καταστάσεις μηδενικής κινητικότητας (βλ. Πίνακα 3.2). Όπως κάθε τεχνολογία δικτύων, το LTE-Advanced συνεχώς εξελίσσεται. Το γνωρίσαμε μέσα από το Release 10 της 3GPP, ενώ σήμερα μελετάμε τις βελτιώσεις και τις προσθήκες που έγιναν στο Release 11. Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι επιδόσεις του προτύπου LTE-Advanced, καθώς και οι στόχοι που τέθηκαν για τα πρότυπα IMT-Advanced, ενώ στον Πίνακα 3.2 γίνεται μία σύντομη σύγκριση των ταχυτήτων του LTE-Advanced και άλλων 3G προτύπων. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι στην παρούσα παράγραφο αναφέρονται κάποια από τα βασικά τεχνολογικά χαρακτηριστικά του LTE-Advanced, όχι όμως τόσα ώστε να διαμορφωθεί μια πλήρης εικόνα για τη νέα αυτή τεχνολογία. Τα κεφάλαια 4 και 5 κρύβουν πίσω από την αρχιτεκτονική και τις τεχνολογίες του δικτύου LTE-Advanced τις υπόλοιπες πτυχές του προτύπου.

Πίνακας 3.1: Απαιτήσεις IMT-Advanced και LTE-Advanced επιδόσεις

| Item | IMT Advanced Requirement | LTE-Advanced Projected Capability |
|---|--------------------------|-----------------------------------|
| Peak Data Rate Downlink | | 1 Gbps |
| Peak Data Rate Uplink | | 500 Mbps |
| Spectrum Allocation | Up to 40 MHz | Up to 100 MHz |
| Latency User Plane | 10 msec | 10 msec |
| Latency Control Plane | 100 msec | 50 msec |
| Peak Spectral Efficiency DL ^{1,33} | 15 bps/Hz | 30 bps/Hz |
| Peak Spectral Efficiency UL | 6.75 bps/Hz | 15 bps/Hz |
| Average Spectral Efficiency DL | 2.2 bps/Hz | 2.6 bps/Hz |
| Average Spectral Efficiency UL | 1.4 bps/Hz | 2.0 bps/Hz |
| Cell-Edge Spectral Efficiency DL | 0.06 bps/Hz | 0.09 bps/Hz |
| Cell-Edge Spectral Efficiency UL | 0.03 bps/Hz | 0.07 bps/Hz |

3.3.1 Προς τα πίσω συμβατότητα

Ένα από τα βασικά ερωτήματα που γεννούνται με την εμφάνιση μίας νέας τεχνολογίας, είναι το τι θα συμβεί με την λειτουργία των συσκευών που βασίζονται σε προγενέστερη τεχνολογία. Το LTE-Advanced πρότυπο προβλέπει την υποστήριξη των συσκευών που είναι βασισμένες στην LTE τεχνολογία, προκειμένου μέσα σε ένα νέο και εξελιγμένο δίκτυο να λειτουργούν ομαλά. Στο κεφάλαιο 5, θα αναφερθούμε στις βασικότερες τεχνολογίες LTE-Advanced και θα διαπιστώσουμε πώς αυτές προβλέπουν και υποστηρίζουν τις LTE συσκευές.

3.3.2 Διπλεξία

Ακριβώς όπως στο πρότυπο LTE, υποστηρίζονται τόσο η διπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDD) όσο και η διπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDD).

3.3.3 Διαμόρφωση

Στην κατερχόμενη ζεύξη γίνεται χρήση της OFDM διαμόρφωσης του σήματος ενώ στην ανερχόμενη της SC-FDMA, όπως και στο πρότυπο LTE.

3.3.4 FDD και TDD Ζώνες Συχνότητας

Μία ιδιαίτερα σημαντική πτυχή των ζωνών συχνοτήτων είναι η ανεξάρτητη από την LTE έκδοση (release), χρήση τους. Αυτό σημαίνει ότι παλαιότερες μπάντες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από νεότερες εκδόσεις, αλλά και νεοεισαχθείσες από παλαιότερες εκδόσεις. Ως αποτέλεσμα, το LTE- advanced δίκτυο -και στις 2 ισχύουσες εκδόσεις του (rel11-rel12)- κάνει χρήση των ζωνών 1-22 και 33-41 οι οποίες αποκτήθηκαν κατά τις εκδόσεις του 3G LTE 8 και 9. Ωστόσο, δεδομένου ότι ένα 4G δίκτυο στρέφεται προς την αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος, συναντάμε την προσθήκη των ζωνών 2325 και 42-43 στην έκδοση 10 αλλά και των ζωνών 26-28 και 44 στην έκδοση 11. Στους Πίνακες 3.3 και 3.4 παρουσιάζονται όλες οι FDD και TDD μπάντες-ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στην LTE τεχνολογία αντίστοιχα.

| Band | Uplink MHz | | Downlink MHz | | Width |
|------|------------|--------|--------------|--------|-------|
| | | | | | |
| 1 | 1920 | 1980 | 2110 | 2170 | 60 |
| 2 | 1850 | 1910 | 1930 | 1990 | 60 |
| 3 | 1710 | 1785 | 1805 | 1880 | 75 |
| 4 | 1710 | 1765 | 2110 | 2155 | 45 |
| 5 | 824 | 849 | 869 | 894 | 25 |
| 6 | 830 | 840 | 865 | 875 | 10 |
| 7 | 2500 | 2570 | 2620 | 2690 | 70 |
| 8 | 880 | 915 | 925 | 960 | 35 |
| 9 | 1749.9 | 1784.9 | 1844.9 | 1879.9 | 35 |
| 10 | 1710 | 1770 | 2110 | 2170 | 60 |
| 11 | 1427.9 | 1447.9 | 1475.9 | 1495.9 | 20 |
| 12 | 698 | 716 | 728 | 746 | 18 |
| 13 | 777 | 787 | 746 | 756 | 10 |
| 14 | 788 | 798 | 758 | 768 | 10 |
| 15* | 1900 | 1920 | 2600 | 2620 | 20 |
| 16* | 2010 | 2025 | 2585 | 2600 | 15 |
| 17 | 704 | 716 | 734 | 746 | 12 |
| 18 | 815 | 830 | 860 | 875 | 15 |
| 19 | 830 | 845 | 875 | 890 | 15 |
| 20 | 832 | 862 | 791 | 821 | 30 |
| 21 | 1447.9 | 1462.9 | 1495.9 | 1510.9 | 15 |
| 22 | 3410 | 3490 | 3510 | 3590 | 80 |
| 23 | 2000 | 2020 | 2180 | 2200 | 20 |
| 24 | 1626.5 | 1660.5 | 1525 | 1559 | 34 |
| 25 | 1880 | 1915 | 1930 | 1995 | 65 |
| 26 | 814 | 849 | 859 | 894 | 35 |
| 27 | 807 | 824 | 852 | 869 | 17 |

Πίνακας 3.2 : LTE-Advanced FDD ζώνες συχνοτήτων

| Band | Uplink MHz | | Downlink MHz | |
|------|------------|------|--------------|------|
| 33 | 1900 | 1920 | 1900 | 1920 |
| 34 | 2010 | 2025 | 2010 | 2025 |
| 35 | 1850 | 1910 | 1850 | 1910 |
| 3G | 1930 | 1990 | 1930 | 1990 |
| 37 | 1910 | 1930 | 1910 | 1930 |
| 38 | 2570 | 2620 | 2570 | 2620 |
| 39 | 1830 | 1920 | 1830 | 1920 |
| 40 | 2300 | 2400 | 2300 | 2400 |
| 41 | 2496 | 2690 | 2496 | 2690 |
| 42 | 3400 | 3600 | 3400 | 3600 |
| 43 | 3600 | 3800 | 3600 | 3800 |
| 44 | 703 | 803 | 703 | 803 |

Πίνακας 3.3: LTE-Advanced TDD ζώνες συχνοτήτων

Στο release 11 του LTE-Advanced προστίθεται επιπλέον η μπάντα 29 των 717 MHz-728 MHz, η οποία αφορά την κατερχόμενη ζεύξη (downlink) και χρησιμοποιείται για την υλοποίηση Carrier Aggregation (CA) σεναρίων τα οποία θα εξετάσουμε παρακάτω.

3.4 Υπηρεσίες LTE-Advanced

Είναι γνωστό ότι μία τεχνολογία κινητών επικοινωνιών δεν αναπτύσσεται προς χάρη της επιστήμης αυτής κάθε αυτής, αλλά με κύριο γνώμονα την εξυπηρέτηση των αναγκών της αγοράς. Ένα δίκτυο επικοινωνιών σε συνδυασμό με μία ποικιλία κινητών συσκευών όπως κινητά τηλέφωνα, tablets, φορητοί υπολογιστές και PDAs μπορεί να παρέχει μία ευρεία γκάμα υπηρεσιών. Όσο πιο εξελιγμένο είναι ένα δίκτυο τόσο εξελιγμένες είναι οι συσκευές και οι υπηρεσίες που προσφέρει, ενώ η ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχονταν ήδη από δίκτυα παλαιότερων τεχνολογιών βελτιώνεται αισθητά.

Τα δίκτυα 4^{ης} γενιάς με τις ταχύτητες που προσφέρουν, ανταγωνίζονται πλέον τις ταχύτητες των δικτύων σταθερών επικοινωνιών που είναι βασισμένα σε οπτικές ίνες. Το γεγονός αυτό θα καταστήσει εφικτή την παροχή υπηρεσιών, οι οποίες δεν ήταν έως τώρα διαδεδομένες στο χώρο των κινητών επικοινωνιών, όπως η παρακολούθηση τηλεόρασης από τα κινητά τηλέφωνα, η τηλεδιάσκεψη και τα on-line παιχνίδια.

Υπηρεσίες οι οποίες παρέχονταν ήδη από τα δίκτυα 3^{ης} γενιάς, όπως το κατέβασμα μουσικής και video ή η περιήγηση στο διαδίκτυο, θα προσφέρονται πλέον σε πολύ μεγάλες ταχύτητες, ενώ ο όγκος δεδομένων που θα διακινούνται θα είναι κατά πολύ αυξημένος σε σημείο να επιτρέπεται το κατέβασμα ολόκληρων ταινιών. Επιπλέον, υπηρεσίες live streaming αναμένονται να παρέχονται χωρίς διακοπές και με πολύ καλή ποιότητα και ευκρίνεια (σε περιπτώσεις εικόνας).

Επιπρόσθετα, ένα δίκτυο LTE-Advanced μπορεί να παρέχει όχι μόνο περισσότερες και καλύτερες υπηρεσίες στους χρήστες, αλλά και να υποστηρίζει την παροχή υπηρεσιών σε μεγαλύτερο όγκο χρηστών.

Ορισμένες από τις πιο ενδιαφέρουσες κατηγορίες υπηρεσιών που προσφέρονται στους χρήστες ενός LTE-Advanced δικτύου είναι:

- **Ομιλία:** Το πρότυπο του LTE υποστηρίζει μεταγωγή πακέτων, αφού η δομή του

βασίζεται στην αρχιτεκτονική δικτύου IP. Οι τηλεφωνικές κλήσεις που πραγματοποιούνται στα δίκτυα GSM, UMTS και CDMA2000 αποτελούν μεταγωγή κυκλώματος. Δημιουργήθηκε, λοιπόν, η ανάγκη ανάπτυξης υπηρεσιών ομιλίας βασισμένες στη μεταγωγή πακέτου. Πάνω σε αυτό το θέμα αναπτύχθηκαν τρεις εναλλακτικές επιλογές. Αρχικά, οι μεγάλοι χρηματοδότες του εγχειρήματος του LTE, προώθησαν το VoLTE (Voice over LTE). Ωστόσο, η έλλειψη στην υποστήριξη εφαρμογών τόσο στις τερματικές συσκευές όσο και στις συσκευές του πυρήνα του δικτύου οδήγησαν ορισμένους πάροχους στη προώθηση του VoLGA (Voice over LTE Generic Access) ως μια ενδιάμεση λύση. Η ιδέα ήταν να χρησιμοποιηθούν οι ίδιες αρχές στις οποίες βασίστηκε το GAN (Generi Access Network), που καθορίζει τα πρωτόκολλα μέσω των οποίων ένα κινητό τηλέφωνο

μπορεί να πραγματοποιεί τηλεφωνικές κλήσεις χρησιμοποιώντας μια ιδιωτική σύνδεση στο Διαδίκτυο, συνήθως μέσω ενός ασύρματου τοπικού δικτύου. Όμως το VoLGA δεν έτυχε μεγάλης αναγνώρισης, καθώς το VoLTE υποσχόταν μεγαλύτερη ευελιξία υπηρεσιών παρ' όλο το κόστος αναβάθμισης ολόκληρων των υποδομών του δικτύου. Παρ' όλο που η βιομηχανία του LTE φαινομενικά έχει καταλήξει σε VoLTE για μελλοντική υλοποίηση, η ανάγκη για την άμεση και ομαλή πραγματοποίηση τηλεφωνικών κλήσεων, οδήγησε τους παρόχους LTE στην εισαγωγή του CSFB (Circuit Switched FallBack) ως

μια προσωρινή λύση. Με αυτό το μηχανισμό, οι συσκευές LTE θα διεκπεραιώνουν τη κλήση μέσω των δικτύων 2G ή 3G για όσο διαρκεί η κλήση.

- **Web browsing:** Περιλαμβάνει απλές υπηρεσίες περιήγησης στο διαδίκτυο.
- **Live streaming και IPTV:** Περιλαμβάνει την παρακολούθηση τηλεόρασης και video, καθώς και τη χρήση άλλων πολυμεσικών υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο, χωρίς διακοπές και με υψηλή ποιότητα ήχου και εικόνας. Οι εφαρμογές αυτές είναι ευαίσθητες σε καθυστερήσεις και στην μεταβολή της καθυστέρησης. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα για αυτόματη διαμόρφωση των προγραμμάτων ανάλογα με τις προτιμήσεις του χρήστη.
- **Υπηρεσίες κοινωνικής δικτύωσης (social networking):** Το LTE υποστηρίζει τις υπηρεσίες κοινωνικής δικτύωσης μέσω μίας ευρείας συλλογής ραδιο-διεπαφών.
- **Πρόσβαση σε μεγάλους όγκους δεδομένων:** Αφορά την πρόσβαση και ενδεχομένως το «κατέβασμα» μεγάλων αρχείων όπως μουσική, ταινίες, εγκυκλοπαίδειες. Οι υπηρεσίες αυτές είναι ανεκτικές στις καθυστερήσεις και όλη σχεδόν η κίνηση της βρίσκεται στην κατερχόμενη ζεύξη.
- **Τηλεϊατρική:** Αφορά στην εξ αποστάσεως παρακολούθηση ασθενών, όπως σε περιπτώσεις ηλικιωμένων που ζουν μόνοι, αλλά και επικοινωνία μεταξύ ιατρών, νοσοκομειακών υπαλλήλων και πληρώματος ασθενοφόρων για την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με ασθενείς. Οι υπηρεσίες αυτές είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες σε θέματα ασφάλειας, αφού οι χρήστες θα έχουν πρόσβαση σε ιατρικά αρχεία.
- **Τηλεπαρουσία:** Αφορά στην εξέλιξη των εφαρμογών τηλεδιάσκεψης. Ένας χρήστης θα μπορεί να προκαλεί την αίσθηση παρουσίας του σε κάποιο χώρο, χωρίς να βρίσκεται εκεί. Γίνεται χρήση τεχνικών εικονικής πραγματικότητας και είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στις μεταβολές της καθυστέρησης, αφού αναφερόμαστε σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου.
- **Εξ αποστάσεως εκπαίδευση:** Ιδιαίτερα εφαρμόσιμη υπηρεσία σε περιπτώσεις κατοίκων απομακρυσμένων περιοχών, όπου τα σταθερά δίκτυα είτε δεν έχουν εγκαταστάσεις, είτε λόγω απόστασης οι ρυθμοί μετάδοσης

είναι πολύ χαμηλοί.

- **Εξ αποστάσεως εργασία:** Εφαρμογές τέτοιου είδους μπορεί να απαιτούν ανταλλαγή μεγάλων όγκων δεδομένων και στις 2 ζεύξεις, αλλά και εφαρμογές τηλεδιάσκεψης. Είναι σημαντική η παροχή υπηρεσιών ασφάλειας σε αυτού του είδους τις εφαρμογές.
- **On-line παιχνίδια:** Εφαρμογές που σε πολλές περιπτώσεις βασίζονται στην αλληλεπίδραση παιχτών. Είναι αρκετά ευαίσθητες σε καθυστερήσεις.
- **Ασφάλεια:** Οι υπηρεσίες ασφάλειας διαδραματίζουν καταλυτικό ρόλο στην υποστήριξη άλλων υπηρεσιών όπως οι τραπεζικές συναλλαγές, οι πληρωμές μέσω δικτύου, η επιστημονική συνεργασία από απόσταση κ.α.
- **Υπηρεσίες προσδιορισμού γεωγραφικής θέσης:** Οι ανάλογες υπηρεσίες των δικτύων 3^{ης} γενιάς έδιναν ως γεωγραφική θέση ενός χρήστη την κυψέλη από την οποία εξυπηρετείται χωρίς ακριβέστερες πληροφορίες και με πιθανές παρεκκλίσεις εκατοντάδων μέτρων. Σε ένα LTE-Advanced δίκτυο θα υπάρχει η πιθανότητα προσδιορισμού της θέσης ενός χρήστη με υψηλή ακρίβεια.
- **Επικοινωνία μεταξύ μηχανών (Machine Type Communication):** Οι υπηρεσίες αυτού του τύπου αναπτύσσονται ιδιαίτερα γρήγορα και το ενδιαφέρον που δίνεται από τους μελετητές και τους χρήστες της LTE-Advanced τεχνολογίας είναι τεράστιο. Για το λόγο αυτό στην παράγραφο που ακολουθεί δίνεται μία εκτενής παρουσίαση των MTC υπηρεσιών.

3.4.1 Machine Type Communication (MTC)

Η Machine Type Communication (MTC) ή απλούστερα M2M επικοινωνία, αποτελεί μία από τις νεότερες και πιο καινοτόμες τεχνολογίες, που αναπτύσσονται και παρουσιάζονται στα LTE δίκτυα. Έχουμε συνηθίσει να μιλάμε για επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων, με τη βοήθεια μηχανών όταν αυτές βρίσκονται εντός κάποιας κυψέλης σε δίκτυο κινητών επικοινωνιών. Αυτή τη φορά, όμως, πρόκειται να μιλήσουμε για την επικοινωνία μεταξύ μηχανών, οι οποίες επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους, χωρίς (ή με ελάχιστη) ανθρώπινη παρέμβαση. Το πεδίο εφαρμογών της εν λόγω τεχνολογίας είναι ιδιαίτερα ευρύ περιλαμβάνοντας συστήματα για ιατρική

παρακολούθηση από απόσταση, συστήματα αισθητήρων για την παρακολούθηση περιβαλλοντικών παραμέτρων αλλά και συστήματα παρακολούθησης της κίνησης ενός δικτύου για αποφυγή υπερφόρτωσης κ.α.

Ασχέτως από τον τύπο της μηχανής ή των δεδομένων, τα δεδομένα ακολουθούν μία συγκεκριμένη ροή - ξεκινώντας από μία μηχανή κινούνται μέσα στο δίκτυο και έπειτα μέσω μίας πύλης (gateway) περνούν σε ένα σύστημα όπου εξετάζονται και συμβαίνουν οι προβλεπόμενες ενέργειες. Αν και ανάλογα με τον τύπο M2M επικοινωνίας, οι διαδικασίες λειτουργίας της εφαρμογής ποικίλουν, υπάρχουν 4 βασικά στάδια ολοκλήρωσης:

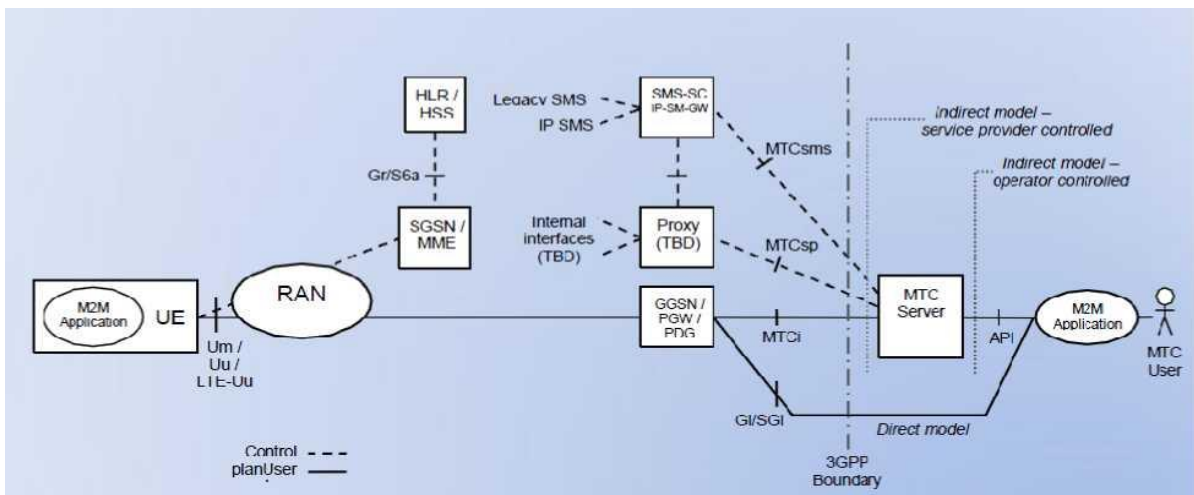
- Συλλογή δεδομένων.
- Μετάδοση των δεδομένων μέσω ενός δικτύου.
- Εκτίμηση των ληφθέντων δεδομένων.
- Απαντητικές ενέργειες με βάση τα δεδομένα.

Εμείς θα εστιάσουμε, όπως είναι λογικό, στο στάδιο της μετάδοσης δεδομένων μέσω δικτύου. Υπάρχουν 3 βασικές επιλογές για το δίκτυο που θα υποστηρίξει την M2M επικοινωνία:

- Το δίκτυο σταθερής τηλεφωνίας, το οποίο αποτελεί την καλύτερη λύση αν ήδη υπάρχει εγκατεστημένη γραμμή και το κόστος μπορεί να μοιραστεί μεταξύ πολλών χρηστών. Το βασικότερο μειονέκτημα της επιλογής αυτής είναι το μηνιαίο κόστος, ενώ στην περίπτωση μη εγκατεστημένης γραμμής, το κόστος και η δυσκολία εγκατάστασης.
- Το δορυφορικό δίκτυο αποτελεί την ακριβότερη λύση, αλλά και την ιδανικότερη σε περιπτώσεις ιδιαίτερα απομονωμένων περιοχών.
- Το δίκτυο κινητών επικοινωνιών με κυψέλες, αποτελεί την καταλληλότερη επιλογή, λόγω της ευρείας κάλυψης που προσφέρουν τα κυψελωτά δίκτυα ανά τον κόσμο, αλλά και της ικανότητάς τους να στέλνουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων με μεγάλη συχνότητα και με όλο μειούμενο κόστος. Τα δίκτυα αυτά, μάλιστα, αποτελούν έναν από τους βασικότερους λόγους που γνωρίζει επιτυχία η M2M επικοινωνία.

3.4.1.1 Αρχιτεκτονική MTC

Οι MTC συσκευές επικοινωνούν με το δίκτυο κορμού μέσω μίας πύλης προκειμένου να λάβουν ή να στείλουν δεδομένα. Για να επιτύχουν αυτή την επικοινωνία συνδέονται σε ένα δίκτυο πρόσβασης, όπως το LTE στην περίπτωση μας. Επικοινωνούν με το δίκτυο κορμού είτε κάθε συσκευή ατομικά, είτε συνιστώντας ομάδες (clusters). Μία σημαντική λεπτομέρεια στην MTC αρχιτεκτονική με τη συμμετοχή LTE δικτύου είναι η ανάγκη για σύσταση ενός τοπικού δικτύου από τις MTC συσκευές, το οποίο μπορεί να εξυπηρετηθεί μέσω μίας φεμτοκυψέλης (femtocell) (η έννοια της φεμτοκυψέλης αναλύεται στην παράγραφο 4.1.1). Η πύλη λαμβάνει τα δεδομένα της femtocell και στη συνέχεια τα στέλνει στο δίκτυο κορμού, το οποίο με τη σειρά του τα περνά στο διαδίκτυο, ώστε να φτάσουν στον αρμόδιο M2M server για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Μία πύλη επίσης είναι υπεύθυνη και για την ασφάλεια της επικοινωνίας, αφού είναι επιφορτισμένη και με το έργο της αυθεντικοποίησης των δεδομένων και του ελέγχου πρόσβασης. Επιπλέον, ο ρόλος της είναι εξίσου σημαντικός και στην περίπτωση όπου δεδομένα από το δίκτυο φτάσουν σε αυτή για να τα προωθήσει σε μία συσκευή - συνήθως για να εξυπηρετηθούν αιτήσεις ή για απομακρυσμένο έλεγχο. Ωστόσο, παρά την υφιστάμενη ομαδοποίηση, θα πρέπει να υπάρχει end-to-end επικοινωνία μεταξύ κάθε MTC συσκευής και του MTC server. Τέλος, πολλά μικρά τοπικά δίκτυα MTC συσκευών που υπάγονται στην ίδια εφαρμογή, μπορούν να ομαδοποιηθούν σε μεγαλύτερα δίκτυα για να καλύψουν μία ευρύτερη περιοχή. Στην Εικόνα 3.2 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική ενός MTC δικτύου.



Εικόνα 3.4 : Αρχιτεκτονική MTC

3.4.1.2 Έλεγχος υπερφόρτωσης δικτύου

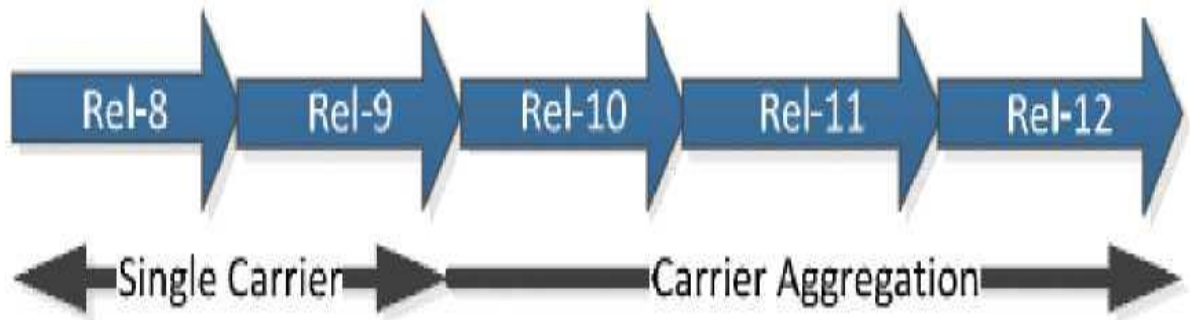
Λόγω του μεγάλου αριθμού MTC συσκευών που μπορούν να συνδεθούν ταυτόχρονα και της μεγάλης κίνησης δεδομένων, το δίκτυο πρέπει να αναπτύξει μηχανισμούς ελέγχου πιθανής υπερφόρτωσης. Συμφόρηση του δικτύου μπορεί να συμβεί λόγω μαζικής ταυτόχρονης μετάδοσης δεδομένων και σηματοδοσίας, με αποτέλεσμα φοβερές καθυστερήσεις, απώλεια πακέτων, ακόμα και ανικανότητα παροχής της υπηρεσίας. Για το λόγο αυτό, αναπτύχθηκαν μηχανισμοί επεκταμένης πρόσβασης φραγής (Extended Access Barring-EAB) για το δίκτυο LTE, καθώς και ένας νέος τύπος πακέτου πληροφοριών συστήματος το SIB (System Information Block) τύπου 14, το οποίο περιέχει πληροφορίες σχετικά με το EAB. Οι πληροφορίες αυτές, ουσιαστικά, είναι ένας bitmap (0...9), ο οποίος διαμορφώνεται μέσω των μηνυμάτων σελιδοποίησης (paging) και δηλώνει εάν τα δεδομένα που κινούνται ανήκουν σε συσκευή με φραγή ή όχι ώστε να μπλοκαριστούν. Μια MTC συσκευή κατά την εγκαθίδρυση RRC σύνδεσης, μπορεί να χαρακτηριστεί ως ανεκτική σε καθυστερήσεις. Οι συσκευές αυτές έχουν μικρότερη προτεραιότητα σε καταστάσεις συμφόρησης και μπορούν να καθυστερήσουν τις μεταδόσεις τους ή την λήψη δεδομένων που προορίζονται γι' αυτές. Το δίκτυο πρόσβασης με τη σειρά του, ενημερώνει τις συσκευές σε καταστάσεις συμφόρησης, ότι οι μεταδόσεις τους πρόκειται να καθυστερήσουν για κάποιο χρονικό διάστημα (*Extended wait time*), το οποίο φτάνει έως και τα 30 λεπτά - συνεπώς οι συνδέσεις αυτές παγώνουν. Επιπλέον, εκτός από το δίκτυο πρόσβασης, και το δίκτυο κορμού συμμετέχει στις διαδικασίες ελέγχου συμφόρησης, με ενδείξεις συμφόρησης προς το δίκτυο πρόσβασης, ώστε το δεύτερο να περιορίσει την κίνηση που ανήκει σε συσκευές με ανοχή σε καθυστερήσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Τεχνολογίες LTE-Advanced

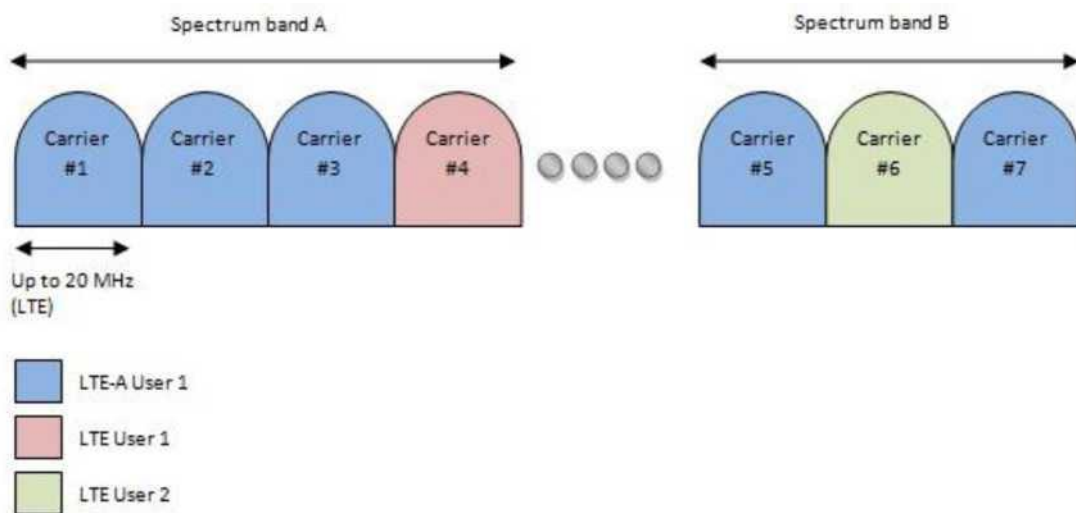
Στο παρόν κεφάλαιο, γίνεται μία σύντομη παρουσίαση των βασικότερων τεχνολογιών που χρησιμοποιεί το LTE-Advanced προκειμένου να επιτύχει τους στόχους που θέτει το IMT-Advanced για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και φασματική απόδοση. Οι περισσότερες από τις τεχνολογίες που θα μελετήσουμε, εισήχθησαν ήδη στο Release 10 του LTE-Advanced και υπέστησαν βελτιώσεις και προσθήκες, είτε μικρές είτε μεγαλύτερες, στο Release 11.

4.1 Carrier Aggregation (CA)

Η Συνάθροιση Φερόντων Καναλιών ή Carrier Aggregation, αποτελεί ένα από τα βασικότερα και πιο καινοτόμα χαρακτηριστικά του προτύπου LTE-Advanced, ως πρότυπο δικτύων 4^{ης} γενιάς. Η CA τεχνική εισήχθη για πρώτη φορά στο LTE release 10 ενώ στο release 11 ενισχύεται με νέα σενάρια υλοποίησης και πολλαπλές βελτιώσεις. Ενώ το πρότυπο 3G LTE (release 8 και 9) υποστηρίζει την τεχνική Μονού Φέροντος (Single Carrier) εκμεταλλευόμενο το εύρος ζώνης από 1.4MHz έως 3,5,15 το πολύ 20MHz ανά φέρον, το 4G LTE-Advanced στοχεύει στην επέκταση του εύρους ζώνης του συστήματος πέρα των 20MHz και κατ' επέκταση στην αύξηση της ταχύτητας μετάδοσης. Στην CA πολλαπλά φέροντα (Component Carrier-CC) των 1.4, 3, 5,15 ή 20MHz συναθροίζονται στο επίπεδο του κινητού σταθμού (UE), προκειμένου να χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερο εύρος μετάδοσης και λήψης (downlink/uplink) από τη συσκευή. Το πλήθος CC που μπορούν να συναθροιστούν είναι το πολύ 5 και κατά συνέπεια το μέγιστο εύρος ζώνης φτάνει τα 100MHz. Μία συσκευή που υποστηρίζει την CA μπορεί ταυτόχρονα να λαμβάνει και να μεταδίδει δεδομένα σε ένα έως και πέντε CC. Τα CC έχοντας εύρος ζώνης έως 20MHz καθιστούν την CA τεχνολογία ικανή να υποστηρίζει παράλληλα με τις συσκευές νέας τεχνολογίας (4G LTE) και τις παλαιότερες 3G LTE (release8/release9). Το παραπάνω χαρακτηριστικό αποτελεί μία από τις πτυχές της «προς τα πίσω συμβατότητας», η οποία αποτελεί βασικό μέλημα κάθε νέας LTE έκδοσης. Αξίζει επιπλέον να σημειωθεί ότι η CA υποστηρίζει την FDD αλλά και την TDD τεχνική.



Εικόνα 4.1: LTE rel8 έως rel12 και χρήση CA



[21]

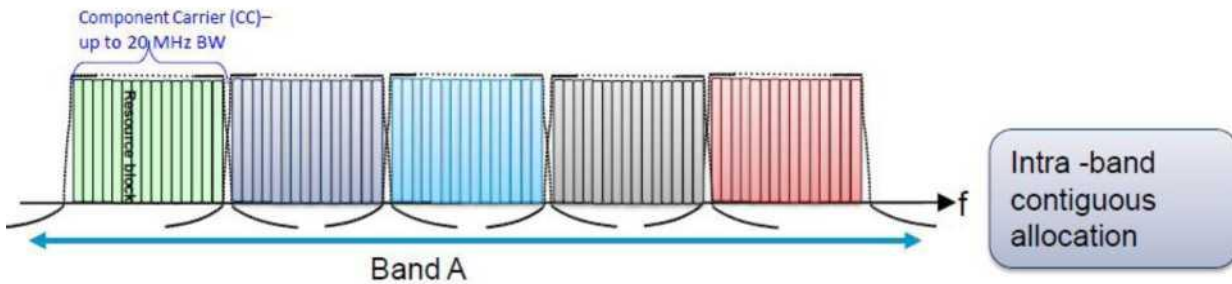
Εικόνα 4.2 : Προς τα πίσω συμβατότητας της CA

4.1.1 Τύποι εφαρμογής Carrier Aggregation

Η τεχνική CA μπορεί να εφαρμοστεί με 3 τρόπους με κριτήριο τη θέση των CC στο φάσμα συχνοτήτων: την intra-band Contiguous Carrier Aggregation, την intra-band Non-Contiguous Carrier Aggregation και την inter-band Non-Contiguous Carrier Aggregation.

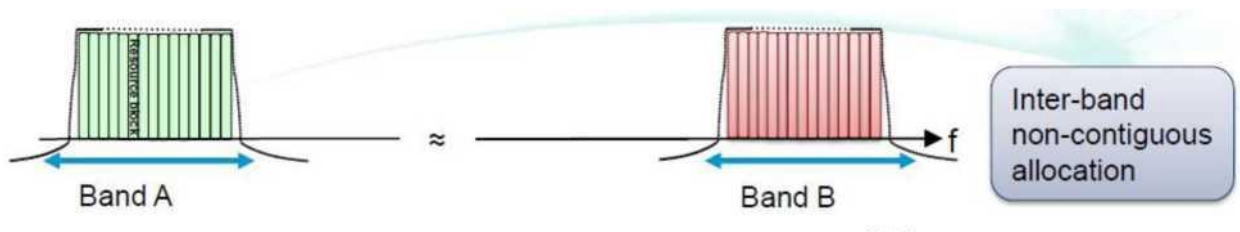
- **Intra - band Contiguous Carrier Aggregation:** Ο τύπος αυτός αποτελεί την πιο απλή μορφή CA. Τα συναθροιζόμενα CC ανήκουν στην μία και μοναδική μπάντα

συχνοτήτων που απασχολείται και είναι γειτονικά μεταξύ τους (δεν παρεμβάλλονται άλλα CC μη χρησιμοποιούμενα από τον συγκεκριμένο κινητό σταθμό). Παρά το γεγονός ότι χρειάζεται μόνο ένας πομποδέκτης (transceiver), αφού το άθροισμα καναλιών αντιμετωπίζεται ως ενιαίο κανάλι, ο τύπος αυτός είναι δύσκολα εφαρμόσιμος λόγω του ότι σπάνια μπορούν να βρεθούν συνεχόμενα φέροντα προς συνάθροιση. Δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τους παρόχους.



Εικόνα 4.3 : Intra-band contiguous CA

• **Inter - band Non-Contiguous Carrier Aggregation:** Ο τελευταίος τύπος CA αφορά τη συνάθροιση φερόντων τα οποία όχι μόνο δεν είναι γειτονικά αλλά βρίσκονται και σε διαφορετικές μπάντες μεταξύ τους. Ο τύπος αυτός εισάγει ιδιαίτερη πολυπλοκότητα αφού απαιτούνται πολλαπλοί πομποδέκτες. Ωστόσο είναι μία πολύ καλή λύση για τους παρόχους οι οποίοι και δεν κατέχουν όλο το φάσμα μίας μπάντας αλλά και οι συχνότητες που χρησιμοποιούν ανήκουν σε διαφορετικές μπάντες συχνοτήτων.



Εικόνα 4.4 : Intra-band non contiguous CA

4.1.2 Διαμόρφωση Serving cells στην CA

Μία πολύ σημαντική λεπτομέρεια που συνθέτει την CA τεχνική, αφορά την ύπαρξη των serving cells. Για κάθε ένα CC υπάρχει και το αντίστοιχο serving cell το οποίο και εξυπηρετεί. Τα serving cells ,τα οποία θα αναφέρουμε απλά

ως cells σε αυτή την παράγραφο, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες με κριτήριο τον τύπο δεδομένων που μεταφέρονται στα αντίστοιχα CCs. Το PCell (Primary serving Cell) είναι ένα και μοναδικό, ενώ είναι υπεύθυνο για την διαχείριση και εγκαθίδρυση της RRC σύνδεσης καθώς επίσης και για τη διαχείριση καταστάσεων κινητικότητας. Το Pcell εξυπηρετείται από το PCC (Primary Component Carrier), το οποίο στο downlink είναι υπεύθυνο για τη λήψη των πληροφοριών NAS στον κινητό σταθμό, ενώ στο uplink για την μεταφορά πληροφοριών ελέγχου. Υποστηρίζει τα κανάλια PDCCH, PDSCH, PUSCH και PUCCH. Τα υπόλοιπα CCs αναφέρονται ως SCCs (Primary Component Carriers) και τα αντίστοιχα cells ως SCells (Secondary serving Cells), δηλαδή δευτερεύοντα. Τα SCells διαμορφώνονται μετά την εγκαθίδρυση σύνδεσης ως βοηθητικοί πόροι για την μεταφορά δεδομένων. Μπορούν να ενεργοποιούνται και να απενεργοποιούνται για εξοικονόμηση μπαταρίας στον κινητό σταθμό, σε αντίθεση με το PCell το οποίο είναι πάντα ενεργοποιημένο. Υποστηρίζουν τα κανάλια PDCCH, PDSCH και PUSCH.

Όσον αφορά την κάλυψη των cells, αυτή ποικίλει λόγω της συχνότητας των αντίστοιχων CCs, αλλά και λόγω δευτερευόντων παραγόντων. Κατά συνέπεια διαφορετικά CCs μπορούν να σχεδιαστούν για να παρέχουν διαφορετική κάλυψη.

4.1.3 TDD διπλεξία στην Inter-band CA

Ένα από τα νέα χαρακτηριστικά που εισάγει το Release 11 σ[^] πρότυπο LTE-Advanced, είναι η καλύτερη υποστήριξη της TDD διπλεξίας. Με άλλα λόγια, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.7, στο LTE release 10, τα πλαίσια με ίδιους αριθμούς ακολουθίας στα PCell και SCell έπρεπε να εξυπηρετούν την ίδια ζεύξη (uplink ή downlink). Η αντιστοιχία αυτή, στο Release 11, πάει να ισχύει καθιστώντας περισσότερο ευέλικτο το σύστημα, αφού κάθε φέρον μπορεί να διαμορφώνεται με τον δικό του τρόπο. Παράλληλα, κάλυψη βελτιώνεται, αφού περισσότερα πλαίσια uplink μπορούν να διαμορφωθούν στις χαμηλότερες μπάντες συχνοτήτων και περισσότερα downlink στις υψηλότερες. Η αλλαγή αυτή ευνοεί επίσης τα ετερογενή δίκτυα.

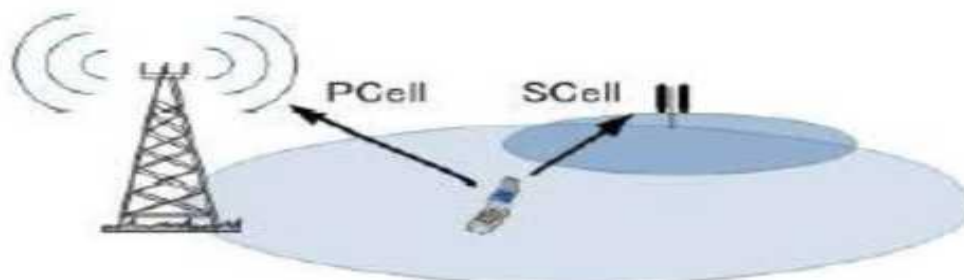
4.1.4 Σηματοδοσία Ελέγχου στο CA

Κατά την αποστολή δεδομένων με τη χρήση των CA τεχνικών, το πρωτόκολλο αναμετάδοσης HARQ εφαρμόζεται για κάθε ένα φέρον χωριστά. Η σηματοδοσία των επιπέδων RLC και MAC συγκεντρώνεται σε ένα κεντρικό φέρον, το οποίο επιλέγεται κατά τη σύνδεση του UE με τον eNB.

4.1.5 Multiple Timing Advance

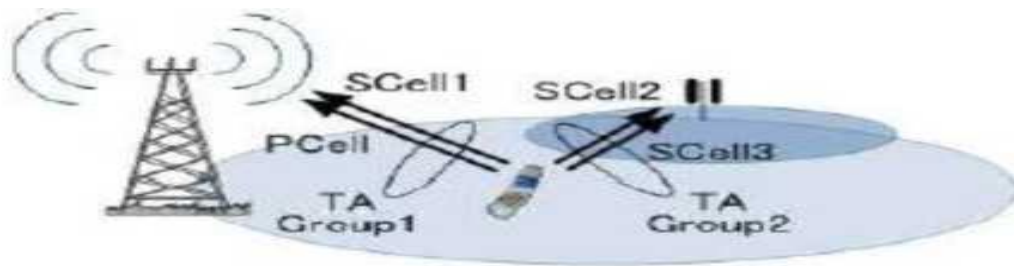
Η χρήση του Timing Advance (TA) ως μέσο συγχρονισμού της μετάδοσης ενός κινητού σταθμού είχε εφαρμοστεί για πρώτη φορά στα δίκτυα GSM. Στα UMTS δίκτυα το χαρακτηριστικό αυτό δεν χρησιμοποιήθηκε, ενώ επανήλθε στο LTE. **Τι είναι όμως το TA;** Σε ένα δίκτυο LTE, όταν ένας κινητός σταθμός (UE) επιθυμεί να συνδεθεί με έναν σταθμό βάσης (eNB), μεταδίδει ένα σύντομο μήνυμα το Random Acces Preamble. Όταν ο σταθμός βάσης λάβει το μήνυμα, υπολογίζει το χρόνο μετάδοσης για το συγκεκριμένο σταθμό βάσης. Έπειτα ο eNB μεταδίδει ένα μήνυμα (Random Access Response) ως εντολή προς τον UE, ώστε να ρυθμίσει το χρόνο μετάδοσης του με βάση το TA που υπολογίστηκε. Ουσιαστικά το TA είναι το χρονικό διάστημα από τη στιγμή αποστολής ενός μηνύματος από τον κινητό σταθμό, έως τη στιγμή λήψης του από τον σταθμό βάσης.

Στο LTE release 10 υποστηρίζεται μόνο μία τιμή TA για όλα τα CCs, γεγονός που απαιτεί οι πομποδέκτες για τα διάφορα φέροντα να βρίσκονται όλοι στην ίδια θέση, ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα διαφορετικών καθυστερήσεων διάδοσης. Για τους παραπάνω λόγους η χρήση επαναληπτών (repeaters), απομακρυσμένων ραδιοκεφαλών (RRHs) και απομακρυσμένων κεραιών περιορίζεται σημαντικά. Στο LTE release 11, προκειμένου να υποστηριχτεί αποτελεσματικότερα η τεχνική CA και ειδικά για τα ετερογενή δίκτυα, όπου τα cells είναι μη παρατιθέμενα, υιοθετείται το Multiple Timing Advance (MTA). Στην περίπτωση του MTA χρειάζεται να γίνει συγχρονισμός του uplink για κάθε ένα φέρον, μέσω της ανταλλαγής μηνυμάτων, όπως την ορίσαμε πιο πάνω, με το σταθμό βάσης κάθε φέροντος. Τελικά θα έχει καθοριστεί ένα TA για κάθε φέρον. Στην Εικόνα 5.14 παρουσιάζεται το πιο απλό σενάριο MTA όπου ο σταθμός βάσης χρειάζεται να συγχρονίσει το uplink στο PCell και σε ένα SCell.



Εικόνα 4.5 : Συγχρονισμός PCell και SCell

Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε ότι στην περίπτωση που πολλά φέροντα απαιτούν το ίδιο TA, μπορούν να συγκροτηθούν σε ‘Timing Advance Groups’, ώστε να μειωθεί η συνολική πολυπλοκότητα και κίνηση σηματοδότησης.



Εικόνα 4.6 : Timing Advanced Groups

4.2 MIMO

Η τεχνολογία Multiple Input Multiple Output (MIMO) αφορά στη χρήση κεραιών πολλαπλών εισόδων και πολλαπλών εξόδων με στόχο την αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος και κατ’ επέκταση του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων (πρέπει να τονίσουμε ότι η παρούσα τεχνολογία δεν χρησιμοποιείται μόνο στα δίκτυα LTE αλλά και σε άλλα ασύρματα πρότυπα επικοινωνίας). Η χρήση τεχνικών MIMO στο downlink υποστηρίζεται ήδη από τα 3G LTE δίκτυα, μεταξύ των οποίων εξέχοντα ρόλο διαδραματίζουν οι τεχνικές διαμόρφωσης δέσμης (beamforming), πολυμορφίας μετάδοσης (transmit diversity) και η χωρική πολυπλεξία ανοιχτού/κλειστού βρόγχου (open/closed-loop spatial multiplexing).

Όσο αφορά το LTE (rel 8), υποστηρίζει MIMO σε έως και τέσσερα επίπεδα χωρικής

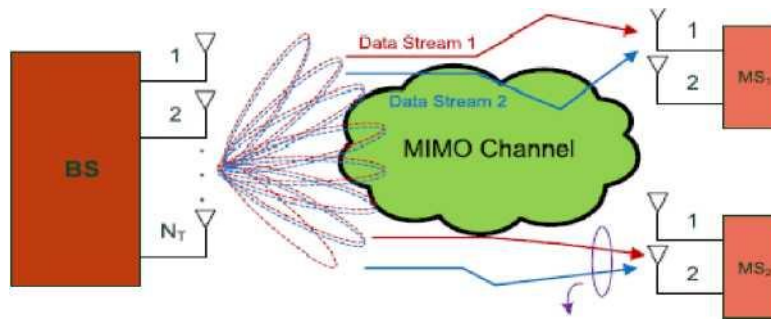
πολυπλεξίας στο downlink δηλ. 4x4 MIMO, το οποίο σημαίνει πως η μεριά αποστολής κάνει χρήση 4 κεραιών για την αποστολή δεδομένων στη μεριά λήψης, όπου γίνεται χρήση και πάλι τεσσάρων κεραιών. Όσο αφορά στο uplink η κεραία μετάδοσης είναι μοναδική. Τέλος, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι οι τεχνικές MIMO πριν το LTE- Advanced αφορούσαν στην αύξηση της χωρητικότητας και της αξιοπιστίας για έναν και μόνο χρήστη SU-MIMO(Single User MIMO), ενώ επίσης γινόταν χρήση codebook- based κωδικοποίησης στην πηγή και υπήρχε ένα επίπεδο σηματοδοσίας αναφοράς για τον κινητό σταθμό. Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε ότι στο Release 9 είχε σχεδιαστεί μία πρόιμη μορφή MU-MIMO με τεχνικές και πάλι codebook-based , όμως λόγω προβλημάτων παρεμβολών ο σχεδιασμός αυτός εγκαταλείφθηκε.

4.2.1 MIMO στο LTE-Advanced

Το LTE-Advanced, προκειμένου να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις που θέτει το IMT-Advanced για φασματική απόδοση 30bit/s/Hz, προχώρησε σε βελτιώσεις και προσθήκες πάνω στην παλαιότερη τεχνολογία, με βασικότερες την υποστήριξη MIMO πολλαπλών χρηστών - MU-MIMO (Multi User-MIMO) beamforming-, την αύξηση των επιπέδων χωρικής πολυπλεξίας στο downlink στα 8 (8x8 MIMO) και στο uplink στα 4 (4x4 MIMO). Τέλος το συνεργατικό MIMO (co-operative MIMO) αποτελεί μία νέα επίσης προσθήκη, η οποία θα συζητηθεί εκτενώς σε επόμενη παράγραφο. Βέβαια, οι τεχνικές beamforming, transmit diversity και open/closed-loop spatial multiplexing συνεχίζουν να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην τεχνολογία.

Η βασική ιδέα γύρω από το MIMO είναι η μετάδοση τουλάχιστον δύο ροών δεδομένων (data streams), σε τουλάχιστον δύο διαφορετικές κεραιές αποστολής, χρησιμοποιώντας τους ίδιους πόρους σε συχνότητα και χρόνο (ενώ στη μεριά λήψης

υπάρχουν τουλάχιστον δύο κεραίες). Οι

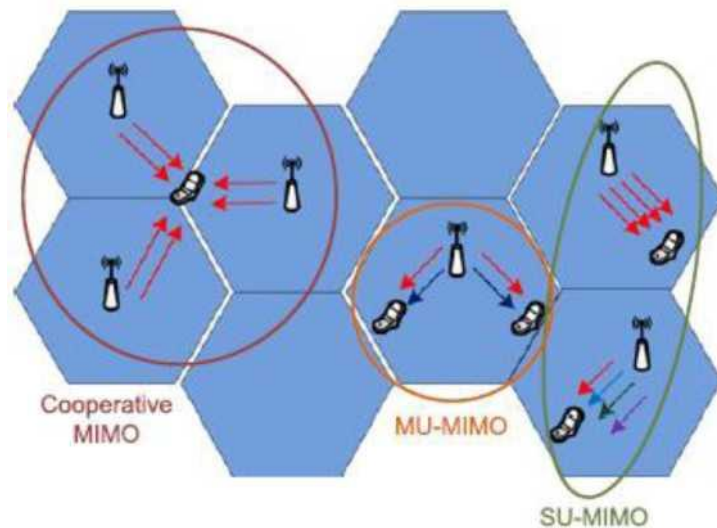


Εικόνα 4.7 : MU-MIMO

ροές δεδομένων μπορούν να διαχωριστούν με τη χρήση σημάτων αναφοράς.

Η τεχνική MU-MIMO στοχεύει στην επέκταση του SU-MIMO beamforming σε επίπεδο πολλών χρηστών, υποστηρίζοντας παράλληλα τη χωρική πολυπλεξία και την πολυμορφία μετάδοσης (transmit diversity). Μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στο uplink όσο και στο downlink. Στο uplink, ένας eNB προγραμματίζει πολλαπλούς UE να μεταδώσουν χρησιμοποιώντας τους ίδιους πόρους χρόνου και συχνότητας. Ωστόσο, ο eNB θα πρέπει να είναι σε θέση να διαχωρίσει και να αποδιαμορφώσει τα σήματα των μεταδόσεων αυτών. Για το λόγο αυτό, στο φυσικό επίπεδο, γίνεται χρήση ορθογώνιων σημάτων αναφοράς για τους UEs. Ακολουθώντας την ίδια λογική και στο downlink, όταν ένας eNB επιθυμεί να μεταδώσει δεδομένα για περισσότερους από έναν UE χρησιμοποιεί και πάλι τους ίδιους πόρους χρόνου και συχνότητας. Ωστόσο στο LTE-Advanced γίνεται χρήση non-codebook-based τεχνικών, όπως η zero-forcing (ZF), η Dirty Paper Coding (DPC) και η Block Diagonalization (BD) για την προκωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση των δεδομένων από τον UE. Όλα αυτά βέβαια και πάλι σε συνδυασμό με σήματα αναφοράς. Στα σήματα αναφοράς, έρχονται να προστεθούν επιπλέον δύο, καθώς οι παραπάνω τεχνικές δεν μπορούν να επιφέρουν τα επιθυμητά αποτελέσματα χωρίς τη μέτρηση των παραμέτρων του καναλιού. Το ένα εκ των δύο σημάτων είναι το Channel state information reference signal (CSI-RS), το οποίο χρησιμοποιείται για ακρόαση και εκτίμηση της ποιότητας καναλιού υπό διαφορετικές συχνότητες. Το δεύτερο σήμα είναι το UE-specific demodulation reference signal (DM-RS), το οποίο προκωδικοποιείται όπως και τα δεδομένα, και χρησιμοποιείται μόνο για αποδιαμόρφωση.

Ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό της τεχνολογίας MIMO είναι η δυνατότητα δυναμικής εναλλαγής μεταξύ των τεχνικών MU-MIMO και SU-MIMO στο TM9 (transmission mode 9), ανάλογα με τις συνθήκες. Οι UEs δεν αντιλαμβάνονται τις εναλλαγές αυτές, ούτε φυσικά γνωρίζουν εάν γίνεται παράλληλη μετάδοση και προς άλλους UEs. Οι τεχνικές SU-MIMO και MU-MIMO συνιστούν το



single-site MIMO, όπου το ασύρματο δίκτυο αποτελείται από έναν μόνο

Εικόνα 4.8 : Λειτουργία Cooperative MIMO, MU-MIMO, SU-MIMO

eNB και πολλαπλούς UEs, τους οποίους εξυπηρετεί. Σε κάθε άλλη περίπτωση εγκύπτουμε στο Co-operative MIMO.

Η δυνατότητα μετάδοσης σε έως και 8 επίπεδα στο downlink (8x8 MIMO) και σε έως 4 στο uplink (4x4 MIMO) ικανοποιούν τις απαιτήσεις που τέθηκαν για φασματική απόδοση 30 και 150bit/s/Hz αντίστοιχα.

4.2.2 Σήματα αναφοράς (reference signals)

Τα σήματα αναφοράς χρησιμοποιούνται για δύο κυρίως λόγους - την αποδιαμόρφωση των μεταδόσεων και για την μέτρηση των παραμέτρων και της ποιότητας του καναλιού. Διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τα cell-specific και τα UE-specific σήματα αναφοράς. Τα cell-specific σχετίζονται με ένα κελί και

καταλαμβάνουν συνολικά 8 σύμβολα σε κάθε resource block. Τα UE-specific σήματα από την άλλη, σχετίζονται με έναν συγκεκριμένο χρήστη και καταλαμβάνουν 12 σύμβολα στο resource block. Μεταδίδονται μόνο όταν δεν υπάρχει μετάδοση cell-specific σημάτων. Όπως ήδη αναφέραμε, τα DM-RS σήματα αποτελούν ένα είδος UE-specific σημάτων αναφοράς. Τέλος, τα CSI-RS σήματα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά με τα UE-specific. Πλεονεκτούν των υπολοίπων σημάτων αναφοράς, αφού ανάλογα την περίπτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν 1,2,4 ή 8 σύμβολα σε ένα resource block και ο φόρτος σηματοδοσίας να μειωθεί κάτω του 12.

4.3 Τεχνικές CoMP (Coordinated Multi-point)

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα των δικτύων προηγούμενων γενεών είναι η μειωμένη απόδοση των χρηστών που βρίσκονται στα άκρα της κυψέλης, καθώς είναι ιδιαίτερα επιρρεπείς σε παρεμβολές από γειτονικές κυψέλες, ενώ παράλληλα το σήμα είναι πολύ χαμηλό λόγω της απόστασης από τον σταθμό βάσης. Τη λύση έρχεται να δώσει ένα σύνολο τεχνικών- σύγχρονης μετάδοσης και λήψης- υπό το όνομα Coordinated Multi-point (CoMP), το οποίο εισήχθη στην τεχνολογία LTE-Advanced ήδη στο release 10, ενώ στο release 11 υπέστη μικρές βελτιώσεις και προσθήκες. Με σεβασμό στην ύπαρξη ετερογενών (HetNets) και ομογενών δικτύων, οι τεχνικές CoMP αποτελούν εργαλείο για την βελτίωση της κάλυψης, του throughput στα άκρα της κυψέλης και της φασματικής απόδοσης (spectral efficiency). Ο όρος «CoMP» είναι συνώνυμος των «co-operative MIMO» και «Network MIMO».

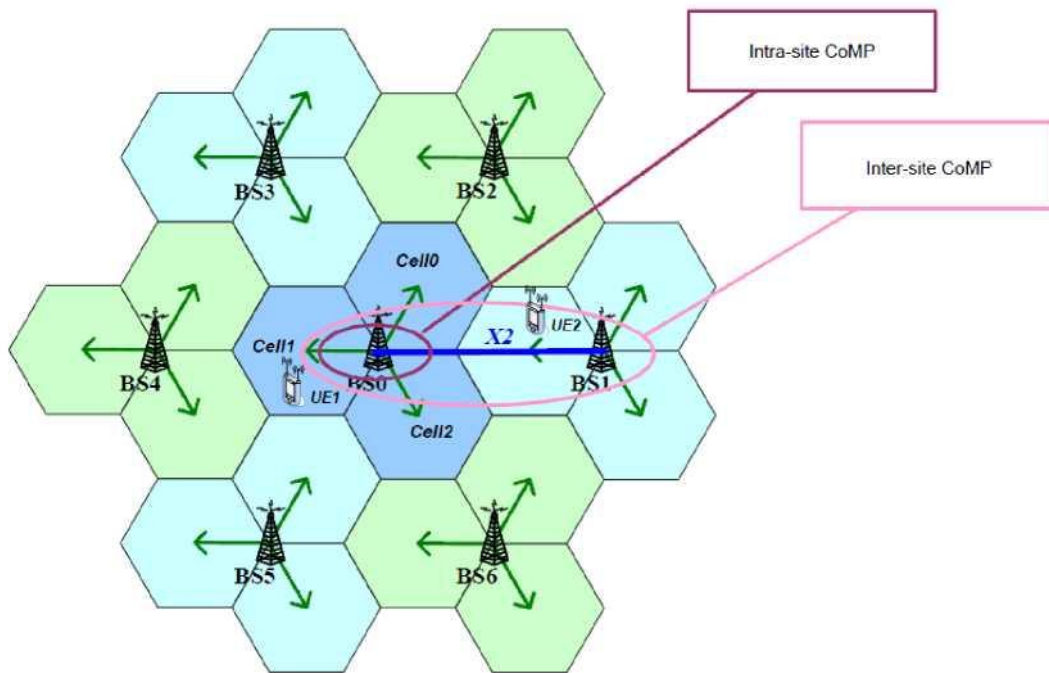
Η βασική ιδέα γύρω από το CoMP σχετίζεται με το γεγονός ότι ανάλογα με τη θέση στην οποία βρίσκεται ένας UE μπορεί να λαμβάνει σήματα από γειτονικές κυψέλες, καθώς επίσης και οι μεταδόσεις του UE να λαμβάνονται από τους σταθμούς βάσης άλλων κυψελών ως διακυψελικές παρεμβολές. Το πρόβλημα αυτών των παρεμβολών- με τη χρήση CoMP- μετατρέπεται σε προτέρημα αρκεί να υπάρξει «στενή» συνεργασία μεταξύ των σταθμών βάσης της μητρικής κυψέλης και των γειτονικών κυψελών. Τα αποτελέσματα σε αυτή την περίπτωση είναι αρκετά ικανοποιητικά αρκεί να αναλογιστούμε τη σημαντική αύξηση της απόδοσης στο downlink αν συγχρονιστούν και ρυθμιστούν οι μεταδόσεις από όλες τις πλευρές.

Αντίστοιχα και στο uplink η λήψη των μεταδόσεων ενός UE από πολλές κυψέλες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βελτίωση της ποιότητας σύνδεσης του συστήματος. Βασικό παράγοντα για την προαναφερθείσα συνεργασία αποτελεί η διεπαφή X2 μέσω της οποίας οι σταθμοί βάσης (eNB) επικοινωνούν μεταξύ τους κυρίως για ζητήματα χρονοπρογραμματισμού και ρύθμισης των παραμέτρων μετάδοσης.

4.3.1 Αρχιτεκτονική δικτύου CoMP

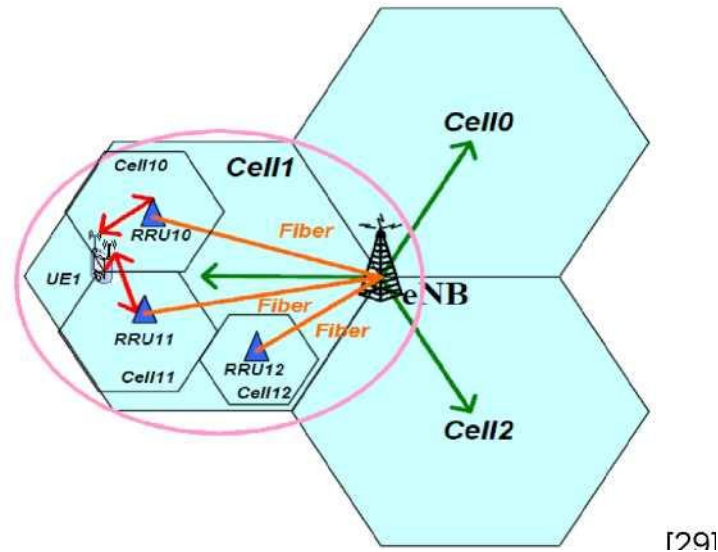
Με βάση τον τύπο των κόμβων που συνεργάζονται η αρχιτεκτονική CoMP χωρίζεται σε δύο γενικές περιπτώσεις:

- **Intra-site CoMP:** Αφορά τη συνεργασία μεταξύ των τομέων ενός και μόνο σταθμού βάσης (μέσα σε μία και μόνο περιοχή κάλυψης eNB). Αποτελεί ένα κεντρικοποιημένο μοντέλο διακυβερνητικής διαχείρισης των ραδιο-πόρων αφού δεν εμπλέκονται περισσότερα του ενός eNBs. Πλεονεκτεί σε σχέση με το Inter-site CoMP αφού λόγω της μη εμπλοκής με το backhaul (δηλαδή με άλλα eNBs) είναι δυνατό να μεταδίδονται πολύ σημαντικές ποσότητες πληροφοριών μεταξύ των κυψελών με πολύ υψηλούς ρυθμούς.
- **Inter-site CoMP:** Αφορά ένα μη-κεντρικοποιημένο μοντέλο διαχείρισης των ραδιο-πόρων, όπου απαιτείται η συνεργασία πολλαπλών eNBs και κατά συνέπεια η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ πολλαπλών περιοχών κάλυψης. Όπως είναι φυσικό, τίθενται επιπλέον επιβαρύνσεις και απαιτήσεις στο σχεδιασμό του backhaul. Οι eNBs επικοινωνούν, όπως προαναφέραμε, μέσω της διεπαφής X2, η οποία είναι πολύτιμη για τις διαδικασίες της μεταπομπής (handover) και της διαχείρισης της διακυβερνητικής παρεμβολής (Inter-Cell Interference Coordination - ICIC)



Εικόνα 4.9 : Inter-site και Intra-site CoMP

Τέλος, ιδιαίτερα συχνή είναι η υβριδική αρχιτεκτονική, η οποία εμπίπτει στο μοντέλο του Intra-site CoMP. Στην περίπτωση αυτή και πάλι υπάρχει ένας και μόνο eNB, ο οποίος συνδέεται μέσω οπτικής ίνας με κόμβος RRE (Remote Radio Equipment) και αναλαμβάνει εξ' ολοκλήρου τη διαχείριση των ραδιο-πόρων. Οι RRE κόμβοι είναι ουσιαστικά κινητοί σταθμοί βάσης, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στα άκρα της κυψέλης. Το μοντέλο αυτό αν και αφορά στη συνεργασία κόμβων εντός μίας μόνο περιοχής κάλυψης από eNB, όπως στην περίπτωση του Intra-site CoMP, λειτουργεί όπως το Inter-site CoMP.



Εικόνα 4.10 : Υβριδική Αρχιτεκτονική CoMP

4.3.2 Downlink CoMP

Στο επίπεδο του downlink, η συνεργασία μεταξύ των σταθμών βάσης μπορεί να βελτιώσει το throughput τόσο στα άκρα της κυψέλης όσο και το συνολικό. τα βασικότερα CoMP σχήματα μετάδοσης για το downlink είναι οι εξής δύο:

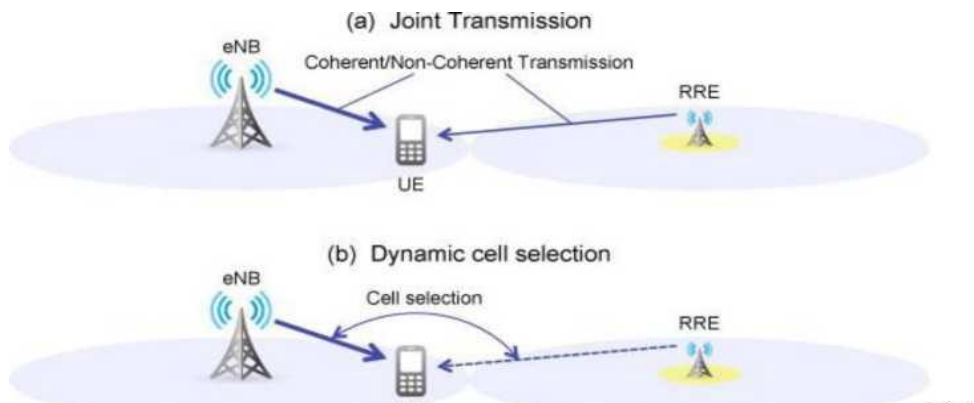
- **Joint processing (JP):** Κατά το JP σχήμα μετάδοσης τα δεδομένα τα οποία πρόκειται να λάβει ο UE είναι διαθέσιμα να αποσταλούν και από τη μητρική (anchor) και από τις γειτονικές κυψέλες.
- ο **Joint transmission (JT):** Αποτελεί μία μορφή χωρικής πολυπλεξίας που εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι όλα τα σημεία (points-ως points αναφέρουμε τους διάφορους τομείς ενός eNB, καθώς και τους ίδιους τους eNBs ανάλογα με την αρχιτεκτονική CoMP υπό την οποία λειτουργεί το δίκτυο) μεταδίδουν συντονισμένα τα ίδια RBs (Resource Blocks) προς τον UE. Το αποτέλεσμα της μετάδοσης είναι ανάλογο της ύπαρξης ενός πομπού με πολλαπλές κεραιές γεωγραφικά διασκορπισμένες. Ένα τέτοιο σύστημα υπόσχεται υψηλότερη απόδοση και μεγιστοποίηση του SINR και throughput στο επίπεδο του κινητού σταθμού (βλ. Εικόνα 5.21-a).
- ο **Dynamic point selection (DPS)/muting:** Στην περίπτωση του DPS ενώ

τα δεδομένα είναι διαθέσιμα σε όλα τα σημεία που μετέχουν στην διαδικασία, μόνο ένα επιλέγεται για να τα μεταδώσει στον UE. Όλα τα σημεία μεταδίδουν ένα RB στο PDSCH κανάλι. Γίνεται μία σύντομη μέτρηση των εκπομπών αυτών από τον κεντρικό eNB και τελικά επιλέγεται για τη μετάδοση των δεδομένων το σημείο του οποίου το πακέτο είχε τις λιγότερες καθυστερήσεις. Τα υπόλοιπα σημεία σταματούν να μεταδίδουν, ωστόσο είναι δυνατό σε περιπτώσεις μεγάλου φόρτου (του καναλιού ή του σταθμού βάσης), να επιλεγεί ένα άλλο σημείο μετάδοσης

- **Coordinated scheduling and beamforming (CS/CB):** Στο CS/CB σχήμα τα δεδομένα μεταδίδονται μόνο από την μητρική κυψέλη και τον κεντρικό σταθμό βάσης. Τα υπόλοιπα σημεία ανταλλάσσουν απλά πληροφορίες, όπως για τα επίπεδα ισχύος ανά RB και τα επίπεδα φόρτου, προκειμένου να διαμορφωθεί η κατευθυντικότητα των κεραιών των γειτονικών σταθμών βάσης προς τον κινητό σταθμό και να μειωθούν οι συνολικές παρεμβολές του συστήματος.

Τέλος, χρειάζεται να αναφέρουμε κάποιες υποσημειώσεις:

- Εκτός από τα μοντέλα που αναφέραμε, υπάρχει και ένα υβριδικό μοντέλο το οποίο συνδυάζει χαρακτηριστικά των JP και CS/CB. Στο μοντέλο αυτό ένα υποσύνολο του συνόλου των συνεργαζόμενων σημείων μεταδίδει δεδομένα στον UE ενώ τα υπόλοιπα λειτουργούν βάσει του CS/CB.
- Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι η σηματοδότηση ελέγχου μεταδίδεται πάντα από την «μητρική» (anchor) κυψέλη.



Εικόνα 4.11 : Σχήματα μετάδοσης Joint Transmission και Dynamic cell selection

4.3.3 Uplink CoMP

Στο επίπεδο uplink, η εφαρμογή των τεχνικών CoMP είναι ικανή να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα σήματος. Το μόνο νέο στοιχείο που εισάγεται στο Release 11, είναι η ύπαρξη εικονικών ταυτοτήτων κυψέλης (virtual cell IDs-VCID), ώστε να αντικαταστήσουν τα πραγματικά cell-IDs, και αυτό λόγω του ότι στις περιπτώσεις των ετερογενών δικτύων, πολλές φορές η μακροκυψέλη και άλλες μικρότερες κυψέλες χρησιμοποιούν το ίδιο cell-ID με αποτέλεσμα να υπάρχουν αυξημένα ποσά διακυβελικών παρεμβολών και να δυσχεραίνεται η διαχείριση τους.

Δύο είναι τα σχήματα που χρησιμοποιούνται σε αυτή την περίπτωση:

- **Joint reception (JR):** Η λήψη της σηματοδοσίας που μεταδίδεται από τον κινητό σταθμό στο κανάλι PUSCH (Physical Uplink Shared Channel) γίνεται από όλα ή από κάποια σημεία ταυτόχρονα, ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος.
- **Coordinated scheduling and beamforming (CS/CB):** Οι αποφάσεις σχετικά με τον προγραμματισμό των λήψεων από τους χρήστες λαμβάνονται συνεργατικά από όλα τα σημεία, ωστόσο, η λήψη των δεδομένων γίνεται από ένα μόνο σημείο.

4.3.4 Πλεονεκτήματα CoMP

Παρά το γεγονός ότι το CoMP είναι ένα σύνολο περίπλοκων τεχνικών, επιφυλάσσει πολλά πλεονεκτήματα για τους χρήστες αλλά και τους παρόχους. Στην παρούσα παράγραφο θα αναφέρουμε λίγα από αυτά.

- Γίνεται καλύτερη χρήση των ράδιο-πόρων του συστήματος, αφού δίνεται η δυνατότητα στο δίκτυο να τους διαχειρίζεται με τρόπο κεντρικοποιημένο και να τους αναθέτει ανάλογα με την κίνηση.
- Παρέχεται καλύτερη απόδοση στη λήψη δεδομένων, αφού για κάθε σύνδεση επιστρατεύονται πολλά τμήματα της κυψέλης με αποτέλεσμα τη βελτίωση της συνολικής κάλυψης και τη μείωση των απορριφθέντων κλήσεων.
- Με τη συντονισμένη λήψη των δεδομένων από πολλαπλά σημεία, αυξάνεται

η συνολική ισχύς λήψης στον UE.

- Οι διακυβελικές παρεμβολές μειώνονται ή μετατρέπονται σε σήματα που πληροφορούν το δίκτυο ώστε να βελτιωθεί η κάλυψη. Ένα παράδειγμα μείωσης προέρχεται από το γεγονός ότι μία κυψέλη χαμηλής κινητικότητας μπορεί να υποβάλει σε handover τους χρήστες της και να τεθεί εκτός διαθεσιμότητας.
- Με τα JT και JR σχήματα, δίνεται στον UE η επιλογή να διαλέξει το κοντινότερο σημείο για λήψη και αποστολή, γεγονός το οποίο συνεισφέρει στην εξοικονόμηση μπαταρίας.

4.4 Enhanced Inter-Cell Interference Coordination (eICIC)

Η τεχνολογία ICIC χρησιμοποιείται ήδη από το πρότυπο LTE Release 8, προκειμένου να επιτύχει έλεγχο των διακυβελικών παρεμβολών και βελτίωση της απόδοσης των χρηστών στα άκρα της μακρο-κυψέλης. Η βασική ιδέα είναι ο διαχωρισμός της κυψέλης σε άκρα και κέντρο, όπου για κάθε τμήμα δεσμεύονται διαφορετικά υποφέροντα (subcarriers). Με την τεχνική αυτή, ελαχιστοποιείται η πιθανότητα χρήσης της ίδιας συχνότητας από χρήστες στα άκρα δύο γειτονικών κυψελών και οι διακυβελικές παρεμβολές μειώνονται σε μεγάλο βαθμό.

Ωστόσο, η παραπάνω μέθοδος φαίνεται αποδοτική μόνο στις περιπτώσεις των ομογενών δικτύων. Με την ανάπτυξη ετερογενών δικτύων, πέρα από τις παρεμβολές από γειτονικές μακρο-κυψέλες, παρουσιάστηκε το πρόβλημα των διακυβελικών παρεμβολών λόγω της ύπαρξης μικρών κυψελών μέσα στην μακρο-κυψέλη. Η τεχνολογία ICIC εξελίχθηκε σε enhanced ICIC στα Release 10 και 11 του LTE-Advanced, όπου εκτός από τον διαχωρισμό στο επίπεδο των συχνοτήτων, πραγματοποιείται και διαχωρισμός στο επίπεδο του χρόνου, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο, σε σήματα σε διαφορετικές κυψέλες να είναι ορθογώνια μεταξύ τους. Μία επίσης σημαντική βελτίωση σε σχέση με την τεχνολογία ICIC του Release 8, είναι ο έλεγχος όχι μόνο των παρεμβολών στα κανάλια κίνησης, αλλά και στα κανάλια ελέγχου. Στο επίπεδο του χρόνου, εισάγεται ένα νέο υποπλαίσιο, το ABS (almost blank subframe), το οποίο περιέχει σήματα χαμηλής ενέργειας και χρησιμοποιείται από τις κυψέλες που δέχονται ισχυρές παρεμβολές προκειμένου να εξυπηρετήσουν

τους χρήστες τους.

Στο Release 10 παρουσιάζεται η Non-CA-based eICIC τεχνολογία, ενώ στο Release 11 υποστηρίζεται τόσο η Non-CA όσο και η CA-based eICIC.

4.5 EPDCCH Κανάλι

Ανάμεσα στις υπόλοιπες βελτιώσεις, τις οποίες εισήγαγε το Release 11 στο LTE-Advanced πρότυπο, βρίσκεται και ένα νέο κανάλι ελέγχου της κατερχόμενης ζεύξης, το Enhanced Physical Downlink Control Channel (EPDCCH). Το συγκεκριμένο κανάλι δημιουργήθηκε προκειμένου να υποστηρίξει τις διάφορες LTE-Advanced τεχνολογίες, όπως το CoMP, το MIMO αλλά και τον νέο τύπο φέροντος (New Carrier Type), τον οποίο θα εισάγει το Release 12. Πιο συγκεκριμένα έχει ως απώτερο σκοπό την αύξηση της χωρητικότητας του καναλιού, την υποστήριξη του domain ICIC, την επίτευξη βελτιωμένης επαναχρησιμοποίησης των πόρων του καναλιού ελέγχου κ.α, δίνοντας πάντα τη δυνατότητα της προς τα πίσω συμβατότητας, ώστε να χρησιμοποιηθεί και από προηγούμενες LTE εκδόσεις.

Η μορφή του EPDCCH καναλιού είναι παρόμοια με αυτή του Physical Data Shared Channel (PDSCH). Οι Downlink Control Information (DCI) πληροφορίες ελέγχου καταλαμβάνουν όλο το εύρος ζώνης του συστήματος, ενώ το EPDCCH χρησιμοποιεί τους ίδιους πόρους με το PDSCH κανάλι. Μέσω της RCC σηματοδοσίας η συσκευή μπορεί να ενημερωθεί για το ποιά φέροντα και το πόσα ζευγάρια από RB πρέπει να παρακολουθεί για τη λήψη δεδομένων. Τα εν λόγω ζευγάρια μπορούν να έχουν μέγεθος

ή 8 RBs και μεταφέρουν το EPDCCH κανάλι, το οποίο διακρίνεται σε δύο τύπους τον localized και τον distributed. Με τη σειρά του κάθε ζευγάρι RB αποτελείται από έναν αριθμό Enhanced Control Channel Elements (ECCE) στοιχείων, όπου κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία αποτελείται από 4 ή 8 Enhanced Resource Element Groups (EREG). Τελικά κάθε ζεύγος RB αποτελείται από 16 EREGs και κάθε EREG από 9 Resource Elements (REs). Τέλος, η σηματοδοσία αναφοράς που χρησιμοποιείται αποδιαμόρφωση, είναι μία UE-specific σηματοδοσία και πιο συγκεκριμένα η DM-RS.

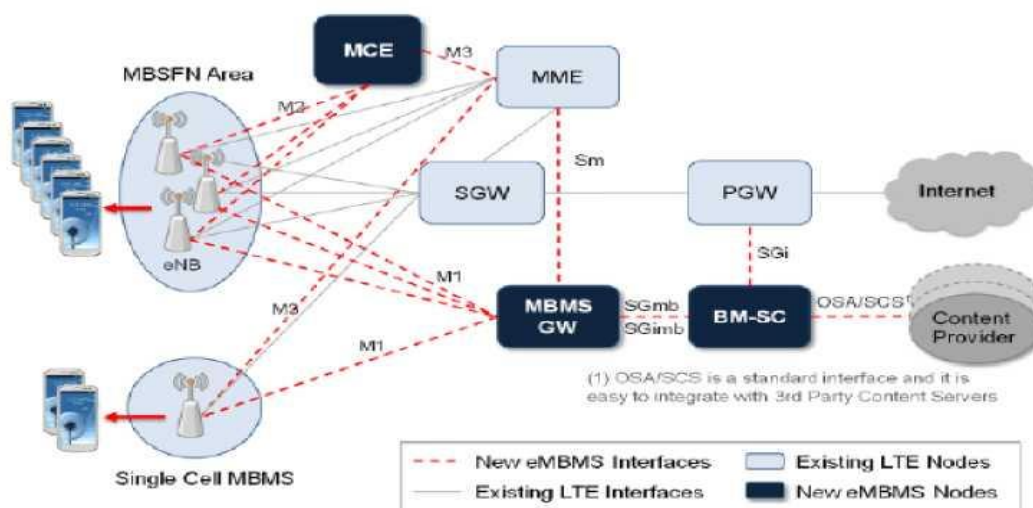
4.6 Enhanced - Multimedia Broadcast Multicast Services (e-MBMS)

Το Multimedia Broadcast Multicast Services (MBMS) είναι μία προδιαγραφή διεπαφής σημείου προς πολλά σημεία (point-to-multipoint) σχεδιασμένη για 3GPP κυψελωτά δίκτυα προκειμένου να παρέχει υπηρεσίες πολυεκπομπής (broadcast και multicast), τόσο μέσα στην κυψέλη όσο και μέσα στο δίκτυο πυρήνα. Το MBMS χωρίζεται σε δυο υπηρεσίες την MBMS Bearer Service και την MBMS User Service. Η MBMS Bearer υπηρεσία περιλαμβάνει τις καταστάσεις (mode) multicast και broadcast. Για το LTE μόνο το broadcast είναι διαθέσιμο. Από την άλλη μεριά, η MBMS User υπηρεσία συνιστά ουσιαστικά το στρώμα υπηρεσιών του MBMS, παρέχοντας streaming και υπηρεσίες download. Η τεχνολογία MBMS για το LTE συχνά αναφέρεται ως enhanced- MBMS και αποτελεί έναν αποτελεσματικό και οικονομικό τρόπο για τη διανομή σε πολλαπλούς χρήστες δεδομένων κοινού περιεχομένου όπως βίντεο, mobile TV κ.α Έχει οριστεί ήδη από το release 9, ενώ στα release 10 και 11 υπόκειται σε βελτιώσεις και προσθήκες. Η εμπορική αξιοποίηση του eMBMS στα δίκτυα LTE ξεκίνησε στις αρχές του παρόντος έτους (2013). Με τον όρο «Broadcast», αναφερόμαστε στη μετάδοση του ίδιου περιεχομένου προς πολλούς UEs ταυτόχρονα. Για τους παρόχους δικτύων, ένα από τα μεγαλύτερα ζητούμενα είναι η αύξηση της χωρητικότητας των δικτύων λόγω της ολοένα αυξανόμενης κίνησης δεδομένων. Το e-MBMS με τεχνικές broadcast, αποτελεί μία εναλλακτική λύση αύξησης της χωρητικότητας, αντί για την αγορά επιπλέον φάσματος συχνοτήτων ή την συνεχή επέκταση των ετερογενών δικτύων με αύξηση των small cells. Ένα ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό της υπηρεσίας αυτής είναι η ικανότητα της να χρησιμοποιεί το ήδη υπάρχον εύρος ζώνης, το οποίο χρησιμοποιείται στο LTE για την μονοεκπομπή (unicast), με τρόπο έξυπνο κι αυτό γιατί η κατανάλωση εύρους ζώνης κατά το broadcast δεν εξαρτάται από τον αριθμό των ταυτόχρονων χρηστών που πρόκειται να λάβουν το περιεχόμενο αλλά από τον αριθμό των ταυτόχρονων καναλιών που θα το μεταφέρουν.

4.6.1 Αρχιτεκτονική LTE δικτύου με eMBMS

Το Multicast-broadcast single-frequency network (MBSFN) αποτελεί ένα κανάλι επικοινωνίας, το οποίο βασίζεται στην OFDM ραδιο-διεπαφή του LTE, επιφορτίζεται με τη μετάδοση του κοινού περιεχομένου σε πολλαπλούς ταυτόχρονους

χρήστες μέσα σε ένα σύγχρονο Single-Frequency δίκτυο (Single-Frequency Network-SFN). Ένα SFN ή αλλιώς «MBSFN area», είναι η περιοχή μέσα στην οποία ένας ή περισσότεροι eNBs συγχρονίζονται προκειμένου να μεταδώσουν ταυτόχρονα στο ίδιο multicast κανάλι. Στην Εικόνα 4.12 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική ενός LTE δικτύου με χρήση eMBMS. Οι γκρι περιοχές τις εικόνας αποτελούν τα βασικά συστατικά του δικτύου ενώ τα μπλε-σκούρα εκείνα που προτίθενται με το eMBMS.



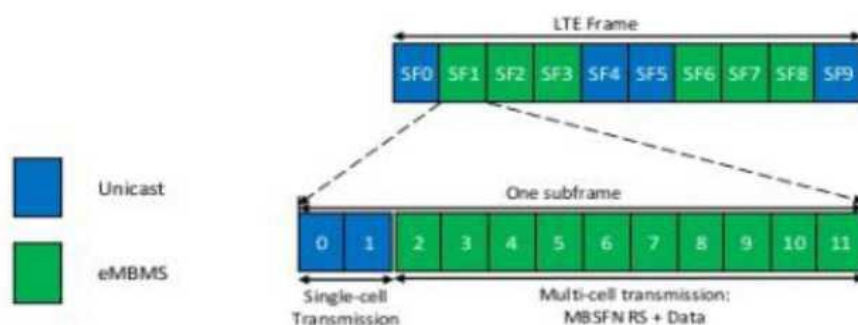
Εικόνα 4.12 : Αρχιτεκτονική LTE δικτύου με eMBMS

Όπως είναι λογικό οι eNBs είναι οι συλλέκτες της προς broadcast πληροφορίας από το δίκτυο πυρήνα. Ο κόμβος Multi-cell/multicast Coordination Entity (MCE) εμφανίζεται στην περίπτωση του multi-cell MBMS, όπου πρόκειται να γίνει εκπομπή περιεχομένου σε περισσότερες από μία κυψέλες (σε αντίθεση με το single-cell eMBMS, όπου το broadcast γίνεται σε μία μόνο κυψέλη με τη συμμετοχή ενός eNB). Είναι υπεύθυνος για τον συντονισμό των eNBs, στην MBSFN area, προκειμένου να εκπέμψουν ταυτόχρονα τα δεδομένα, αλλά και για τη δέσμευση των κοινών πόρων. Ο Broadcast Multicast Serving Centre (BM-SC) κόμβος αποτελεί τον σύνδεσμο μεταξύ του δικτύου LTE και των παρόχων περιεχομένου ή οποιασδήποτε άλλης broadcast πηγής στο διαδίκτυο. Ουσιαστικά εισάγει στο δίκτυο τα εν λόγω δεδομένα. Τέλος, ο κόμβος MBMS Gateway (MBMS-GW) είναι υπεύθυνος για την προώθηση των πακέτων δεδομένων στους eNBs μέσα στην MBSFN area αλλά και για τη σηματοδότηση έναρξης και λήξης συνόδου μέσω του MME. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι είναι ιδιαίτερα πιθανό να υπάρχει αλληλοεπικάλυψη μεταξύ πολλών MBSFN areas. Ένας eNB είναι δυνατό να ανήκει σε έως και 8 περιοχές

4.6.2 Νέα κανάλια και Δομή καναλιού e-MBMS

Προκειμένου να υποστηριχτεί η νέα κίνηση την οποία εισάγει το eMBMS, στα ήδη υπάρχοντα κανάλια, έρχονται να προστεθούν δύο επιπλέον λογικά κανάλια. Το ένα κανάλι είναι το Multicast Traffic Channel (MTCH), ένα κανάλι κίνησης, υπεύθυνο για τη μεταφορά των δεδομένων μίας συγκεκριμένης MBMS υπηρεσίας. Το δεύτερο κανάλι είναι το Multicast Control Channel (MCCH), ένα φυσικό κανάλι υπεύθυνο για την παροχή πληροφοριών ελέγχου προκειμένου να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί μια MBMS υπηρεσία.

Όσο αφορά στη δομή καναλιού, το βασικότερο χαρακτηριστικό του e-MBMS είναι η ελαστικότητα όλων των φερόντων (carriers) ως προς τον τύπο μετάδοσης των δεδομένων, αφού μπορούν να μεταφέρουν δεδομένα προοριζόμενα είτε για broadcast είτε για unicast μετάδοση.



Εικόνα 4.13 : Παράδειγμα δομής καναλιού με MBMS υποπλάισια

Οι unicast και broadcast μεταδόσεις πολυπλέκονται χρονικά, μέσω της TDM πολυπλεξίας, σε ένα κοινό LTE φέρον. Η Εικόνα 4.13 παρουσιάζει ένα απλό παράδειγμα δομής ενός καναλιού με MBMS υποπλάισια. Τα μπλε υποπλάισια αντιπροσωπεύουν τις unicast μεταδόσεις ενώ τα πράσινα τις broadcast. Παρατηρούμε πως συνυπάρχουν μέσα σένα LTE πλαίσιο υποπλάισια και για τους δύο τύπους μεταδόσεων, αλλά και πως σε κάθε υποπλάισιο υπάρχουν μεταδόσεις προοριζόμενες για single-cell και για multi-cell broadcast.

Στην πραγματικότητα, το πολύ 6 στα 10 υποπλάισια, ενός πλαισίου των 10ms, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για MBMS μεταδόσεις. Τα υποπλάισια 0 και 5 μεταφέρουν σήματα συγχρονισμού και το PBCH (Physical Broadcast Channel) κανάλι, ενώ τα 0,4,5 και 9 χρησιμοποιούνται για σελιδοποίηση (paging). Συνεπώς,

απομεινώνουν 6 υποπλαίσια προς χρήση.

Τέλος, είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι τα CP (Cyclic Prefix) των unicast και broadcast μεταδόσεων έχουν διαφορετικό μήκος. Γνωρίζουμε ότι ένα σήμα πρέπει να ληφθεί κατά τη διάρκεια του CP προκειμένου να αποφύγουμε πιθανές δια-συμβολικές παρεμβολές (Inter-Symbol Interference- ISI). Δεδομένου όμως ότι οι MBMS μεταδόσεις είναι πολλαπλές και από διαφορετικές πηγές, η καθυστέρηση αυξάνεται και κατά συνέπεια, απαιτείται μεγαλύτερου μήκους CP για τις μεταδόσεις αυτές. Λόγω αυτής της διαφοράς μήκους μεταξύ unicast και broadcast μεταδόσεων, υπάρχουν μικρά κενά μεταξύ τους.

4.6.3 Service continuity

Στο Release 11 της 3GPP, τέθηκε ως στόχος η επέκταση της τεχνολογίας eMBMS ώστε οι UEs να απολαμβάνουν τις MBMS υπηρεσίες σε συνεχές και απρόσκοπτο επίπεδο με χρήση μίας ή και περισσότερων συχνοτήτων. Η συνεχής παροχή υπηρεσίας (Service continuity) μπορεί, ωστόσο, να εξασφαλιστεί μόνο μέσα σε μία MBSFN area. Μεταξύ διαφορετικών γεωγραφικών περιοχών μέσα στο ίδιο PLMN, είναι πολύ πιθανό οι συχνότητες στις οποίες παρέχονται MBMS υπηρεσίες να αλλάζουν. Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο ένας UE μπορεί να βρίσκεται μεταξύ δύο καταστάσεων : RRC_ IDLE και RRC_CONNECTED. Ορίστηκαν συνεπώς βελτιώσεις ώστε ένας UE σε όποια από τις δύο καταστάσεις κι αν βρίσκεται να είναι σε θέση να εξασφαλίσει την παροχή MBMS υπηρεσιών. Στοιχείο κλειδί και στις δύο περιπτώσεις είναι η εκπομπή (broadcast), σε όλη την έκταση της κυψέλης- είτε πρόκειται για κυψέλη όπου παρέχονται MBMS υπηρεσίες είτε όχι- ενός συνόλου πληροφοριών, οι οποίες βοηθούν τους UEs να γνωρίζουν τις συχνότητες στις οποίες είναι διαθέσιμες οι MBMS υπηρεσίες. Όταν ένας UE βρίσκεται σε RRC_ IDLE mode (κατάσταση αναμονής), ανάλογα με την κατάσταση του καναλιού και τις πληροφορίες που έλαβε σχετικά με το σύστημα, μπορεί να αλλάξει κυψέλη εξυπηρέτησης. Στο σημείο αυτό, αν επιθυμεί να απολαύσει κάποια MBMS υπηρεσία, μέσω των πληροφοριών που διαδίδονται στην κυψέλη (σχετικά με τις συχνότητες παροχής), μπορεί να λάβει γνώση και να θέσει ως κριτήριο επιλογής νέας κυψέλης την συχνότητα παροχής της υπηρεσίας που επιθυμεί. Τέλος, όταν ένας UE βρίσκεται σε RRC_CONNECTED mode, δηλαδή ήδη χρησιμοποιεί κάποια

MBMS υπηρεσία, η σηματοδότηση (η σχετική με τις συχνότητες) συνεισφέρει στην συνεχή και χωρίς διακοπή παροχή της υπηρεσίας. Πιο συγκεκριμένα, σε περιπτώσεις μεταπομπής (handover) σε άλλη κυψέλη μέσα στην ίδια MBSFN area, η υπηρεσία θα συνεχίσει να παρέχεται κανονικά στον χρήστη. Ωστόσο, αν η νέα κυψέλη ανήκει σε διαφορετική MBSFN area, τότε η υπηρεσία θα διακοπεί και ο χρήστης θα πρέπει να ψάξει εκ νέου τις συχνότητες παροχής της υπηρεσίας στη νέα κυψέλη, διαδικασία ιδιαίτερα χρονοβόρα. Η παραπάνω σηματοδότηση πληροφόρησης στο σημείο αυτό λειτουργεί ως σανίδα σωτηρίας, αφού ο UE γνωρίζει τη συχνότητα στην οποία θα πρέπει να μεταβεί.

4.6.4 Γιατί eMBMS;

Τέλος, στη σύντομη αυτή παράγραφο θα αναφερθούμε στους σημαντικότερους λόγους για τους οποίους ένας πάροχος δικτύου πρέπει να διαλέξει το eMBMS ως τεχνική broadcast. Το eMBMS υπερτερεί σε σχέση με τις παλαιότερες τεχνικές DVB-H, DMB-H και MediaFLO στα εξής τρία σημαντικά σημεία:

- Το Embms χρησιμοποιεί την ίδια υποδομή που προσφέρει το LTE δίκτυο χωρίς σημαντικές και επιβαρυντικές ,από μεριάς κόστους, προσθήκες.
- Δεν χρειάζεται αγορά επιπλέον φάσματος συχνοτήτων.
- Είναι δυνατή η αλληλεπίδραση με το χρήστη χάρη στην ανοδική ζεύξη. [43]
- Μπορεί να εγγυηθεί συνεχή παροχή υπηρεσίας (service continuity) μέσα στην ίδια MBSFN area.

4.7 In-Device Coexistence (IDI)

Ένα συχνό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι σύγχρονες κινητές συσκευές είναι οι μεγάλου βαθμού παρεμβολές, κυρίως λόγω της ποικιλίας ασύρματων τεχνολογιών τις οποίες υποστηρίζουν. Πέρα λοιπόν από τα σήματα που δέχεται ή στέλνει μία συσκευή στο δίκτυο κυψέλης, μπορεί παράλληλα να έχει αντίστοιχη κίνηση και από ένα WLAN/Wi-Fi ή/και από ένα Bluetooth δίκτυο. Στις περιπτώσεις αυτές, οι παρεμβολές από γειτονικές εκπομπές καναλιών και από καταστάσεις όπου οι λήψεις μίας τεχνολογίας συμβαίνουν στην ίδια συχνότητα με τις μεταδόσεις κάποιας άλλης,

αποτελούν ένα πολύ συχνό φαινόμενο. Όταν λοιπόν η ισχύς των παρεμβολών καταλήγει να είναι μεγαλύτερη της ισχύος του ωφέλιμου σήματος έχουμε φαινόμενα IDC παρεμβολών. Στο LTE-Advanced Release 11, προσδιορίζονται κάποιες τεχνικές προκειμένου να αποφευχθούν ή να περιοριστούν οι αμοιβαίες αυτές παρεμβολές. Ο UE, αν δεν μπορεί από μόνος του να λύσει το πρόβλημα των παρεμβολών, στέλνει μία IDC ένδειξη στο στον eNB μέσω της RRC σηματοδοσίας, προκειμένου να λάβει αυτός τα κατάλληλα μέτρα. Ο σταθμός βάσης μπορεί να λάβει μέτρα, όπως η αλλαγή συχνότητας επικοινωνίας, ή ακόμη και πιο δραστικά, όπως η διακοπή της LTE σύνδεσης σε περιπτώσεις όπου η LTE κίνηση δημιουργεί παρεμβολές στην ISM (industrial, scientific and medical) μπάντα συχνοτήτων. Προκειμένου να ληφθεί η κατάλληλη, ανά την περίπτωση, απόφαση από τον σταθμό βάσης, ο UE στην IDC ένδειξη παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες, όπως μία λίστα από τις συχνότητες στις οποίες παρουσιάζονται προβλήματα παρεμβολών καθώς και την κατεύθυνση των παρεμβολών αυτών.

4.8 Εξοικονόμηση ενέργειας

Ο τομέας της Διαχείρισης Εξοικονόμησης Ενέργειας (Energy Saving Management - ESM) αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι μέριμνας για τους παρόχους δικτύων. Κύριος στόχος του ESM είναι η εύρεση τρόπων για τη μείωση του ενεργειακού κόστους αλλά και για την προστασία του περιβάλλοντος. Αν και υπάρχουν γενικές λύσεις που εφαρμόζονται για κάθε τύπο δικτύου κυψέλης, σίγουρα κάθε δίκτυο απαιτεί εξειδικευμένες τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας, πλήρως εναρμονισμένες με τα χαρακτηριστικά και την λειτουργία του. Στο Release 11 της 3GPP, εξετάζονται οι επιπτώσεις στη σηματοδοσία μεταξύ UE και δικτύου πυρήνα, όταν εφαρμόζονται μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας. Ένας από τους βασικότερους μηχανισμούς είναι η χρήση ενός διακόπτη off στο δίκτυο. Όταν ένα κομμάτι του δικτύου τεθεί εκτός λειτουργίας οι UEs που εξυπηρετούνται από αυτό πρέπει να βρουν ένα άλλο υποδίκτυο, είτε κομμάτι του ίδιου δικτύου (intra-RAT energy saving) είτε διαφορετικού (inter-RAT energy saving), προκειμένου να μεταναστεύσουν σε αυτό. Η εν λόγω αλλαγή δικτύου εξυπηρέτησης βασίζεται στο γεγονός ότι οι περιοχές κάλυψης διαφόρων υποδικτύων μπορούν να αλληλεπικαλύπτονται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Παγκόσμια και Ελληνική Αγορά LTE-Advanced

Στο παρόν κεφάλαιο προχωράμε σε μία σύντομη αναφορά στην παγκόσμια και στην ελληνική αγορά του LTE. Παραθέτουμε τις βασικότερες παρατηρήσεις/προβλέψεις της CISCO για την πορεία των υπηρεσιών 4^{ης} γενιάς και συζητάμε για το ρόλο των ρυθμιστικών αρχών, τις ζώνες του φάσματος συχνοτήτων που προβλέπονται για τη λειτουργία δικτύων 4^{ης} γενιάς καθώς επίσης και για την τιμολόγηση αυτών.

5.1 Η παγκόσμια αγορά LTE

Η τεχνολογία LTE βρήκε την πρώτη εφαρμογή της στις σκανδιναβικές χώρες. Η εταιρεία Teliasonera εγκατέστησε τα πρώτα δίκτυα στη Στοκχόλμη και το Oslo στις 14 Δεκεμβρίου του 2009. Έκτοτε έως τον Δεκέμβρη του 2012, ιδρύθηκαν 20 LTE δίκτυα σε 14 χώρες παγκόσμια, ενώ σήμερα, σύμφωνα με μετρήσεις κατά τον μήνα Αύγουστο, το σύνολο των δικτύων αριθμείται σε 206 δίκτυα σε 79 χώρες (βλ. Εικόνα 5.1). Η ανάπτυξη των LTE δικτύων είναι εντυπωσιακή αφού ο αριθμός των ιδρυθέντων δικτύων κατά το 2013, μόνο, αναμένεται να αγγίξει τα 100. Το LTE αρχικά παρουσιάστηκε στην αγορά ως μία υπηρεσία δεδομένων υποστηριζόμενη από USB sticks, όμως γρήγορα έκαναν την εμφάνιση τους παντός είδους 4G συσκευές όπως κινητά, tablets, PDAs κ.α. Το πρώτο 4G κινητό είναι το HTC EVO το οποίο και



εμφανίστηκε στην αγορά στις αρχές του 2010.

Εικόνα 5.1: Παγκόσμια υιοθέτηση LTE δικτύων



Εικόνα 5.1: Παγκόσμια υιοθέτηση LTE δικτύων

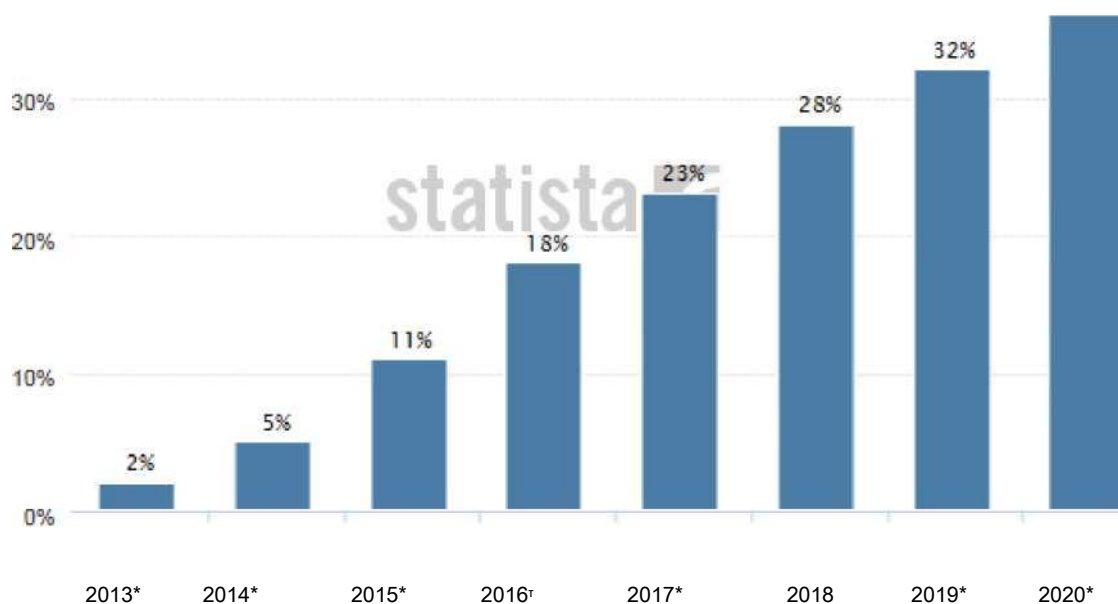
Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, το πρότυπο LTE είναι ένα 3.9G πρότυπο, δηλαδή έχει αποδόσεις πολύ καλύτερες από αυτές των 3G δικτύων, αλλά δεν αποτελεί αυθεντικό 4G πρότυπο, αφού δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις που τέθηκαν στο IMT-Advanced. Παρόλα αυτά, το LTE προωθήθηκε στην αγορά με την επωνυμία «LTE 4G» ή απλά «4G». Το πρώτο αυθεντικό 4G (LTE-Advanced) δίκτυο, και σύμφωνα με την ITU «true 4G» δίκτυο, εγκαταστάθηκε τον Ιούνιο του 2013 από την κορεάτικη εταιρεία SK Telecom, την οποία και ακολούθησε η επίσης κορεάτικη LG U+. Οι εν λόγω εταιρείες, προκειμένου να αυξήσουν τις ταχύτητες τους, έκαναν χρήση της τεχνικής CA συνδυάζοντας μάλιστα δύο διαφορετικές μπάντες συχνοτήτων. Το πρώτο LTE-Advanced κινητό είναι το Samsung Galaxy S4.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις, έως το τέλος του 2013, ο αριθμός των 4G συνδρομητών έφτασε τα 150 εκατομμύρια, σχεδόν δηλαδή ο διπλάσιος αυτών του 2012 (72 εκατομμύρια), ενώ έως το 2018 αναμένεται να αγγίξει το 1 δισεκατομμύριο. Όσον αφορά τα πραγματικά 4G δίκτυα, μέσα στο 2015 ο αριθμός στους θα αυξηθεί αφού τουλάχιστον 13 πάροχοι έχουν δηλώσει ότι θα υιοθετήσουν μία ή περισσότερες τεχνολογίες του LTE-Advanced.

Πρωτοπόρος σε αριθμό 4G συνδρομητών, σε παγκόσμιο επίπεδο, αναδεικνύονται οι Η.Π.Α. με 62.5 εκατομμύρια συνδρομητές και 90% πληθυσμιακή κάλυψη. Οι Η.Π.Α. μέχρι στιγμής είναι η μόνη χώρα με περισσότερους 4G από ότι 3G συνδρομητές, ενώ εμφανίζονται έντονα φαινόμενα κατάργησης του οικιακού broadband, το οποίο αντικαθιστά η μετατροπή του LTE κινητού σε router (WiFi-Hotspot). Άλλωστε, όπως έχουμε αναφέρει και όπως αποδεικνύουν και οι ταχύτητες του LTE, το mobile broadband πλέον συναγωνίζεται επάξια -και σε πολλές περιπτώσεις ξεπερνά σε ταχύτητα- το home broadband. Η διείσδυση της LTE τεχνολογίας υπολογίζεται στο 10% του πληθυσμού.

Όσον αφορά στην Ευρώπη, παρά την ηγεσία της στην 3G τεχνολογία (66%

διείσδυση), η εξάπλωση των δικτύων 4G είναι πολύ αργή, σε σημείο να καθίσταται ανησυχητική για την οικονομία. Τρεις στους τέσσερις κατοίκους αστικών κέντρων της Ευρωπαϊκής Ένωσης δεν έχουν πρόσβαση σε 4G δίκτυο, ενώ σχεδόν καμία αγροτική περιοχή δεν έχει 4G κάλυψη. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο υπάρχουν μεγάλες ποσότητες ραδιοφάσματος για την εξυπηρέτηση των κινητών ευρυζωνικών υπηρεσιών, ωστόσο οι δημοπρασίες για τον διαμοιρασμό του φάσματος γίνεται σε επίπεδο χώρας, σε πολύ υψηλότερες τιμές από αυτές των Η.Π.Α., με αποτέλεσμα οι πάροχοι να δυσκολεύονται να αγοράζουν το απαραίτητο φάσμα και παράλληλα να έχουν τα απαιτούμενα κεφάλαια για την ανάπτυξη του δικτύου τους. Επιπρόσθετα, μεγάλο αγκάθι αποτελεί η καθυστέρηση απελευθέρωσης της ζώνης των 800MHz (ζώνη ψηφιακού μερίσματος), αφού πάνω από 14 χώρες καθυστερούν την μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεόραση. Η ΕΕ διαθέτει 1000MHz ραδιοφάσμα για τις ανάγκες των κινητών ευρυζωνικών δικτύων και έχει θέσει ως στόχο έως το 2020 να παρέχεται σε κάθε της χώρα ταχύτητα τουλάχιστον 30Mbps και επέκταση του φάσματος στα 1200 MHz. Στο Σχήμα 6.1 παρουσιάζονται οι προβλέψεις για τη διείσδυση του LTE στον ευρωπαϊκό πληθυσμό.



Εικόνα 6.2 : Πρόβλεψη διείσδυσης LTE στην Ευρώπη

5.2 Ζήτηση κινητών ευρυζωνικών δικτύων

5.2.1 Αποτίμηση του έτους 2012

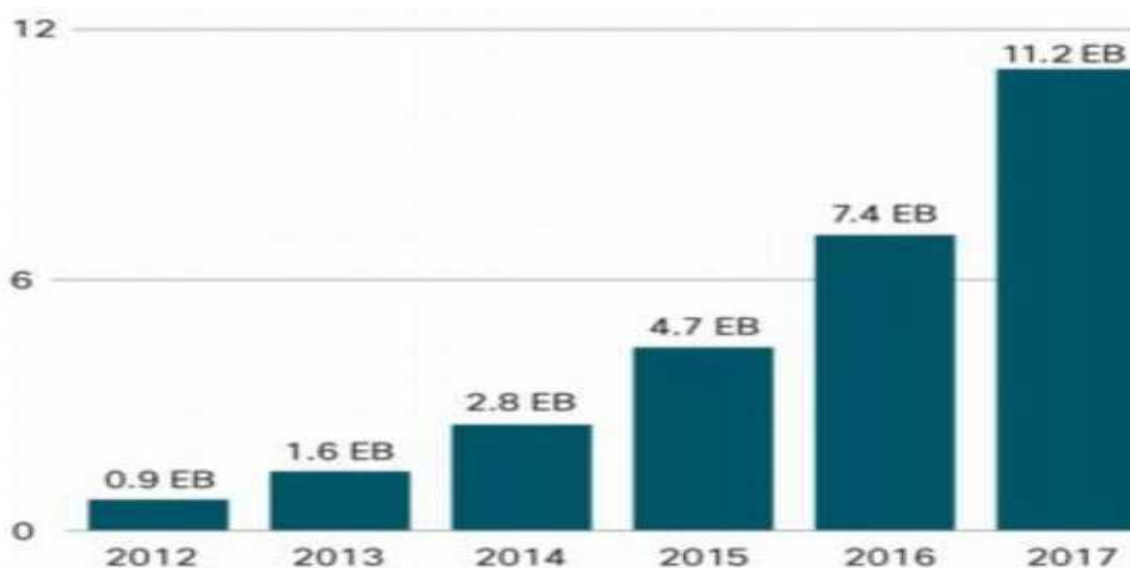
Θετικό οίονό για την ανάπτυξη και εξάπλωση των κινητών ευρυζωνικών δικτύων, αποτελούν οι εκτιμήσεις για την κίνηση δεδομένων (data traffic) στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας τα τελευταία χρόνια. Πιο συγκεκριμένα, η κίνηση δεδομένων αυξήθηκε κατά 70% το 2012 σε σχέση με το 2011, αγγίζοντας τα 885 petabytes το μήνα. Πρώτες σε ποσοστά κίνησης έρχονται οι υπηρεσίες mobile video, αντιπροσωπεύοντας το 51% της συνολικής κίνησης, ενώ ακολουθούν οι υπηρεσίες περιήγησης στο διαδίκτυο (web browsing) και ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (e-mail). Καταλυτικό ρόλο στην παραγωγή κίνησης διαδραματίζουν οι τερματικές συσκευές, όπως τα κινητά τηλέφωνα, τα tablets, τα laptops, GPS κ.α., οι οποίες ποικίλουν ως προς την τεχνολογία, τις προδιαγραφές, τη λειτουργικότητα και τις αποδόσεις τους. Το 92% της συνολικής κίνησης προέρχεται από «έξυπνα» κινητά τηλέφωνα (smartphones), με κάθε smartphone να παράγει κατά μέσο όρο περί τα 342MB το μήνα. Οι υπηρεσίες δεδομένων και οι ταχύτητες που παρέχονται πλέον από τα 3G και 4G δίκτυα, έφεραν ως αποτέλεσμα την εκπληκτική αύξηση του αριθμού των συνδεδεμένων tablets (36 εκατομμύρια) και laptops(161 εκατομμύρια), με κάθε συσκευή να παράγει κατά μέσο όρο 820MB και 2.5GB αντίστοιχα το μήνα.

Όσον αφορά την παρουσία των 4G δικτύων, παρά το γεγονός ότι οι συνδέσεις αυτές αντιπροσωπεύουν μόλις το 0,9% των συνολικών συνδέσεων, παράγουν 19 φορές περισσότερη κίνηση από αυτή των συνδέσεων παλαιότερων γενιών. Ο λόγος για την αυξημένη αυτή κίνηση είναι αφενός ότι η τεχνολογία 4G υποστηρίζει συσκευές που παράγουν μεγάλη κίνηση και αφετέρου ότι οι υψηλές της ταχύτητες ενθαρρύνουν τον χρήστη να χρησιμοποιήσει υπηρεσίες δεδομένων μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας αντί μέσω του δικτύου σταθερής.

5.2.2 Προβλέψεις για το διάστημα 2012-2017

Σύμφωνα με εκτιμήσεις της εταιρείας CISCO στο «Visual Networking Index (VNI) Global Mobile Data Traffic Forecast Update» του 2013, το 2014 η παγκόσμια κίνηση δεδομένων αναμένεται να αγγίξει τα 2,8 Exabyte και το 2017 τα 11,2 Exabyte το μήνα. Οι προβλέψεις συνολικής κίνησης για την περίοδο 2012-2017 παρουσιάζονται

στο Εικόνα 5.2.



Εικόνα 5.2: Πρόβλεψη παγκόσμιας κίνησης δεδομένων

Ίσως μία από τις εντυπωσιακότερες εκτιμήσεις αποτελεί αυτή σχετικά με το πλήθος των συνδεδεμένων συσκευών κατά το 2017, οι οποίες αναμένεται να φτάσουν στις 10 δισεκατομμύρια (δηλαδή αντιστοιχούν 1,4 συσκευές ανά κάτοικο του πλανήτη). Η εντυπωσιακή αύξηση της κίνησης δεδομένων θα οφείλεται στις εξελιγμένες συσκευές που θα συνδέονται στα κινητά δίκτυα, αφού από το 2015 και έπειτα αναμένεται μείωση των παλαιάς τεχνολογίας συσκευών (μη-smartphones), οι οποίες και αποτελούν πλειοψηφία σήμερα. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ένα smartphone μπορεί να παράγει 50- πλάσια κίνηση από ένα τυπικό κινητό τηλέφωνο, ενώ ένα laptop 368 φορές μεγαλύτερη κίνηση. Παράλληλα, το μέσο smartphone αναμένεται να παράγει 2,7GB και τα tablets 1,3 Exabytes κίνησης το μήνα. Η κίνηση δεδομένων για υπηρεσίες video αναμένεται να αποτελέσει τα 2/3 (66%) της παγκόσμιας κίνησης κατά το 2017. Όσον αφορά την κεντρική και ανατολική Ευρώπη, οι προβλέψεις τις CISCO για την κατανάλωση δεδομένων σε TB το μήνα, κατά το διάστημα 2012-2017 ακολουθεί την εξής πορεία:

| Έτος | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|--------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| TB δεδομένων | 66084 | 116012 | 210841 | 365498 | 577265 | 844887 |

Αντίστοιχα οι προβλέψεις για την κίνηση δεδομένων στη δυτική Ευρώπη παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα :

| Έτος | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|---------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| TB δεδομένων | 66084 | 116012 | 210841 | 365498 | 577265 | 844887 |

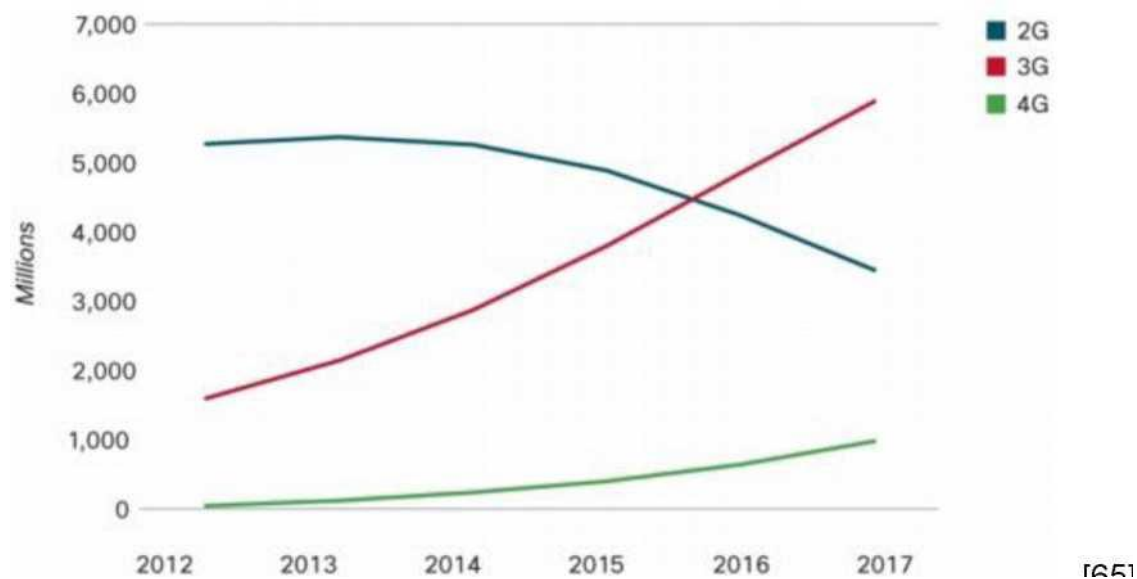
Ενώ παγκόσμια, βάσει μετρήσεων κατά το 2012, η κατανάλωση ανά συνδρομητή το μήνα ακολουθεί τα παρακάτω ποσά δεδομένων στα αντίστοιχα ποσοστά συνδρομητών:

| Δεδομένα | Ποσοστό |
|------------------|---------|
| >5GB | 1% |
| >2GB | 13% |
| >200MB | 53% |
| >20MB | 69% |
| >1MB | 73% |

5.2.3 Οι επιπτώσεις των 4G δικτύων στην κίνηση δεδομένων

Πέρα από τις δυνατότητες των συσκευών, η αύξηση κίνησης δεδομένων θα υποστηριχτεί από την μεγάλη εξέλιξη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Τα 4G δίκτυα, με τις εντυπωσιακές ταχύτητες τους, θα αποτελέσουν έναυσμα για πολλούς χρήστες να εγκαταλείψουν τα δίκτυα σταθερής τηλεφωνίας και να στραφούν στην κινητή. Επιπρόσθετα, η αύξηση των χρηστών θα δώσει στους παρόχους τη δυνατότητα για χαμηλότερη τιμολόγηση των πακέτων δεδομένων, γεγονός που θα αποτελέσει ένα επιπλέον κίνητρο για την υιοθέτηση της τεχνολογίας.

Κατά το 2017, εκτιμάται ότι τα 4G δίκτυα θα διακινούν το 45% των δεδομένων παγκοσμίως, ενώ οι συνδέσεις θα φτάσουν τα 992 εκατομμύρια, έναντι των 60 εκατομμυρίων κατά το 2012. Παρόλα αυτά οι 3G συσκευές/συνδέσεις θα προπορευούνται αγγίζοντας τα 6 δισεκατομμύρια



Εικόνα 5.3: Προβλέψεις αριθμού 2G, 3G και 4G συνδέσεων παγκοσμίως

5.3 Η κινητή τηλεφωνία στην Ελλάδα

5.3.1 Ιστορική ανασκόπηση

Το **1992** αποτέλεσε έτος «σταθμό» για τον τομέα της κινητής τηλεφωνίας στην Ελλάδα. Όλα ξεκίνησαν με τον διαγωνισμό που προκηρύχτηκε από την τότε κυβέρνηση για την χορήγηση δύο αδειών εγκατάστασης δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Οι δύο άδειες που κατακυρώθηκαν στις εταιρείες Panafon (νυν Vodafone) και Telestet (νυν Wind), αφορούσαν την εγκατάσταση, λειτουργία και εκμετάλλευση δικτύου 2G/GSM στις συχνότητες της ζώνης των 900MHz. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός του αποκλεισμού του Ο.Τ.Ε από τη διαδικασία αδειοδότησης (κυρίως λόγω των οικονομικών οφελών από τη χορήγηση αδειών σε ιδιώτες). Έπειτα από επενδύσεις που ανέρχονται στο ποσό των 34 δισεκατομμυρίων δραχμών (νυν 100 εκατομμύρια ευρώ) για κάθε εταιρεία, η εμπορική αξιοποίηση του δικτύου Telestet ξεκίνησε στις 29 Ιουνίου **1993**, ενώ του δικτύου Panafon στη 1 Ιουλίου του ίδιου χρόνου. Η πρώτη κλήση από κινητό τηλέφωνο έγινε μέσω του δικτύου της Telestet γεγονός το οποίο καθιέρωσε την εταιρεία ως την πρώτη εταιρεία που έφερε την κινητή τηλεφωνία στην Ελλάδα. Κατά τους πρώτους μήνες της εμπορικής λειτουργίας των δικτύων, κάλυψη παρεχόταν μόνο στην περιοχή της ηπειρωτικής

Αττικής και των νησιών του Σαρωνικού. Το κόστος απόκτησης κινητού τηλεφώνου (με το σημερινό νόμισμα) ξεκινούσε από τα 700 και έφτανε έως τα 1400€, ενώ το τέλος ενεργοποίησης έφτανε τα 85€. Η μόνη υπηρεσία που παρεχόταν αρχικά ήταν η ομιλία (τα σύντομα γραπτά μηνύματα (sms) και η αναγνώριση κλήσεων προστέθηκαν αργότερα, το 1997), με κάθε λεπτό να κοστολογείται στα 0,25€, ενώ πάρα την χρονοχρέωση, ήταν υποχρεωτική η καταβολή μηνιαίου παγίου 40€. Είναι φανερό πως οι υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας, στο αρχικό τους στάδιο, ήταν απαγορευτικές για το μεγαλύτερο μέρος του ελληνικού πληθυσμού. Το **1995** ο Ο.Τ.Ε καταφέρνει να αποκτήσει την τρίτη άδεια για την εγκατάσταση GSM δικτύου κινητής τηλεφωνίας και ιδρύει την εταιρεία Cosmote. Προκειμένου να γνωρίσουν ευρύτερη αποδοχή οι υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας, το **1997** με τη διείσδυση στο 5% του πληθυσμού, εμφανίστηκαν στην αγορά τα πρώτα καρτοκινητά, ώστε να αποδεσμεύσουν τους συνδρομητές από τα υποχρεωτικά πάγια και συμβόλαια. Με την κατοχή καρτοκινητού ο χρήστης πλέον μπορεί να ελέγξει τις χρεώσεις του, αφού «φορτώνει» στο κινητό του χρόνο ομιλίας μέσω καρτών ανανέωσης. Η καρτοκινητή γνώρισε μεγάλη αποδοχή από τους οικονομικά ασθενέστερους άλλα και από συνδρομητές με μειωμένες ανάγκες χρήσης. Τον Ιανουάριο του **1998** και ενώ η διείσδυση έχει φτάσει σε ποσοστά 19%, εισέρχεται στην αγορά της κινητής τηλεφωνίας η εταιρεία Cosmote, προσφέροντας υπηρεσίες σε ιδιαίτερα ανταγωνιστικές τιμές. Έτσι, λοιπόν, μέσα σε ένα περιβάλλον σκληρού ανταγωνισμού μεταξύ των τριών εταιριών, ξεκινά η σημαντική μείωση των τιμών και η μεγάλη τεχνολογική ανάπτυξη των δικτύων. Το 1999 με τη διείσδυση να φτάνει στο 36%, η Cosmote καταφέρνει να επιτύχει κάλυψη στο 97% του πληθυσμού. Το **2000** η διείσδυση της κινητής τηλεφωνίας ανέρχεται στο 57%, ενώ γίνεται το επόμενο μεγάλο τεχνολογικό βήμα-η ανάπτυξη δικτύων GPRS /2.5G. Το **2001** και ενώ η διείσδυση αγγίζει το 69%, ξεκινά η παροχή υπηρεσιών από τα GPRS δίκτυα, τα οποία παρέχουν -εκτός από υπηρεσίες φωνής και sms- υπηρεσίες δεδομένων. Είναι δυνατή πλέον η περιήγηση στο διαδίκτυο και η αποστολή MMS (Multimedia Messaging Service). Η Cosmote την χρονιά αυτή κατακτά την πρώτη θέση στην αγορά των κινητών επικοινωνιών. Το **2002** ένας νέος πάροχος εμφανίζεται υπό την ονομασία Q-Telecom, προσφέροντας πακέτα καρτοκινητής σε πολύ χαμηλές τιμές. Η συγκεκριμένη εταιρεία έδρασε ανεξάρτητα για μία τετραετία και το 2006 εξαγοράστηκε από την Telestet, η οποία πλέον είχε την ονομασία TIM. Κατά το 2002, η Panafon μετονομάζεται σε Vodafone και παρέχει πρώτη την υπηρεσία MMS, ενώ η Cosmote πετυχαίνει μία ακόμα μεγάλη διάκριση κερδίζοντας την εμπιστοσύνη

3,5 εκατομμυρίων συνδρομητών. Τη χρονιά αυτή τίθενται τα «θεμέλια» για τα δίκτυα 3G. Το **2003** και ενώ η διείσδυση έχει σκαρφαλώσει στο 93%, πραγματοποιείται η πρώτη κλήση 3G μέσω του δικτύου της Telestet, ενώ οι εταιρείες Cosmote και Vodafone προσφέρουν τις υπηρεσίες i-mode και mobile connect αντίστοιχα, για περιήγηση στο διαδίκτυο (σε περιορισμένο αριθμό σελίδων). Το **2004** αποτελεί χρονιά σταθμό τόσο για τον αθλητισμό όσο και για τις κινητές επικοινωνίες. Είναι η χρονιά των Ολυμπιακών αγώνων στη χώρα μας, οι οποίοι με τον τρόπο τους συνέβαλαν στην ανάπτυξη των δικτύων 3G. Οι πάροχοι επιδόθηκαν σε αγώνα δρόμου προκειμένου να διαθέσουν εμπορικά τις 3G υπηρεσίες τους κυρίως στις ολυμπιακές πόλεις (Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Ηράκλειο, Βόλος) στις οποίες και συνέρεε πλήθος επισκεπτών από την Ελλάδα και όλο τον υπόλοιπο κόσμο. Το UMTS/3G δίκτυο λειτουργεί στη ζώνη των 2100MHz, παρέχοντας πλέον υπηρεσίες δεδομένων σε πολύ υψηλές ταχύτητες σε σχέση με αυτές των GPRS/2.5G δικτύων. Χάρη στους αγώνες, μέσω κάθε δικτύου-μόνο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού- ανταλλάχθηκαν εκατομμύρια μηνύματα, διακινήθηκαν εκατομμύρια KB δεδομένων και πραγματοποιήθηκαν εκατομμύρια κλήσεις. Τη χρονιά αυτή η διείσδυση έφτασε στο 100%. Η Telestet μετονομάζεται σε TIM και η Vodafone προσφέρει την υπηρεσία της «Vodafone live» προς βελτίωση της mobile connect. Έναν χρόνο μετά, το **2005** αναδεικνύεται σπουδαία επιχειρηματική χρονιά για την Cosmote, η οποία επεκτείνει τις δραστηριότητες της εκτός Ελλάδας. Αποκτά το 70% των μετοχών της ρουμανικής COSMOROM (νυν Cosmote Romania) και το 100% της βουλγαρικής Globul και της σκοπιανής Cosmofon.

Δύο είναι τα σπουδαιότερα γεγονότα στον κόσμο των κινητών επικοινωνιών κατά το **2006**. Η TIM εξαγοράζει - έναντι του ποσού των 360 εκατομμυρίων ευρώ - την εταιρεία Q Telecom, μειώνοντας πλέον τους πραγματικούς παρόχους στους τρεις και φέρνοντας κοντά της τους 1.201.045 συνδρομητές της Q. Παράλληλα η Cosmote έχοντας τον μεγαλύτερο αριθμό συνδρομητών στην Ελλάδα, προχωρά στην εξαγορά της μεγάλης εταιρείας προϊόντων τηλεφωνίας ΓΕΡΜΑΝΟΣ. Η διείσδυση φτάνει στο 120,5% του πληθυσμού με την κινητή τηλεφωνία να μετρά 13.551.000 συνδρομές. Το **2007** αποτελεί μία χρονιά αλλαγών για την TIM, η οποία εξαγοράζεται από τον αιγυπτιακό όμιλο εταιρειών Weather Investments -έναντι 3,4 δισεκατομμυρίων ευρώ, έχοντας όμως χρέος 2,9 δισεκατομμυρίων- μετονομάζεται σε WIND και μπαίνει σε έναν αγώνα επιβίωσης και επαναφοράς της κερδοφορίας της. Εξαγοράζει τον

εναλλακτικό πάροχο σταθερής τηλεφωνίας TELLAS, επεκτείνοντας τις δραστηριότητες της στο χώρο της σταθερής τηλεφωνίας και του internet. Ανάλογες επιχειρηματικές κινήσεις παρατηρούμε και από τη Vodafone, η οποία συνεργάζεται με τον εναλλακτικό πάροχο σταθερής HOL (Hellas On Line). Να σημειώσουμε ότι αυτή τη χρονιά η διείσδυση φτάνει στο 146%.

Το **2008** αποτελεί τη χρονιά που το mobile broadband κάνει δυναμικά την εμφάνιση του στην αγορά. Το internet μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας αποκτά όλο και περισσότερους υποστηρικτές. Πρώτη η Cosmote παρουσιάζει την υπηρεσία «internet on the go» η οποία μέσω ενός USB stick, παρέχει σε υπολογιστές τη δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο με ταχύτητες έως 7,2 Mbps και χρεώσεις που ακολουθούν είτε λογικές συμβολαίου είτε ογκοχρέωσης. Παράλληλα, εμφανίζονται στη χώρα μας τα πρώτα smartphones με πρώτο το iphone της αμερικανικής εταιρείας Apple, το οποίο λάνσαρε η Vodafone. Τα smartphones χάρη στις εξαιρετικές τους δυνατότητες κατέκλυσαν και καταλύουν έως σήμερα την αγορά, ενώ αποτελούν παράγοντα αύξησης των συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας. Είναι γνωστό ότι ανέκαθεν οι κινητές συσκευές αποτελούσαν δέλεαρ για τους συνδρομητές, παράγοντα τον οποίο και εκμεταλλεύονται οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας είτε μέσω επιδοτήσεων σε κάθε ανανέωση συμβολαίου, είτε μέσω μεγάλων εκπτώσεων σε συσκευές κατά την αρχική σύναψη συμβολαίου. Η διείσδυση την εν λόγω χρονιά αυξήθηκε ακόμη περισσότερο φτάνοντας το 163%.

Το **2009** άρχισαν να εμφανίζονται τα πρώτα μαύρα σύννεφα για τον κλάδο της κινητής τηλεφωνίας στην Ελλάδα μετά από τις προηγούμενες επιτυχημένες χρονιές. Η οικονομική κρίση χτυπά την πόρτα των Ελλήνων και φέρνει μαζί υπερφορολόγηση των υπηρεσιών, με αγκάθι το «τέλος συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας», το οποίο είναι κλιμακούμενο για τους κατόχους συμβολαίων από 12 έως 20% και σταθερό στο 12% για τους κατόχους καρτοκινητής. Παράλληλα, ξεκίνησε η διαδικασία ταυτοποίησης των συνδρομητών, ακόμα και της καρτοκινητής. Οι ενεργοί συνδρομητές αριθμούνται περί τα 14 εκατομμύρια και η διείσδυση αγγίζει το 125% (διείσδυση συμπεριλαμβάνων των ανενεργών συνδρομητών 186%), το οποίο παραμένει πάνω από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο. Άξιο αναφοράς είναι το υψηλό ποσοστό συνδρομητών καρτοκινητής το οποίο υπολογίζεται στο 70% καθώς και μία μείωση των εσόδων του κλάδου της τάξης του 9,3%. Η Γερμανική εταιρεία Deutsche Telekom από το 2009 έως σήμερα αποτελεί βασικό μέτοχο του ομίλου

Ο.Τ.Ε/Cosmote. Το **2010** οι εταιρείες κινητής προσέφεραν τις χαμηλότερες τιμές προ φόρων, με μείωση της τάξης του 28,3%. Ο κύκλος εργασιών του κλάδου γνώρισε μείωση 18% σε σχέση με το 2009. Παράλληλα, τα Κέρδη προ Φόρων, Τόκων και Αποσβέσεων μειώθηκαν κατά 18,9%, ενώ ο τα ποσοστά νέων συνδέσεων κυμαίνονται στο χώρο των αρνητικών αριθμών. Οι συνδέσεις μειώθηκαν στις 12,3 εκατομμύρια, ενώ οι ενεργές στα 14,8 εκατομμύρια. Η διείσδυση υποχωρεί στο 116%. Το **2011** οι συνδέσεις κινητής τηλεφωνίας συνέχισαν να μειώνονται σταδιακά, φτάνοντας στο σύνολο τις 14,6 εκατομμύρια και οι ενεργές τις 12,1 εκατομμύρια. Παρουσιάστηκε μείωση κατά 124.000 στους συνδρομητές καρτοκινητής, ενώ οι συνδρομητές συμβολαίου μειώθηκαν κατά 134.000. Η διείσδυση στον πληθυσμό υποχώρησε στο 111%, καθιστώντας την Ελλάδα ως τη χώρα με τον πέμπτο χαμηλότερο βαθμό διείσδυσης στην ΕΕ. Παρόλα αυτά, παρουσιάστηκε αύξηση του όγκου φωνητικών κλήσεων κατά 3% , ενώ μειώθηκε ο αριθμός SMS κατά 13% και των MMS κατά 14%. Το σημαντικότερο σημείο πίσω από τη υπηρεσία ομιλίας και μηνυμάτων είναι ότι τα εν λόγω δεδομένα -κατά το 80% του όγκου τους- στάλθηκαν μεταξύ συνδρομητών του ίδιου παρόχου. Το γεγονός αυτό εξηγείται από τις μειωμένες τιμές και τα δωρεάν λεπτά ομιλίας και μηνύματα που προσφέρουν οι πάροχοι από συνδρομητές προς συνδρομητές του δικού τους δικτύου. Σημαντική αύξηση παρατηρήθηκε και στο όγκο δεδομένων τα οποία έφτασαν τα 9,43 δισεκατομμύρια MB παρουσιάζοντας αύξηση κατά 23% σε σχέση με το 2010. Επιπλέον, η EETT (το ρόλο της οποίας θα εξηγήσουμε πιο κάτω) προχώρησε σε χορήγηση και ανανέωση των αδειών των τριών παρόχων για την κατοχή ραδιοφάσματος, στις ζώνες των 900 και 1800MHz. Μέσω της συγκεκριμένης δημοπρασίας για το ραδιοφάσμα, το ελληνικό δημόσιο εξασφάλισε 380.535.000 ευρώ από τις εταιρείες. Τέλος, τα έσοδα των εταιρειών κινητής τηλεφωνίας καθώς και ο κύκλος εργασιών τους μειώθηκαν κατά 10% σε σχέση με το 2010.

5.3.2 Πραγματικοί και ιδεατοί πάροχοι κινητής τηλεφωνίας

Όπως ήδη αναφέραμε οι πραγματικοί πάροχοι δικτύων κινητής τηλεφωνίας στη χώρα μας είναι μόλις τρεις -η Cosmote, η Vodafone και η WIND. Μιλώντας για πραγματικούς παρόχους, αναφερόμαστε σε παρόχους που έχουν εγκαταστήσει, τους ανήκει και εκμεταλλεύονται εμπορικά ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας (MNOs-

Mobile Network Operators). Στον αντίποδα βρίσκονται οι ιδεατοί πάροχοι (MVNOs- Mobile Virtual Network Operators), οι οποίοι είναι πάροχοι υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας που δεν έχουν στην κατοχή τους κάποιο δίκτυο και είτε αποτελούν ανεξάρτητες εταιρείες που μισθώνουν το δίκτυο ενός πραγματικού παρόχου, είτε ανήκουν στον όμιλο εταιρειών ενός πραγματικού παρόχου.

Ας παραθέσουμε τις βασικότερες πληροφορίες που αφορούν τους πραγματικούς παρόχους στην Ελλάδα:

- **Wind:** Ιδρύθηκε το 1992 με την εμπορική επωνυμία «Telestet». Το 1993 ξεκίνησε την εμπορική εκμετάλλευση του 2G/GSM δικτύου της στη ζώνη των 900MHz, ενώ μέσω του δικτύου της πραγματοποιήθηκε η πρώτη κλήση στην Ελλάδα μέσω κινητού τηλεφώνου. Η Telestet αποτέλεσε πρωτοπόρο και στον τομέα της καρτοκινητής λανσάροντας το πακέτο «B Free» τον Μάιο του 1997. Τον Ιούνιο του 2001 λάνσαρε τη νέα τεχνολογία 2.5G/GPRS, ενώ το 2003 πραγματοποιήθηκε μέσω του δικτύου της η πρώτη κλήση μέσω 3G δικτύου στην Ελλάδα. Το 2004 η εταιρεία μετονομάζεται σε «TIM». Ένα σημαντικό επιχειρηματικό βήμα για τη εταιρεία αποτέλεσε η εξαγορά του 4^{ου} παρόχου κινητής τηλεφωνίας στην Ελλάδα της Q-Telecom. Το 2007 αποτέλεσε χρονιά μεγάλων αλλαγών για την TIM, η οποία εξαγοράζεται από τον αιγυπτιακό όμιλο εταιρειών Weather Investments -έναντι 3,4 δισεκατομμυρίων ευρώ, έχοντας όμως χρέος 2,9 δισεκατομμυρίων- και έκτοτε μετονομάζεται σε «WIND». Η WIND εξαγοράζει τον εναλλακτικό πάροχο σταθερής τηλεφωνίας «Tellas» και το 2009 προχωρά σε συγχώνευση με την εν λόγω εταιρεία, δημιουργώντας έτσι έναν ολοκληρωμένο τηλεπικοινωνιακό φορέα, με κινητή τηλεφωνία, σταθερή και Internet, ενοποιώντας τα δίκτυα του. Έπειτα, τον Δεκέμβριο του 2010 η WIND εξαγοράζεται από 6 διεθνή επενδυτικά κεφάλαια έναντι του ποσού των 420.000.000€. Το 2011 ξεκινά τον εκσυγχρονισμό του δικτύου της σε όλη την Ελλάδα σε συνεργασία με τη Huawei, έργο που αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2014, ενώ παράλληλα ανανεώνει τα δικαιώματα χρήσης της των συχνοτήτων στη ζώνη των 900MHz. Σήμερα η WIND αριθμεί κοντά στα 3,5 εκατομμύρια συνδρομητές σταθερής και κινητής τηλεφωνίας, προσφέροντας 100% GSM κάλυψη σε όλη την Ελλάδα, 80% 3G/UMTS κάλυψη και φτάνει το 70% των εγκατεστημένων τηλεφωνικών γραμμών σε όλη τη χώρα, στη

σταθερή τηλεφωνία και το ευρυζωνικό Internet, με 250 συν-εγκαταστάσεις σε τηλεπικοινωνιακούς κόμβους που καλύπτουν Αθήνα, Θεσσαλονίκη και 80 ακόμη πόλεις σε 48 νομούς. Προς το παρόν είναι ο μόνος από τους τρεις παρόχους στην Ελλάδα που δεν έχει εγκαταστήσει 4G δίκτυο.

- **Vodafone:** Η Vodafone Ελλάδας είναι μέλος του βρετανικού ομίλου Vodafone, ενός από τους μεγαλύτερους παρόχους στο χώρο της κινητής επικοινωνίας σε όλο τον κόσμο. Στη χώρα μας η εταιρεία ιδρύθηκε με την επωνυμία Panafon το 1992 και ξεκίνησε την εμπορική διάθεση του 2G/GSM δικτύου της στα 900MHz, την 1^η Ιουλίου 1993. Το 2001 ξεκίνησε την παροχή των GPRS υπηρεσιών της και το 2002 μετονομάστηκε σε «Vodafone». Έπειτα το 2003 ξεκίνησε την παροχή των 3G υπηρεσιών της, με την υπηρεσία «mobile connect» για περιήγηση στο διαδίκτυο να ξεχωρίζει. Το 2004 η υπηρεσία περιήγησης μετονομάστηκε σε «Vodafone live». Το 2008 έφερε στην Ελλάδα τα smartphones λανσάροντας το iPhone της Apple, ενώ το 2009 σύναψε συνεργασία με τον πάροχο σταθερής Hellas On Line-HOL. Έκτοτε οι δύο εταιρείες προσφέρουν ολοκληρωμένα πακέτα σταθερής, κινητής τηλεφωνίας και internet με μεγάλες εκπτώσεις στα πάγια των πελατών. Η Vodafone προχώρησε σε μεγάλες τεχνολογικές εξελίξεις, αναπτύσσοντας το 2009 HSDPA δίκτυο με ταχύτητες περί τα 14.4Mbps και HSPA+ με ταχύτητες έως 21.6Mbps. Το 2011 αυξάνει τις ταχύτητες του HSPA+ δικτύου της στα 42.2Mbps. Παράλληλα ανανεώνει την άδεια χρήσης των συχνοτήτων στις ζώνες των 900 και 1800MHz. Επιπρόσθετα, η Vodafone είναι η πρώτη εταιρεία κινητής επικοινωνίας που εισήγαγε στην ελληνική αγορά την τεχνολογία femtocell με τη συσκευή «Full Σήμα», ώστε οι συνδρομητές της να απολαμβάνουν άριστη ποιότητα σήματος 3G και σε εσωτερικούς χώρους. Ταυτόχρονα, έχει θέσει ως πρώτη προτεραιότητα και μέλημά της τη βέλτιστη εξυπηρέτηση των πελατών της, γεγονός που την ανέδειξε το 2012 για τρίτη συνεχόμενη χρονιά ως την εταιρεία με το Καλύτερο Κέντρο Εξυπηρέτησης Πελατών της Χρονιάς. Ένα από τα σημαντικότερα βήματα της εταιρείας είναι η ανάπτυξη δικτύων 4G/LTE, τα οποία και διέθεσε εμπορικά τον Νοέμβριο του 2012. Τέλος, δεν μπορούμε να μην αναφερθούμε στις κινήσεις της εταιρείας κατά το 2013, όπου ο όμιλος διέκοψε τη συνεργασία του με την αμερικανική εταιρεία Verizon, πωλώντας της μετοχές που κατείχε στην

εταιρεία Verizon Wireless έναντι 130 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Το εν λόγω ποσό αναμένεται να διατεθεί για την ανάπτυξη και βελτίωση των δικτύων της.¹ ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, που μέχρι σήμερα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ανταγωνιστικά της πλεονεκτήματα. Από το 2001 και έκτοτε, κατέκτησε την πρώτη θέση στις προτιμήσεις των συνδρομητών, με πελατειακή βάση να ανέρχεται στους 7,8 εκατομμύρια συνδρομητές στην Ελλάδα, έως το τέλος του 2012. Επιπλέον, το έτος 2001 εγκατέστησε το GPRS/2.5G δίκτυο της και απέκτησε την άδεια για εγκατάσταση 3G δικτύου, του οποίου την εμπορική εκμετάλλευση ξεκίνησε το 2004. Το 2007 αποτέλεσε την πρώτη εταιρεία κινητής τηλεφωνίας που διέθεσε πακέτα ευρυζωνικών υπηρεσιών σταθερού Internet (ADSL) σε συνδυασμό με υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας. Το 2008 υπήρξε έτος ριζικών αλλαγών για τον όμιλο καθώς κυρώθηκε από το Ελληνικό Κοινοβούλιο η Συμφωνία Μετόχων μεταξύ του Ελληνικού Δημοσίου και της Deutsche Telekom. Το 2011, ανανέωσε την άδεια και απέκτησε νέες συχνότητες στις ζώνες των 900 και 1800MHz στο φάσμα συχνοτήτων.

Με παρουσία σε Ελλάδα, Αλβανία, Βουλγαρία, Ρουμανία και θυγατρικές εταιρείες τις AMC (Αλβανία), GLOBUL (Βουλγαρία), COSMOTE Ρουμανίας και ΓΕΡΜΑΝΟΣ (παρουσία σε Ελλάδα, Βουλγαρία, Ρουμανία) έχει δημιουργήσει πελατειακή βάση 20,4 εκατομμυρίων. Παράλληλα, η Cosmote έχει καταγράψει σειρά διακρίσεων, όπως την παρουσία της στον κατάλογο FT500 Top Companies των FINANCIAL TIMES, αλλά και στην λίστα Information Technology 100 του περιοδικού BusinessWeek που καταγράφει τις 100 κορυφαίες εταιρείες πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών στον κόσμο.

Η Cosmote έφερε πρώτη στην ελληνική αγορά ευρυζωνικές υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας HSDPA, ενώ αποτέλεσε μία από τις πρώτες εταιρείες στην Ευρώπη που αναβάθμισε το δίκτυο της σε HSPA+. Επιπρόσθετα, το δίκτυο της κατέχει μία θέση ανάμεσα στα πρώτα 10 δίκτυα παγκοσμίως που κατέγραψαν ταχύτητες λήψης έως 42,2 Mbps. Σήμερα, μέσω του εκτεταμένου

της 3G δικτύου, προσφέρει πληθυσμιακή κάλυψη που αγγίζει το 98%.

Όσον αφορά στο 4G/LTE δίκτυο της, η Cosmote πρώτη το 2010 υπέβαλε αίτημα για την παροχή άδειας για πιλοτικές δοκιμές από το Υπουργείο Υποδομών Μεταφορών και Δικτύων. Έπειτα, τον Αύγουστο του 2012 ξεκίνησαν οι πιλοτικές δοκιμές και το Νοέμβριο του ίδιου χρόνου η επίσημη εμπορική διάθεση των υπηρεσιών LTE/4G με ταχύτητες έως 100Mbps.

Όσον αφορά τους ιδεατούς παρόχους κινητής τηλεφωνίας στην Ελλάδα, αυτοί είναι οι εξής:

- **AB Vasilopoulos:** Η AB Βασιλόπουλος είναι μία από τις μεγαλύτερες αλυσίδες supermarket στην Ελλάδα. Σε συνεργασία με τη WIND παρέχει προπληρωμένες υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας.
- **Ciao Mobile:** Η Ciao mobile παρέχει προπληρωμένες υπηρεσίες βασισμένες στο δίκτυο της Cosmote.
- **Carrefour/Champion Greece:** Η Carrefour/Μαρινόπουλος επίσης αποτελεί μεγάλη αλυσίδα supermarket στην χώρα μας. Συνεργαζόμενη με τη Vodafone προσφέρει δύο πακέτα προπληρωμένων υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας.
- **Frog Mobile:** Η Frog αποτελεί τμήμα του ομίλου της Cosmote. Προσφέρει προπληρωμένες υπηρεσίες χαμηλού κόστους και απευθύνεται σε συνδρομητές με χαμηλά εισοδήματα, ή άτομα που επιθυμούν υπηρεσίες σε πολύ βασικό και περιορισμένο επίπεδο. Τα πακέτα της Frog παρέχονται σε Ελλάδα, Βουλγαρία και Ρουμανία, όπου δηλαδή υπάρχουν θυγατρικές εταιρείες της Cosmote.
- **Q Telecommunications:** Η Q Telecom, όπως γνωρίζουμε αποτέλεσε τον τέταρτο πραγματικό πάροχο κινητής τηλεφωνίας στη χώρα μας, ο οποίος εισήλθε το 2002 στην αγορά. Έπειτα, το 2006 εξαγοράστηκε από την WIND, και έκτοτε ονομάζεται απλά Q. Προσφέρει προπληρωμένες υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας («My Q») καθώς και την τηλεκάρτα «YA!».
- **Mo' Mad:** Η Mo' Mad ιδρύθηκε από την εταιρεία που κατέχει το κανάλι MAD TV. Βασίζεται στο δίκτυο της WIND παρέχοντας προπληρωμένα πακέτα υπηρεσιών. Από το 2010 έχει σταματήσει να εξυπηρετεί νέους

συνδρομητές.

- **Primetel mobile:** Η PrimeTel PLC είναι η μεγαλύτερη ιδιωτική εταιρεία τηλεπικοινωνιών στην Κύπρο, παρέχοντας υπηρεσίες φωνής, δεδομένων και video καθώς και υπηρεσίες σταθερής τηλεφωνίας. Το δίκτυο της εκτείνεται σε Κύπρο, Ελλάδα, Γερμανία, Ρωσία και Βρετανία. Το δίκτυο της βασίζεται στις εταιρείες Cytamobile και Vodafone.

5.3.3 Η αγορά κινητών επικοινωνιών σήμερα

Καθώς από το έτος 2013 έως τα τέλη του 2015 δεν υπάρχουν ακόμα επαρκή στοιχεία δεν μπορούμε να παραθέσουμε ακριβή νούμερα για την αγορά των τηλεπικοινωνιών. Παρόλα αυτά θα αναφερθούμε στα νούμερα του 2012.

Οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας κατά το 2012 υπέστησαν σημαντικές μειώσεις στον κύκλο εργασιών (7,5%) και στο μικτό κέρδος (10,7%), ενώ το ενεργητικό τους αυξήθηκε κατά 1,9%. Από την άλλη, ευχάριστα νέα εμφανίστηκαν από την μεριά των συνδέσεων της κινητής τηλεφωνίας, καθώς παρουσίασαν την πρώτη αύξηση μετά το 2009. Για την ακρίβεια η αύξηση έφτασε το 8,9%, με τις συνδέσεις να ανέρχονται σε 15,9 εκατομμύρια έναντι 14,6 εκατομμύρια στο τέλος του 2011. Ως αποτέλεσμα, τον Οκτώβριο του 2012, η διείσδυση της κινητής τηλεφωνίας στον πληθυσμό ανήλθε στο 118% έναντι 111% την αντίστοιχη περίοδο του 2011, με την Ελλάδα ωστόσο, να παραμένει ανάμεσα στις χώρες με το χαμηλότερο βαθμό διείσδυσης στην ΕΕ. Αναφορικά με τα έσοδα κινητής τηλεφωνίας, βασική πηγή προέλευσης αποτελούν οι οικιακοί χρήστες με συμβόλαιο (με ποσοστό άνω του 35%) και ακολουθούν οι χρήστες καρτοκινητής τηλεφωνίας (με ποσοστό περίπου στο 20%). Το μέσο έσοδο ανά χρήστη συμβολαίου και καρτοκινητής τηλεφωνίας ακολουθεί πτωτική πορεία και ανέρχεται για το 2012 σε 337 και 73 ευρώ αντίστοιχα, ενώ συνολικά για την ελληνική αγορά κινητής τηλεφωνίας, το ποσό ανέρχεται στα 190 ευρώ και υπολείπεται του ευρωπαϊκού μέσου όρου (195 ευρώ). Όσον αφορά τη χρήση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας, ακολούθησε φθίνουσα πορεία, δεδομένου ότι με εξαίρεση τα δεδομένα υπηρεσιών πακετομεταγωγής (data) που σημείωσαν αύξηση (10,8δισ), οι λοιπές κατηγορίες (όγκος φωνητικών κλήσεων, σύντομων γραπτών μηνυμάτων (SMS) και εικονομηνυμάτων (MMS) παρουσίασαν μειώσεις. Πιο συγκεκριμένα ο συνολικός

όγκος φωνητικών κλήσεων μειώθηκε το 2012 κατά 4,6%, έναντι του 2011, κυρίως λόγω της μείωσης της εσωτερικής κίνησης (5,7%) (αξίζει να σημειωθεί ότι οι κλήσεις από κινητό τηλέφωνο παρουσίασαν για πρώτη φορά μείωση και αντιστοιχούν πλέον στο 58% της συνολικής τηλεφωνικής κίνησης). Τέλος, σχετικά με τους τρεις «πόλους» στην αγορά των κινητών επικοινωνιών, το μερίδιο της Cosmote παρουσίασε μείωση, την οποία και καρπώθηκαν οι WIND και Vodafone. Πιο συγκεκριμένα, το μερίδιο της Cosmote φτάνει το 52%, της Vodafone το 31% και της Wind το 17%. Ωστόσο, τα μερίδια αυτά και η πρωτιά της Cosmote από το 2001 και έπειτα προκάλεσαν μεγάλες αντιδράσεις από τη μεριά της Vodafone, η οποία και κατέθεσε στην ΕΕΤΤ (βλ. 6.3.3) καταγγελία στην οποία αναφέρει πως η Cosmote είναι σταθερά πρώτη λόγω των αντικανονικών τιμών που προσφέρει, αφού σε πολλές περιπτώσεις είναι κάτω του κόστους, ενώ παράλληλα λόγω των υψηλών τιμών της προς τα άλλα δίκτυα «κλειδώνει» τους πελάτες της εντός του δικτύου της, καθιστώντας την επικοινωνία με άλλα δίκτυα απαγορευτική. Επιπλέον, δύο χρόνια πριν η Vodafone και η WIND προχώρησαν σε απόπειρα συγχώνευσης, την οποία και απέρριψε/απαγόρευσε η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ανταγωνισμού. Σε αντιστάθμισμα αυτού, τον Ιούνιο του 2013 οι δύο εταιρείες ανακοίνωσαν «την συγχώνευση» των υποδομών και των δικτύων τους, μέσω της ίδρυσης μίας τεχνικής εταιρείας που θα αναλάβει τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και τη διαχείριση του δικτύου πρόσβασης και τις οποίες τις μετοχές θα κατέχουν εξ ημίσειας (50-50). Η εν λόγω συμμαχία αφορά την κοινή χρήση των δικτύων 2G και 3G των δύο εταιρειών, κυρίως στην περιφέρεια και σε μικρότερο βαθμό σε αστικές περιοχές, ενώ η Vodafone θα συνεχίσει να έχει την αποκλειστική λειτουργία του LTE/4G δικτύου της. Τέλος, αξίζει να αναφερθούμε στην αγορά του 27% των μετοχών του εναλλακτικού παρόχου τηλεφωνίας, διαδικτύου και τηλεόρασης «Forthenet» από την εταιρεία WIND έναντι του ποσού των 3,7 εκατομμυρίων ευρώ.

5.3.4 Ρυθμιστικές Αρχές - ΕΕΤΤ

Η Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ) ιδρύθηκε το 1992, με την επωνυμία Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών (ΕΕΤ) έχοντας την αρμοδιότητα του επόπτη της τότε πρόσφατα απελευθερωμένης αγοράς των τηλεπικοινωνιών. Ωστόσο, η λειτουργία της ξεκίνησε 1995, όταν και τέθηκε υπεύθυνη για την αγορά

των ταχυδρομικών υπηρεσιών και μετονομάστηκε σε ΕΕΤΤ. Η ΕΕΤΤ αποτελεί την εθνική ρυθμιστική αρχή της Ελλάδας για τον έλεγχο, τη ρύθμιση και την εποπτεία τόσο της αγοράς των ηλεκτρονικών επικοινωνιών- στην οποία δραστηριοποιούνται οι εταιρείες σταθερής και κινητής τηλεφωνίας καθώς επίσης και ασύρματων επικοινωνιών και διαδικτύου- όσο και της αγοράς ταχυδρομικών υπηρεσιών και ταχυμεταφορών. Επιπλέον, η ΕΕΤΤ ασκεί τις αρμοδιότητες Επιτροπής Ανταγωνισμού στις εν λόγω αγορές. Πιο συγκεκριμένα, είναι αρμόδια για τη διαχείριση μιας πλειάδας πόρων, τον έλεγχο και τη χορήγηση αδειών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στην Ελλάδα, καθώς επίσης και για τη ρύθμιση των αγορών τηλεπικοινωνιών-έχοντας το αποκλειστικό δικαίωμα ενίσχυσης του ανταγωνισμού στην αγορά τηλεπικοινωνιών της χώρας. Έτσι, όλα τα θέματα που σχετίζονται με τον ανταγωνισμό στην ελληνική αγορά τηλεπικοινωνιών επιλύονται από την ΕΕΤΤ, και όχι από την Επιτροπή Ανταγωνισμού -η οποία είναι υπεύθυνη για τη διασφάλιση του ανταγωνισμού στην ελληνική αγορά γενικά (με την εξαίρεση την αγορά των τηλεπικοινωνιών). Στα αξιοσημείωτα επιτεύγματα της ΕΕΤΤ συγκαταλέγονται το νέο Εθνικό Σχέδιο Αριθμοδότησης, η απελευθέρωση της αγοράς σταθερής τηλεφωνίας και δεδομένων, καθώς επίσης και η χορήγηση της 4^{ης} άδειας GSM στην εταιρεία Q-Telecom το 2001. Για τους Ολυμπιακούς Αγώνες του 2004, η ΕΕΤΤ είχε αναπτύξει ένα hi-tech σύστημα ελέγχου του φάσματος, το οποίο είχε καταφέρει να ανταπεξέλθει στις υψηλές φασματικές ανάγκες των Αγώνων.

5.3.4.1 Αδειοδότηση φάσματος και λειτουργίας δικτύων

Το φάσμα συχνοτήτων αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους και συνάμα σπάνιους και ακριβότερους πόρους που κατέχει ένας πάροχος κινητών επικοινωνιών. Οι ρυθμιστικές αρχές κάθε χώρας -στη χώρα μας η ΕΕΤΤ, στη Γερμανία η BnetzA, στην Αγγλία η Ofcom, στην Ισπανία η CMT, στη Σουηδία η PTS κ.ο.κ. - πραγματοποιούν δημοπρασίες χορήγησης αδειών χρήσης τμημάτων του φάσματος συχνοτήτων, προκειμένου οι πάροχοι να αποκτήσουν τους απαραίτητους ραδιοπόρους για τη λειτουργία των δικτύων τους. Τα δικαιώματα χρήσης του φάσματος δημοπρατούνται για διάστημα 5-25 ετών.

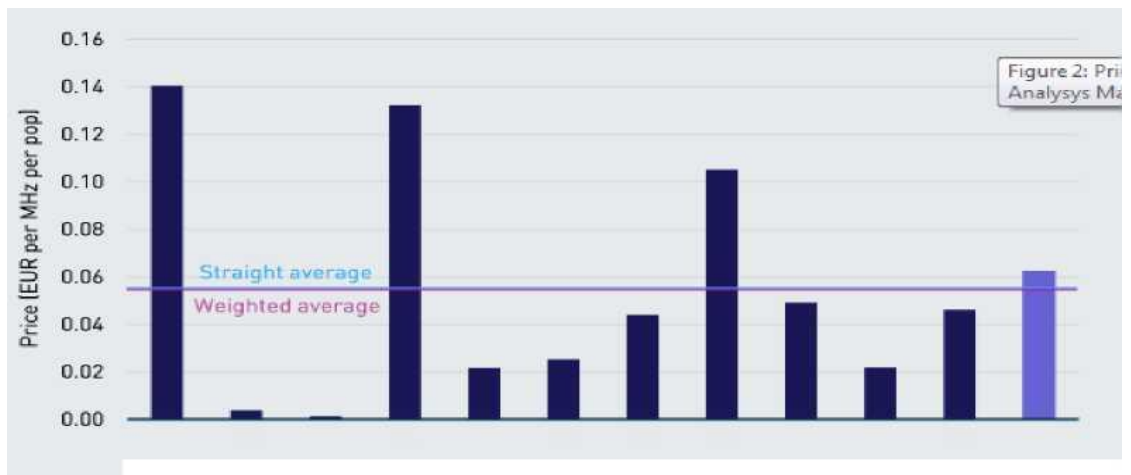
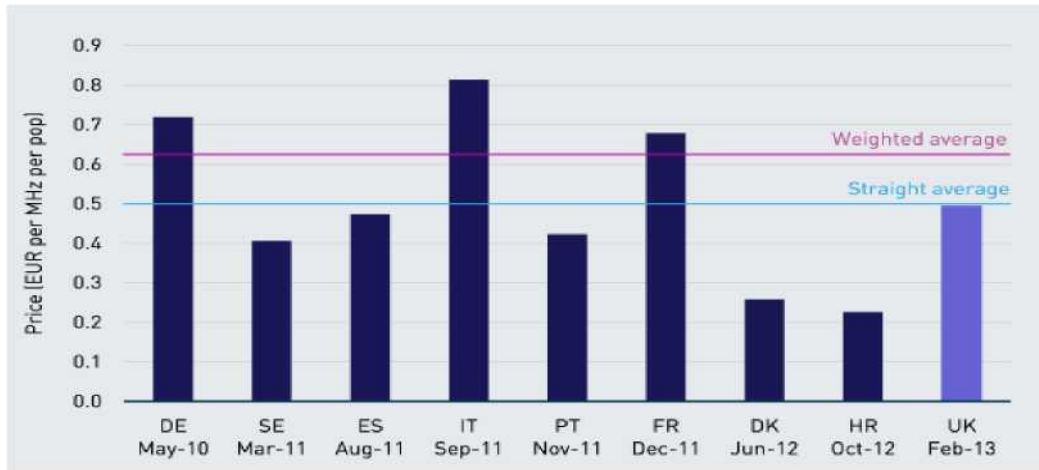
Πέραν όμως των αδειών χρήσης φάσματος, οι ρυθμιστικές αρχές επιτελούν και το ρόλο του επόπτη των εγκαταστάσεων των δικτύων. Ένας πάροχος προκειμένου να

ξεκινήσεις τις εργασίες εγκατάστασης του δικτύου του (π.χ εγκατάσταση κεραιών) χρειάζεται να αποκτήσει την απαιτούμενη άδεια από την ρυθμιστική αρχή της χώρας του. Καθώς η ρυθμιστικές αρχές -όπως η ΕΕΤΤ- έχουν αναλάβει την προστασία του καταναλωτή, απαιτούν από τους παρόχους ασύρματων δικτύων πριν την εγκατάσταση κεραιών και για να τους χορηγηθεί η άδεια - μεταξύ των υπολοίπων εγγράφων - να προσκομίσουν γνωματεύσεις της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας, με τις οποίες διασφαλίζεται η προστασία των πολιτών από την έκθεσή τους στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Σε κάθε περίπτωση πρέπει πριν από τη χορήγηση της άδειας, να προηγείται συνολική εκτίμηση όχι μόνο των επιπτώσεων στην δημοσιά υγεία και το περιβάλλον, αλλά και για τη συμμόρφωση των εγκαταστάσεων στις πολεοδομικές διατάξεις.

5.3.4.2 Τιμολόγηση φάσματος συχνοτήτων

Η τιμολόγηση του φάσματος συχνοτήτων είναι μία ιδιαίτερα σημαντική διαδικασία που προηγείται των δημοπρασιών. Όπως είπαμε και νωρίτερα, το φάσμα αποτελεί έναν περιορισμένο και πολύτιμο πόρο, απαραίτητο για τους παρόχους ασύρματων επικοινωνιών και πολύ προσοδοφόρο για το εκάστοτε κράτος. Οι τιμές για τις διάφορες ζώνες του φάσματος, διαμορφώνονται από τις ρυθμιστικές αρχές κάθε χώρας με τη συνεργασία εξωτερικών - κυρίως ακαδημαϊκών- συνεργατών. Ενδεικτικά, στα Σχήματα

5.4 και 5.5 παρουσιάζουμε τις τιμές ανά Euro/MHz/pop όπως διαμορφώθηκαν σε εννέα και δώδεκα ευρωπαϊκές χώρες (αντίστοιχα), για τις ζώνες των 800 MHz και 2.6GHz (αντίστοιχα) του φάσματος συχνοτήτων, στις οποίες βασίζεται η λειτουργία των δικτύων LTE και LTE-Advanced.



Εικόνα 5.4: Τιμολόγηση της ζώνης των 800MHz στην Ευρώπη

Εικόνα 5.5: Τιμολόγηση της ζώνης των 2.6GHz στην Ευρώπη

5.3.5 Φάσμα συχνοτήτων (ραδιοφάσμα)

Πριν από 100 χρόνια η χρήση των ραδιοσυχνοτήτων ήταν ιδιαίτερα περιορισμένη και εφαρμοζόταν μόνο σε περιπτώσεις μετάδοσης ήχου. Το φάσμα συχνοτήτων που επιλέχτηκε για τις εν λόγω εφαρμογές ήταν αυτό μεταξύ 0,1 και 30MHz. Με την εμφάνιση υπηρεσιών εικόνας και πιο συγκεκριμένα της αναλογικής τηλεόρασης, η οποία είχε πολύ μεγαλύτερες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, δόθηκε για τις μεταδόσεις της το φάσμα των 47 έως και 862MHz. Ωστόσο, ενδιάμεσες συχνότητες παραχωρήθηκαν για τις FM μεταδόσεις, το στρατό, την αεροναυσιπλοΐα και άλλες

κρατικές υπηρεσίες. Αυτό που εύκολα διακρίνουμε είναι ότι για τον ήχο και την εικόνα παραχωρήθηκαν οι χαμηλότερες συχνότητες του ραδιοφάσματος. ***Είναι άραγε τυχαίο αυτό;*** Η απάντηση είναι πως όχι. Οι χαμηλές ζώνες συχνοτήτων σε σχέση με τις υψηλότερες παρέχουν πιο ευρεία χαρακτηριστικά διάδοσης αφού συνεισφέρουν στην κάλυψη σε μεγαλύτερες αποστάσεις και εισάγουν λιγότερο θόρυβο. Σειρά στο μερίδιο του φάσματος είχε η κινητή τηλεφωνία, η οποία εμφανίστηκε στη χώρα μας το 1992. Αρχικά οι απαιτήσεις του τομέα σε ραδιο-πόρους ήταν ιδιαίτερα χαμηλές καθώς παρέχονταν μόνο υπηρεσίες φωνής. Για το λόγο αυτό, παραχωρήθηκαν δύο πολύ στενές ζώνες του φάσματος στις περιοχές των 900 και 1800MHz. Με την τεχνολογική εξέλιξη των δικτύων και την παροχή υπηρεσιών δεδομένων, ο αριθμός των συνδρομητών αυξήθηκε εκθετικά και παράλληλα αυξήθηκαν οι απαιτήσεις για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Η ανάγκη για περισσότερους ραδιοπόρους έγινε επιτακτική. Ένα μεγάλο πρόβλημα όμως αποτέλεσε το γεγονός ότι τα διαθέσιμα τμήματα φάσματος βρίσκονταν στις περιοχές των υψηλών συχνοτήτων. Οι υψηλές συχνότητες έχουν μειωμένες δυνατότητες κάλυψης, αφού εισάγουν μεγάλα ποσοστά θορύβου και δεν διαπερνούν εμπόδια όπως κτήρια, βουνά κ.α. Ο μόνος τρόπος για αξιοποίηση των υψηλών συχνοτήτων θα ήταν η αύξηση ισχύος στις κυψέλες και τα τερματικά, παράγοντας απαγορευτικός για τη δημόσια υγεία.

Ιδανικές για τα σχέδια και τις απαιτήσεις της κινητής τηλεφωνίας έμοιαζαν οι συχνότητες κάτω από τα 900MHz, οι οποίες ήταν δεσμευμένες για τις μεταδόσεις της αναλογικής τηλεόρασης. Η ανάγκη απελευθέρωσης των συχνοτήτων αυτών, για την αξιοποίηση τους από τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών, σε συνδυασμό με τη στασιμότητα της εξέλιξης και την κακή ποιότητα εικόνας και ήχου (θόρυβος, είδωλα, παρεμβολές κ.α.) της αναλογικής τηλεόρασης, γέννησαν την ιδέα για μετάβαση από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεόραση. Η ΕΕ έδωσε περιθώριο σε όλα τα κράτη μέλη της να διακόψουν τις εκπομπές της αναλογικής τηλεόρασης έως το τέλος του 2012.

Η πραγματική αιτία για τις αυξημένες ανάγκες της κινητής τηλεφωνίας σε φάσμα, είναι η ανάπτυξη 4G/LTE δικτύων. Τα δίκτυα αυτά βασίζονται κυρίως στο πεδίο συχνοτήτων των 790-862MHz (γνωστό ως ζώνη των 800MHz) καθώς και στη ζώνη των 2600MHz (2500MHz και 2690MHz). Σε άλλες ηπείρους έχει εγκριθεί επιπλέον η ζώνη των 700MHz (690-790MHz) για την χρήση της από τις υπηρεσίες 4G, ωστόσο στην Ευρώπη είναι ακόμη υπό αναμονή για έγκριση. Όσον αφορά την αδειοδότηση

για τη ζώνη των 800MHz, αν και αναμενόταν στο τέλος του 2013 να πραγματοποιηθεί δημοπρασία από την ΕΕΤΤ, η διαδικασία αναβλήθηκε για την 1^η Νοεμβρίου 2014. Ο λόγος είναι η μη ολοκλήρωση της μετάβασης στην ψηφιακή τηλεόραση, και συνεπώς η μη πλήρης απελευθέρωση της ζώνης, αφού σε πολλές πόλεις στην Ελλάδα ακόμη εκπέμπεται αναλογικό σήμα τηλεόρασης. Κατά την ίδια δημοπρασία αναμένεται και η αδειοδότηση για το φάσμα των 2.6GHz. Επειδή οι ζώνες των 800 και 2600MHz είναι οι βασικότερες ζώνες ανάπτυξης της 4G τεχνολογίας θα ήταν ενδιαφέρον να επισημάνουμε τα χαρακτηριστικά τους. Η ζώνη των 800MHz όπως προείπαμε, ως χαμηλότερη συχνότητα έχει καλή απόδοση στην κάλυψη με μικρές απώλειες διείσδυσης. Παρέχει άριστη κάλυψη παρά την ύπαρξη φυσικών εμποδίων και συνίσταται για αγροτικές περιοχές. Από την άλλη η ζώνη των 2600MHz, παρουσιάζει μεγάλες ηλεκτρομαγνητικές απώλειες διείσδυσης, απαιτώντας πυκνότερη κατανομή δικτύου. Παρόλα αυτά, η εν λόγω ζώνη έχει πολύ καλές επιδόσεις σε θέματα χωρητικότητας και ρυθμού μετάδοσης, δηλαδή μπορεί να αποδώσει σε υψηλότερες ταχύτητες και να εξυπηρετήσει μεγάλο αριθμό συνδρομητών.

Τέλος, δεν μπορούμε να μην αναφερθούμε στα μερίδια του φάσματος συχνοτήτων που κατέχουν οι ελληνικές εταιρείες κινητής τηλεφωνίας. Όπως έχουμε αναφέρει, προς το παρόν οι κινητές επικοινωνίες αξιοποιούν τις ζώνες των 900,1800 και 2100MHz. Στον Πίνακα 6.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δημοπρασίας συχνοτήτων που πραγματοποιήθηκε το 2011 από την ΕΕΤΤ, καθώς και οι τιμές στις οποίες αγοράστηκαν οι εν λόγω ραδιο-πόροι. Στον Πίνακα 5.6 παρουσιάζονται αναλυτικά οι συχνότητες ανά δίκτυο και ανά εταιρεία.

| Εταιρίες | 900 MHz | | 1800 MHz | | Σύνολο | |
|---------------|---------|---------|----------|--------|--------------|---------|
| | Φάσμα | Ποσό | Φάσμα | Ποσό | 900+1800 MHz | Ποσό |
| COSMOTE Group | 2x10 | 77,611 | 2x10 | 41,222 | 2x10+2x10 | 118,833 |
| VODAFONE | 2x15 | 127,472 | 2x10 | 41,030 | 2x15+2x10 | 168,502 |
| WIND Ελλάς | 2x10 | 93,200 | | | 2x10 | 93,200 |
| Σύνολο | 2x35 | 298,283 | 2x20 | 82.252 | 2x35+2x20 | 380,535 |

Εικόνα 5.6: Αποτελέσματα της δημοπρασίας φάσματος του 2011, ΕΕΤΤ

Στο σημείο αυτό θα συνοψίσουμε τη σχέση μεταξύ συχνοτήτων και τεχνολογιών

δικτύων, σύμφωνα με τα δικαιώματα που παραχώρησε η ΕΕΤΤ. Η ζώνη των 900MHz μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις τεχνολογίες 2G,3G,4G. Η ζώνη των 1800MHz μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δίκτυα 2G και 4G και τέλος η ζώνη των 2100MHz αξιοποιείται για 3G δίκτυα, ενώ για τη ζώνη των 2600MHz, η οποία δεν έχει δημοπρατηθεί ακόμα, γνωρίζουμε ότι η ΕΕΤΤ δεν θα θέσει περιορισμούς για τη χρήση της.

5.3.6 Το LTE/4G στην Ελλάδα

Τον Ιούλιο του 2010, πρώτη η Cosmote υπέβαλε αίτημα στο Υπουργείο Υποδομών Μεταφορών και Δικτύων, προς απόκτηση άδειας για πιλοτικές δοκιμές πάνω στα νέα LTE/4G δίκτυα της. Οι εν λόγω δοκιμές ξεκίνησαν τον Αύγουστο του 2012, ενώ έπειτα, τον Νοέμβριο του ίδιου χρόνου ξεκίνησε και επίσημα η εμπορική διάθεση των 4G υπηρεσιών σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη. Σχεδόν παράλληλα, η εταιρεία Vodafone ξεκίνησε τις πιλοτικές δοκιμές της και στις 27 Οκτωβρίου 2012 οργάνωσε εκδηλώσεις προκειμένου να κάνει γνωστές τις δικές της 4G υπηρεσίες στο καταναλωτικό κοινό, μέσα από τη δοκιμή του δικτύου της με 4G συσκευές. Η Vodafone διέθεσε επίσης εμπορικά το 4G δίκτυο της τον Νοέμβριο του 2012 μόνο σε επιλεγμένες περιοχές της Αθήνας. Τα δίκτυα των δύο εταιρειών παρουσιάζουν ονομαστικές ταχύτητες 100 και 50Mbps στο downlink και στο uplink αντίστοιχα, ενώ σε μετρήσεις οι πραγματικές ταχύτητες αγγίζουν τα 91-92Mbps στο downlink και τα 33Mbps στο uplink. Σύμφωνα με εκτιμήσεις των δύο εταιρειών ένας μέσος συνδρομητής θα απολαμβάνει ταχύτητες κοντά στα 50-60Mbps στο downlink και 25-30Mbps στο uplink. Επιπρόσθετα, αξίζει να σημειώσουμε ότι και οι δύο εταιρείες προσφέρουν 3.9G υπηρεσίες, αφού όπως αναφέραμε και σε προηγούμενη παράγραφο το LTE έχει σαν εμπορική ονομασία το «LTE/4G». Τα εν λόγω δίκτυα δε, λειτουργούν στη ζώνη των 1800MHz, αλλά δύνανται να λειτουργήσουν στις ζώνες των 800 / 900 / 1800 / 2600 MHz. Τέλος, όσον αφορά, στην κάλυψη των δικτύων 4G, ένα χρόνο μετά την εμπορική τους διάθεση σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη, πλέον καλύπτουν πολυάριθμες πόλεις της Αττικής, της Θεσσαλονίκης, της Αχαΐας, της Κρήτης, των νησιών του Ιονίου και Αιγαίου, της Λακωνίας κ.α.

5.4 Τιμολόγηση LTE-Advanced υπηρεσιών

Η τιμολόγηση ενός προϊόντος τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών αποτελεί διαδικασία «κλειδί» για τη σωστή προώθηση και διείσδυση του στους κόλπους των καταναλωτών. Οι τιμές στις οποίες θα προσφέρεται μία υπηρεσία θα πρέπει να ικανοποιούν τόσο τον καταναλωτή (να κινούνται σε λογικά πλαίσια με γνώμονα την οικονομική κατάσταση του μέσου καταναλωτή), όσο και τον πάροχο, προκειμένου ο δεύτερος να κάνει απόσβεση του κόστους εγκατάστασης και συντήρησης του εξοπλισμού του, αλλά να αποκτήσει και κέρδος.

Οι μεγαλύτερες εταιρείες στον κόσμο των κινητών επικοινωνιών, με τις πολιτικές τιμολόγησης που ακολουθούν, συνθέτουν ένα πλαίσιο προσεγγίσεων για μία επιτυχημένη διαδικασία διαμόρφωσης και τιμολόγησης πακέτων υπηρεσιών. Οι εν λόγω προσεγγίσεις έχουν ως γνώμονα την κάλυψη αλλά παράλληλα και τη δημιουργία αναγκών στους υποψήφιους συνδρομητές:

- **Προσέγγιση πολλαπλών συσκευών:** Κατά την προσέγγιση αυτή ενθαρρύνεται η χρήση πολλαπλών συσκευών ανά χρήστη (ή ανά οικογένεια), με την παροχή συμφερόντων πακέτων για μεγάλους όγκους δεδομένων-οι οποίοι μοιράζονται μεταξύ διαφορετικών συσκευών.
- **Προσέγγιση με έμφαση στο live streaming:** Στόχος αυτής της προσέγγισης αποτελεί η δημιουργία διαφόρων βαθμίδων πακέτων δεδομένων προσανατολισμένα στη χρήση υπηρεσιών live streaming και video.
- **Προσέγγιση με έμφαση στην εγγύηση ποιότητας υπηρεσιών:** Η προσέγγιση αυτή κατευθύνεται στην δημιουργία πακέτων, τα οποία θα εγγυώνται ποιότητα υπηρεσιών (QoS) στους χρήστες, όπως εγγυήσεις ταχύτητας και προτεραιότητα σε καταστάσεις συμφόρησης του δικτύου.
- **Προσέγγιση με έμφαση στις χαμηλές τιμές:** Κατά την προσέγγιση αυτή, στόχος είναι η δημιουργία πακέτων χαμηλού κόστους, προσανατολισμένα στη χρήση «απλών» υπηρεσιών-όπως η περιήγηση στο διαδίκτυο και στις σελίδες κοινωνικής δικτύωσης. Με πακέτα αυτού του τύπου, οι 4G υπηρεσίες θα μπορέσουν να εισχωρήσουν στην

καθημερινότητα των συνδρομητών με χαμηλότερα εισοδήματα, οι οποίοι δεν έχουν την οικονομική ευχέρεια για την αγορά άλλων πακέτων, ή ενδεχομένως συνδρομητών, οι οποίοι δεν κάνουν μεγάλη χρήση υπηρεσιών δεδομένων.

Ως αποτέλεσμα των παραπάνω προσεγγίσεων έχουμε τη διαμόρφωση ολοκληρωμένων εκπτώτικων πακέτων υπηρεσιών, τα λεγόμενα «bundles». Οι πάροχοι προσφέρουν μία ποικιλία πακέτων συνδυάζοντας υπηρεσίες δεδομένων, φωνής και σύντομων μηνυμάτων (sms), σε συμφέρουσες τιμές-χαμηλότερες από αυτές της χρήσης μεμονωμένων υπηρεσιών- προκειμένου να προσελκύσουν κάθε τύπο καταναλωτή ανάλογα με τις των ανάγκες του. Τα πιο δημοφιλή πακέτα που προσφέρονται στην αγορά είναι τα εξής:

- Συμβόλαια φωνής με ενσωματωμένα sms και MB ή GB για υπηρεσίες δεδομένων.
- Καρτοπρογράμματα με ενσωματωμένα λεπτά ομιλίας, sms και MB ή GB.
- Συμβόλαια MB/GB για mobile internet.
- Συμβόλαια MB/GB με ενσωματωμένα sms.
- Συμβόλαια MB/GB με δυνατότητα να διαμοιραστούν μεταξύ πολλαπλών συσκευών.
- Προγράμματα ογκοχρέωσης.
- Πακέτα λεπτών ομιλίας, sms και MB/GB, ή απλά πακέτα MB/GB για χρήστες καρτοκινητής.
- Πακέτα οικιακών ευρυζωνικών υπηρεσιών (home broadband) σε συνδυασμό με πακέτα MB/GB, sms και ομιλίας.

5.5 Παραδείγματα τιμολόγησης 4G υπηρεσιών στην Ελλάδα και την υπόλοιπη Ευρώπη

Στην Εικόνα 5.7 παρουσιάζονται κάποια από τα πακέτα LTE-Advanced υπηρεσιών καθώς και οι τιμές, στις οποίες προσφέρονται από τους μεγαλύτερους ευρωπαϊκούς παρόχους κινητών επικοινωνιών. Οι πάροχοι κινούνται με βάση δύο τάσεις, προσφέροντας τις 4G υπηρεσίες τους είτε στις ίδιες τιμές με τις 3G (Orange-Ισπανία)

είτε με πρόσθετη χρέωση όπως στην περίπτωση της Vodafone Γερμανίας, όπου χρεώνει τουλάχιστον 10 ευρώ περισσότερο τα 4G πακέτα της σε σχέση με τα 3G πακέτα υπηρεσιών. Ωστόσο, δεν πρέπει να ξεχνάμε πως μέσα σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον, όπως η αγορά των κινητών επικοινωνιών, πάντα έναν από τους βασικότερους παράγοντες διαμόρφωσης τιμών θα αποτελεί η πολιτική τιμολόγησης και κατ' επέκταση οι τιμές στις οποίες οι ανταγωνιστές ενός παρόχου προσφέρουν τις δικές τους αντίστοιχες υπηρεσίες.

| Πάροχος | Χώρα | Ταχύτητα | Δεδομένα | Εξοπλισμός(usb modem) | Τύπος πακέτου | Τιμή |
|------------|-----------|-----------|-------------|-----------------------|---------------------|---------|
| Tele2 | Σουηδία | n/a | απεριόριστα | δωρεάν | μόνο δεδομένα | 50 € |
| Telenor | Σουηδία | n/a | απεριόριστα | δωρεάν | μόνο δεδομένα | 55 € |
| Telia | Σουηδία | n/a | 30GB | δωρεάν | μόνο δεδομένα | 59 € |
| Vodafone | Γερμανία | n/a | 5GB | 3€/μήνα | μόνο δεδομένα | 28,50 € |
| Vodafone | Γερμανία | 7,9 Mbps | 10GB | 3€/μήνα | μόνο δεδομένα | 30 € |
| Vodafone | Γερμανία | 21,6 Mbps | 15GB | n/a | μόνο δεδομένα | 35 € |
| Vodafone | Γερμανία | 50Mbps | 30GB | 1 € | μόνο δεδομένα | 45 € |
| Netcom | Νορβηγία | n/a | 30GB | δωρεάν | μόνο δεδομένα | 83,50 € |
| Sonera | Φινλανδία | n/a | 30GB | δωρεάν | μόνο δεδομένα | 44 € |
| Telia | Δανία | 20Mbps | 20GB | 65 € | μόνο δεδομένα | 39 € |
| Telia | Δανία | 80Mbps | 30GB | 65 € | μόνο δεδομένα | 52 € |
| Telefonica | Τσεχία | 4Mbps | 2GB | n/a | μόνο δεδομένα | 13 € |
| Telefonica | Τσεχία | 10Mbps | 10GB | n/a | μόνο δεδομένα | 20 € |
| Telefonica | Τσεχία | 60Mbps | 40GB | n/a | μόνο δεδομένα | 31 € |
| O2 | Αγγλία | 50Mbps | 1GB | n/a | δεδομένα+sms | 26 € |
| O2 | Αγγλία | 50Mbps | 5GB | n/a | δεδομένα+sms | 32 € |
| O2 | Αγγλία | 50Mbps | 8GB | n/a | δεδομένα+sms | 39 € |
| Orange | Ισπανία | 150Mbps | 2GB | n/a | δεδομένα+sms+ομιλία | 23 € |
| Orange | Ισπανία | 150Mbps | 1GB | n/a | δεδομένα+sms+ομιλία | 16 € |

Εικόνα 5.7: Τιμολόγηση 4G υπηρεσιών στην Ευρώπη

Στα πλαίσια της τιμολόγησης, όπως είναι φυσικό εμπλέκεται ιδιαίτερα ο τομέας του μάρκετινγκ, ο οποίος επιδιώκει να προωθήσει τα πακέτα υπηρεσιών όσο το δυνατόν καλύτερα. Λόγω αυτού, παρατηρούμε συχνά την εφαρμογή εκπτώσεων από εταιρείες, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση της βρετανικής O2 που παρέχει τα 5GB στην τιμή των τριών για τους συνδρομητές που αγοράζουν το πακέτο κατά μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο (ως τις 31/10/13). Επιπρόσθετα, με την εγγραφή σε συμβόλαια 4G υπηρεσιών οι εταιρείες παρέχουν μεγάλες εκπτώσεις στον 4G εξοπλισμό (κινητά, usb sticks, tablets, laptops, pocket WiFi συσκευές) ή ακόμη τον προσφέρουν δωρεάν. Λόγω του ανταγωνισμού που αναπτύσσεται, αφού όλο και

περισσότερες εταιρείες εγκαθιστούν 4G δίκτυα, οι τιμές τείνουν να μειώνονται χρόνο με το χρόνο ή ακόμη και μήνα με το μήνα.

Όσον αφορά τη χώρα μας, μόνο οι εταιρείες Cosmote και Vodafone, έχουν εγκαταστήσει 4G δίκτυο, με την Cosmote να προπορεύεται. Και οι δύο εταιρείες προκειμένου να φέρουν τους καταναλωτές σε επαφή με τη νέα τεχνολογία προσέφεραν τους πρώτους μήνες διάθεσης τις 4G υπηρεσίες τους στην τιμή των αντίστοιχων 3G. Η Cosmote έχει κάνει ήδη γνωστή την εμπορική της πολιτική σχετικά με τις 4G υπηρεσίες που προσφέρει, ενώ η Vodafone αναμένεται να τη γνωστοποιήσει τον Ιανουάριο του 2014. Στην Εικόνα 5.8, συγκεντρώνουμε τα βασικότερα πακέτα 4G που προσφέρονται αυτή την περίοδο στην Ελλάδα, με βάση τη μόνη γνωστή πολιτική, αυτή της Cosmote. Να σημειώσουμε ότι η μέγιστη προσφερόμενη ταχύτητα είναι 100Mbps για την κατερχόμενη ζεύξη και 50 Mbps για την ανερχόμενη.

| | | | | |
|-------|------|----------------------------------|--------------------------------|---|
| 5GB | 7 € | μόνο δεδομένα, μηνιαίο συμβόλαιο | δωρεάν usb stick | έκπτωση σε pocket WiFi συσκευή, φοιτητική προσφορά αντί 25€ |
| 5GB | 20 € | μόνο δεδομένα, μηνιαίο συμβόλαιο | δωρεάν usb stick ή pocket WiFi | έκπτωση σε tablets, 20 από 30€ για τον πρώτο χρόνο |
| 10GB | 30 € | μόνο δεδομένα, μηνιαίο συμβόλαιο | δωρεάν usb stick ή pocket WiFi | έκπτωση σε tablets, 30 από 40€ για τον πρώτο χρόνο |
| 20GB | 35 € | μόνο δεδομένα, μηνιαίο συμβόλαιο | δωρεάν usb stick ή pocket WiFi | έκπτωση σε tablets, 35 από 50€ για τον πρώτο χρόνο |
| 5GB | 09 € | μόνο δεδομένα, κάρτα | usb stick | τον πρώτο μήνα 5GB, τους επόμενους 1GB/μέρα με 5€, 26€/10ήμερο με 15€, 5GB με 40€ |
| 750MB | 10 € | μόνο δεδομένα, μηνιαίο συμβόλαιο | Όχι | δωρεάν το πρώτο πάγιο, 0,1034€ χρέωση μετά την κατανάλωση των MB |
| 1,5GB | 15 € | μόνο δεδομένα, μηνιαίο συμβόλαιο | Όχι | δωρεάν το πρώτο πάγιο, 0,1034€ χρέωση μετά την κατανάλωση των MB |
| 120GB | 4 € | δεδομένα και sms, καρτοσυμβόλαιο | Όχι | καμία έκπτωση, 1,0332€ χρέωση μετά την κατανάλωση των MB |
| 500MB | 7 € | δεδομένα και sms, καρτοσυμβόλαιο | Όχι | καμία έκπτωση, 1,0332€ χρέωση μετά την κατανάλωση των MB |
| 500MB | 5 € | μόνο δεδομένα, κάρτα | Όχι | καμία έκπτωση, 1,0332€ χρέωση μετά την κατανάλωση των MB |

Εικόνα 5.8: Τιμολόγηση 4G υπηρεσιών στην Ελλάδα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] www.wikipedia.org
- [2] <http://www.rohde-schwarz.fr/product/smateg59.html>
- [3] "4G Mobile Broadband Evolution: 3GPP Release 10 and beyond", 4G Americas, February 2011.
- [4] Π. Καράλης, «Τεχνοοικονομική Ανάλυση 3GPP Long-Term Evolution Advanced (Release 10)», Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιούλιος 2011.
- [5] www.radio-electronics.com
- [6] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold, "4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband (ebook)", Elsevier, 2011.
- [7] Ν. Χρυσάνθου, «Δίκτυα Κινητών Επικοινωνιών 4^{ης} Γενιάς», Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Οκτώβριος 2012.
- [8] "The LTE Network Architecture / Strategic White Paper", Alcatel-Lucent, 2011.
- [9] www.agilent.com
- [10] www.tutorialspoint.com
- [11] www.artizanetworks.com
- [12] "LTE in a Nutshell: The Physical Layer white paper", Telesystem Innovations, 2010.
- [13] M. Baker, "LTE-Advanced Physical Layer", Alcatel-Lucent, December 2009.
- [14] Pei-Kai Liao, "4G Participation and Technology Evolution", MediaTek Inc.
- [15] <http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=information&mlink=imt-advanced&lang=en>
- [16] M. Rumney, "3GPP LTE Standards Update: Release 11, 12 and Beyond Technology Leadership Organization", Agilent Technologies, October 2012, <http://www.home.agilent.com/upload/cmccupload/All/25Oct12LTE.pdf?&cc=GR&lc=eng>
- [17] <http://www.semiwiki.com/forum/content/1033-lte-advanced-handsets.html>
- [18] "Introducing LTE-Advanced Application Note", Agilent Technologies, 2011.
- [19] J. Wannstrom, "Carrier Aggregation explained", 3GPP, June 2013, <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/101-carrier-aggregation-explained>
- [20] "HSPA+LTE Carrier Aggregation", 4G Americas, June 2012.
- [21] www.techonlineindia.com
- [22] M. Zemedel, "LTE-Advanced Design and Test Challenges - Carrier Aggregation", Agilent Technologies, 2012.
- [23] F.C. Ren, C.Y. Wang, A. Chen, and W.H. Sheen, "Introduction to Carrier Aggregation Technology in LTE-Advanced Systems", Industrial Technology Research Institute (ITRI), Department of Information and Communication Engineering, Chaoyang University of Technology Taiwan.
- [24] <http://www.3gpp.org/Carrier-Aggregation-explained>
- [25] E. Seidel, "LTE-A Carrier Aggregation Enhancements in Release 11", Nomor Research GmbH, Munich Germany, August 2012.
- [26] <http://lteworld.org/ltfaq/how-does-timing-advance-ta-works-lte>

- [27] <http://www.huawei.com/en/about-huawei/publications/communicate/hw-094179-43661-38242-hw-094148-hw-094163.htm>
- [28] R. Irmer, H. Droste, P. Marsch, M. Grieger, G. Fettweis, S. Brueck, H.P. Mayer, L. Thiele and V. Jungnickel, "Coordinated Multipoint: Concepts Performance and Field Trial Results", Vodafone, Deutsche Telekom, Technische Universitat Dresden, Qualcomm CDMA Technologies, Alcatel-Lucent Bell Labs, Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut.
- [29] "4G Mobile Evolution: Release 10, Release 11 and Beyond-HSPA+, SAE/LTE and LTE-Advanced", 4G Americas, October 2012.
- [30] A. Roessler and M. Kottkamp, "LTE- Advanced (3GPP Rel.11) Technology Introduction White Paper", Rohde and Swartz, July 2013.
- [31] <http://www.3gpp.org/lte-advanced>
- [32] "The advanced LTE toolbox for more efficient delivery of better user experience", Technical White Paper, Nokia Siemens Networks LTE-Advanced, 2011.
- [33] L-F Pau, Prof. Mobile business, "Summary introduction to Wireless LTE* 4G architecture and key business implications", CBS, Reproduction, 2011.
- [34] HSPA & LTE Advancements, GSMA, February 2012.
- [35] "MIMO And Smart Antennas For Mobile Broadband Systems", 4G Americas, October 2012.
- [36] Y. Yun, "Introduction of major features for LTE-Advance Release 10/11", LG Electronics.
- [37] M. Rumney, "LTE and the Evolution to 4G Wireless: Design and Measurement Challenges, Second Edition", Agilent Technologies, Published by John Wiley & Sons, 2013.