



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μια Περιεκτική Ανασκόπηση της Εξελικτικής Πορείας των
Κινητών Επικοινωνιών Έως τον Ορίζοντα 2020**

Αικατερίνη Ν. Συκά

Επιβλέποντες:

**Λάζαρος Μεράκος, Καθηγητής
Δημήτριος Τσόλκας, Ερευνητής**

ΑΘΗΝΑ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2018

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μια περιεκτική ανασκόπηση της εξελικτικής πορείας των κινητών επικοινωνιών έως τον ορίζοντα 2020

Αικατερίνη Ν. Συκά

A. M.: M1334

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ:

**Λάζαρος Μεράκος, Καθηγητής
Δημήτριος Τσόλκας, Ερευνητής**

Ιούλιος 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι να προσφέρει στον αναγνώστη ένα περιεκτικό εγχειρίδιο αναφοράς για την εξέλιξη των συστημάτων κινητών επικοινωνιών.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στα πρώτα δίκτυα κινητών επικοινωνιών από την αναλογική επικοινωνία ως το δίκτυο GSM (Global System for Mobile communications), το οποίο αποτελεί το πλέον διαδεδομένο δίκτυο διεθνώς το οποίο υπήρξε η βάση πάνω στην οποία αναπτύχθηκαν οι επόμενες γενιές δικτύων. Το GSM εισήγαγε για πρώτη φορά έννοιες όπως SMS (Short Message Service), SIM (Subscriber Identity Module), τηλευπηρεσίες. Στη συνέχεια εμφανίστηκε η 2.5G που περιλάμβανε νέα πρωτόκολλα και νέα συστήματα. Οπότε από το GSM εμφανίστηκαν τα πρότυπα όπως τα GPRS (General Packet Radio Service) και EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) . Έπειτα παρουσιάζονται σύντομα τα δίκτυα 3ης και 3.5ης γενιάς και οι διαφορές που εντοπίζονται σε σχέση με τις προηγούμενες.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο βασικός εκπρόσωπος των συστημάτων κινητών επικοινωνιών σήμερα, το LTE (Long-Term Evolution). Αυτό αποτελεί το τελευταίο βήμα στη μετάβαση από τις κυψελωτές 3G υπηρεσίες στις κυψελωτές 4G. Επιπλέον πληροφορίες για τα πλεονεκτήματα, τα στοιχεία της αρχιτεκτονικής του δικτύου, τεχνικά ζητήματα τις εφαρμογές και της επιμέρους εκδοχές του δίνονται στο κεφάλαιο αυτό. Έτσι λοιπόν γίνεται η μετάβαση από το LTE στο LTE-A δίκτυο εισάγοντας μεγαλύτερο εύρος ζώνης και υψηλότερες ταχύτητες downlink και uplink. Ακόμα εισάγεται και αναλύεται ο όρος femtocells τα οποία προσφέρουν δίκτυα μεγαλύτερης χωρητικότητας με οικονομικά βιώσιμο τρόπο. Επιπλέον, σε υψηλό επίπεδο είναι η ποιότητα των υπηρεσιών κάτι που σχετίζεται άμεσα με την αποδοχή ενός τέτοιου δικτύου από τους συνδρομητές. Ωστόσο υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα όπως η ασφάλεια, η ταυτοποίηση και ο συγχρονισμός τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται το δίκτυο που αναμένεται να εμφανιστεί τα επόμενα χρόνια. Βασισμένο στις αρχές των προηγούμενων δικτύων θα βελτιώσει τις αδυναμίες που υπάρχουν όπως το ρυθμό μετάδοσης, την καταναλισκόμενη ενέργεια, το φάσμα λειτουργίας και το χρόνο απόκρισης. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση επίσης των βασικών στοιχείων του δικτύου καθώς και των τεχνολογιών που συνδέονται με τα δίκτυα αυτά. Ακόμα αναλύονται η πρώτη και δεύτερη φάση του 5G – PPP που περιέχουν 19 και 21 νέες προτάσεις έργων αντίστοιχα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο υπάρχουν τα συμπεράσματα και οι προοπτικές του δικτύου 5ης γενιάς. Από τεχνολογικής πλευράς, το δίκτυο αυτό αναμένεται στην αγορά το 2020, ενώ έχει ξεκινήσει ήδη ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του εξοπλισμού (υλικού και λογισμικού). Βασικά χαρακτηριστικά του νέου δικτύου θα είναι ο ταχύτερος ρυθμός μετάδοσης, η χωρητικότητα και η ευέλικτη αρχιτεκτονική.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Συστήματα κινητών επικοινωνιών

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, 2G, 3G, 4G, 5G, LTE, LTE-A, 5G-PPP

ABSTRACT

The aim of the thesis is to provide a comprehensive reference manual for the evolution of mobile communication systems.

The first chapter introduces the reader to the first mobile communications networks from analogue communication to the Global System for Mobile Communications (GSM), which is the most widespread international network. It is the basis upon the next generation of networks has been developed. GSM introduced for the first time concepts such as SMS (Short Message Service), SIM (Subscriber Identity Module), tele-services. Then the 2.5G was appeared and included new protocols and systems. Thus, standards such as GPRS (General Packet Radio Service) and EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) have emerged from GSM. The 3rd and 3rd generation networks were developed in the next years and the differences between the previous generations were obvious.

The second chapter introduces the basic representative of mobile communications today, LTE (Long-Term Evolution). This is the last step from cellular 3G services to 4G cellular. Further information on the advantages, the elements of the network architecture, the technical issues of the applications and the individual versions is given in this chapter. Thus, the transition from LTE to LTE-A network takes place by introducing more bandwidth and higher downlink and uplink speeds. It also introduces and analyzes the term of femtocells which offer larger capacity networks in an economically viable way. In addition, a high level of service quality is directly related to the acceptance by subscribers. However, there are certain disadvantages such as security, identification and synchronization.

The third chapter analyzes the network that is expected to be appeared in the coming years. Based on the principles of previous networks, it will improve the weaknesses such as transmission rate, energy consumption, operating range and response time. Also a concise presentation of the network key elements as well as of the technologies associated with these networks. In addition, the first and second phases of the 5G - PPP are analyzed, which contain 19 and 21 new project proposals, respectively.

In the fourth chapter, there are the conclusion and prospects of the 5th generation network. From a technological point of view, this network is expected in 2020. The design and the development of equipment (hardware and software) have already begun. Key features of the new network will be the fastest transmission rate, capacity and flexible architecture.

SUBJECT AREA: Mobile communication systems

KEYWORDS: Telecommunication networks, 2G, 3G, 4G, 5G, LTE, LTE-A, 5G-PPP

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μεράκο καθώς και τον κ. Τσόλκα για την βοήθεια και την καθοδήγηση που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω και την Ευτυχία Δάτσικα για την πολύτιμη συμβολή της στην συγγραφή της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένεια μου για την υπομονή και την συμπαράσταση καθώς και την ηθική στήριξη στην ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας και κατ' επέκταση του μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΙΣ ΠΡΩΤΕΣ ΓΕΝΙΕΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ	11
1.1	Δίκτυα Δεύτερης Γενιάς (2G).....	13
1.1.1	GSM (Global System for Mobile).....	14
1.1.2	IS-136 (Interim Standard 136).....	17
1.1.3	PDC (Pacific Digital Cellular).....	17
1.1.4	IS-95 (Interim Standard 95).....	18
1.2	Δίκτυα 2.5ης Γενιάς (2.5G).....	18
1.2.1	Σύστημα WAP.....	18
1.2.2	Σύστημα HSCSD	20
1.2.3	GPRS (General Packet Radio Service).....	20
1.2.4	Σύστημα EDGE.....	21
1.2.5	IS-95B.....	21
1.3	Δίκτυα Τρίτης Γενιάς (3G).....	22
1.3.1	UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)	23
1.3.2	CDMA2000	25
1.3.3	TD-SCDMA.....	25
1.4	Δίκτυα 3.5ης γενιάς	27
2.	ΔΙΚΤΥΑ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (4G).....	29
2.1	Long Term Evolution	29
2.1.1	Αρχιτεκτονική δικτύου	32
2.1.2	Τεχνικές μετάδοσης.....	34
2.2	Δίκτυα LTE-A.....	40
2.2.1	Χαρακτηριστικά LTE-A.....	41
2.2.2	Αρχιτεκτονική Συστήματος.....	42
2.3	Δίκτυα Τέταρτης Γενιάς (4G).....	46
2.3.1	Πλεονεκτήματα χρήσης δικτύου 4G.....	47
2.3.2	Απαιτήσεις των 4G δικτύων.....	51
2.3.3	Εφαρμογές και Υπηρεσίες δικτύων 4G	52
2.4	Femtocells	52
2.4.1	Τεχνικά θέματα.....	56
2.4.2	Αρχιτεκτονική LTE-A femtocells	57
2.4.3	Περιγραφή Δικτύου με femtocells	61
2.4.4	Διαχείριση Κινητικότητας σε Δίκτυα Φεμτοκυψελών LTE-Advanced	62

2.4.5	Αναζήτηση κυψέλης.....	64
3.	ΔΙΚΤΥΑ ΠΕΜΠΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (5G).....	67
3.1	Στόχοι δικτύου 5ης γενιάς.....	67
3.2	Φυσικό δίκτυο	68
3.3	Τεχνολογίες	74
3.4	Ερευνητικά Έργα στα δίκτυα 5ης γενιάς	78
3.4.1	Πρώτη φάση του 5G-PPP.....	79
3.4.2	Δεύτερη φάση του 5G-PPP	86
3.5	Το ορόσημο της πρώτης φάσης της αρχιτεκτονικής 5ης γενιάς.....	91
4.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	98
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ	100

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης	14
Εικόνα 2: Απεικόνιση δικτύου GSM(2G) και υποσυστημάτων του	15
Εικόνα 3: Πρωτόκολλα Αρχιτεκτονικής WAP	19
Εικόνα 4: Απεικόνιση Δικτύου 2.5G (GPRS προσθήκη στο GSM)	20
Εικόνα 5: Απεικόνιση δικτύου UMTS.....	24
Εικόνα 6: Μετάβαση από τη 2G στη 3G Κινητών Επικοινωνιών	26
Εικόνα 7: Εξέλιξη Προτύπων από την 2G στη 3G	28
Εικόνα 8: Μετάβαση προς το LTE	29
Εικόνα 9: EPS Network Elements.....	33
Εικόνα 10: LTE Access Technologies	34
Εικόνα 11: LTE-Downlink (OFDM).....	35
Εικόνα 12: Διαφορές στη συχνότητα και στο χρόνο ανάμεσα σε OFDM και OFDMA	36
Εικόνα 13: Διαφορές ανάμεσα στις τεχνολογίες.....	38
Εικόνα 14: Η αρχιτεκτονική του EPS	42
Εικόνα 15: Οι λειτουργικές αρμοδιότητες του E-UTRAN και του EPC	43
Εικόνα 16: Αρχιτεκτονική δικτύου πρόσβασης E-UTRAN.....	45
Εικόνα 17: Αρχιτεκτονική Ασύρματων Συστημάτων 4G και Σκοπός της.....	47
Εικόνα 18: Εξέλιξη από τη 2G στην 4G Κινητών Επικοινωνιών	51
Εικόνα 19: Τα femtocells συνδέονται με το δίκτυο κορμού διαμέσου της backhaul σύνδεσης του χρήστη	54
Εικόνα 20: Ενσωμάτωση FEMTOCELLS στην Αρχιτεκτονική Δικτύου	58
Εικόνα 21: Διάγραμμα LTE Δικτύου με Δίκτυο FEMTOCELL	59
Εικόνα 22: Λογικό Μοντέλο Αρχιτεκτονικής Δικτύου FEMTOCELLS	60
Εικόνα 23: Παράδειγμα Υλοποίησης femtocell	62
Εικόνα 24: Υποστήριξη Femtocells σε LTE-A / E-UTRAN Αρχιτεκτονική δικτύου	63
Εικόνα 25: Επικοινωνία μεταξύ στοιχείων του δικτύου	66

Εικόνα 26: Αρχιτεκτονική του Cloud Ran.....	70
Εικόνα 27: Εικονοποίηση διαφόρων λειτουργιών δικτύου από το NFV	71
Εικόνα 28: Αρχιτεκτονική NFV	72
Εικόνα 29: Αλληλοσυμπλήρωση NFV και SDN	73
Εικόνα 30: Παραδείγματα αρχιτεκτονικής SDN για κινητό δίκτυο	74
Εικόνα 31: Μια πιθανή ασύρματη δικτύωση του 5G από ετερογενή δίκτυα.....	75
Εικόνα 32: Δίκτυο με mmWave και phantom cells.	76
Εικόνα 33: Στόχοι του 5G-PPP	79
Εικόνα 34: Πρώτη φάση του 5G-PPP	80
Εικόνα 36: Δεύτερη φάση 5G-PPP	86
Εικόνα 37: Αρχιτεκτονική συστήματος 3GPP.....	92
Εικόνα 38: Ανάπτυξη PLMN σε τέσσερα τμήματα του δικτύου	94
Εικόνα 39: Ανάπτυξη του 3GPP χρησιμοποιώντας τμηματοποίηση δικτύου	95
Εικόνα 40: Επίπεδο εφαρμογής	96
Εικόνα 41: Session and Service Continuity (SSC) modes.....	97

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Δικτύων 2.5G	22
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά κάθε τεχνολογίας.....	30
Πίνακας 3: Βασικές παράμετροι του LTE.....	31
Πίνακας 4: Στόχοι Απόδοσης LTE - Downlink	37
Πίνακας 5: Στόχοι Απόδοσης LTE - Uplink.....	38

1. ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΙΣ ΠΡΩΤΕΣ ΓΕΝΙΕΣ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Η επικοινωνία είναι ο διαμοιρασμός πληροφορίας, ιδέας αλλά και οτιδήποτε άλλο μπορεί να σταλθεί και να ληφθεί ανάμεσα σε οντότητες. Προκειμένου να επιτεχθεί μία επικοινωνία χρειάζονται δύο οντότητες τουλάχιστον, μία του αποστολέα και μία του παραλήπτη.

Η ανάγκη της επικοινωνίας εμφανίστηκε στην περίπτωση που υπήρχε απόσταση ανάμεσα στην πηγή και τον προορισμό. Τα θεμέλια της επικοινωνίας έθεσε πρώτος ο Guglielmo Marconi στα τέλη του 19^{ου} αιώνα καθώς εγκατέστησε στην Κορνουάλη τον πρώτο σταθμό ασυρμάτου μεγάλων αποστάσεων. Οι κεραίες του είχαν ύψος 70 μέτρα, όμως επειδή μία ανεμοθύελλα τις έσπασε, αναγκάστηκε να τις κατεβάσει 10 μέτρα χαμηλότερα. Έπειτα από τον σταθμό εκπομπής ήρθε η σειρά του σταθμού λήψεως, πέραν του Ατλαντικού. Πράγματι ο Marconi εγκατέστησε έναν τέτοιο σταθμό στη Νέα Γη του οποίου οι κεραίες έφταναν στα 140 μέτρα. Έτσι, τον Δεκέμβριο του 1901 μετέδωσε από την Κορνουάλη στη Νέα Γη μία σειρά από σήματα. [1] Το 1910 ο Lars Magnus Ericsson (Σουηδός εφευρέτης της τηλεφωνικής συσκευής), εγκατέστησε ένα φορητό τηλέφωνο στο αυτοκίνητο της γυναίκας του, που συνδεόταν με καλώδια στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο.

Στη συνέχεια ακολούθησαν ραγδαίες εξελίξεις όπως ραντάρ, ραδιοφωνία, τηλεόραση, μικροκυματικοί αναμεταδότες, αεροναυτικές, ναυτικές και δορυφορικές επικοινωνίες, κινητή τηλεφωνία.

Ένα σύστημα επικοινωνιών αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία:

- ✓ Συσκευές επικοινωνιών (laptops, smartphones, tablets, σημεία πρόσβασης, σταθμοί βάσης κλπ)
- ✓ Κανάλια επικοινωνιών : Το φυσικό μέσο (καλώδια, αέρας) που χρησιμοποιείται για μεταφορά δεδομένων μεταξύ συσκευών επικοινωνίας
- ✓ Τεχνολογίες επικοινωνιών όπως GSM, GPRS, WiFi, Bluetooth, 3G, 4G κλπ
- ✓ Λογισμικό επικοινωνιών, δηλαδή εφαρμογές ή προγράμματα σχεδιασμένα να μεταφέρουν πληροφορία μεταξύ συσκευών επικοινωνίας.

Η διαδικασία μετάδοσης σημάτων μεταξύ συσκευών επικοινωνίας μέσω καναλιών επικοινωνίας λέγεται επικοινωνία. Τα δίκτυα είναι οι τεχνολογίες και το λογισμικό που χρησιμοποιούνται προκειμένου να συνδέουν συσκευές και να τους επιτρέπουν να επικοινωνούν. Οι συσκευές μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο με ενσύρματες συνδέσεις (ενσύρματα δίκτυα) ή με ασύρματες (Ασύρματα δίκτυα). [2]

Οι κινητές επικοινωνίες έκαναν για πρώτη φορά την εμφάνιση τους τη δεκαετία του 1940, όταν τα ραδιοτηλέφωνα υπήρξαν η πρώτη μορφή διαπροσωπικής επικοινωνίας. Οι χρήστες των ραδιοτηλεφώνων πατώντας ένα κουμπί είχαν τη δυνατότητα να μιλήσουν μεταξύ τους ανταλλάσσοντας πληροφορίες. Η χρήση τους όμως ήταν περιορισμένη και εντοπισμένη σε συγκεκριμένες εφαρμογές (στρατιωτικές, επικοινωνίες πλοίων, αεροσκαφών). Η πλειονότητα των πολιτών δεν είχε τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει τις εφαρμογές αυτές. Μόλις το 1961 το παράρτημα της Σουηδικής εταιρείας Ericsson με την επωνυμία Svenska Radio Aktiebolaget (SRA) παρήγαγε για πρώτη φορά διεθνώς εξοπλισμό κινητών επικοινωνιών για εμπορική χρήση, απευθυνόμενο στο ευρύ κοινό. Το πρώτο δίκτυο κινητών επικοινωνιών που καταγράφεται διεθνώς είναι αυτό που ανέπτυξε

η εταιρεία Bell Systems, στην περιοχή της Πενσυλβανία των ΗΠΑ, μεταξύ 1962-1964 και του έδωσε την ονομασία Improved Mobile Telephone Service (IMTS). Το δίκτυο αυτό ήταν το πρώτο στον κόσμο που επέτρεπε την αμφίδρομη επικοινωνία (full duplex) και έτσι οι συνομιλητές δεν αναγκάζονταν να πιέζουν πλήκτρο στο τερματικό τους για να μπορούν να μιλούν. Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ και στον Καναδά, παρέχοντας τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες μέχρι και τα μέσα της δεκαετίας του 1980. Στην Ιαπωνία το 1967 η εταιρεία Nippon Telegraph and Telephone company (NTT) άρχισε να αναπτύσσει δίκτυο σε όλη την Ιαπωνία σε συχνότητες στην περιοχή των 800 MHz. Μόλις το 1969 η εταιρεία Bell Systems παρείχε δίκτυο κινητών επικοινωνιών στο ευρύ κοινό, το οποίο λειτουργούσε σε συχνότητες στα 450 MHz και με δυνατότητα πραγματοποίησης μεταπομπών (handovers) για πρώτη φορά. Το δίκτυο αυτό ήταν βασισμένο στο πρωτόκολλο IMTS. Στις 17 Οκτωβρίου του 1973 η εταιρεία Motorola παρουσίασε το πρώτο φορητό τηλέφωνο (Motorola DynaTAC8000X) που μπορούσε να κρατηθεί με το ένα χέρι και να λειτουργήσει αυτοτελώς, χωρίς να χρειάζεται ξεχωριστά συστήματα τροφοδοσίας. Αυτό το κινητό υπήρξε η ναυαρχίδα των λεγόμενων κινητών πρώτης γενιάς (1G). Το βήμα αυτό ήταν και καθοριστικό για την μετέπειτα εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών. Το 1978 τόσο η AT&T (όπως μετονομάστηκε η Bell South), όσο και η εταιρεία Bahrain Telephone Company, ανέπτυξαν και λειτούργησαν εμπορικά δίκτυα κινητών επικοινωνιών βασισμένα στο πρότυπο Advanced Mobile Phone Service (AMPS), που είναι ένα αναλογικό σύστημα κινητών επικοινωνιών και πρόδρομος του Digital Advanced Mobile Phone Service (D-AMPS) και λειτουργεί μέχρι και σήμερα στις ΗΠΑ. [3] Άλλα συστήματα τέτοιου τύπου που ακολούθησαν ήταν τα US Digital Cellular (USDC) Standard IS-54, το σύστημα της Nippon Telephone and Telegraph Company (NTT Co), το Nordic Mobile Telephony (NMT) και το European Total Access Communication System (ETACS).

Τα πρώτης γενιάς συστήματα κινητής τηλεφωνίας βασίζονται στην αναλογική τεχνολογία. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται τεχνολογία FM (Frequency Modulation - διαμόρφωση συχνότητας), FDD (Frequency division duplex - συχνοδιαιρετική αμφίδρομη επικοινωνία) και FDMA (Frequency division multiple access - πολυπλεξία στη συχνότητα). Επιπλέον, τα κοινά κανάλια σήματος χρησιμοποιήθηκαν σε κυψελωτά συστήματα πρώτης γενιάς. Η έννοια της κυψέλης αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές ανακαλύψεις στις κινητές τηλεπικοινωνίες. Κάθε κυψέλη έχει ένα σταθμό βάσης ο οποίος αναλαμβάνει τη δημιουργία και τη δρομολόγηση των κλήσεων. Επιπλέον οι χρήστες που κινούνται εντός των γεωγραφικών ορίων μίας κυψέλης μπορούν να εξυπηρετηθούν από αυτήν. Ένα χαρακτηριστικό της γενιάς αυτής ήταν ότι ο πομπός και ο δέκτης επικοινωνούσαν χρησιμοποιώντας την ίδια συχνότητα. Από την άλλη πλευρά αν κάποιος χρήστης μιλούσε και ταυτόχρονα περνούσε τα γεωγραφικά όρια της κυψέλης τότε η σύνδεση διακοπτόταν. Το μειονέκτημα αυτό, σε συνδυασμό με τη ανεπαρκή μετάδοση δεδομένων μεταξύ σταθμού βάσης και κινητού χρήστη και το χαμηλό ποσοστό των δεδομένων δημιουργήσαν γρήγορα την ανάγκη για κυψελωτά συστήματα επόμενης γενιάς. Δηλαδή η απόδοση των συστημάτων ήταν χαμηλή καθώς δεν μπορούσαν να μιλήσουν ταυτόχρονα αρκετοί χρήστες από τη στιγμή που το διαθέσιμο φάσμα συχνοτήτων δεν ήταν αρκετό.

Γενικά τα συστήματα της γενιάς αυτής δεν είχαν περιθώρια βελτίωσης και εφαρμογής τεχνικών όπως η συμπίεση και η κωδικοποίηση της πληροφορίας καθώς αυτό θα είχε σαν προϋπόθεση την χρήση ψηφιακού σήματος. Ακόμα και τα τερματικά, δηλαδή οι συσκευές που χρησιμοποιούσαν οι χρήστες ήταν ογκώδης με μεγάλες κεραίες και υψηλό κόστος. [4,5]

1.1 Δίκτυα Δεύτερης Γενιάς (2G)

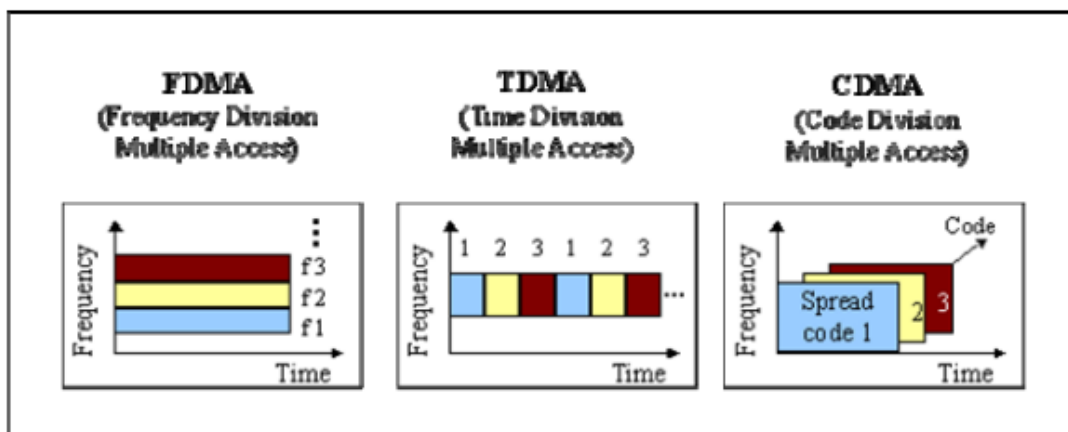
Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 αρκετές Ευρωπαϊκές χώρες (Νορβηγία, Σουηδία, Φιλανδία, Βέλγιο, Ολλανδία, Μεγάλη Βρετανία, ΕΙΡΕ) είχαν αναπτύξει δίκτυα κινητών επικοινωνιών βασισμένα σε πρότυπα αναλογικών επικοινωνιών (NMT 450 και 900) τα οποία ήταν μη συμβατά μεταξύ τους. Την ίδια στιγμή οι ανάγκες για τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες αυξάνονταν ραγδαία. Εξαιτίας του γεγονότος αυτού, καθώς και της ανάγκης συμβατών δικτύων σε όλη την Ευρώπη, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations - CEPT) ίδρυσε μια ομάδα εμπειρογνομόνων επιφορτισμένη με την έκδοση των προδιαγραφών ενός κοινού συστήματος κινητών επικοινωνιών για όλη τη Δυτική Ευρώπη. Η ομάδα αυτή ονομάστηκε Groupe Speciale Mobile, από τα αρχικά γράμματα της οποίας προέκυψε για πρώτη φορά το όνομα GSM. Η συντομογραφία αυτή έγινε όμως γνωστή με τον όρο Global System for Mobile Communications (GSM). Από το σημείο αυτό ξεκινά η εξέλιξη του πλέον διαδεδομένου και επιτυχημένου συστήματος κινητών επικοινωνιών, του γνωστού σε όλους GSM.

Το 1982 η CEPT αρχικοποίησε το νέο σύστημα (GSM), ενώ το 1986 πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες δοκιμές του συστήματος στο Παρίσι. Το 1987 καθορίστηκαν οι συχνότητες λειτουργίας του συστήματος στην περιοχή των 900 MHz και το 1988 δημιουργήθηκε το European Telecommunications Standards Institute (ETSI), το οποίο επωμίστηκε την ευθύνη της έκδοσης προδιαγραφών και συστάσεων για το GSM, που εξεδόθησαν για πρώτη φορά το 1989. Την 1^η Ιουλίου του 1991 πραγματοποιήθηκε το πρώτο επίσημο εμπορικό τηλεφώνημα από δίκτυο GSM. Το 1992 οι Αυστραλοί πάροχοι κινητών επικοινωνιών έγιναν οι πρώτοι μη Ευρωπαίοι οι οποίοι εξεδήλωσαν επιθυμία να αναπτύξουν το νέο σύστημα, ενώ την ίδια χρονιά καθορίστηκαν και νέες συχνότητες στην περιοχή των 1800 MHz. Στην περιοχή αυτή συχνοτήτων αναπτύχθηκε και το σύστημα PCS στις ΗΠΑ, που αποτελεί σύστημα συμβατό (μερικώς) με το GSM. Έτσι ξεκίνησε η ανάπτυξη των δικτύων GSM, που είναι πλέον τα πιο διαδεδομένα δίκτυα διεθνώς διαθέτοντας εκατοντάδες εκατομμύρια συνδρομητές και αποτελώντας ταυτόχρονα την σταθερή βάση για την ανάπτυξη των δικτύων νέας γενιάς (3G/UMTS), των οποίων η εξάπλωση ξεκίνησε ήδη από το 2002. Σε ένα κυψελωτό δίκτυο μία γεωγραφική περιοχή χωρίζεται σε επικαλυπτόμενες κυψέλες (cells) και καθεμία εξυπηρετείται από ένα σταθερό σταθμό βάσης. Μέσω μεταπομπής (handoff) επιτυγχάνεται συνεχής κάλυψη υπηρεσιών σε αυτή τη γεωγραφική περιοχή. Δηλαδή ο χρήστης μπορεί να μεταφερθεί από έναν σταθμό βάσης σε ένα άλλον καθώς ο κινητός σταθμός περνάει τα όρια της κυψέλης χωρίς να το αντιληφθεί. [3]

Τα δεύτερης γενιάς συστήματα κινητής τηλεφωνίας είναι ο διάδοχος της πρώτης γενιάς κινητής τεχνολογίας. Λόγω των αναλογικών σημάτων ομιλίας, του χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και της ανεπαρκούς διαβίβασης των δεδομένων, υπάρχει μια αναπτυσσόμενη ζήτηση του ασύρματου συστήματος επόμενης γενιάς που παρέχει επικοινωνία δεδομένων υψηλών ταχυτήτων, καθώς και μετάδοση φωνής. Έτσι, η αναλογική τεχνολογία στην πρώτη γενιά αντικαθίσταται από την ψηφιακή τεχνολογία σε ασύρματα συστήματα 2G. Επιπλέον αντί της τεχνικής FM, χρησιμοποιούνται στη δεύτερη γενιά τεχνικές ψηφιακής διαμόρφωσης. Οι τεχνικές πρόσβασης που χρησιμοποιούνται στη δεύτερη γενιά είναι η TDMA (Time Division Multiple Access) και η CDMA (Code Division Multiple Access) μαζί με την FDD. Με τη χρήση των τεχνολογιών δεύτερης γενιάς η χωρητικότητα και η αποδοτικότητα του συστήματος είναι τρεις φορές μεγαλύτερη από ότι τα αναλογικά συστήματα πρώτης γενιάς. Τα πρότυπα στην τεχνολογία 2G χαρακτηρίζονται από τους τύπους: GSM, IS-136, PDC, IS-95. Τα οποία αναλύονται παρακάτω :

1.1.1 GSM (Global System for Mobile)

Είναι πολύ δημοφιλής και χρησιμοποιείται ευρέως στη τεχνολογία 2G από τους περισσότερους συνδρομητές καθώς παρείχε σημαντικά προνόμια στους χρήστες. Αρχικά, το GSM υποστηρίζει 8 χρήστες για κάθε κανάλι 200KHz. Επιπλέον, η υπηρεσία σύντομων μηνυμάτων (SMS) αποτελεί ένα από τα πιο δημοφιλή χαρακτηριστικά του συστήματος αυτού. Τα SMS επιτρέπουν στους χρήστες να στέλνουν δεδομένα σε αλφαβητική μορφή στον άλλο χρήστη με απλή κλήση του αριθμού κινητού τηλεφώνου του χρήστη. Ακόμα, ο διαχωρισμός του φέροντος σήματος για GSM είναι 200KHz και το εύρος ζώνης είναι 25MHz και χρησιμοποιείται το σύστημα πολυπλεξίας TDMA/FDMA. Στο GSM η ελάχιστη διαμόρφωση 0,3 GMSK (Gaussian Minimum Shift Key) χρησιμοποιείται στο ρυθμό δεδομένων των 270.833kbps. Τα κανάλια φωνής ανά φέρον σήμα είναι 8 και η περίοδος του πλαισίου είναι 4.615ms.



Εικόνα 1: Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης

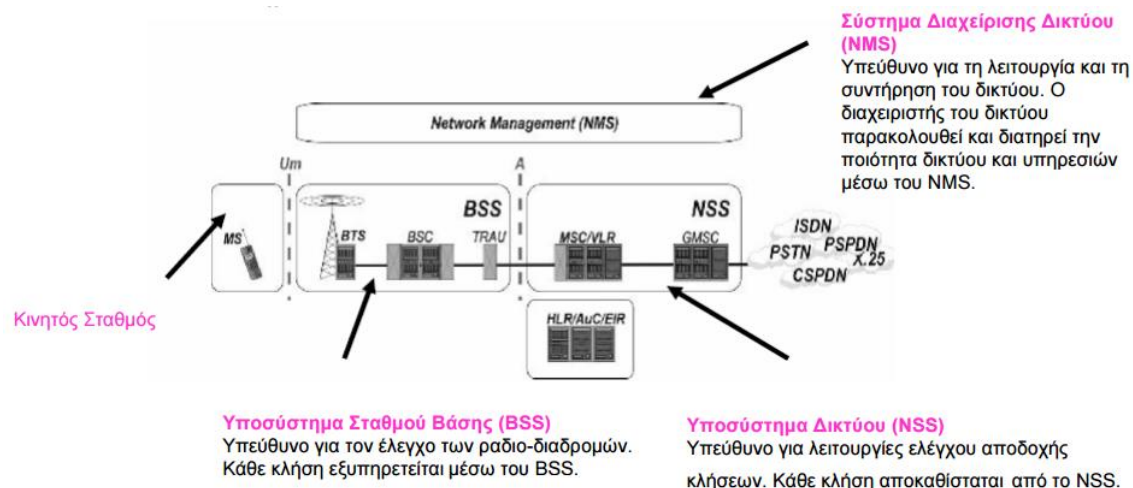
Το GSM περιλαμβάνει διάφορα είδη τηλεϋπηρεσιών και υπηρεσίες δεδομένων. Οι τηλεϋπηρεσίες περιλαμβάνουν κλήση έκτακτης ανάγκης, φαξ, videotext και teletext. Οι υπηρεσίες δεδομένων που ονομάζονται επίσης ως υπηρεσίες φορέα περιλαμβάνουν

επικοινωνία υπολογιστή σε υπολογιστή και μεταγωγή πακέτων. Ένα από τα πιο δημοφιλή χαρακτηριστικά του GSM είναι η κάρτα SIM, η οποία δίνει μια μοναδική ταυτότητα σε κάθε συνδρομητή. [5]

Τα φάσματα συχνοτήτων στην Ευρώπη είναι GSM 900, GSM 1800:

- ✓ GSM 900 (Uplink 890.0 – 915.0 MHz, Downlink: 935.0-960.0 MHz)
- ✓ GSM 1800 (Uplink 1710.0 – 1785.0 MHz, Downlink: 1805.0-1880.0 MHz)

Το συνολικό δίκτυο διαιρείται σε 4 υποσυστήματα που το καθένα έχει δικές του «αρμοδιότητες» κατά τη διάρκεια μίας κλήσης. Αυτό συμβαίνει γιατί στόχος είναι η αποφυγή κεντροποιημένης λειτουργίας ώστε να μειώνεται ο φόρτος στο σύστημα.



Εικόνα 2: Απεικόνιση δικτύου GSM(2G) και υποσυστημάτων του

Οι βασικές μονάδες των υποστηστημάτων είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Το MSC (Mobile Switching Center) είναι ψηφιακό τηλεπικοινωνιακό σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται για την διαχείριση των κλήσεων φωνής των συνδρομητών στο GSM δίκτυο. Δίπλα σε κάθε MSC βρίσκεται και ένα VLR (Visitor Location Register) που είναι προσωρινή βάση δεδομένων και περιέχει τις υπηρεσίες του συνδρομητή, αλλά και την ευρύτερη περιοχή που βρίσκεται.
- ✓ Το SGSN (Serving GPRS Support Node) είναι ψηφιακό τηλεπικοινωνιακό σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται για την διαχείριση των κλήσεων δεδομένων των συνδρομητών στο GSM-GPRS δίκτυο. Δίπλα σε κάθε SGSN βρίσκεται επίσης και το αντίστοιχο GPRS VLR.
- ✓ Το BSC (Base Station Controller): Είναι ένα ψηφιακό κέντρο και χρησιμοποιείται για να ελέγχει τους Σταθμούς Βάσης και την διασύνδεσή τους με το MSC.
- ✓ Το BTS (Base Transceiver Station) ή Σταθμός Βάσης (ΣΒ), χρησιμοποιείται για την διασύνδεση των κινητών τηλεφώνων με το υπόλοιπο δίκτυο και περιέχει πομποδέκτες (συχνότητας: 900-1800 MHz). Επίσης στα BTS συγκαταλέγονται και οι μικροκυματικές κατευθυντικές ζεύξεις που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των δεδομένων του κάθε σταθμού βάσης στα αντίστοιχα κέντρα

(BSC – MSC) και τα οποία αποτελούν το δίκτυο μετάδοσης (transmission network).

- ✓ Το HLR (Home Location Register) είναι η μόνιμη βάση δεδομένων με όλες τις υπηρεσίες των συνδρομητών πχ. προωθήσεις, Data, Fax, GPRS.

Τόσο οι ΣΒ όσο και τα κινητά τηλέφωνα λειτουργούν μετατρέποντας την φωνή, το κείμενο και τα δεδομένα σε ραδιοκύματα, τα οποία μεταδίδονται δια μέσου του αέρα όπως και σε κάθε άλλη μορφή αμφίδρομης επικοινωνίας. Οι ΣΒ λαμβάνουν τις κλήσεις – ραδιοκύματα που προέρχονται από τα κινητά τηλέφωνα και τις μεταδίδουν μέσω του δικτύου είτε σε σταθερά τηλέφωνα (ΟΤΕ), είτε σε άλλα κινητά τηλέφωνα μέσω εκπομπών των ίδιων ή άλλων ΣΒ. Για να γίνει δυνατή η παροχή υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας οι πάροχοι κινητών υπηρεσιών (πχ στην Ελλάδα είναι Cosmote, Vodafone) διαιρούν τις κατά τόπους γεωγραφικές περιοχές σε χιλιάδες μικρές και ανεξάρτητες περιοχές που ονομάζονται κυψέλες. Η κάθε κυψέλη από αυτές προϋποθέτει και την ύπαρξη ΣΒ στην περιοχή της. Τα σημεία τοποθέτησης των κεραιών κινητής τηλεφωνίας είναι κρίσιμα τόσο όσον αφορά στη ραδιοκάλυψη και την παροχή υπηρεσιών, όσο και σε θέματα ηλεκτρομαγνητικών εκπομπών. Κατά καιρούς έχουν διατυπωθεί διάφορες απόψεις σχετικά με τα σημεία τοποθέτησης των κεραιών. Τα σημεία που τοποθετείται μία κεραία αποτελεί κρίσιμο θέμα ωστόσο το ιδανικό σημείο δεν είναι περιμετρικά πάνω σε υψώματα και μακριά από κατοικημένες περιοχές για δύο λόγους:

1. Οι κεραίες που βρίσκονται τοποθετημένες μακριά από κατοικημένες περιοχές για να μπορέσουν να καλύψουν μια συγκεκριμένη περιοχή, θα πρέπει να εκπέμπουν με πολύ μεγάλη ισχύ, γεγονός που είναι ανεπιθύμητο όσον αφορά τις ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές. Αξίζει να επισημανθεί ότι οι κεραίες ραδιοσταθμών που βρίσκονται τοποθετημένες σε υψώματα περιμετρικά των πόλεων, εκπέμπουν με ισχύ εκπομπής που ξεπερνά τις μερικές χιλιάδες Watts. Αντιθέτως, οι κεραίες που βρίσκονται εντός κατοικημένων περιοχών εκπέμπουν με ισχύ εκπομπής που δεν ξεπερνά στις περισσότερες περιπτώσεις τα 20 Watts. Από τις προδιαγραφές του συστήματος GSM, ένα δίκτυο αυτού του τύπου διαθέτει κυψελοειδή εξαγωνική δομή. Κάθε εξάγωνο αποτελεί και μια κυψέλη (cell), η οποία δεν μπορεί να επικαλύπτεται σημαντικά με κάποια άλλη γειτονική ή μη, του ίδιου δικτύου, διότι αυτό δημιουργεί παρεμβολή στο δίκτυο με αποτέλεσμα τη δυσλειτουργία των κινητών τηλεφώνων που βρίσκονται στην περιοχή αυτή.

Ο λόγος που δεν μπορούν να επικαλύπτονται οι κυψέλες οφείλεται στην αδυναμία επαναχρησιμοποίησης των συχνοτήτων λειτουργίας (φερουσών συχνοτήτων) σε γειτονικές κυψέλες. Έτσι μπορεί να λεχθεί ότι σε ένα δίκτυο GSM, οι συχνότητες αποτελούν ένα «ακριβό αγαθό», σε περιορισμένη ποσότητα. Ένα κινητό τηλέφωνο επικοινωνεί μόνο με το ΣΒ που βρίσκεται στην περιοχή του, μέσω του οποίου συνδέεται στο υπόλοιπο τηλεφωνικό δίκτυο (κινητό ή σταθερό). Η μέγιστη ισχύς εκπομπής του κινητού τηλεφώνου είναι 2 Watts για κινητό τηλέφωνο που λειτουργεί στα 900MHz και 1 Watt για κινητό τηλέφωνο που λειτουργεί στα 1800MHz. Η ισχύς λειτουργίας του κινητού τηλεφώνου ρυθμίζεται από το δίκτυο και εξαρτάται από τη θέση αυτού σε σχέση με τη θέση της κεραίας. Έτσι ένα κινητό τηλέφωνο που είναι απομακρυσμένο από την κεραία με την οποία συνδέεται, εκπέμπει με πολύ μεγαλύτερη ισχύ από ένα κινητό που βρίσκεται κοντά στην κεραία – ΣΒ. Επομένως

κινητό που βρίσκεται μακριά από τον ΣΒ του εκπέμπει πολύ μεγαλύτερα ποσά ΗΜ – ακτινοβολίας στον χρήστη του, λόγω του ότι απαιτείται μεγαλύτερη ισχύς εκπομπής για να επικοινωνήσει με τον απομακρυσμένο ΣΒ. Αντιθέτως όσο πιο πυκνό είναι το δίκτυο σε ΣΒ τόσο μικρότερη ισχύς εκπομπής απαιτείται και από το ΣΒ και από το κινητό τηλέφωνο, επομένως τόσο το περιβάλλον όσο και οι χρήστες των τηλεφώνων δέχονται πολύ μικρότερα ποσά ΗΜ-ακτινοβολίας.

2. Εξαιτίας του περιορισμένου αριθμού συχνοτήτων που έχει στην κατοχή της η κάθε εταιρεία πάροχος κινητών επικοινωνιών, η κάθε κυψέλη – ΣΒ του δικτύου μπορεί να εξυπηρετήσει μικρό και συγκεκριμένο αριθμό ταυτόχρονων κλήσεων από συνδρομητές, που ανέρχονται κατά μέσο όρο από 10 έως 50 ανά κυψέλη, ανάλογα με τη διαμόρφωση του ΣΒ. Έτσι για να εξυπηρετηθούν οι εκατομμύρια συνδρομητές που είναι χρήστες κινητών τηλεφώνων απαιτούνται πάρα πολλοί ΣΒ (από εκατοντάδες μέχρι και χιλιάδες ανά περιοχή), οι οποίοι εγκαθίστανται σε πυκνή διάταξη και έχουν χαμηλή ισχύ εκπομπής, έτσι ώστε να μην προκαλούν παρεμβολές στο δίκτυο. Στην Ελλάδα ειδικά, όπου η μορφολογία του εδάφους δεν είναι ομαλή (υπάρχουν πολλά βουνά, λόφοι, κ.λ.π.) και οι πόλεις έχουν πυκνή δόμηση με κτίρια από τσιμέντο, απαιτούνται πολλοί περισσότεροι ΣΒ εντός των αστικών κατοικημένων περιοχών, όπου βρίσκεται η μεγάλη πλειοψηφία του πληθυσμού που επιζητεί να χρησιμοποιεί κινητά τηλέφωνα. Έτσι κάθε κυψέλη απαιτεί την ύπαρξη ενός ΣΒ ο οποίος παρέχει κάλυψη και χωρητικότητα σε μια μικρή περιοχή γύρω του, εκπέμποντας ακτινοβολία σχεδόν ίσης ποσότητας με αυτή ενός κινητού τηλεφώνου που λειτουργεί στη μέγιστη ισχύ του.

Καθώς ένας χρήστης κινητού τηλεφώνου κινείται μέσα στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, η κλήση του πρέπει να μεταφέρεται από ένα ΣΒ στον γειτονικό του, προϋπόθεση που επίσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό και διαστασιολόγηση του δικτύου. [3]

1.1.2 IS-136 (Interim Standard 136)

Το πρότυπο είναι επίσης γνωστό ως NADC, Βορειοαμερικανικά ψηφιακά κυψελωτά αυτόματα (North American Digital Cellular). Το IS-136 υποστηρίζει 3 χρήστες για κάθε κανάλι στα 30KHz. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί επίσης την TDMA (Time Division Multiple Access) με την FDD (Frequency Division Duplex). Η εμπρόσθια συχνότητα του καναλιού είναι 1850-1910MHz και η αντίστροφη είναι 1930-1990 MHz. Άλλα χαρακτηριστικά του πρότυπου αυτού είναι το εύρος ζώνης καναλιού που βρίσκεται στα 60MHz, η τεχνική διαμόρφωσης 45DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) τεχνική διαμόρφωσης και ο ρυθμός δεδομένων του διαύλου είναι 46.6kbps. [5]

1.1.3 PDC (Pacific Digital Cellular)

Το PDC λειτουργούσε αποκλειστικά στην Ιαπωνία, έχοντας στην ακμή του σχεδόν 80 εκατομμύρια χρήστες. Το πρότυπο λειτουργίας ορίστηκε το 1991 και προϋπόθετε κανάλια εύρους 25 kHz, π/4 DQPSK διαμόρφωση με 3 ή 6 χρονοσχισμές, ρυθμού 11.2 ή 5.6 kbps αντίστοιχα. Επιλέχθηκαν ζώνες συχνοτήτων στα 800 MHz (810–888 MHz για downlink

και 893–958 MHz για uplink) και στα 1500 MHz (1477–1501 MHz για downlink και 1429–1453 MHz για uplink). Επιπλέον, είναι παρόμοιο με εκείνο του IS-136 και η τεχνική πολυπλεξίας είναι η TDMA με τη FDD. Συγκριτικά με το GSM, απαιτούσε χαμηλότερη ισχύ εκπομπής επιτρέποντας μικρότερα σε διαστάσεις και μπαταρίες κινητά τηλέφωνα, εις βάρος της ποιότητας της φωνής και της αξιοπιστίας της σύνδεσης, με αύξηση της πιθανότητας διακοπής κλήσης ειδικά σε κλειστούς χώρους. Ο αριθμός των συνδρομητών του ελαττώθηκε με τον καιρό και η λειτουργία του διακόπηκε οριστικά το 2012. [6]

1.1.4 IS-95 (Interim Standard 95)

Αυτό το πρότυπο 2G είναι πολύ δημοφιλές και είναι επίσης γνωστή ως CDMAone. Η πολυπλεξία που χρησιμοποιείται είναι CDMA με FDD. Υποστηρίζει 64 κανάλια φωνής ανά φέρον σήμα τα οποία είναι ορθογώνια κωδικοποιημένα. Η εμπρόσθια συχνότητα καναλιού για το IS-95 είναι 824-849 MHz και η αντίστροφη συχνότητα του καναλιού είναι 869-894 MHz. Τα φέροντα σήματα χωρίζονται από τη συχνότητα των 1.25MHz. Το σήμα διαμορφώνεται BPSK (Binary Phase Shift Keying) και με εξάπλωση τετραγωνικής στο ρυθμό δεδομένων του 1,2288Mchips/sec. Παρά το γεγονός ότι οι τυποποιημένες τεχνολογίες κινητών επικοινωνιών 2G παρέχουν αποτελεσματική μετάδοση δεδομένων φωνής, οι εφαρμογές περιήγησης στο διαδίκτυο είναι σε πολύ χαμηλές ταχύτητες. Έτσι, είναι επίσης ανεπαρκείς για την ταχεία μετάδοση email. Επομένως για την παροχή υψηλότερου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, για εφαρμογές περιήγησης στο διαδίκτυο και για υπηρεσίες e-mail, τα πρότυπα 2G τροποποιήθηκαν και ένα νέο πρότυπο που ονομάζεται 2.5G έχει αναπτυχθεί με την προς τα πίσω συμβατότητα με το πρότυπο 2G. [5]

1.2 Δίκτυα 2.5ης Γενιάς (2.5G)

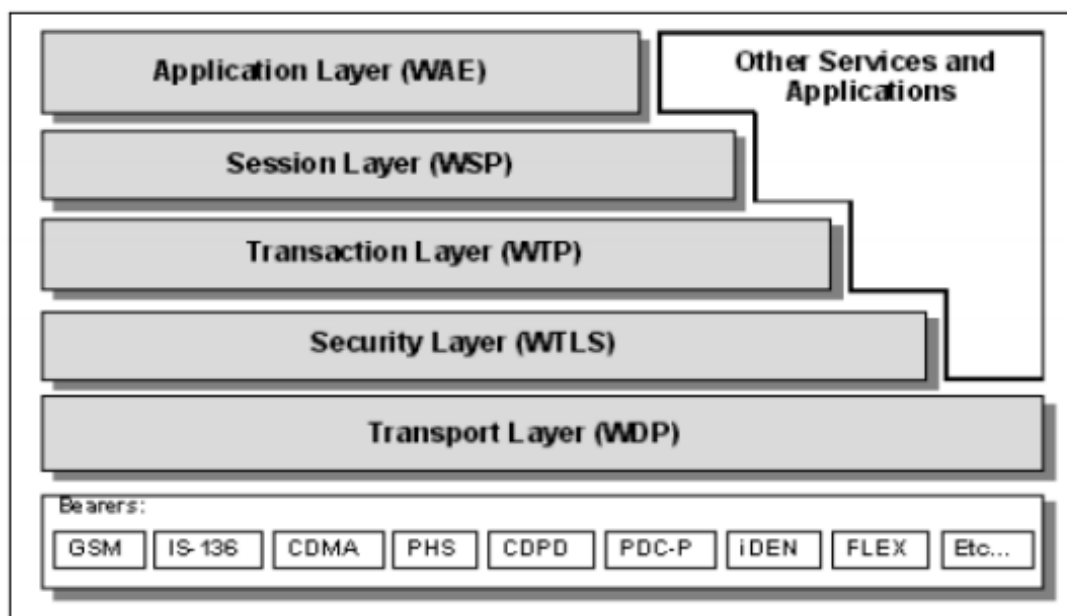
Ως μια βελτιωμένη έκδοση της 2ης γενιάς ήρθε το πρότυπο 2.5. Βασικές αλλαγές ήταν: οι ταχύτεροι ρυθμοί μετάδοσης και καλύτερες υπηρεσίες internet, όπως αποστολή/λήψη email κ.α. Στα πλαίσια της αναβάθμισης των συστημάτων προέκυψαν ένα νέο πρωτόκολλο και νέα συστήματα για τη γενιά 2.5. Αυτά είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Wireless Applications Protocol (WAP) ,
- ✓ High Speed Circuit Switched Data (HSCSD),
- ✓ General Packet Radio Service (GPRS)
- ✓ Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)
- ✓ Interim Standard 95B (IS-95B) Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των συστημάτων HSCSD, GPRS και EDGE και WAP. [7]

1.2.1 Σύστημα WAP

Το πρωτόκολλο WAP (Wireless Applications Protocol) περιγράφει το περιβάλλον εφαρμογής και τα δικτυακά πρωτόκολλα που απαιτούνται για ασύρματες επικοινωνίες.

Βάση αυτού του πρωτοκόλλου οι κινητές συσκευές μπορούν να απεικονίζουν ιστοσελίδες και να χειρίζονται χml δεδομένα, urls κ.α.. Προκειμένου να εξελίσσεται συνεχώς το πρωτόκολλο με νέες υπηρεσίες γρήγορα και ευέλικτα, δημιουργήθηκε το WAP. Για την εξέλιξη του πρωτοκόλλου έχει δημιουργηθεί το WAP Forum που επιτρέπει στους δικτυακούς λειτουργούς, τους κατασκευαστές και τους παρόχους υπηρεσιών και περιεχομένου να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις της νέας τεχνολογικής εποχής καθιστώντας τους ικανούς να προσφέρουν διαφορετικές υπηρεσίες και υλοποιήσεις γρήγορα, ευέλικτα κι αποτελεσματικά. Το WAP Forum όρισε ένα σύνολο από πρωτόκολλα τα οποία αντιστοιχούν στα Transport Layer, Security Layer, Transaction Layer, Session Layer και Application Layer, του γνωστού μοντέλου OSI. Τα πρωτόκολλα αυτά, αντίστοιχα, είναι: το Wireless Datagram Protocol (WDP), το Wireless Transport Layer Security (WTLS), το Wireless Transaction Protocol (WTP), το Wireless Session Protocol (WSP) και το Wireless Application Environment (WAE). Η δομή του protocol stack που απαρτίζει το WAP, φαίνεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3: Πρωτόκολλα Αρχιτεκτονικής WAP

Το WAE μπορεί να θεωρηθεί ως ένα γενικού σκοπού περιβάλλον εφαρμογής, το οποίο βασίζεται σε ένα συνδυασμό του World Wide Web (WWW) με διάφορες τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας. Το WSP αποτελεί μια οικογένεια πρωτοκόλλων του επιπέδου Συνόδου που εξυπηρετεί απομακρυσμένες λειτουργίες μεταξύ πελατών (clients) κι εξυπηρετητών (servers). Το WSP παρέχει στο επίπεδο της εφαρμογής μια αξιόπιστη διεπαφή με δύο υπηρεσίες συνόδου: Η πρώτη είναι προσανατολισμένη στην αποκατάσταση συνδέσεων (connection oriented) και λειτουργεί πάνω από WTP, ενώ η δεύτερη είναι μια ασύνδετη (connectionless) υπηρεσία που λειτουργεί πάνω από ασφαλείς και μη υπηρεσίες μεταφοράς πακέτων.

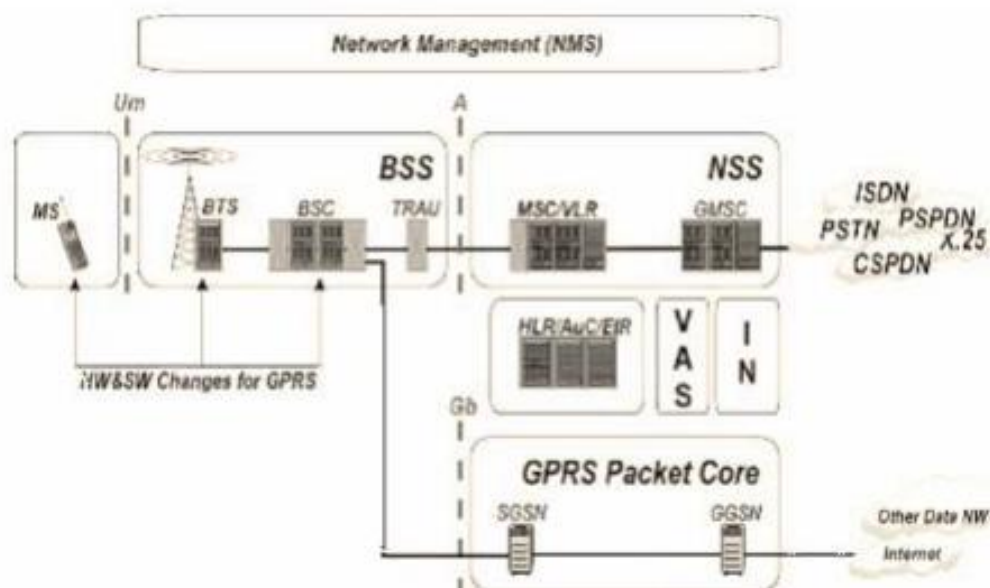
1.2.2 Σύστημα HSCSD

Το αδύνατο σημείο των αρχικών μορφών του GSM ήταν οι πολύ χαμηλοί ρυθμοί μετάδοσης, με ανώτατο όριο τα 9,6 Kbps. Η πρώτη λοιπόν τεχνολογία που ήρθε να βελτιώσει αυτό το σημείο ήταν η HSCSD. Η τεχνολογία αυτή είναι ιδιαίτερα απλή και οικονομική στην υλοποίησή της. Βασίζεται στην αρχή ότι ένας χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί περισσότερες από μία χρονοθυρίδες (timeslots) για μια σύνδεση μεταφοράς δεδομένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα έναν πολύ καλύτερο ρυθμό μετάδοσης, αφού τώρα ο ρυθμός μετάδοσης για αυτόν το χρήστη ισοδυναμεί με το γινόμενο των timeslots επί τον ρυθμό μετάδοσης ενός timeslot.

Το πλεονέκτημα με την τεχνολογία HSCSD ήταν ότι μπορούσε να λειτουργήσει σε όλες τις περιοχές όπου πραγματοποιείται μεταφορά δεδομένων με 9,6 kbit/sec με το υπάρχον GSM δίκτυο. Αυτό το πετύχαινε με το μικρότερο δυνατό κόστος από πλευράς έξτρα εξοπλισμού. Επίσης, όσον αφορά τις εταιρείες παροχής, τους δόθηκε και η δυνατότητα κλιμακωτής χρέωσης, αναλόγως του ρυθμού μετάδοσης που επιθυμούσε ο χρήστης. Το βασικότερο μειονέκτημα του HSCSD ήταν το γεγονός ότι η χρήση της μεταγωγής κυκλώματος σπαταλούσε τους πόρους του δικτύου, αφού οι χρόνο-θυρίδες δεσμεύονταν ακόμα και όταν η χωρητικότητα τους δεν χρησιμοποιείται. [8]

1.2.3 GPRS (General Packet Radio Service)

Η μεγάλη πλειοψηφία των δεδομένων που κινούνται στο δίκτυο είναι Packet-Switched (PS) και μη συμμετρικά παρά Circuit Switched και συμμετρικά. Το GSM δίκτυο αναβαθμίζεται με το General Packet Radio Service (GPRS) και αργότερα με Enhanced Data rate for GSM Evolution (EDGE). Η τεχνολογία EDGE είναι γνωστή και σαν Βελτιωμένο (enhanced) GPRS.



Εικόνα 4: Απεικόνιση Δικτύου 2.5G (GPRS προσθήκη στο GSM)

Οι ρυθμοί μετάδοσης ήταν εμφανώς βελτιωμένοι αφού φτάνουν τα 115 Kbps, όμως η σημαντικότερη αλλαγή που προσέφερε αυτό το σύστημα ήταν ότι εισήγαγε στα κινητά δίκτυα την τεχνολογία μεταγωγής πακέτου. Σύμφωνα με την τεχνολογία αυτή, οι πόροι του δικτύου δεσμεύονται μόνο όταν πρέπει να σταλούν/ληφθούν δεδομένα. Το χαρακτηριστικό αυτό την καθιστά ιδανική για υπηρεσίες όπως e-mail, fax και asymmetric web browsing (ο χρήστης κατεβάζει από το Internet πολύ περισσότερα δεδομένα από ότι ανεβάζει), μεταφορά αρχείων με ftp μέθοδο και σύνδεση σε απομακρυσμένο τερματικό (telnet). Επιπλέον εκτός από το απλό «σερφάρισμα» στο Internet, υποστηρίζεται μετάδοση φωνής και video.

Με χρήση GPRS οι πόροι του δικτύου χρησιμοποιούνται αποδοτικότερα διότι δεν δεσμεύονται πόροι καθώς τα δεδομένα στέλνονται σε πακέτα με βάση τη χωρητικότητα του δικτύου. Επιπλέον έχει χαμηλότερο κόστος από υπηρεσίες που βασίζονται στη μεταγωγή κυκλώματος αφού τα επικοινωνιακά κανάλια διαμοιράζονται αντί να διατίθεται αποκλειστικά σε έναν χρήστη. Ακόμα με σύνδεση GPRS το τηλέφωνο είναι πάντα ενεργό και μπορεί να μεταφέρει δεδομένα άμεσα και με υψηλότερες ταχύτητες (συνήθως 32-48 kbps).

1.2.4 Σύστημα EDGE

Η τεχνολογία EDGE ήρθε να επέμβει κυρίως στο λογισμικό των σταθμών βάσης προκειμένου να βελτιώσει τον ρυθμό μετάδοσης που φτάνει έως 236 kbit/s καθώς οι καθυστερήσεις είναι μικρότερες από άκρο σε άκρο. Βασίζεται σε μια τεχνική διαμόρφωσης που ονομάζεται Eight Phase Shift Keying (8PSK) και πέτυχε έως και τρεις φορές καλύτερο ρυθμό μετάδοσης (μέχρι και 547,2 Kbps) από το αρχικό GSM όταν δεν χρησιμοποιείται για διόρθωση λαθών και οι οκτώ χρονοθυρίδες να είναι δεσμευμένες από ένα μόνο χρήστη. Ένα επιπλέον όφελος είναι ότι τα δεδομένα μεταφέρονται τόσο γρήγορα όσο διαρκεί το να πραγματοποιηθεί μία τηλεφωνική κλήση. [7]

1.2.5 IS-95B

Το πρότυπο IS-95B, αποτελεί την μετεξέλιξη του IS-95A που προτάθηκε αρχικά το 1995 και παρέχει μεταγωγή πακέτου αλλά και κυκλώματος, μέσω CDMA καναλιών. Ο όρος cdmaOne χρησιμοποιείται για να περιγραφθούν τα κυτταρικά δίκτυα που βασίζονται στα πρότυπα IS-95A και IS-95B. Το πρώτο IS-95B δίκτυο, λειτούργησε το 1999 στην Κορέα. Με την ταυτόχρονη κατάληψη και των 8 διαφορετικών καναλιών, μπορούν να επιτευχθούν ρυθμοί μετάδοσης $8 \times 14,4 = 115,2$ Kbps. Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά της γενιάς αυτής είναι τα ακόλουθα : [8]

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Δικτύων 2.5G

	<i>HSCSD</i>	<i>GPRS</i>	<i>IS-95B</i>	<i>EDGE</i>
<i>Year Introduced</i>	1999	1999	1999	1999
<i>Location</i>	Europe	Europe	N. America	Europe
<i>Modulation</i>	GMSK	GMSK	QPSK	8-PSK
<i>Multiple Access</i>	TDMA	TDMA	CDMA	TDMA
<i>Duplex</i>	FDD	FDD	FDD	FDD
<i>Forward channel (uplink) range</i>	935-960 MHz	935-960 MHz	1930-1990 MHz	935-960 MHz
<i>Reverse channel (downlink) range</i>	890-915 MHz	890-915 MHz	1850-1910 MHz	890-915 MHz
<i>Channel Bandwidth</i>	200 KHz	200 KHz	1250 KHz	200 KHz
<i>Channel Separation</i>	45 MHz	45 MHz	n/a	45 MHz
<i>Number of Channels</i>	124	124	n/a	124

1.3 Δίκτυα Τρίτης Γενιάς (3G)

Ο ερχομός των δικτύων 3ης γενιάς, άνοιξε το δρόμο για την εμφάνιση ακόμα περισσότερων υπηρεσιών, που μέχρι τη στιγμή εκείνη, κανένα από τα προηγούμενα πρότυπα δε μπορούσε να τους προσφέρει. Με ταχύτητες επιπέδου Megabit κάποιος που έχει πρόσβαση σε ένα τέτοιο δίκτυο μπορεί να πλοηγηθεί στο Internet, να επικοινωνήσει χρησιμοποιώντας την υπηρεσία Voice over Internet Protocol (VoIP), να κατεβάσει μουσικά κομμάτια και να χρησιμοποιήσει διάφορες άλλες υπηρεσίες με τη βοήθεια το κινητού του τηλεφώνου.

Τα δίκτυα 3ης γενιάς χρειάζονται σημαντικά περισσότερους ΣΒ για να επιτύχουν κάλυψη αντίστοιχη με αυτή του δικτύου GSM που έχει ήδη αναπτυχθεί στην ίδια περιοχή. Αυτό οφείλεται στο ότι το δίκτυο 3ης γενιάς λειτουργεί σε υψηλότερες συχνότητες από τα δίκτυα GSM (2100 MHz συγκριτικά με τα 900 / 1800 MHz του GSM) και έτσι τα ραδιοκύματα που εκπέμπει καλύπτουν συγκριτικά μικρότερες αποστάσεις στον χώρο και έχουν μικρότερο βάθος διείσδυσης τόσο στα κτίρια, αλλά και στα έμβια όντα. Επίσης η κάλυψη του δικτύου ελαττώνεται καθώς η κίνηση αυξάνει, γεγονός που δυσχεραίνει περαιτέρω τον αναλυτικό σχεδιασμό ενός τέτοιου δικτύου. Ακόμα, οι ΣΒ του δικτύου 3ης γενιάς ελέγχουν διαρκώς την ισχύ εκπομπής του κάθε κινητού τηλεφώνου, ωθώντας το να λειτουργεί στη χαμηλότερη δυνατή ισχύ εκπομπής που απαιτείται για την παροχή συγκεκριμένης υπηρεσίας. Με τον τρόπο αυτό ελέγχεται και ελαχιστοποιείται η παρεμβολή που προκαλούν τα κινητά στο δίκτυο, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η διάρκεια της μπαταρίας του τηλεφώνου (αφού η κατανάλωση είναι σημαντικά χαμηλότερη).

Βασικός στόχος της ανάπτυξης των κινητών δικτύων 3ης γενιάς είναι η παροχή υπηρεσιών σε οποιοδήποτε μέρος, οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι ένας χρήστης των δικτύων αυτών, θα έχει τη δυνατότητα να μετακινείται οπουδήποτε και να εξυπηρετείται, ακόμα και σε γεωγραφικές περιοχές όπου η κάλυψη που παρέχεται, δεν είναι από δίκτυο της 3ης γενιάς.

Οι υπηρεσίες που προσφέρονται επεκτείνονται σε υπηρεσίες Internet και σε υπηρεσίες που συνδυάζουν εικόνα και ήχο (multimedia) με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Θα πρέπει

τέλος να αναφερθεί ότι τα συστήματα 3ης γενιάς που έχουν επικρατήσει μέχρι τώρα είναι τα:

- ✓ το Wideband-CDMA (W-CDMA) ή αλλιώς Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) στην Ευρώπη ως συνέχεια των GSM, IS-136 και PDC,
- ✓ CDMA2000 στην Βόρεια Αμερική ως συνέχεια του CDMA
- ✓ TD-SCDMA στην Κίνα.

1.3.1 UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)

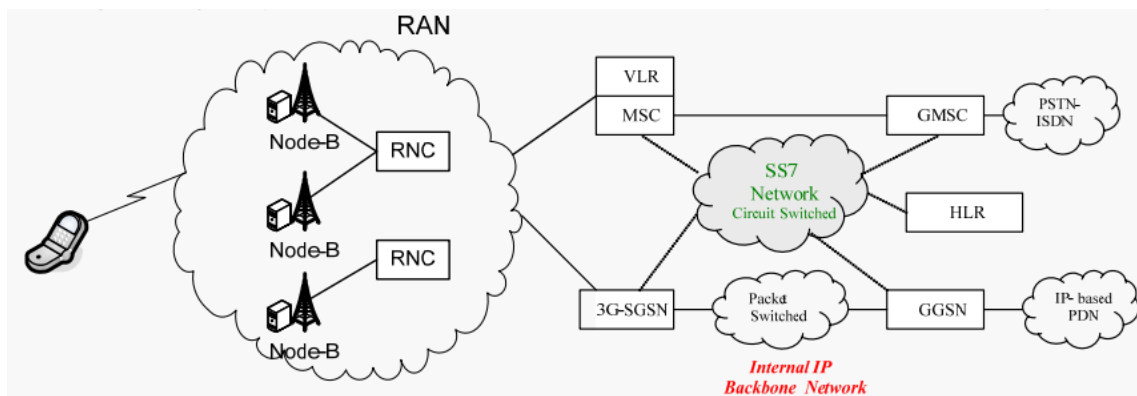
Το 1996 ο ETSI, δημοσίευσε την ιδέα του Universal Mobile Telecommunications Service (UMTS) ως μια αναβάθμιση του συστήματος GSM. Βασιζόταν σε μια διαφοροποιημένη μορφή του CDMA και κατατέθηκε στο IMT 2000 το 1998 ως ένα πρότυπο με όνομα UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA). Μερικά χρόνια αργότερα, συνενώθηκε με παρόμοιες προτάσεις για το CDMA, υπό το όνομα WCDMA. Είναι προς τα πίσω συμβατό με τα 2G συστήματα GSM, IS-136 και PDC καθώς και με τα 2.5G συστήματα GPRS και EDGE. Χρησιμοποιεί την τεχνική spread spectrum και απαιτεί ένα ελάχιστο εύρος ζώνης των 5 MHz. Οι ρυθμοί μετάδοσης μπορεί να φθάσουν και να ξεπεράσουν τα 16Mchip/sec/user. Για την εφαρμογή του βέβαια απαιτούνται αλλαγές τόσο στο υλικό όσο και στο λογισμικό των υπαρχόντων συστημάτων. Η αρχιτεκτονική του UMTS, η οποία είναι η επέκταση του General Packed Radio Service (GPRS), προσφέρει καλύτερο έλεγχο στην ποιότητα της παρεχόμενης υπηρεσίας, τόσο από τη μεριά του UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN), όσο και από τη μεριά του δικτύου κορμού. Η εγγραφή και πιστοποίηση του χρήστη γίνεται μέσω του SGSN, χρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα σχήματα του GSM, ώστε να επαληθεύσει την ταυτότητα ενός χρήστη ενώ και η HLR είναι αναβαθμισμένη για να υποστηρίξει IP υπηρεσίες. Εν γένει, η λύση της 3GPP μπορεί να χαρακτηριστεί περισσότερο σαν IP-over-GPRS, με την προσθήκη αναβαθμισμένου συστήματος ραδιοεπαφής (του UTRAN) ώστε να προσφέρει μεγαλύτερες ταχύτητες. Η αρχιτεκτονική του UMTS φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα. [8]

Το μοντέλο 3GPP δικτύου τρίτης γενιάς αποτελείται από τρία κύρια μέρη:

- ✓ από την πλευρά του χρήστη βρίσκεται το τερματικό του, το οποίο καλείται εξοπλισμός χρήστη (user equipment, UE). Το τερματικό διαθέτει ασύρματη πρόσβαση στο ράδιο-δίκτυο (Radio Access Network, RAN) του παρόχου υπηρεσιών. Το ράδιο-δίκτυο (RAN) συνδέεται με το δίκτυο κορμού του παρόχου υπηρεσιών. Το δίκτυο κορμού είναι υπεύθυνο για τη δρομολόγηση των τηλεφωνημάτων καθώς και για τις συνδέσεις για μεταφορά δεδομένων με εξωτερικά δίκτυα. Επιπλέον το τερματικό αποτελείται από δύο διακριτά μέρη: το φορητό εξοπλισμό δηλαδή την κυρίως συσκευή και τη UICC. Αντίθετα το UTRAN είναι υπεύθυνο για οτιδήποτε σχετίζεται με το ασύρματο μέρος του δικτύου.
- ✓ Δίκτυο κορμού (Core Network) του παρόχου για την έκδοση UMTS 99 αποτελείται με τη σειρά του από δύο υποσυστήματα : το υποσύστημα μεταγωγής κυκλωμάτων (circuit switched, CS) και το δίκτυο μεταγωγής πακέτων (packet switched, PS). Το πρώτο από αυτά αποτελεί εξέλιξη του CS GSM δικτύου με το MSC (Mobile

Switching Center) να είναι το βασικότερο στοιχείο του. Σημειώστε ότι από την έκδοση UMTS 5 και μετά, το CS υποσύστημα έχει καταργηθεί. Από την άλλη πλευρά, το PS υποσύστημα αποτελεί εξέλιξη του GSM GPRS και τα σημαντικότερα στοιχεία του είναι το SGSN και το GPRS Support Node (GGSN).

Πλέον των βασικών οντοτήτων που υπάρχουν σε ένα 3GPP δίκτυο, η αρχιτεκτονική ορίζει διάφορες διεπαφές μεταξύ αυτών αλλά και πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία τους. Σημειώνεται επίσης ότι το νέο δίκτυο πρόσβασης του UMTS καλείται UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) και βασίζεται στην τεχνολογία W-CDMA. Το UTRAN αποτελείται από τον ελεγκτή ασύρματης πρόσβασης (Radio Network Controller, RNC) και το node B το οποίο αποτελεί τη βάση που προσφέρει κάλυψη στο αντίστοιχο κελί. Το node B συνδέεται με τον εξοπλισμό του χρήστη (user equipment, UE) μέσω της διεπαφής Uu (βασισμένο στην τεχνολογία W-CDMA) και με το RNC μέσω της διεπαφής Iub. Επιπλέον, υπάρχει και ένας άλλος κόμβος σχετιζόμενος με τις υπηρεσίες εκπομπής (broadcast)/πολυδιανομής (multicast) (BM-SC-broadcast/multicast service center) ο οποίος λειτουργεί σαν το σημείο εισόδου για την παραλαβή των δεδομένων για εσωτερικές πηγές. Περισσότερες από μία κεραίες (node Bs) μπορεί να ελέγχονται από έναν Radio Network Controller (RNC), ενώ η διεπαφή μεταξύ του τελευταίου και του κεντρικού δικτύου του παρόχου αναφέρεται ως Iu.



Εικόνα 5: Απεικόνιση δικτύου UMTS

Γενικά ένα CN μπορεί να λειτουργεί ως οικείο δίκτυο (Home Network, CN) για έναν συνδρομητή με την έννοια ότι ο συνδρομητής έχει κάνει σε αυτό την εγγραφή του ή ως δίκτυο εξυπηρέτησης (Serving Network, SN). Το τελευταίο έχει συνάψει συμφωνία (roaming agreement) με το οικείο δίκτυο του συνδρομητή με σκοπό να τον εξυπηρετεί όταν κινείται (roaming) στην περιοχή που καλύπτει, υπό την προϋπόθεση ότι στην ίδια περιοχή δεν παρέχει επαρκή ή συνήθως καθόλου κάλυψη το οικείο δίκτυο του συνδρομητή. Μέχρι την έκδοση UMTS 99 το σημαντικότερο στοιχείο του CN υποσυστήματος είναι το MSC το οποίο συνήθως ενσωματώνει ένα Visitor Location Register (VLR). Το VLR περιέχει μια βάση δεδομένων των χρηστών που κινούνται στην περιοχή που ελέγχεται από το τοπικό MSC. Τέλος, το στοιχείο GMSC (Gateway-MSC) αποτελεί πύλη εξόδου προς το PSTN δίκτυο. Από την άλλη μεριά, στο PS υποσύστημα, το ρόλο των MSC/VLR υποδύεται το στοιχείο SGSN ενώ αντίστοιχα το GGSN παρέχει

πύλη εξόδου προς IP υπηρεσίες (πχ άλλους παρόχους, το διαδίκτυο κλπ). Το SGSN συνδέεται με το GGSN μέσω της διεπαφής Gn και με το UTRAN μέσω της διεπαφής Iu. Το στοιχείο HLR (Home Location Register, UMTS έκδοση 5) ή HSS (Home Subscriber Server, UMTS έκδοση 6 και μετά) αποθηκεύει στατικές πληροφορίες για όλους τους συνδρομητές που χρησιμοποιούν τις υπηρεσίες του συγκεκριμένου παρόχου (πχ έχουν συνάψει με αυτόν συμβόλαιο και είναι γι αυτούς το οικείο δίκτυο). Εκτός των πληροφοριών αυτών δημιουργεί και άλλες, οι οποίες χρησιμοποιούνται για διάφορες υπηρεσίες όπως για παράδειγμα στην αυθεντικοποίηση χρηστών και κατ' επέκταση κατά τον έλεγχο πρόσβασης στο δίκτυο.

Για τους παραπάνω λόγους το HLR/HSS είναι ίσως το σημαντικότερο στοιχείο του δικτύου αναφορικά με την ασφάλεια της 3GPP αρχιτεκτονικής. Στα 3GPP δίκτυα του AuC του δικτύου GSM έχουν ολοκληρωθεί με το αντίστοιχο HLR/HSS της 3G αρχιτεκτονικής. Βεβαίως και άλλα βασικά στοιχεία του δικτύου 3GPP είναι δυνατόν να εντοπιστούν, όπως το Short Message Service Center (SMSC), που αποθηκεύει και προωθεί σύντομα μηνύματα (SMS), Wireless Application Protocol (WAP) και Session Initiation Protocol εξυπηρετητές (SIP-Servers), οι οποίοι χρησιμοποιούνται από αντίστοιχες εφαρμογές, κλπ. [9]

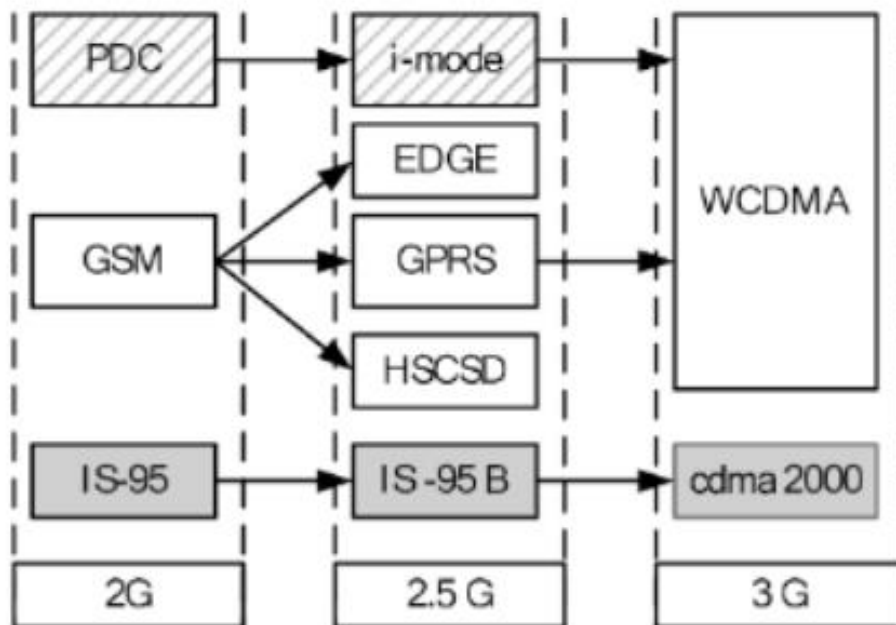
1.3.2 CDMA2000

Το cdma2000 είναι προς τα πίσω συμβατό με τα συστήματα IS-95 / IS-95A / IS- 95B. Έχει θεωρηθεί ως μια πιθανή λύση στην κατεύθυνση του 3G και βασίζεται στην χρήση εύρους 1.25MHz καναλιού ανά χρήστη. [8]

1.3.3 TD-SCDMA

Η China Academy of Communications Technology (CATT), μαζί με το Siemens Information and Communication Mobile Group (IC Mobile), υλοποίησαν το Time Division Synchronous Code Division Multiple Access (TD-SCDMA) πρωτόκολλο ως μια εναλλακτική 3G τεχνολογία. Χρησιμοποιεί τις TDMA/TDD και CDMA τεχνικές για μεταφορά δεδομένων υψηλού ρυθμού πάνω από GSM δίκτυα έως 384Kbps. Διαθέτει ραδιοκανάλι των 1.6MHz και 5msec frame που διαιρείται σε 7 χρονοθυρίδες. Το 2003 παρουσιάστηκε η πρώτη συσκευή που το χρησιμοποιεί, ενώ το σύστημα θα είναι έτοιμο για εμπορική λειτουργία το 2005. Δύο βασικοί οργανισμοί που πλέον είναι υπεύθυνοι για την εξέλιξη των προτύπων 3G:

- ✓ Το 3G Project Partnership (3GPP) που επεξεργάζεται το WCDMA πρότυπο
 - ✓ Το 3G Project Partnership 2 (3GPP2) που επεξεργάζεται το cdma2000 πρότυπο.
- [8]



Εικόνα 6: Μετάβαση από τη 2G στη 3G Κινητών Επικοινωνιών

Ο εξοπλισμός για πρόσβαση σε δίκτυα 3G δεν είναι συμβατός με αυτός που απαιτείται για πρόσβαση σε δίκτυα GSM. Ειδικότερα, απαιτείται ένα νέο τμήμα (utran) στο ασύρματο interface για να διατηρεί τις συνδέσεις 3G (δηλαδή τις συνδέσεις WCDMA). Ακόμα περιλαμβάνει 2 νέα στοιχεία : 1) ένα σταθμό βάσης που πραγματοποιεί γρήγορο έλεγχο ισχύος και υλοποιεί τα φυσικά κανάλια WCDMA, 2)Radio Network Controller(RNC) το στοιχείο του UTRAN που κάνει switching και controlling και πραγματοποιεί διαχείριση ασύρματων πόρων (Radio Resource Management-RRM).

Η 3^η γενιά ασύρματων κινητών επικοινωνιών, αν και χαρακτηρίζεται από πολλές βελτιώσεις σε ζητήματα ασφάλειας που εντοπίζονται στη 2^η γενιά, εξακολουθεί να παρουσιάζει αρκετά κενά ή αδύναμα σημεία. Σημαντικές βελτιώσεις για παράδειγμα, αποτελούν η αμοιβαία αυθεντικοποίηση χρηστών –δικτύου και η πρόβλεψη μηχανισμών ενδο-δικτυακής και δια-δικτυακής ασφάλειας. Παράλληλα, η διαδικασία ορισμού τεχνικών προδιαγραφών για αρκετά θέματα, όπως αυτό της συνεργασίας 3GPP δικτύων και άλλου τύπου ασύρματων τοπικών δικτύων (Wireless LAN, WLAN, WMAN) βρίσκεται σε διαδικασία εξέλιξης. Βασικός στόχος των σχεδιαστών του νέου συστήματος ήταν να διατηρήσουν τη μέγιστη δυνατή συμβατότητα με τα συστήματα 2^{ης} γενιάς. Η επιλογή αυτή, καθώς και οι περιορισμοί σε υπολογιστικό φόρτο και κόστος, οδήγησαν εκ νέου τη 3GPP να απομακρυνθεί από λύσεις και υπηρεσίες υποδομής δημόσιου κλειδιού (Public Key Infrastructure, PKI). Η αντίστοιχη της SIM κάρτας του GSM στο σύστημα UMTS, ονομάζεται Universal Subscriber Identity Module (USIM). Παρ' όλα αυτά, στο UMTS η USIM είναι καλύτερο να εννοείται ως εφαρμογή(application) και όχι ως hardware. Για την ίδια κάρτα, χρησιμοποιείται ο όρος Universal Integrated Circuit Chip (UICC). Είναι ενδεικτικό, ότι μία UICC μπορεί να περιέχει πολλές USIM εφαρμογές. Για παράδειγμα, μπορεί να επιτρέπει στο χρήστη της να χρησιμοποιεί εναλλακτικά τα συστήματα UMTS και CDMA2000 ενώ ταξιδεύει, να υποστηρίζει διαδικασίες αυθεντικοποίησης σε WLAN

δίκτυα, να περιέχει πρόσβαση στα δημόσια και ιδιωτικά κλειδιά του συνδρομητή, να δημιουργεί ψηφιακές υπογραφές, κ.ά.

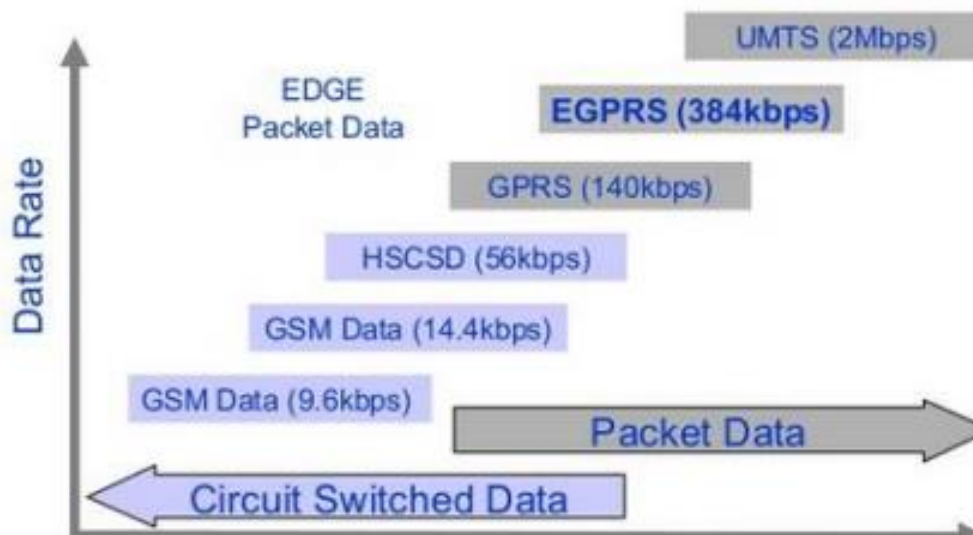
Μετά το 2001 άρχισε η ανάπτυξη δικτύων κινητής τηλεφωνίας 3ης γενιάς (UMTS – 3G), που παρέχουν νέες και βελτιωμένες υπηρεσίες με ταχύτατη πρόσβαση, στις οποίες συγκαταλέγονται η βιντεοκλήση (videocall), η πρόσβαση σε υπηρεσίες δεδομένων (384 kbps σήμερα και μέχρι 14 Mbps με χρήση του ειδικού χαρακτηριστικού HSDPA), εφαρμογές αποθήκευσης βίντεο (video streaming), κ.λ.π. Τα δίκτυα αυτά προσφέρουν νέες δυνατότητες στους χρήστες κινητών τηλεφώνων. Τα δίκτυα 3ης γενιάς διαφέρουν σημαντικά στη φιλοσοφία ανάπτυξης τους συγκριτικά με τα δίκτυα 2ης γενιάς (GSM). Τα δίκτυα 3ης γενιάς βασίζονται σε τεχνολογία Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) και ο περιοριστικός παράγοντας παροχής υπηρεσίας στα δίκτυα αυτά είναι η στάθμη της παρεμβολής στο δίκτυο, που προέρχεται τόσο από τους χρήστες (κινητά τηλέφωνα) όσο και από τους ΣΒ που βρίσκονται στην κάθε περιοχή. Στα δίκτυα 3ης γενιάς οι γειτονικές κυψέλες χρησιμοποιούν την ίδια φέρουσα συχνότητα (carrier), με παράγοντα επαναχρησιμοποίησης ένα και η διαφοροποίηση τους πραγματοποιείται με τη χρήση διαφορετικών κωδικών ανά κυψέλη, οι οποίοι ονομάζονται κώδικες scrambling (Scrambling Codes). Από την πλευρά των χρηστών στα δίκτυα UMTS ο κάθε χρήστης χρησιμοποιεί τον δικό του κωδικό και έτσι το δίκτυο τον διακρίνει από τους γειτονικούς χρήστες. Η ισχύς εκπομπής του κάθε σταθμού βάσης είναι σημαντικά χαμηλότερη από του αντίστοιχου GSM και είναι της τάξης του 1 Watt για το κανάλι πιλότο (Pilot Channel) το οποίο εκπέμπει συνεχώς, ενώ η μέση ισχύ ενός ΣΒ 3G βρίσκεται στα 3 Watts. Το δε κινητό τηλέφωνο 3ης γενιάς έχει μέγιστη ισχύ εκπομπής 125 mW, το οποίο σημαίνει ότι εκπέμπει (λειτουργώντας με τη μέγιστη ισχύ του) οκτώ φορές λιγότερη ακτινοβολία από το αντίστοιχο κινητό τηλέφωνο των 1800 MHz και 16 φορές λιγότερη ακτινοβολία από το αντίστοιχο κινητό τηλέφωνο των 900 MHz. [3]

1.4 Δίκτυα 3.5ης γενιάς

Η γενιά 3.5, περιλαμβάνει τα δίκτυα εκείνα όπου, εκτός από την τεχνολογία WCDMA, έχουν ενσωματώσει και την τεχνολογία High Speed Downlink Packet Access (HSDPA). Το πρότυπο αυτό, αφορά την μετάδοση πακέτων από το σταθμό βάσης προς το χρήστη (downlink) με ρυθμό 5 φορές μεγαλύτερο του UMTS και 15 φορές μεγαλύτερο του GPRS. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι από τα 2 Mbps που μπορεί να προσφέρει το UMTS ο ρυθμός μπορεί να φτάσει θεωρητικά μέχρι και τα 14.4 Mbps. Το HSDPA θεωρείται ως μια εξέλιξη του UMTS προτύπου, παρέχοντας στους χρήστες υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων και μεγαλύτερη χωρητικότητα, με ένα τρόπο ανάλογο με αυτό που προσφέρει το EDGE πρότυπο συγκρινόμενο με το GSM. Παρόλο που κάποια τμήματα του προτύπου αυτού θεωρούνται απλά στην υλοποίηση τους με το υπάρχον υλικό (hardware), το HSDPA σαν γενικότερη έννοια απαιτεί επανασχεδιασμό στην αρχιτεκτονική του δικτύου και αναβάθμιση στο υλικό, όπως για παράδειγμα στους σταθμούς βάσης, οι οποίοι θα πρέπει να είναι ικανοί όχι μόνο να λειτουργούν αποδοτικά σε υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, αλλά και να υποστηρίζουν τη λειτουργία περισσότερο πολύπλοκων πρωτοκόλλων.

Η λειτουργία του HSDPA στηρίζεται στο γεγονός ότι αντί να χρησιμοποιούνται ξεχωριστά Dedicated Channel (DCH) κανάλια για την αποστολή δεδομένων, θα χρησιμοποιείται ένα Downlink Shared Channel (DSCH) κανάλι το οποίο θα μοιράζονται μεταξύ τους οι χρήστες για την μεταφορά των πακέτων. Το κανάλι αυτό έχει πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης (bandwidth) και για το λόγο αυτό καλείται high-speed DSCH (HS-DSCH).

Η τρίτη γενιά δικτύων, παρά τις προβλέψεις, αποδείχτηκε αρκετά απογοητευτική. Αντί της ύπαρξης ενός παγκόσμιου προτύπου, μόνο στην Αμερική αναπτύχθηκαν τρία ασύμβατα συστήματα. Η φωνή μεταφέρεται με κυκλώματα μεταγωγής – χαρακτηριστικό που κληρονομήθηκε από τα δίκτυα 2ης γενιάς – και όχι με το υποσχόμενο IP, ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων δεν είναι αυτοί που είχαν προβλεφθεί. Αυτό οφείλεται κυρίως στην τεχνολογική ανωριμότητα των 3G δικτύων. Στην πραγματικότητα, τα τρέχοντα δίκτυα 3ης γενιάς δεν προσφέρουν την αληθινή 3G εμπειρία στους χρήστες αλλά αποτελούν μία αρχική-δοκιμαστική εκδοχή, με την αληθινή εκδοχή να αναμένεται στο μέλλον. Ωστόσο, ποτέ δεν θα φανούν αντάξια των υποσχέσεων των κατασκευαστών τους. [8]

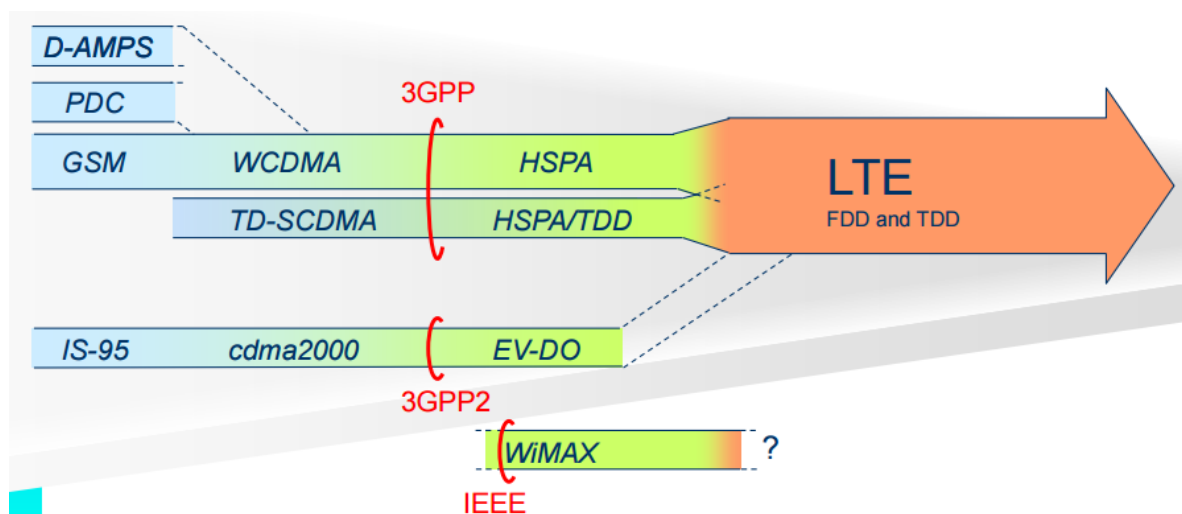


Εικόνα 7: Εξέλιξη Προτύπων από την 2G στη 3G

2. ΔΙΚΤΥΑ ΤΕΤΑΡΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (4G)

2.1 Long Term Evolution

Το LTE είναι η βασική τεχνολογία για κινητές ευρυζωνικές επικοινωνίες. Αποτελεί το τελευταίο βήμα στη μετάβαση από τις κυψελωτές 3G υπηρεσίες στις κυψελωτές 4G. Το LTE αναφέρεται πιο επίσημα κι ως Evolved UMTS Terrestrial Radio Access (E-UTRA) και Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN). Η τεχνολογία αυτή ενεργοποιεί την ανάπτυξη νέων και πιο απαιτητικών εφαρμογών που θα εκμεταλλεύονται το πολλαπλάσιο εύρος ζώνης του συστήματος. Όπως φαίνεται και παρακάτω αποτελεί σύγκλιση των 3GPP και 3GPP2 καθώς και των FDD και TDD σε μία κοινή τεχνολογική πορεία.



Εικόνα 8: Μετάβαση προς το LTE

Το LTE FDD με τη χρήση συνδυασμένου φάσματος αναμένεται να είναι το μονοπάτι για τη μετάβαση από τις τρέχουσες 3G υπηρεσίες που χρησιμοποιούνται στις περισσότερες χώρες, μίας και οι πιο πολλές χειρίζονται FDD συνδυασμένου φάσματος. Επίσης έχει δοθεί έμφαση στη χρήση LTE TDD μη συνδυασμένου φάσματος, το οποίο θεωρείται ως το μονοπάτι για την αναβάθμιση από το TD-SCDMA. Εν όψει της αυξανόμενης σημασίας που τίθεται μεταξύ LTE TDD ή TD-LTE, τα νέα κινητά τηλέφωνα έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίζουν τόσο FDD όσο και TDD αμφιδρόμηση. Εκτός όμως από τους τεχνικούς λόγους και τα πλεονεκτήματα για τη χρήση του LTE TDD/TD-LTE, υπάρχουν και εμπορικοί λόγοι. Με το TD-SCDMA να έχει διεισδύσει για τα καλά στη Κίνα χρειάζεται να υπάρχει ένας 3,9G και αργότερα ένας 4G διάδοχος για τη τεχνολογία. Το LTE υποστηρίζει κλιμακούμενο εύρος ζώνης 1,4MHz έως 20 MHz. [10]

Τα κίνητρα για την δημιουργία του δικτύου LTE ήταν τα ακόλουθα:

- ✓ Η ανάγκη για μετάδοση μεγαλύτερου όγκου δεδομένων και με μεγαλύτερη αποδοτικότητα, μπορεί να επιτευχθεί μέσω HSDPA/HSUPA ή/και μέσω νέων διεπαφών που ορίζεται από 3GPP LTE

- ✓ Η ανάγκη μεταγωγής πακέτων σε βελτιστοποιημένο σύστημα
- ✓ Η ανάγκη για υψηλής ποιότητας υπηρεσίες
- ✓ Η ανάγκη για φτηνή υποδομή δηλαδή απλή αρχιτεκτονική με λιγότερα στοιχεία δικτύου

Τα πλεονεκτήματα του LTE δικτύου είναι σημαντικά. Ειδικότερα, το throughput του δικτύου είναι υψηλό με χαμηλή αδράνεια αυτού. Ακόμα το λειτουργικό κόστος είναι χαμηλό και το δίκτυο στηρίζεται στην IP. Το δίκτυο αυτό αποτελεί απλοποιημένη εξέλιξη του 3G με γρηγορότερη κίνηση δεδομένων στο download αλλά και στο upload. Σημαντική είναι και η απόκριση στις εφαρμογές αλλά και γενικότερα στην εμπειρία του τελικού χρήστη.

Το δίκτυο αυτό αποτελεί μία γενιά ανάμεσα στη τρίτη και την τέταρτη και τα χαρακτηριστικά του σε σχέση με προηγούμενες και επόμενες γενιές φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα :

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά κάθε τεχνολογίας

	WCDMA (UMTS)	HSPA HSDPA / HSUPA	HSPA+	LTE	LTE ADVANCED (IMT ADVANCED)
Max downlink speed (bps)	384k	14 M	28 M	100 M	1 G
Max uplink speed (bps)	128 k	5.7 M	11 M	50 M	500 M
Latency round trip time (approx.)	150 ms	100 ms	50 ms (max)	~10 ms	Less than 5 ms
3GPP releases	Rel 99/4	Rel 5/6	Rel 7	Rel 8/9	Rel 10
Approx years of initial roll out	2003/4	2005/6 HSDPA 2007/8 HSUPA	2008/9	2009/10	
Access methodology	CDMA	CDMA	CDMA	OFDMA/SC- FDMA	OFDMA/SC- FDMA

Οι βασικές απαιτήσεις της απόδοσης του LTE ολοκληρώθηκαν το 2005 και μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

1. Ρυθμός δεδομένων : Αυξημένος ρυθμός δεδομένων και cell-edge για την ομοιομορφία της παροχής υπηρεσιών. Ο στιγμιαίος peak downlink ρυθμός δεδομένων των 100Mbit/s σε ένα εύρος downlink 20MHz (πχ 5bit/s/Hz). Στην αντίστοιχη περίπτωση του uplink είναι 50Mbit/s σε ένα εύρος 20MHz (πχ 2.5bit/s/Hz).

2. Περιοχή κυψέλης : Το βέλτιστο μέγεθος είναι 5χλμ και τα 30χλμ ώστε να επιτυγχάνεται εύλογη απόδοση του δικτύου. Επιπλέον για κυψέλη μέχρι 100χλμ υποστηρίζεται αποδεκτή απόδοση.
3. Χωρητικότητα κυψέλης : Μέχρι 200 ενεργοί χρήστες ανά κυψέλη (5MHz) (πχ 200 ενεργοί πελάτες που χρησιμοποιούν δεδομένα)
4. Κινητικότητα : Βελτιστοποίηση για χαμηλή κινητικότητα (0-15χλμ/ώρα) αλλά υποστηρίζεται υψηλή ταχύτητα
5. Αδράνεια : Σε επίπεδο χρήστη είναι λιγότερο από 5ms ενώ σε επίπεδο ελέγχου 50ms
6. Μείωση των καθυστερήσεων κατά τη μετάδοση και λιγότερος χρόνος εγκατάστασης σύνδεσης.
7. Μειωμένο κόστος ανά bit, παρέχοντας βελτιωμένη φασματική απόδοση.
8. Βελτιωμένη απόδοση φάσματος : Μεγαλύτερη ευελιξία στη χρήση του ραδιοφάσματος και βελτιωμένο broadcasting.
9. Απλούστερη αρχιτεκτονική δικτύου.
10. Απρόσκοπτη κινητικότητα, συμπεριλαμβανομένης της πρόσβασης μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών.
11. Εύλογη κατανάλωση ισχύος στα κινητά τερματικά.
12. Επεκτάσιμο εύρος των 20, 15, 10, 5, 3 και 1.4MHz.

Πίνακας 3: Βασικές παράμετροι του LTE

Frequency Range	UMTS FDD bands and UMTS TDD bands					
Channel bandwidth 1 Resource Block (RB) =180 kHz	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
	6 RB	15 RB	25 RB	50 RB	75 RB	100 RB
Modulation Schemes	Downlink	QPSK, 16QAM, 64QAM				
	Uplink	QPSK, 16QAM, 64QAM (⇔ optional for handset)				
Multiple Access	Downlink	OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)				
	Uplink	SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access)				
MIMO technology	Downlink	Wide choice of MIMO configuration options for transmit diversity, spatial multiplexing, and cyclic delay diversity (max. 4 antennas at base station and handset)				
	Uplink	Multi-user collaborative MIMO				
Peak Data Rate	Downlink	150 Mbps (UE category 4, 2x2 MIMO, 20 MHz) 300 Mbps (UE category 5, 4x4 MIMO, 20 MHz)				
	Uplink	75 Mbps (20 MHz)				

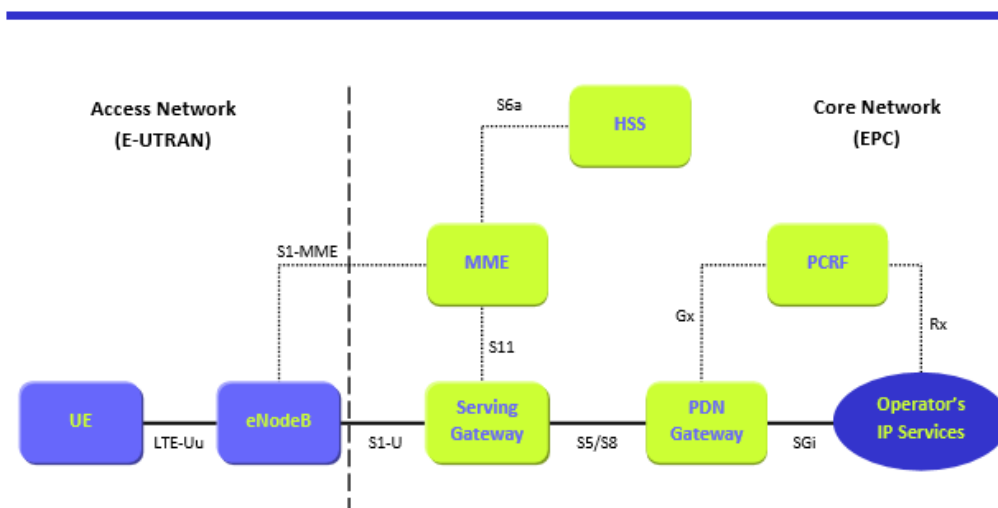
Εκτός από τις παραπάνω απαιτήσεις, το LTE έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίξει υπηρεσίες κινητικότητας για τερματικά που κινούνται με ταχύτητες μέχρι 350 km / h δηλαδή όταν βρίσκονται σε τρένα υψηλής ταχύτητας. Ακόμα handover μεταξύ κυψελών πρέπει να είναι δυνατή χωρίς διακοπές, δηλ. με ανεπαίσθητη καθυστέρηση και απώλεια

πακέτων για τις φωνητικές κλήσεις. Εκτός από τις απαιτήσεις απόδοσης του συστήματος, υπάρχουν απαιτήσεις αρχιτεκτονικές και λειτουργικές που πρέπει να ικανοποιούνται από το LTE. Ορισμένες από αυτές τις απαιτήσεις είναι οι εξής:

1. Λειτουργία σε ευρύ φάσμα συχνοτήτων και κατανομής. Σε αυτή την περίπτωση, το LTE υποστηρίζει τα FDD και TDD. Τα σημερινά συστήματα κινητών τηλεπικοινωνιών βασίζονται σε FDD και σε αυτό στηριχτηκε η ανάπτυξη του LTE. Το TDD έχει αναπτυχτεί τα τελευταία χρόνια σε ευρυζωνικές εφαρμογές σταθερής ασύρματης πρόσβασης.
2. Inter-working με άλλες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης, ιδίως με τις προηγούμενες τεχνολογίες 3GPP (GSM, UMTS), αλλά και μη όπως WiFi (IEEE 802.11).
3. Επίπεδη αρχιτεκτονική που αποτελείται από έναν τύπο κόμβου: eNodeB (που αντιπροσωπεύουν το σταθμό βάσης).
4. Διασυνδέσεις και υποστήριξη για τη διαλειτουργικότητα του εξοπλισμού multi-vendor.
5. Αποτελεσματικοί μηχανισμοί για τη λειτουργία και τη συντήρηση συμπεριλαμβανομένων των λειτουργιών αυτο-βελτιστοποίησης.
6. Υποστήριξη για εύκολη εγκατάσταση και παραμετροποίηση (για παράδειγμα, Femto σταθμούς βάσης).

2.1.1 Αρχιτεκτονική δικτύου

Το Evolved Packet System (EPS), το οποίο περιλαμβάνει LTE και SAE (System Architecture Evolution), στοχεύει στην παροχή απρόσκοπτης συνδεσιμότητα IP για ένα χρήστη με το δίκτυο μεταφοράς πακέτων δεδομένων (PDN) για πρόσβαση στο Internet και τη λειτουργία των υπηρεσιών VoIP. Το επόμενο σχήμα δείχνει τα στοιχεία δικτύου που περιλαμβάνουν τα EPS.



Εικόνα 9: EPS Network Elements

Κεντρικό Δίκτυο

Ο πυρήνας του δικτύου (ονομάζεται EPC) περιλαμβάνει τα ακόλουθα λογικά στοιχεία:

1. Πύλη εξυπηρέτησης (serving gateway S-GW): διατηρεί πληροφορίες σχετικά με τους φορείς, όταν το UE βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής και εκτελεί ορισμένα διοικητικά καθήκοντα στο δίκτυο επίσκεψης, όπως η συλλογή πληροφοριών χρέωσης (π.χ. όγκος των απεσταλμένων και ληφθέντων δεδομένων του χρήστη).
2. PDN πύλη (P-GW): υπεύθυνη για την κατανομή των διευθύνσεων IP στον UE, την επιβολή του QoS και την ροή χρέωσης σύμφωνα με τους κανόνες PCRF. Η P-GW φιλτράρει τα πακέτα IP του χρήστη στο downlink σε διαφορετικούς φορείς, ανάλογα με την ταξινόμηση QoS.
3. Mobility Management Entity (MME): πρόκειται για ένα κόμβο ελέγχου στις διαδικασίες σηματοδότησης μεταξύ του UE και του κεντρικού δικτύου. Τα πρωτόκολλα μεταξύ του UE και του δικτύου πυρήνα είναι γνωστά ως Non-Access Stratum (NAS) πρωτόκολλα. Το MME διαχειρίζεται την εγκατάσταση, τη συντήρηση και την απελευθέρωση των φορέων. Επίσης, διαχειρίζεται τη δημιουργία της σύνδεσης και της ασφάλειας μεταξύ του UE και του δικτύου.
4. Policy Control Enforcement Function (PCRF): υπεύθυνο για τον έλεγχο της πολιτικής λήψης αποφάσεων. Το PCRF παρέχει QoS.
5. Home Subscriber διακομιστή (HSS): Το HSS περιέχει το προφίλ του συνδρομητή, όπως το προφίλ QoS, τον περιορισμό της πρόσβασης και τις δυνατότητες περιαγωγής. Το HSS μπορεί να περιλαμβάνει ένα Authentication Center (AUC) που παράγει φορείς πιστοποίησης και κλειδιά ασφαλείας.

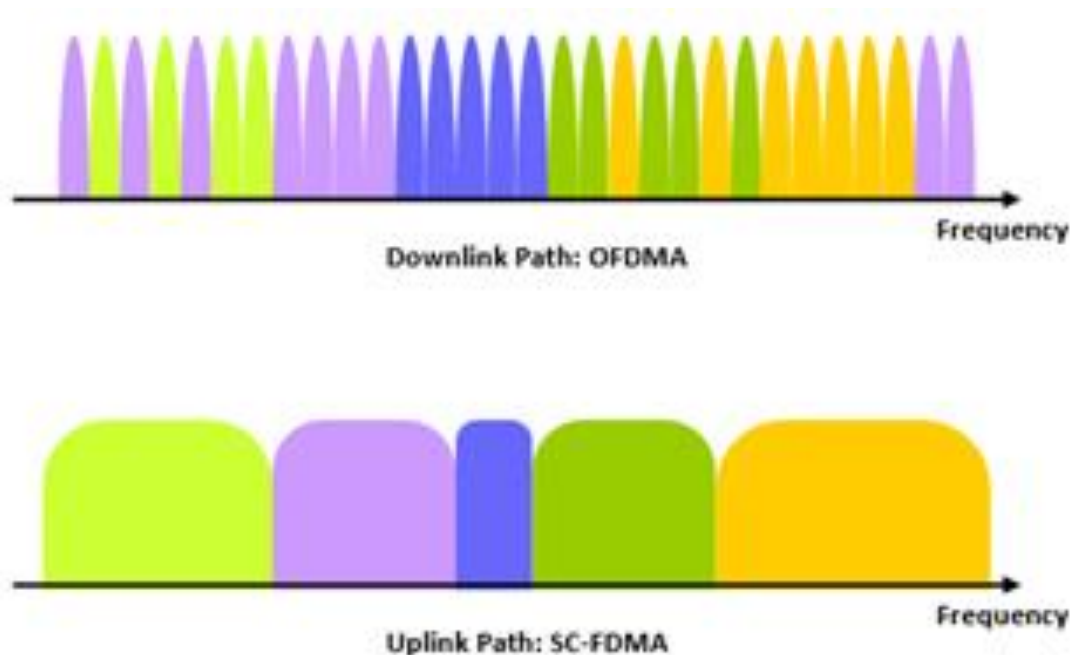
Access Network

Το Δίκτυο Πρόσβασης περιλαμβάνει τα eNodeBs που διασυνδέονται μέσω μίας διεπαφής που ονομάζεται X2 και στο EPC μέσω της διεπαφής S1 (S1-MME στο MME και S1-U με το S-GW). Τα πρωτόκολλα μεταξύ του eNodeB και την UE είναι γνωστά ως Access Stratum (AS) πρωτόκολλα. Η διεπαφή X2 χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του περιεχομένου UE μεταξύ eNodeBs για την υποστήριξη της λειτουργίας της κινητικότητας.

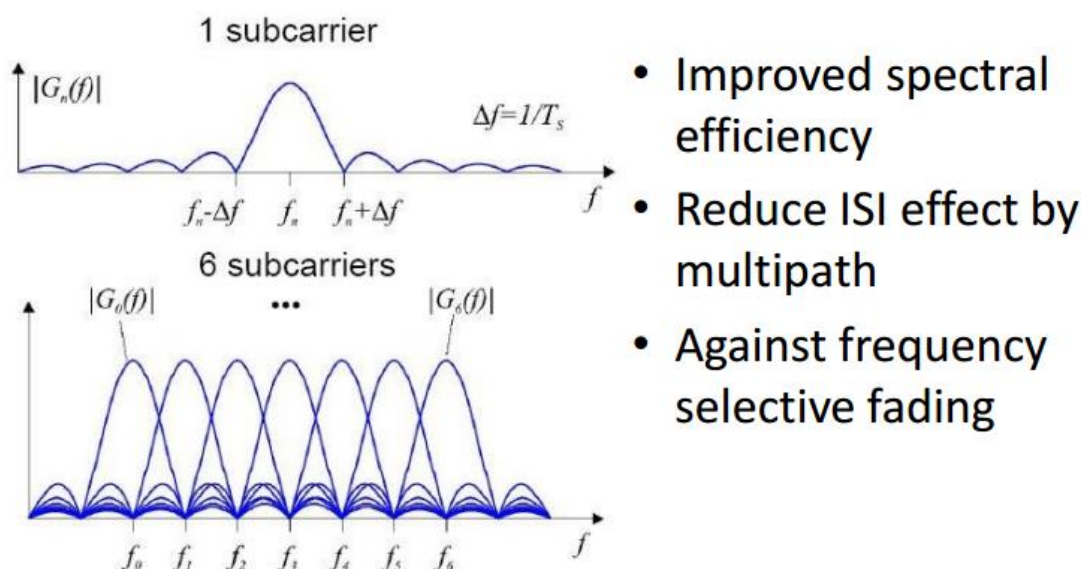
Το eNodeB είναι υπεύθυνο για τις radio-related λειτουργίες όπως η διαχείριση των πόρων Radio (Radio Resources Management RRM), η οποία περιλαμβάνει τον έλεγχο αποδοχής, τον έλεγχο κινητικότητας, το προγραμματισμό και τη δυναμική κατανομή των πόρων προς το UE τόσο για uplink όσο και για downlink, την ασφάλεια με κρυπτογραφημένα δεδομένα χρήστη και άλλες λειτουργίες που διασφαλίζουν την αποτελεσματική χρήση της ασύρματης διεπαφής, όπως η συμπίεση πακέτων IP. Με τις λειτουργίες ελέγχου στο eNodeB, το LTE αυξάνει την απόδοση και μειώνει την περίπτωση λάθους. Τέλος, αυξάνει την ελαστικότητα του δικτύου εξαλείφοντας την ανάγκη για έναν κεντρικό ελεγκτή όπως στις τεχνολογίες 3GPP.

2.1.2 Τεχνικές μετάδοσης

Η τεχνική μετάδοσης LTE για downlink δεδομένων ονομάζεται OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) και για uplink SC-FDMA (Single Carrier FDMA).



Εικόνα 10: LTE Access Technologies



Εικόνα 11: LTE-Downlink (OFDM)

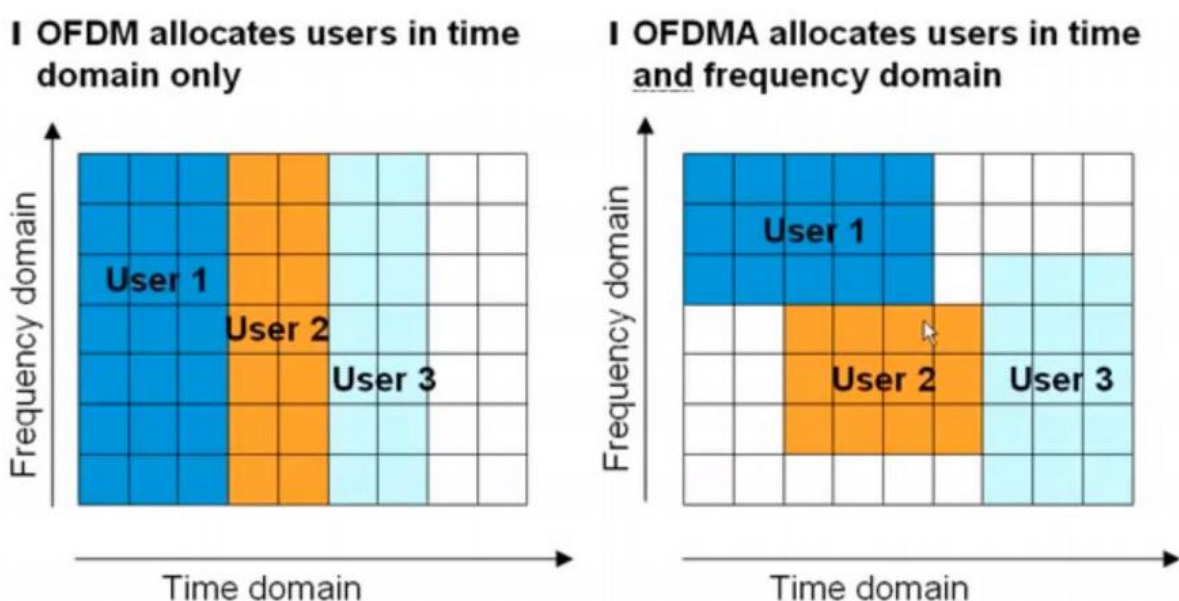
Το OFDM είναι μια σύνθετη τεχνική διαμόρφωσης για μετάδοση, βασισμένη στην ιδέα του FDM όπου στο κάθε κανάλι εκτελείται μια ειδική διαμόρφωση. Με την OFDM διαμόρφωση, οι συχνότητες και η διαμόρφωση αυτών, γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε τα κανάλια να είναι ορθογώνια μεταξύ τους. Με τον τρόπο αυτό αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της συγκαναλικής παρεμβολής (co-channel interference). Επιπλέον τα προς μετάδοση δεδομένα διαμοιράζονται σε όλα τα υποφέροντα. Ακόμα με τη χρήση τεχνικών διόρθωσης λαθών, αν κάποια από τα υποφέροντα χαθούν λόγω φαινομένων διαλείψεων πολλαπλών διαδρομών, τότε τα δεδομένα μπορούν να ανακατασκευαστούν.

Η ψηφιακή διαμόρφωση επιλέγεται βάσει της ποιότητας του ασύρματου μέσου διάδοσης. Μόνο όταν επιτευχθεί υψηλός σηματοθορυβικός λόγος (SNR-signal to noise ratio), είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τα υψηλότερα σχήματα διαμόρφωσης. Τα υποφέροντα ακόμα χωρίζονται σε resource blocks τα οποία αποτελούνται από 12 υποφέροντα ανεξαρτήτων του συνολικού εύρους ζώνης του LTE σήματος. Ταυτόχρονα, καλύπτουν μία χρονοσχισμή (slot) στο πλαίσιο του χρόνου (timeframe). Αυτό σημαίνει ότι διαφορετικά εύρη ζώνης του LTE σήματος θα έχουν διαφορετικούς ρυθμούς από resource blocks.

Η τεχνολογία του OFDM επεκτείνεται στο OFDMA ώστε να παράγει στο downlink ένα σχήμα πολλαπλής πρόσβασης με μεγάλο βαθμό ελευθερίας. Το OFDMA υποδιαιρεί το διαθέσιμο εύρος ζώνης σε έναν αριθμό στενής ζώνης υποφερόντων που είναι «αμοιβαία ορθογώνιες» (δηλαδή δεν παρεμβαίνουν μεταξύ τους) καθένα από τα οποία μπορεί να φέρει ανεξάρτητες πληροφορίες. Οι υποφέρουσες ομαδοποιούνται σε resource blocks (12 subcarriers). Τα resource blocks (RB) έχουν μέγεθος 180 kHz στο πεδίο της συχνότητας και 0.5 ms στο πεδίο του χρόνου. Ο αριθμός των RB εξαρτάται από το διαθέσιμο φάσμα και σε κάθε χρήστη ανατίθεται ένας αριθμός από RB. Όσο περισσότερα RB/χρήστη και όσο ανώτερος ο τύπος διαμόρφωσης, τόσο μεγαλύτερος ο ρυθμός μετάδοσης. Την ανάθεση των RB στους χρήστες αναλαμβάνει ένα σύνολο μηχανισμών χρονοπρογραμματισμού. Έτσι η συμπεριφορά του ασύρματου καναλιού προς αυτές είναι

σταθερή. Στην συνέχεια εφαρμόζεται μια διαμόρφωση του τύπου BPSK (binary phase shift keying), QPSK (quadrature phase shift keying), M-QAM σε κάθε υπομπάντα. Έτσι η εφαρμογή της τεχνικής αυτής αντιμετωπίζει το multipath και την διασυμβολική παρεμβολή. Το πρότυπο OFDM, αποτελεί την βάση για πολλά πρότυπα τηλεπικοινωνιών όπως το 802.11a, 802.11g, το WLAN, αλλά και την τεχνολογία Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL). Αυτό επιτρέπει ευελιξία σε μια σειρά από τρόπους, συμπεριλαμβανομένων:

1. Της δυνατότητας προγραμματισμού μετάδοσης στο χρόνο και τη συχνότητα.
2. Της ικανότητας λειτουργίας σε διαφορετικό εύρος ζώνης καναλιού ανάλογα με την κατανομή του φάσματος χωρίς να επηρεάζονται θεμελιώδεις παράμετροι του συστήματος.
3. Την ευελιξία τεχνικών σχεδιασμού όπως κλασματική επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων όπου ένα υποσύνολο των υπο-φερόντων χρησιμοποιείται στο ένα άκρο μίας κυψέλης ή σε περιοχές με υψηλή παρεμβολή με σκοπό τη μείωση των επιπέδων παρεμβολής και την αύξηση του συντελεστή επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων.
4. Το σχεδιασμό δεκτών χαμηλής πολυπλοκότητας, περιορίζοντας την ανάγκη για εξισορρόπηση η οποία είναι απαραίτητη για ευρυζωνικά συστήματα απλού φορέα, όπως WCDMA.
5. Την αύξηση της ανθεκτικότητας της διασποράς του χρόνου.
6. Την ευκολότερη ένταξη των προηγμένων τεχνολογιών της κεραίας, όπως MIMO και beamforming ώστε να αυξηθεί η ικανότητα ή η ευρωστία των ραδιοφωνικών σημάτων.



Εικόνα 12: Διαφορές στη συχνότητα και στο χρόνο ανάμεσα σε OFDM και OFDMA

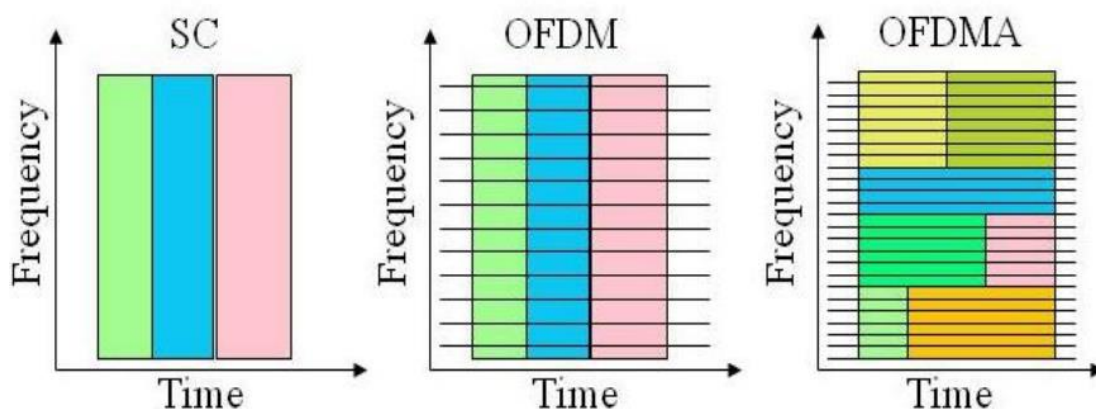
Υπάρχουν ορισμένες πολυπλοκότητες που προκύπτουν από τη χρήση OFDMA, και ειδικότερα από την υψηλή αναλογία peak-to-average power (PAPR) η οποία απαιτεί τεχνικές γραμμικοποίησης στον πομπό ή / και επιτρέποντας μια μεγαλύτερη υποχώρηση ρεύματος από το σημείο συμπίεσης 1dB της PA (12 dB έναντι περίπου 8 dB για το UMTS και μόνο 2-3 dB για το GSM).

Πίνακας 4: Στόχοι Απόδοσης LTE - Downlink

II		Absolute requirement	Comparison to Release 6	Comment
Downlink	Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης	> 100 Mbps	7 x 14.4 Mbps	20 MHz FDD, 2x2 spatial multiplexing.
	Μέγιστη φάσματική απόδοση	> 5 bps/Hz	3 bps/Hz	
	Μέση φάσματική απόδοση κυψέλης	> 1.6-2.1 bps/Hz/κελί	3-4 x 0.53 bps/Hz/κελί	2x2 spatial multiplexing, Interference Rejection
	Φάσματική απόδοση ορίων κυψέλης	> 0.04-0.06 bps/Hz/χρήστη	2-3 x 0.02 bps/Hz	Για 10 χρήστες ανά κυψέλη
	Broadcast φάσματική απόδοση	> 1 bps/Hz	N/A	Με φορέα αποκλειστικά αφιερωμένο σε broadcast

Ένας από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζει όλα τα κινητά τερματικά είναι η διάρκεια της μπαταρίας. Παρόλο που η απόδοση των μπαταριών ολοένα και βελτιώνεται, παραμένει αναγκαίο να υπάρχουν τερματικά που ξοδεύουν όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια από τη μπαταρία. Το OFDM έχει υψηλό λόγο κορυφής ισχύος προς τη μέση τιμή ισχύος. Αυτό, ενώ δεν είναι πρόβλημα για το σταθμό βάσης, είναι όμως μη-αποδεκτό για ένα κινητό σταθμό. Γι' αυτό το λόγο το LTE χρησιμοποιεί ένα υβριδικό σχήμα διαμόρφωσης γνωστό και ως SC-FDMA-Single Carrier Frequency Division Multiplex. Αυτό συνδυάζει τα πλεονεκτήματα ως προς το λόγο αιχμής προς μέση τιμή που διατίθενται από συστήματα μονού φέροντος, με την ανθεκτικότητα ως προς την παρεμβολή λόγω πολυόδευσης, και την ευελιξία ως προς την κατανομή σε υποφέρουσες συχνότητες που παρέχει το OFDM. [10]

SC/OFDM/OFDMA



Εικόνα 13: Διαφορές ανάμεσα στις τεχνολογίες

Πίνακας 5: Στόχοι Απόδοσης LTE - Uplink

Uplink	Μέγιστος ρυθμός μετάδοσης	> 50 Mbps	5 x 11 Mbps	20 MHz FDD, μονή κεραία.
	Μέγιστη φάσματική απόδοση	> 2.5 bps/Hz	2 bps/Hz	
	Μέση φάσματική απόδοση κυψέλης	> 0.66-1.0 bps/Hz/ κελί	2-3 x 0.33 bps/Hz/ κελί	Μονή κεραία.
	Φάσματική απόδοση ορίων κυψέλης	> 0.02-0.03 bps/Hz/ χρήστη	2-3 x 0.01 bps/Hz	Για 10 χρήστες ανά κυψέλη

Για την επίτευξη των υψηλών αποδόσεων του, το LTE χρησιμοποιεί και άλλες τεχνολογίες πέρα από OFDM-OFDMA, οι οποίες αναλύονται στη συνέχεια :

✓ Channel-Dependent Scheduling and Rate Adaptation

Το LTE διαμοιράζει το κανάλι μέσω της δυναμικής ανάθεσης πόρων στα πεδία χρόνου και συχνότητας. Αυτό ταιριάζει στην συχνή μεταβολή των απαιτήσεων πόρων από τους χρήστες. Υπάρχει ακόμα και ο χρονοπρογραμματιστής που ελέγχει σε κάθε χρονική στιγμή σε ποιους χρήστες θα αναθέσει πόρους αποφασίζοντας το ρυθμό δεδομένων. Επιπλέον, για μέγιστη απόδοση, ο μηχανισμός λαμβάνει υπόψη την κατάσταση του καναλιού αναθέτοντας περισσότερους πόρους στους χρήστες με καλύτερη κατάσταση καναλιού.

✓ Inter-Cell Interference Coordination ICIC

Το LTE σχεδιάστηκε να λειτουργεί με επαναχρησιμοποίηση συχνότητας ανά κελί αυτό σημαίνει πως οι ίδιοι πόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα σε γειτονικά κελιά. Ακόμα, η πρόσβαση σε ολόκληρο το φάσμα προσφέρει μεγαλύτερη απόδοση συνολικά αλλά οδηγεί σε παρεμβολές σε χρήστες που βρίσκονται όρια της κυψέλης. Για τη μείωση των παρεμβολών, υπάρχει ο συντονισμός μεταξύ των κελιών (ICIC), αποφεύγοντας τη ταυτόχρονη χρήση φάσματος από τερματικά στα άκρα γειτονικών κυψελών. Οι προδιαγραφές του LTE-A επιτρέπουν τρεις τύπους συντονισμού: α) το στατικό : κατανέμει τους πόρους μία φορά βάση παρελθόντων παρατηρήσεων και δεν υφίσταται ανακατανομή, β) το ημιστατικό : εξετάζει περιοδικά για μεγάλες αλλαγές στις συνθήκες φόρτου, ώστε να αλλάξει, αν θεωρηθεί ωφέλιμο, τον υφιστάμενο καταμερισμό- η περίοδος είναι της τάξης των ωρών και γ) το δυναμικό : τα eNodeBs επικοινωνούν συνεχώς προκειμένου να προσαρμόζονται σε νέες συνθήκες

✓ Hybrid ARQ with Soft Combining

Επιτρέπει στο τερματικό την γρήγορη αίτηση αναμετάδοσης λανθασμένων λαμβανόμενων blocks. Οι αναμεταδόσεις αυτές μπορεί να αιτηθούν άμεσα μετά από κάθε μετάδοση πακέτου, ελαχιστοποιώντας έτσι την επίδραση στην επίδοση του χρήστη. Ακόμα, χρησιμοποιείται αυξανόμενος πλεονασμός και ο δέκτης αποθηκεύει προσωρινά τα μαλακά bits ώστε να εκτελέσει soft combining μεταξύ των αποπειρών μετάδοσης.

✓ Τεχνολογία Πολλαπλών Κεραιών

Η χρήση τεχνολογιών πολλαπλών κεραιών (MIMO- multiple-input and multiple-output) επιτρέπει την εκμετάλλευση του χωρικού πεδίου σαν μία άλλη νέα διάσταση. Αυτό αποκτά μεγάλη σημασία στην επιδίωξη για υψηλότερες φασματικές αποδόσεις. Με τη χρήση πολλαπλών κεραιών η θεωρητικά επιτεύξιμη φασματική απόδοση κλιμακώνεται γραμμικά με το πλήθος των κεραιών. Οι πολλαπλές κεραίες εισάγουν μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών και μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διάφορους τρόπους, βάσει τριών θεμελιωδών αρχών:

- το κέρδος ποικιλομορφίας : Χρήση της χωρικής ποικιλομορφίας για να βελτιωθεί η ανθεκτικότητα της εκπομπής ως προς την εξασθένηση λόγω πολυδιόδευσης
- το κέρδος διάταξης : Η συγκέντρωση της ενέργειας σε μία ή περισσότερες κατευθύνσεις. Αυτό επιτρέπει και την ταυτόχρονη εξυπηρέτηση πολλών χρηστών (multi-user MIMO)
- το κέρδος χωρικής πολυπλεξίας : Η μετάδοση πολλαπλών ροών σήματος σε ένα χρήστη σε πολλαπλά χωρικά επίπεδα μέσω συνδυασμού των διαθέσιμων κεραιών

✓ Multimedia Broadcast Multicast Services (MBMS)

Στις υπηρεσίες MBMS τα ίδια δεδομένα μεταδίδονται σε πολλαπλούς χρήστες από πολλά διαφορετικά κελιά και όλοι οι χρήστες της συγκεκριμένης MBMS υπηρεσίας λαμβάνουν το ίδιο σήμα. Στο LTE η υλοποίηση ονομάζεται eMBMS και προϋποθέτει καλή κάλυψη και μικρή κατανάλωση ισχύος των τερματικών.

✓ MBMS Single-Frequency Network (MBSFN)

Όταν οι μεταδόσεις από διαφορετικά κελιά είναι συγχρονισμένες, το τερματικό μπορεί να θεωρήσει ότι η πηγή του σήματος είναι μοναδική. Αυτή η λειτουργία ονομάζεται MBMS Single-Frequency Network (MBSFN). Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι η αυξημένη ποιότητα σήματος, ειδικά στα όρια των κελιών που συμμετέχουν στο σχήμα και οι μειωμένες παρεμβολές σε ευάλωτες περιοχές. Επιπλέον προσφέρει αυξημένη ποικιλομορφία, αφού η ίδια πληροφορία προέρχεται από διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές. [11]

Η εξέλιξη του LTE διαχειρίζεται από τον οργανισμό 3GPP και αποτελεί 3rd Generation Partnership Project.

2.2 Δίκτυα LTE-A

Η τεχνολογία αυτή εμφανίστηκε το 2011 και παρέχει στους χρήστες βελτιωμένα χαρακτηριστικά σε σχέση με τους προκατόχους του. Η έκδοση αυτή επιτρέπει ανώτερες τεχνικές MIMO έως 8x8 και εισάγει τη δυνατότητα σύμπραξης των φορέων (carrier aggregation-CA) αυξάνοντας το μέγιστο εύρος ζώνης από 20MHz σε 100MHz. Με αυτό τον τρόπο, η μέγιστη ταχύτητα φτάνει και ξεπερνά το 1Gbit/s στο downlink και 500Gbit/s στο uplink. Πέραν των παραπάνω η έκδοση αυτή εισάγει ή βελτιώνει αρκετά ακόμα χαρακτηριστικά. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι η δυνατότητα Coordinated Multipoint (CoMP) μετάδοσης και λήψης, η αναβάθμιση της δυνατότητας του δικτύου για συντονισμό, με στόχο την αντιμετώπιση παρεμβολών στα ετερογενή δίκτυα, η διασύνδεση μεταξύ eNodeBs (evolved NodeBs), η εξέλιξη δηλαδή των NodeBs στην νέα έκδοση και οι σαφείς προδιαγραφές των HeNBs (Home eNodeBs), δηλαδή των σταθμών βάσης των femtocells για τη τεχνολογία LTE-A. Η έκδοση αυτή ήταν η πρώτη που κάλυπτε τις απαιτήσεις IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications-Advanced) ώστε να θεωρηθεί true 4G.

Η εξέλιξη του LTE-A είναι συνεχής και υποστηρίζεται έντονα από την ισχυρή αποδοχή παγκοσμίως του LTE ως πρότυπο 4G. Μαζί με το Mobile WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) του WiMAX Forum, το LTE όπως περιγράφεται από το 3GPP (ο αρμόδιος οργανισμός και για τα GSM, GPRS και EDGE) αποτελούν τα πλέον κυρίαρχα και εμπορικά διαθέσιμα συστήματα που μπόρεσαν να χαρακτηριστούν 4^{ης} γενιάς. Το Mobile WiMAX προέρχεται και έχει ομοιότητες με το Wi-Fi, αλλά με τη δυνατότητα κάλυψης μεγαλύτερων περιοχών, όπως μια ολόκληρη πόλη. Οι αρχικές εκδόσεις υποστήριζαν ταχύτητες της τάξης των 40Mbit/s, ενώ οι πιο πρόσφατες μπορεί να φτάσουν μέχρι το 1Gbit/s σε ιδανικές συνθήκες. Αν και το Mobile WiMAX προηγήθηκε του LTE (2006-2008), άργησε να υλοποιηθεί και έχασε σύντομα έδαφος εμπορικά, με αποτέλεσμα την προτίμηση των παρόχων ή και την μετακίνηση τους από το Mobile

WiMAX σε LTE. Οι ανώτερες υπηρεσίες που προσφέρει το LTE και το μικρότερο κόστος σε σχέση με τον ανταγωνισμό, το έχουν καταστήσει τον ισχυρότερο υποψήφιο 4G τεχνολογίας, και λόγω της σχεδόν καθολικής αποδοχής του, πιθανότατα το πρώτο παγκόσμια υιοθετημένα πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας.

2.2.1 Χαρακτηριστικά LTE-A

Η τεχνολογία LTE-A ήταν η πρώτη που κάλυψε τις απαιτήσεις των προδιαγραφών IMT-Advanced με τη βοήθεια νέων ή βελτιωμένων τεχνολογιών. Οι σημαντικότερες από αυτές περιγράφονται στην συνέχεια :

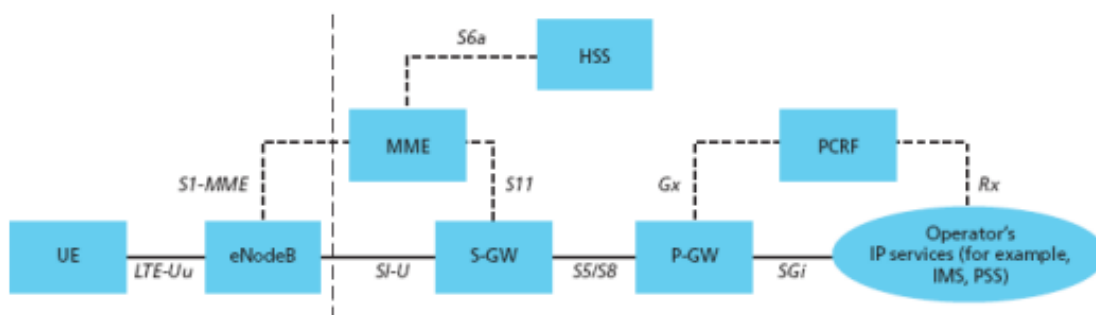
- ✓ **Carrier aggregation** : Η πρώτη έκδοση του LTE παρείχε μεγάλη υποστήριξη για διαφορετικές κατανομές φάσματος, με μέγιστο εύρος φάσματος τα 20MHz. Στην έκδοση 10, το εύρος φάσματος διευρύνθηκε με τη μέθοδο carrier aggregation, βάσει της οποίας πολλαπλοί φορείς συνδυάζονται και χρησιμοποιούνται μαζί για μετάδοση από ένα τερματικό. Το LTE-A υποστηρίζει τον συνδυασμό μέχρι και 5 φορέων, φτάνοντας έτσι το μέγιστο φάσμα που μπορεί να κατανεμηθεί σε έναν χρήστη στα 100MHz, αυξάνοντας σημαντικά το μέγιστο επιτεύξιμο ρυθμό μετάδοσης. Κάθε τερματικό έκδοσης 8 ή 9 που δεν υποστηρίζει τη λειτουργία αυτή, απλά χρησιμοποιεί έναν από τους φορείς, εξασφαλίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο τη συμβατότητα με προηγούμενες εκδόσεις. Οι φορείς που συνδυάζονται δεν απαιτείται να είναι διαδοχικοί στο πεδίο της συχνότητας, επιτρέποντας έτσι την εκμετάλλευση ενδεχόμενου απομονωμένου φάσματος. Αυτό απαλλάσσει τους παρόχους από την ανάγκη να αποκτήσουν ένα μεγάλο μέρος διαδοχικού φάσματος και τους επιτρέπει να προσφέρουν υψηλές ταχύτητες στους συνδρομητές συνδυάζοντας τα μέρη του φάσματος που ήδη κατέχουν. Το LTE-A υποστηρίζει τρεις τρόπους συνδυασμού φορέων. Ο πρώτος αφορά το συνδυασμό διαδοχικών φορέων στην ίδια ζώνη συχνοτήτων. Ο δεύτερος επιτρέπει το συνδυασμό μη διαδοχικών φορέων στην ίδια ζώνη συχνοτήτων. Τέλος, ο τρίτος υποστηρίζει το συνδυασμό φορέων που βρίσκονται σε διαφορετικές ζώνες. Αν και παρόμοιας λειτουργίας, η περιπλοκότητα υλοποίησης κάθε περίπτωσης είναι σημαντικά διαφορετική με την τρίτη περίπτωση να απαιτεί εξαιρετικά προηγμένα τερματικά.
- ✓ **Relaying** : Το relaying είναι η προσέγγιση βάση της οποίας ένα τερματικό επικοινωνεί με το κεντρικό δίκτυο μέσω ενός κόμβου αναμετάδοσης, ο οποίος είναι ασύρματα συνδεδεμένος με το βασικό κελί χρησιμοποιώντας την ασύρματη διασύνδεση του LTE. Από την οπτική του τερματικού, ο ενδιάμεσος κόμβος εμφανίζεται σαν ένα κανονικό κελί, γεγονός που απλοποιεί την υλοποίηση του τερματικού, και βοηθά την επίτευξη συμβατότητας με τερματικά έκδοσης 8 ή 9. Ουσιαστικά, ο ενδιάμεσος κόμβος είναι ένας σταθμός βάσης χαμηλότερης ισχύος που επιτρέπει την βελτίωση της κάλυψης σε μέρη που διαφορετικά το σήμα θα ήταν ασθενές, όπως εσωτερικοί χώροι, απομακρυσμένες περιοχές κλπ.
- ✓ **Ενισχυμένη μετάδοση πολλαπλών κεραιών** : Στην έκδοση 10, η χωρική πολυπλεξία στο downlink επεκτείνεται ώστε να υποστηρίζει οχτώ στρώματα

μετάδοσης. Παράλληλα, εισάγεται μια ενισχυμένη δομή για σήματα αναφοράς, ώστε να βελτιωθεί η υποστήριξη των διάφορων προσεγγίσεων beam-forming. Τα παραπάνω καθιστούν δυνατή τη μετάδοση σε ρυθμούς έως και 3Gbit/s ενώ η φασματική απόδοση φτάνει τα 30bit/s/Hz. Αντίστοιχα στο uplink, υποστηρίχθηκε η πολυπλεξία μέχρι και τεσσάρων στρωμάτων. Αποτελείται από ένα σύστημα βασισμένο σε κωδικοποίηση/αποκωδικοποίηση υπό τον έλεγχο του σταθμού βάσης, γεγονός που επιτρέπει να χρησιμοποιηθεί και για μετάδοση beam-forming στο uplink. Τα παραπάνω έχουν αποτέλεσμα επιτεύξιμους ρυθμούς μετάδοσης 1.5Gbit/s και φασματική απόδοση 15bit/s/Hz.

- ✓ Ετερογενείς παρατάξεις : Η ετερογενής παράταξη αναφέρεται σε οποιαδήποτε παράταξη περιλαμβάνει ένα σύνολο κελιών με διαφορετικά επίπεδα στην ισχύ μετάδοσης, λειτουργώντας μερικώς ή μη στο ίδιο σύνολο συχνοτήτων και με επικαλυπτόμενες περιοχές κάλυψης. Ενδεικτικά παραδείγματα είναι η εναπόθεση μικρών κελιών (femtocells, picocells) μέσα στην περιοχή κάλυψης ενός macrocell.

2.2.2 Αρχιτεκτονική Συστήματος

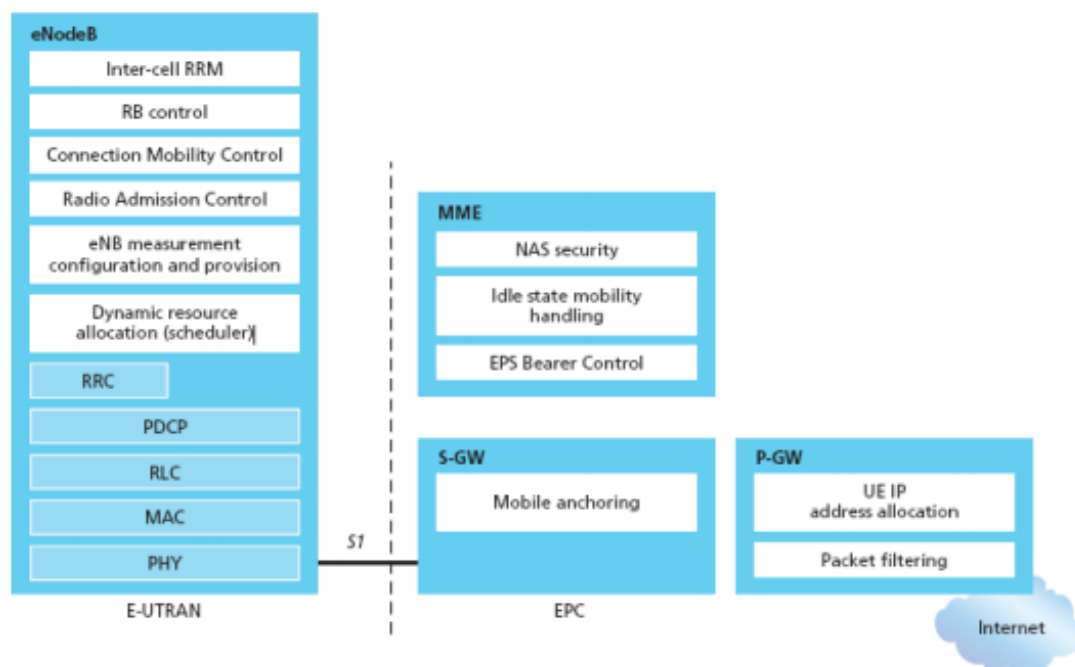
Σε αντίθεση με τα δίκτυα βασισμένα στο μοντέλο μεταγωγής κυκλώματος, το LTE σχεδιάστηκε να υποστηρίξει αποκλειστικά υπηρεσίες μεταγωγής πακέτου. Κύρια μέριμνα είναι να παρέχει στο χρήστη αδιάλειπτη σύνδεση Internet Protocol (IP), μεταξύ του χρήστη και του δικτύου πακέτου δεδομένων (Packet Data Network ή PDN). Παράλληλα με την ανάπτυξη του εξελιγμένου δικτύου ασύρματης πρόσβασης UMTS για το LTE μέσω του E-UTRAN, πραγματοποιήθηκαν ανεξάρτητες διεργασίες με στόχο την εξέλιξη και του κεντρικού δικτύου (CN), έργο που πήρε την ονομασία System Architecture Evolution (SAE). Η εξέλιξη του CN οδήγησε στη δημιουργία του Evolved Packet Core (EPC) network. Ο συνδυασμός LTE και SAE ονομάζεται Evolved Packet System (EPS).



Εικόνα 14: Η αρχιτεκτονική του EPS

Η IP κίνηση ανάμεσα σε μια πύλη (gateway) του PDN και στο UE, εκφράζεται μέσω της έννοιας του EPS ασύρματου φορέα μετάδοσης (EPS bearer). Ένα bearer είναι μια ροή πακέτων IP μεταξύ της πύλης και του UE με καθορισμένη ποιότητα υπηρεσίας (QoS). Το EPC και το E-UTRAN μαζί διευθετούν και απελευθερώνουν bearer όπως απαιτείται από τις εφαρμογές. Το EPS παρέχει στον χρήστη συνδεσιμότητα σε ένα PDN για πρόσβαση στο Internet, αλλά και για υπηρεσίες όπως Voice over IP (VoIP), με συγκεκριμένη

ποιότητα υπηρεσίας. Επίσης παρέχει ασφάλεια και ιδιωτικότητα για το χρήστη αλλά και προστασία του ίδιου του δικτύου από κακόβουλη χρήση. Αν και κάθε στοιχείο και η διασύνδεσή του με τα άλλα έχουν καθοριστεί σαφώς μέσω προτυποποίησης, η φυσική υλοποίηση επαφίεται στην κρίση του διαχειριστή του δικτύου, όπως και η δυνατότητα συγχώνευσης στοιχείων. Ο λειτουργικός διαχωρισμός του δικτύου σε EPS και E-UTRAN φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα, όπου απεικονίζονται οι αρμοδιότητες του καθενός.



Εικόνα 15: Οι λειτουργικές αρμοδιότητες του E-UTRAN και του EPC

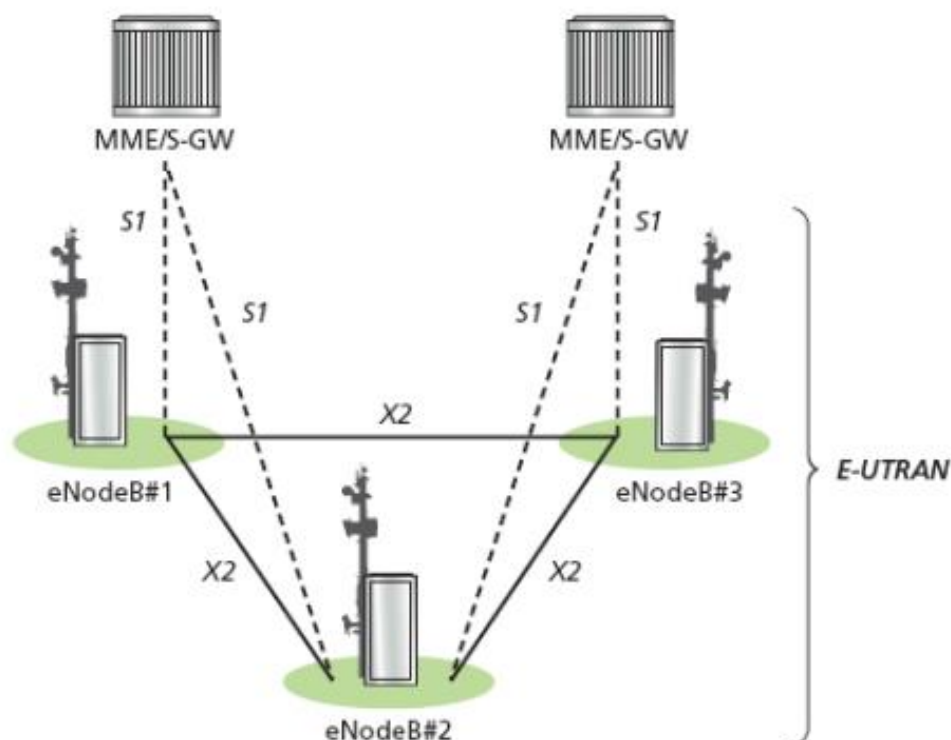
Συνοπτικά, το CN είναι υπεύθυνο για το συνολικό έλεγχο του UE και την εγκαθίδρυση των bearers.

Οι βασικές λογικές μονάδες του EPC είναι οι παρακάτω:

- ✓ PDN Gateway (P-GW) : Η μονάδα P-GW είναι υπεύθυνη για την ανάθεση διεύθυνσης IP στους χρήστες και για την εξασφάλιση της ποιότητας υπηρεσίας βάση των κανόνων του PCRF (που περιγράφεται παρακάτω). Λειτουργεί επίσης ως συνδετικός κρίκος για λειτουργίες με μη 3GPP τεχνολογίες όπως CDMA2000 και WiMAX δίκτυα.
- ✓ Serving Gateway (S-GW) : όλα τα πακέτα IP μεταφέρονται διαμέσου της S-GW, λειτουργώντας ως συνδετικός κρίκος για τους bearers όταν το UE μετακινείται μεταξύ των eNodeB. Επίσης, διατηρεί τις πληροφορίες για τους bearers όταν το τερματικό είναι σε αδρανή κατάσταση (idle) και προσωρινά αποθηκεύει τα δεδομένα προς downlink όσο η μονάδα Mobility Management Entity (MME) κάνει το paging των UE. Πέραν των παραπάνω, η S-GW εκτελεί λειτουργίες όπως η συλλογή πληροφοριών για την χρέωση και την θεμιτή πιθανή αναχαίτιση των υπηρεσιών. Τέλος, χρησιμοποιείται ως συνδετικός κρίκος για λειτουργίες με άλλες 3GPP τεχνολογίες όπως GPRS και UMTS.

- ✓ **Mobility Management Entity (MME)** : Η MME είναι η μονάδα που επεξεργάζεται τη σηματοδότηση μεταξύ του UE και του CN. Τα πρωτόκολλα μεταξύ τους ονομάζονται πρωτόκολλα Non Access Stratum (NAS).
- ✓ **Home Subscriber Server (HSS)** : Η μονάδα αυτή περιέχει στοιχεία των συνδρομητών, όπως τα προφίλ QoS και περιορισμούς πρόσβασης. Διατηρεί επίσης πληροφορίες σχετικά με τα PDNs που επιχειρεί να συνδεθεί ο χρήστης, όπως και πληροφορίες σχετικά με την ταυτότητα της MME που εξυπηρετεί εκείνη τη στιγμή το χρήστη.
- ✓ **Policy Control and Charging Rules Function (PCRF)**: Η μονάδα αυτή είναι υπεύθυνη για τις αποφάσεις σχετικά με τον έλεγχο των πολιτικών, όπως και για τον έλεγχο των λειτουργιών χρέωσης. Το PCRF παρέχει την εξουσιοδότηση της QoS που κρίνει πως μια ροή δεδομένων θα αντιμετωπιστεί και αν κάτι τέτοιο είναι ευθυγραμμισμένο με το προφίλ συνδρομής του χρήστη.

Πέραν των παραπάνω λειτουργικών μονάδων, υπάρχει και η μονάδα IP Multimedia Subsystem (IMS) με αρμοδιότητα τον έλεγχο εφαρμογών όπως VoIP. Όμως η συγκεκριμένη μονάδα δε θεωρείται μέρος του EPS. Από την άλλη, το δίκτυο πρόσβασης του LTE E-UTRAN αποτελείται αποκλειστικά από ένα δίκτυο από eNodeBs. Σε κανονική χρήση (δηλαδή όχι broadcast), δεν υπάρχει κεντρικός ελεγκτής. Αντίθετα τα eNodeBs συντονίζονται μεταξύ τους επικοινωνώντας μέσω της διασύνδεσης X2. Για το λόγο αυτό η αρχιτεκτονική του E-UTRAN θεωρείται επίπεδη. Με το EPC επικοινωνούν μέσω της διασύνδεσης S1, και συγκεκριμένα με το S1-MME για τη σύνδεση με το MME και με το S1-U για τη σύνδεση με το S-GW. Τα πρωτόκολλα μεταξύ των eNodeBs και των UE ονομάζονται AS πρωτόκολλα.



Εικόνα 16: Αρχιτεκτονική δικτύου πρόσβασης E-UTRAN

Το E-UTRAN είναι υπεύθυνο για όλες τις σχετικές με ασύρματη μετάδοση λειτουργίες. Αυτές χωρίζονται σε :

- ✓ Radio resource management (RRM): με τον όρο αυτό ονομάζουμε όλες τις λειτουργίες σχετικά με τα bearers, όπως ο έλεγχός τους, ο χρονοπρογραμματισμός και η δυναμική ανάθεση πόρων σε UEs.
- ✓ Header Compression: Η συγκεκριμένη λειτουργία εξυπηρετεί στην αποδοτική χρήση της ασύρματης διασύνδεσης μέσω της συμπίεσης των επικεφαλίδων των IP πακέτων, που ειδικά θα αποτελούσαν εξαιρετική επιβάρυνση, ειδικά για μικρού μεγέθους πακέτα.
- ✓ Ασφάλεια: Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφάλεια του δικτύου, όλα τα δεδομένα που αποστέλλονται μέσω της ασύρματης διασύνδεσης είναι κρυπτογραφημένα.
- ✓ Συνδεσιμότητα με το EPC : η συγκεκριμένη λειτουργία αναφέρεται στη σηματοδότηση για τη σύνδεση με τη μονάδα MME και τη S-GW.

Από την πλευρά του δικτύου, αυτές οι λειτουργίες γίνονται αποκλειστικά στα eNodeBs, καθένα από τα οποία μπορεί να είναι υπεύθυνο για πολλαπλές κυψέλες. Σε αντίθεση με προηγούμενες τεχνολογίες, στο LTE το eNodeB περιλαμβάνει το ραδιοελεγκτή. Αυτό επιτρέπει τη στενή διασύνδεση μεταξύ των διαφορετικών στρωμάτων πρωτοκόλλων RAN, μειώνοντας κατά αυτό τον τρόπο την καθυστέρηση και βελτιώνοντας την απόδοση. Η κατανομημένη φύση του ελέγχου που προκύπτει, εξαλείφει την ανάγκη για απαιτητικούς ελεγκτές, μειώνοντας σημαντικά και το κόστος. Συνέπεια της έλλειψης κεντρικού ελεγκτή,

είναι πως στην περίπτωση που το UE μετακινηθεί, το δίκτυο πρέπει να μεταφέρει όλη τη σχετική πληροφορία στο αντίστοιχο eNodeB. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια του X2. Την ίδια στιγμή, ένα eNodeB μπορεί να εξυπηρετηθεί από πολλαπλά MME/S-GWs. Αυτό είναι απόρροια του γεγονότος πως αντί για την ανάθεση ενός MME/S-GWs σε ένα eNodeB, αποφασίστηκε ένα σύνολο MME/S-GWs να ανατίθεται για την εξυπηρέτηση μια κοινής περιοχής. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει τα UEs σε ένα ή περισσότερα κελιά που ελέγχονται από ένα eNodeB, να μοιράζονται μεταξύ πολλαπλών CN μονάδων, με στόχο την κατανομή φόρτου και την ευρωστία του συστήματος απέναντι σε ενδεχόμενη αστοχία των CN μονάδων. Η αναγκαία πληροφορία για τα UEs παραμένει στην ίδια MME για όσο διάστημα το UE παραμένει στην περιοχή αυτή.

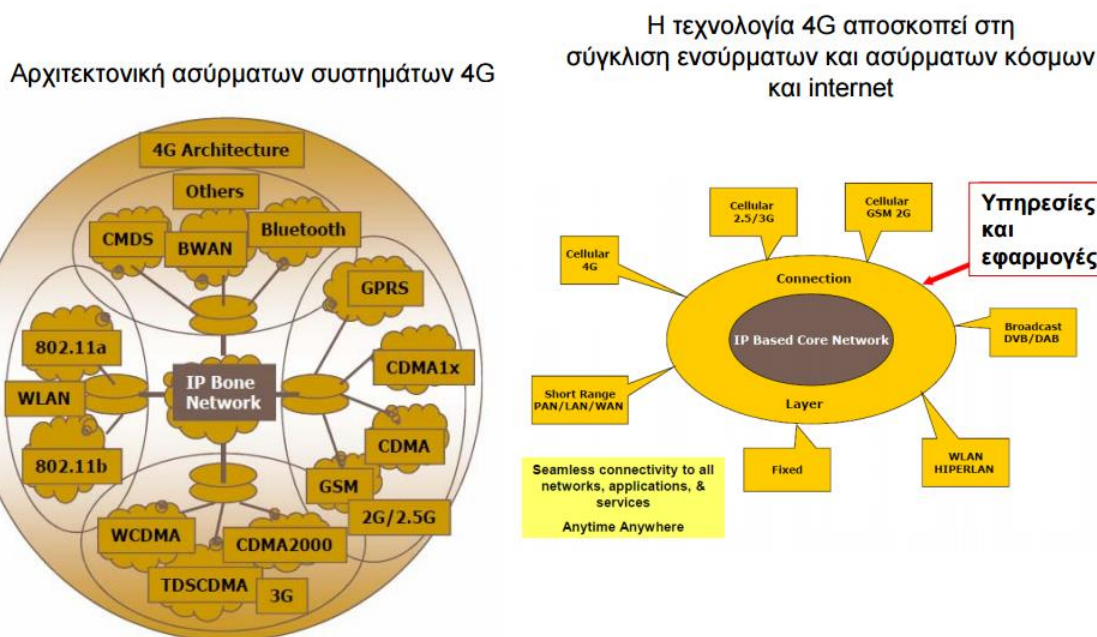
2.3 Δίκτυα Τέταρτης Γενιάς (4G)

Ο όρος 4G χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα επόμενα βήματα στις ασύρματες επικοινωνίες (ετερογενή δίκτυα). Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο, καθολικό δίκτυο το οποίο παρέχει πλήρεις IP λύσεις, όπου η φωνή, τα δεδομένα και τα διάφορα πολυμέσα θα είναι διαθέσιμα στους χρήστες οπουδήποτε και οποιαδήποτε στιγμή. Ο όρος 4G περιλαμβάνει πολλούς τύπους ευρυζωνικών ασύρματων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Τα συστήματα Τέταρτης Γενιάς δεν υποστηρίζουν μόνο την τρέχουσα γενιά κινητών υπηρεσιών, αλλά ακόμη εξασφαλίζουν μια ομαλή μετάβαση μεταξύ των διαφόρων γενιών δικτύων IP.

Οι στόχοι που τέθηκαν πριν την κατασκευή του ήταν οι εξής:

α) Να είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα πλήρως βασισμένο στην IP.

β) Να παρέχει ταχύτητες από 100Mbit/s έως 1Gbit/s οπουδήποτε κι αν βρίσκεται ο χρήστης με εξέχουσα ποιότητα και υψηλή ασφάλεια. Γενικά, η τεχνολογία αυτή στηρίζεται σε μεταγωγή πακέτων και όχι κυκλωμάτων, όπως συνέβαινε στην προηγούμενη γενιά και αποσκοπεί στην σύγκλιση ενσύρματων και ασύρματων κόσμων και internet. [7]



Εικόνα 17: Αρχιτεκτονική Ασύρματων Συστημάτων 4G και Σκοπός της

Πράγματι, οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων του δικτύου αυτού είναι αρκετά υψηλοί. Ειδικότερα, είναι 100Mbit/s όταν ο πελάτης κινείται με μεγάλη ταχύτητα σε σχέση με το σταθμό και 1 Gbit/s όταν πελάτης και σταθμός είναι σε σχετικά σταθερές θέσεις. Επιπλέον, υπάρχει αποδοτική διαχείριση του φάσματος συχνοτήτων και παρέχεται υψηλή χωρητικότητα δικτύου καθώς οι περισσότεροι χρήστες θα εξυπηρετούνται ταυτόχρονα ανά κυψέλη. Ακόμα υποστηρίζεται διαφανής μεταπομπή μεταξύ ετερογενών δικτύων. Η παροχή δηλαδή μίας υπηρεσίας συνεχίζεται ακόμα και αν υπάρχει μετάβαση μεταξύ διαφορετικών δικτύων όπως για παράδειγμα από κυψελικό σε WLAN ή Wimax. Αξίζει να αναφερθεί η υψηλή ποιότητα υπηρεσιών με υψηλή ασφάλεια και ανεκτό κόστος. Συνολικά, ένα 4G δίκτυο μπορεί δυναμικά να διαμοιράζει τους πόρους ετερογενών δικτύων ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των χρηστών.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η τεχνολογία 4G στηρίζεται πάνω στην τεχνολογία WiMAX και LTE Advanced. Η τεχνολογία WiMAX λειτουργεί παρόμοια με το Wi-fi όμως εξασφαλίζει εμβέλεια επικοινωνίας 35 και παραπάνω χιλιομέτρων σε αντίθεση με τα 100 μέτρα περίπου που εξασφαλίζει το Wi-Fi. Επιπλέον, η ταχύτητα του download αρχείων είναι στα 100Mbps για τα κινητά τηλέφωνα.

2.3.1 Πλεονεκτήματα χρήσης δικτύου 4G

Τα πλεονεκτήματα είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Κάθε χρήστης χρησιμοποιεί τη σύνδεσή στο διαδίκτυο ακόμα και όταν βρίσκεται σε κίνηση αφού η εμβέλεια του είναι πολύ μεγάλη
- ✓ Εταιρίες κατασκευάζουν δικά τους δίκτυα επειδή δεν απαιτείται η ύπαρξη καλωδίων
- ✓ Η τεχνολογία LTE-Advanced είναι ουσιαστικά η πρόοδος του 3G και χρησιμοποιεί τις τεχνολογίες MIMO και OFDM.

- ✓ Όσον αφορά τα LTE-Advanced δίκτυα επιτυγχάνουν ταχύτητες έως 1 Gbps για download και 500 Mbps για upload αρχείων. Επιπλέον η αποτελεσματικότητα του φάσματος είναι 3 φορές μεγαλύτερη από το LTE που χρησιμοποιείται σήμερα

Τα δίκτυα 4ης γενιάς έπρεπε να αντιμετωπίσουν ορισμένες προκλήσεις. Οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια :

A) Σε σχέση με το κινητό σταθμό

1. Τερματικά χρήστη. Προκειμένου να μειωθεί το κόστος λειτουργίας, οι συσκευές των δικτύων 4G πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν σε διάφορα δίκτυα. Αυτό όχι μόνο μειώνει το κόστος λειτουργίας, αλλά και την κατανάλωση ενέργειας. Ένα από τα κύρια ζητήματα προς διευθέτηση είναι η ταυτόχρονη πρόσβαση σε τελείως διαφορετικά κινητά και ασύρματα δίκτυα. Ένας από τους μηχανισμούς που έχουν προταθεί για τον χειρισμό αυτού του προβλήματος είναι οι λεγόμενες πολύτροπες συσκευές (multi-mode devices). Αυτός ο μηχανισμός μπορεί να υλοποιηθεί με τη βοήθεια ενός λογισμικού το οποίο επιτρέπει στη συσκευή του τελικού χρήστη να προσαρμόζεται από μόνη της στις διάφορες ασύρματες διεπαφές (wireless interfaces) των δικτύων.

2. Ανεύρεση ασύρματου συστήματος. Λόγω της ανομοιογένειας των δικτύων 4ης Γενιάς, οι ασύρματες συσκευές πρέπει να επεξεργάζονται σήματα που προέρχονται από τελείως διαφορετικά συστήματα, να βρίσκουν τις διαθέσιμες υπηρεσίες και να συνδέονται με τους παρόχους των υπηρεσιών αυτών. Οι διάφοροι πάροχοι υπηρεσιών έχουν δικά τους πρωτόκολλα τα οποία μπορεί να μην είναι συμβατά τόσο μεταξύ τους όσο και με εκείνα των συσκευών. Μια λύση σε αυτό το θέμα αποτελεί ο μηχανισμός “System Initiated Discoveries”. Αυτός ο μηχανισμός επιτρέπει αυτόματο κατέβασμα (download) ενός λογισμικού βασισμένο στο ασύρματο σύστημα που χρησιμοποιεί ο χρήστης.

3. Επιλογή ασύρματου συστήματος. Με την υποστήριξη τερματικών χρήστη Τέταρτης Γενιάς, υπάρχει μία τάση να επιλέγεται για κάθε ξεχωριστή επικοινωνία/σύνοδο (communication session) οποιοδήποτε ασύρματο δίκτυο είναι προσβάσιμο. Ωστόσο η επιλογή του κατάλληλου δικτύου είναι κάτι δύσκολο, αφού η προσβασιμότητα των δικτύων αλλάζει με τον καιρό. Επιπλέον απαιτείται μια πληθώρα πληροφοριών προκειμένου να επιτευχθεί σύνδεση με ένα δίκτυο. Εκτός άλλων, αυτές οι πληροφορίες αφορούν κατανόηση του είδους των παρεχόμενων υπηρεσιών, των ρυθμών δεδομένων του συστήματος, της απαιτούμενης ποιότητας υπηρεσιών (Qos), τα κόστη επικοινωνίας καθώς και τις προτιμήσεις του χρήστη.

4. Μη συμβατές συχνότητες περιαγωγής. Από τη στιγμή που αρχίζει να λειτουργεί ένα δίκτυο Τέταρτης Γενιάς δεν υπάρχει καμία εγγύηση ότι μπορούμε να έχουμε πρόσβαση σε αυτό οπουδήποτε. Αυτό μπορεί να συμβεί επειδή τα διάφορα έθνη χρησιμοποιούν διαφορετικά φάσματα συχνότητας (spectrums) για να παρέχουν υπηρεσίες 4G και έτσι αν ένας χρήστης ταξιδεύει θα πρέπει να επανέλθει σε ένα δίκτυο 3G το οποίο είναι διεθνές.

B) Σε σχέση με τα συστήματα

1. Κινητικότητα των τερματικών. Προκειμένου να έχουμε ασύρματη παροχή υπηρεσιών οπουδήποτε και οποτεδήποτε, η κινητικότητα των τερματικών ίσως αποτελεί παρόν για τις υποδομές της Τέταρτης Γενιάς. Η κινητικότητα των τερματικών επιτρέπει στους

κινητούς χρήστες να περιφέρονται κατά μήκος των γεωγραφικών ορίων που καλύπτουν τα ασύρματα δίκτυα. Υπάρχουν δύο σημαντικά ζητήματα στην κινητικότητα των τερματικών: διαχείριση της τοποθεσίας (location management) και διαχείριση του handoff. Η διαχείριση της τοποθεσίας περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες που αφορούν τα κινούμενα τερματικά, όπως τα αρχικά και τα τρέχοντα κελιά (cells) στα οποία βρίσκονται καθώς και άλλα πιστοποιητικά (authentication information). Από την άλλη πλευρά, η διαχείριση του handoff αφορά τη διατήρηση των επικοινωνιών ενώ τα τερματικά κινούνται. Το κινητό (mobile) IPv6 είναι ένα πρωτόκολλο τεχνολογίας IP για IPv6 ασύρματα συστήματα. Σε αυτή τη λογική ένα τερματικό συνδέεται με μια διεύθυνση οικίας (home address) IPv6. Όποτε το τερματικό βγαίνει έξω από το τοπικό δίκτυο, η διεύθυνση οικίας γίνεται μη έγκυρη και επίσης το τερματικό λαμβάνει μια νέα IPv6 διεύθυνση (η οποία ονομάζεται “care-of address”) από το νέο επισκεπτόμενο δίκτυο. Με σύνδεση αυτών των δύο διευθύνσεων επιτυγχάνεται η διαχείριση των θεμάτων του handoff.

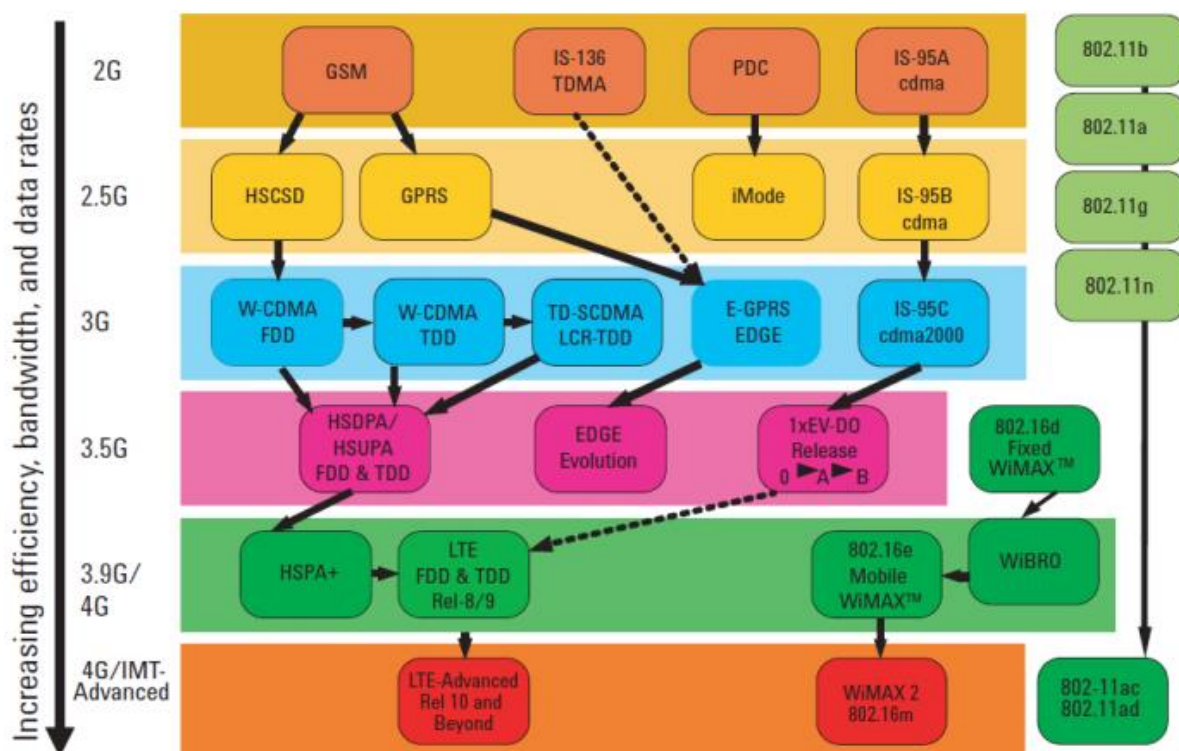
2. Quality of service και Υποδομή του Δικτύου. Τα υπάρχοντα ασύρματα συστήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο είδη: εκείνα που δεν βασίζονται στην IP τεχνολογία (Non-IP-based) και εκείνα που βασίζονται (IP-based). Πληθώρα Non-IP-based συστημάτων έχουν βελτιστοποιηθεί για υπηρεσίες φωνής (όπως GSM, cdma2000, UMTS). Από την άλλη πλευρά, IP-based χρησιμοποιούνται συνήθως για υπηρεσίες δεδομένων (όπως το πρότυπο 802.11 και HiperLAN). Στα ασύρματα περιβάλλοντα 4G, το πρόβλημα είναι ο συνδυασμός αυτών των δυο συστημάτων και ταυτόχρονα η εξασφάλιση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών (QoS). Μέχρι τώρα οι διάφοροι τύποι QoS κατασκευάζονται έχοντας υπόψη ένα συγκεκριμένο ασύρματο σύστημα. Για παράδειγμα, το 3GPP έχει προτείνει ένα ολοκληρωμένο σχέδιο QoS για το UMTS. Επιπροσθέτως, προκειμένου να είναι δυνατή η υποστήριξη πληθώρας υπηρεσιών, το UMTS έχει ορίσει κλάσεις QoS καθώς και τις ιδιότητες τους για να διαχειριστεί τις διάφορες απαιτήσεις. Ωστόσο, παρέχοντας QoS μόνο στο UMTS δεν υπάρχει εγγύηση ότι θα υπάρχει από άκρη σε άκρη QoS, αφού παρεμβάλλονται και συστήματα τα οποία δεν είναι UMTS.

3. Διαχείριση της συμφόρησης στο δίκτυο. Η διαχείριση της συμφόρησης στα δίκτυα Τέταρτης Γενιάς είναι ακόμη ένα κρίσιμο θέμα. Δύο βασικές προσεγγίσεις στον έλεγχο της συμφόρησης είναι οι εξής: 1) Πρόληψη προκειμένου να αποφευχθεί η συμφόρηση και 2) Εντοπισμός και Καταπολέμηση στην περίπτωση που συμβαίνει. Στην περίπτωση της πρόληψης το δίκτυο πρέπει να εφαρμόζει επιτυχημένα τεχνικές που αφορούν τον έλεγχο εισόδου και τον προγραμματισμό του δικτύου. Στην περίπτωση του εντοπισμού και της καταπολέμησης απαιτείται έλεγχος της ροής στο δίκτυο (flow control) και διαχείρισή της.

Γ) Σε σχέση με τη διαχείριση της κίνησης του δικτύου

Πέρα από βασικές λειτουργίες που έχουν ως στόχο τη διαχείριση της κίνησης στα δίκτυα Τέταρτης Γενιάς υπάρχουν ακόμη πολλές απαιτήσεις που αφορούν την απόδοση και την επεκτασιμότητα αυτών των δικτύων οι οποίες λήφθηκαν υπόψη στη διαχείριση της κίνησης.

1. Ομαλό handoff. Οι λειτουργίες που αφορούν το handoff είναι όσο το δυνατόν πιο γρήγορες, ώστε να ελαχιστοποιείται η καθυστέρηση και κατ' επέκταση η όποια απώλεια πακέτων κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας.
2. Αποδοτική Δρομολόγηση. Τα μονοπάτια δρομολόγησης μεταξύ των κόμβων επικοινωνίας και των κινητών κόμβων βελτιστοποιήθηκαν ώστε να εξαιρεθούν οι περιττές μεταφορές δεδομένων μεταξύ τους.
3. Σύντομοι και αποδοτικοί έλεγχοι. Η λογική της κινητικότητας υποστηρίζει διαφορετικά επίπεδα ασφάλειας, όπως κωδικοποίηση δεδομένων, πιστοποιητικά χρήστη, κλειδιά πιστοποίησης, ενώ γίνεται με τρόπο γρήγορο προκειμένου να μην επιβαρύνεται το δίκτυο από αυτούς τους ελέγχους.
4. Εύρος ζώνης. Μεγαλύτερο εύρος ζώνης συνεπάγεται μικρότερες πιθανότητες να χαθεί ή να διακοπεί μια κλήση. Ως εκ τούτου, η διαχείριση του εύρους ζώνης είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις τεχνικές που αφορούν το handoff.
5. Καθυστερήσεις προερχόμενες από το handoff. Οι καθυστερήσεις λόγω του handoff επηρεάζουν την ποιότητα πολλών εφαρμογών των χρηστών. Στα συστήματα 4G υπάρχει τόσο οριζόντιο όσο και κάθετο handoff. Οριζόντιο handoff πραγματοποιείται όταν το τερματικό μετακινείται από το ένα κελί στο άλλο εκτός του ίδιου δικτύου. Κάθετο handoff πραγματοποιείται όταν το τερματικό μετακινείται μεταξύ διαφορετικών δικτύων. Οι καθυστερήσεις αυτές είναι σημαντικές και γι' αυτό το handoff μεταξύ ετερογενών δικτύων αποτελεί αντικείμενο μελέτης.
6. Εξισορρόπηση του φορτίου. Το φορτίο ενός δικτύου (Network load) λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά την διαδικασία του handoff. Είναι σημαντική η εξισορρόπηση αυτού του φορτίου ώστε να αποφευχθούν αλλοιώσεις στην ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών. [7,12]



Εικόνα 18: Εξέλιξη από τη 2G στην 4G Κινητών Επικοινωνιών

2.3.2 Απαιτήσεις των 4G δικτύων

Με το 4G δίκτυο επιτυγχάνονται πολύ υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης πληροφορίας. Μέχρι την 3G εποχή, οι επιτευχθείσες ταχύτητες δεν ξεπέρασαν τα 2Kbits/sec για περιβάλλοντα εσωτερικού χρόνου και τα 1442Kbits/sec για κινούμενα περιβάλλοντα. Αυτές οι ταχύτητες θεωρούνται μια τάξη μεγέθους μικρότερες από τις αντίστοιχες των 4G δίκτυα οι οποίες είναι 10-20Mbits/sec για ακίνητα περιβάλλοντα και 2Mbits/sec για κινούμενα.

Ακόμα η ποιότητα παροχής υπηρεσιών (QoS) είναι μία από τις παραμέτρους που αντιλαμβάνεται εύκολα ο χρήστης οπότε πρέπει να βελτιώνεται συνεχώς. Τα ασύρματα συστήματα αντιμετωπίζουν συμφόρηση εξαιτίας της χρήσης περιορισμένου εύρους συχνοτήτων και μεταδιδόμενης ισχύος. Έτσι μια εξαιρετική ποιότητα παρεχόμενων υπηρεσιών είναι αναγκαία για την υποστήριξη διαφόρων εφαρμογών και πολύ περισσότερο όταν αναφερόμαστε σε εφαρμογές που απαιτούν επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Επιπλέον στα ασύρματα δίκτυα οι ταχύτητες μετάδοσης και το επίπεδο του λαμβανόμενου σήματος είναι μεγέθη ανάλογα. Έτσι με τις αυξανόμενες ταχύτητες μετάδοσης κατά μία με δύο τάξεις μεγέθους σε σχέση με τα υπάρχοντα δίκτυα αυξάνεται το απαιτούμενο επίπεδο λαμβανόμενου σήματος. Όμως η αύξηση των ταχυτήτων έχει σαν αποτέλεσμα η ακτίνα της κυψέλης να μειωθεί και η κάλυψη στο εσωτερικό των κτιρίων να υποβαθμιστεί αν δεν προστεθεί ένας μεγάλος αριθμός σταθμών βάσης. Η χρήση τέτοιων συστημάτων μετάδοσης μεταβλητής απόστασης και ταχύτητας είναι αναγκαία για

ικανοποιητική κάλυψη εσωτερικών χώρων και μετάβαση σε διαφορετική κυψέλη χωρίς προβλήματα ανεξαρτήτως της τεχνολογίας των συστημάτων.

Τέλος εξαιτίας του χαρακτήρα του νέου συστήματος το οποίο ενσωματώνει πολλές και διαφορετικές τεχνολογίες, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί τεχνολογία βασισμένη σε πρωτόκολλα IP ώστε να γίνει ομαλή διασύνδεση των διαφορετικών αυτών τεχνολογιών. Έτσι ο κάθε χρήστης μπορεί να διαλέγει το καλύτερο δίκτυο ανά περίπτωση ανάλογα με το χρόνο, το χώρο όπου βρίσκεται αλλά και το κόστος της παρεχόμενης υπηρεσίας. [13]

2.3.3 Εφαρμογές και Υπηρεσίες δικτύων 4G

Πολλές από τις υπάρχουσες εφαρμογές και υπηρεσίες έχουν ήδη αρχίσει να επηρεάζονται από την έλευση της 4G ασύρματης επικοινωνίας και ο τομέας που προβλέπεται να επωφεληθεί περισσότερο είναι αυτός του ηλεκτρονικού εμπορίου. Στη συνέχεια παρατίθενται ορισμένες από τις υπηρεσίες που θα βελτιωθούν στο άμεσο μέλλον και θα αλλάξουν σε σημαντικό βαθμό την καθημερινότητα των ανθρώπων που είναι οι εξής:

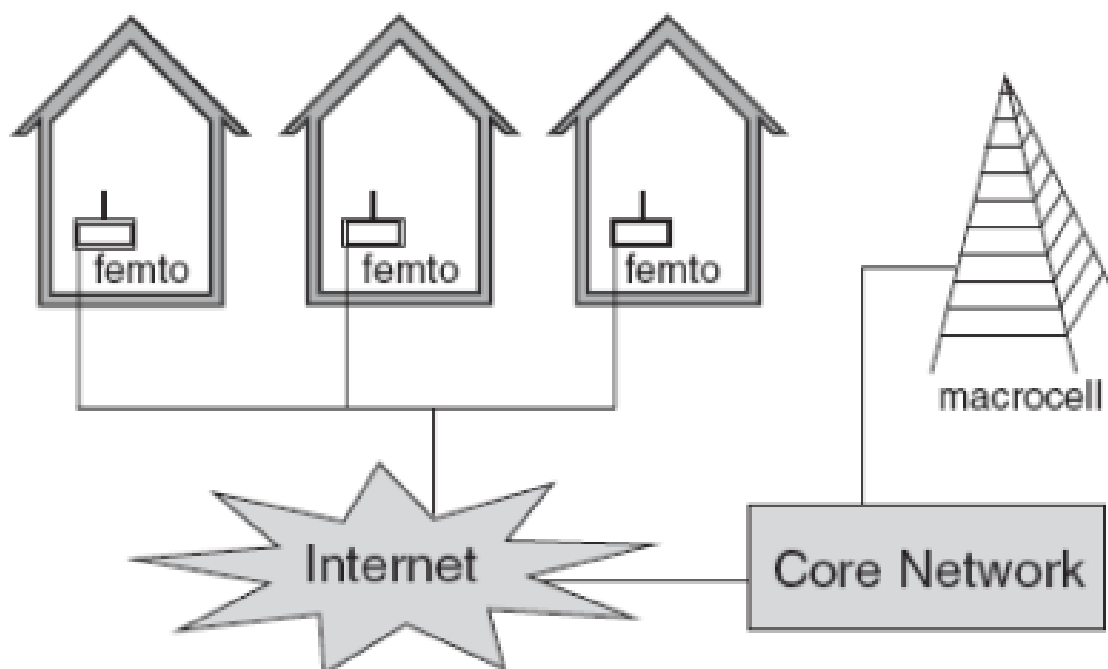
- ✓ Τηλεϊατρική: λαμβάνοντας υπόψη την εκτιμώμενη αύξηση της γήρανσης του πληθυσμού ανά την υφήλιο, οι εφαρμογές 4G διαδραματίζουν και αναμένεται να διαδραματίσουν ένα ακόμη πιο κρίσιμο ρόλο στον έλεγχο του διαρκώς αυξανόμενου κόστους της υγειονομικής περίθαλψης. Επίσης, θα επιτρέψει έγκαιρες και υψηλού επιπέδου λύσεις υγειονομικής περίθαλψης σε πολύ μεγαλύτερο πληθυσμό που περιλαμβάνει χωριά σε απομακρυσμένες περιοχές.
- ✓ Ασφάλιση: η τεχνολογία 4G βοηθά στη μέτρηση, παρακολούθηση, συλλογή και διάδοση δεδομένων αναφορικά με τα προφίλ ατόμων που είναι περισσότερο εκτεθειμένοι σε κινδύνους από άλλους, για τις ασφαλιστικές εταιρίες. Αυτό θα δημιουργήσει ευέλικτες επιλογές πριμοδότησης και επίλυση βασικών δυσαρμονιών των πελατών, καθότι δεν θα πρέπει όλοι να πληρώνουν τις ίδιες ασφαλιστικές εισφορές, από την στιγμή που όλοι οι άνθρωποι δεν είναι το ίδιο επιρρεπείς σε διαφορετικούς κινδύνους.
- ✓ Μετάδοση και ασφάλεια δεδομένων: με την συγκεκριμένη τεχνολογία αυξάνεται η ταχύτητα ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ διαφορετικών μηχανών με πολλαπλούς τρόπους, κάτι που θα επιτρέψει την απομακρυσμένη επεξεργασία των δεδομένων [5] με εκπομπή εντολών για μηχανές (π.χ. για οχήματα). Παράλληλα θα βελτιωθεί και η ασφάλεια στην μετάδοση δεδομένων με αποτέλεσμα την μεγάλη αύξηση των ηλεκτρονικών τραπεζικών συναλλαγών.
- ✓ Εκπαίδευση και εργασία εξ αποστάσεως: η χρήση υλικού και φορητών συσκευών βελτιώνει την αποτελεσματικότητα τόσο της εκπαίδευσης όσο και της εργασίας, καταργώντας ακόμα περισσότερο τους χρονικούς και χωρικούς περιορισμούς. [14]

2.4 Femtocells

Τα femtocells, γνωστά και ως femto σταθμοί βάσης, είναι σημεία πρόσβασης που παρέχουν σύνδεση μεταξύ συσκευών κινητής στο δίκτυο του παρόχου κινητής τηλεφωνίας μέσω της οικιακής DSL, ή άλλης ευρυζωνικής σύνδεσης του ίδιου του

χρήστη. Η μονάδα femtocell ενσωματώνει την λειτουργικότητα ενός τυπικού σταθμού βάσης. Ένα femtocell μοιάζει με ένα σημείο πρόσβασης Wi-Fi. Εντούτοις, περιέχει επίσης στοιχεία λειτουργικότητας RNC (Radio Network Controller) στην περίπτωση του GSM. Έτσι, δεν απαιτεί την ύπαρξη macrocell δικτύου, απαιτώντας μόνο σύνδεση δεδομένων DSL ή cable με το Internet, μέσω του οποίου συνδέεται με το δίκτυο κορμού κινητής τηλεφωνίας. Ένα femtocell φαίνεται σαν ένα σημείο πρόσβασης Wifi (Wifi Access Point). Ωστόσο, στο εσωτερικό, είναι σημαντικά διαφορετικό αφού το πρώτο υλοποιεί τεχνολογίες Wifi (πρότυπα IEEE802.11b, 802.11g και 802.11n), ενώ το δεύτερο υλοποιεί τεχνολογίες όπως GSM / GPRS / EDGE, UMTS / HSPA / LTE / LTE-A και mobile WiMAX (IEEE 802.16e).

Οι τεχνολογίες πίσω από τα femtocells είναι τεχνολογίες κινητών δικτύων. Δεδομένου ότι η βασική κινητήρια δύναμη της ανάπτυξης femtocells είναι η ζήτηση για όλο και υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων σε εσωτερικούς χώρους, το ενδιαφέρον για τα femtocells έχει αυξηθεί κατακόρυφα. Χαρακτηριστικό των femtocells είναι πως εγκαθίστανται από τους χρήστες και όχι από τους διαχειριστές των δικτύων. Για αυτό θα πρέπει να θεωρούνται ως ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης. Για να εξασφαλιστεί η ελάχιστη δυνατή παρέμβαση στα macrocells και στα γειτονικά femtocells, ένα femtocell πρέπει να είναι σε θέση να ρυθμίσει αυτόματα τις παραμέτρους λειτουργίας του. Η αυτόματη ρύθμιση του femtocell μπορεί να χωριστεί στη φάση αίσθησης του περιβάλλοντος (sensing), που γίνεται συνήθως μέσω σάρωσης και κατά την οποία θα πρέπει να αξιολογηθούν οι συνθήκες της ασύρματης μετάδοσης στο περιβάλλον του femtocell και στη φάση αυτορύθμισης, στην οποία ρυθμίζονται παράμετροι όπως η ισχύς μετάδοσης στο downlink, κατανομή πόρων κ.λπ. Η αυτόματη ρύθμιση των femtocell είναι το κλειδί για την επιτυχή ανάπτυξη της τεχνολογίας. Πριν την εγκατάσταση των femtocells, οι πάροχοι πρέπει να ελέγξουν τα σενάρια ανάπτυξης femtocell μέσα από δοκιμές και προσομοιώσεις. Ο κύριος σκοπός της προσομοίωσης και των δοκιμών είναι να μάθουμε τον αντίκτυπο της ανάπτυξης femtocell στο macrocell στρώμα καθώς και πώς τα femtocells μπορούν να επηρεάσουν το ένα το άλλο, όπως θα φανεί και στη συνέχεια της παρούσας εργασίας. Σύμφωνα με την ικανότητά τους, τα femtocells μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, δηλαδή της μικρής κλίμακας femtocell, η οποία μπορεί να υποστηρίξει 3-6 ταυτόχρονους χρήστες και της μεγαλύτερης, η οποία μπορεί να υποστηρίξει 8-16 χρήστες και προορίζεται για τις μεγάλες επιχειρήσεις. Η βασική ιδέα πίσω από τα femtocells είναι η παροχή υπηρεσιών υψηλής ταχύτητας δεδομένων. Η πιθανότητα όλοι οι συνδρομητές να χρησιμοποιήσουν ταυτόχρονα το femtocell για τέτοιες υπηρεσίες θεωρήθηκε μικρή, και αυτός είναι και ο κύριος λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος αριθμός υποστήριξης ταυτόχρονων χρηστών. Επιπλέον, ο αριθμός περιορίζεται και από το περιορισμένο εύρος ζώνης του ADSL uplink.



Εικόνα 19: Τα femtocells συνδέονται με το δίκτυο κορμού διαμέσου της backhaul σύνδεσης του χρήστη

Τα βασικά πλεονεκτήματά τους είναι τα εξής:

- ✓ Παρέχουν κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους όπου τα macrocells δεν μπορούν.
- ✓ Απαλλάσσουν φόρτο από το στρώμα macrocell βελτιώνοντας την απόδοσή τους.
- ✓ Θεωρώντας καλή απομόνωση, η προσθήκη ενός στρώματος femtocell βελτιώνει σημαντικά την συνολική χωρητικότητα το δικτύου με την επαναχρησιμοποίηση του φάσματος.
- ✓ Μπορούν να προσφέρουν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας στα τερματικά. Οι απώλειες μετάδοσης λόγω τοιχωμάτων (penetration loss) προς το εσωτερικά εγκατεστημένο femtocell είναι πολύ μικρότερες από ότι στην διαδρομή ως τον εξωτερικό σταθμό βάσης του macrocell, και έτσι η απαιτούμενη ισχύς εκπομπής του UE μειώνεται. Αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό καθώς η διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστεί στη προσπάθεια παροχής υπηρεσιών υψηλής ταχύτητας δεδομένων σε κινητά τερματικά.
- ✓ Εφόσον τα femtocells χρειάζεται να ενεργοποιηθούν μόνο όταν οι χρήστες βρίσκονται στο σπίτι ή στην εργασία, η χρήση τους είναι πιο «πράσινη» από τα macrocells. Η κατανάλωση ενέργειας των σταθμών βάσης αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό ποσοστό από το κόστος ενός δικτύου για τους χειριστές. Ένας σταθμός βάσης καταναλώνει πολύ μεγαλύτερη ισχύ από εκείνη που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση και λήψη σημάτων. Αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες:
 - α) η αποτελεσματικότητα των ενισχυτών είναι πολύ χαμηλή,

β) ένας σταθμός βάσης απαιτεί ένα αρκετά κοστοβόρο σύστημα κλιματισμού, ώστε να διατηρείται η σωστή θερμοκρασία,

γ) ένα εφεδρικό σύστημα απαιτείται σε περίπτωση απώλειας ισχύος. Τα παραπάνω έχουν οδηγήσει στην αύξηση της ανάγκης για πιο «πράσινα» συστήματα, όπως τα femtocells.

- ✓ Δεδομένου ότι ένα μεγάλο μέρος της κυκλοφορίας (έως 70-80%) μπορεί να αποφορτιστεί από τα macrocells, λιγότεροι εξωτερικοί σταθμοί βάσης θα χρειαστούν. Η μείωση των macrocell θα οδηγήσει σε μια τεράστια εξοικονόμηση κόστους για τις εταιρείες σε ασύρματα δίκτυα πρόσβασης. Επιπλέον, η μείωση των macrocell απλοποιεί τη μελέτη του χώρου και της διαδικασίας σχεδιασμού των δικτύων. Θα οδηγήσει επίσης σε λιγότερο ενοίκιο που θα πρέπει να καταβληθεί για τη χρήση των χώρων σταθμού βάσης. Στην εγκατάσταση των 3G/4G δικτύων, η απόκτηση χώρου από τους παρόχους για εγκαταστάσεις αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση, ιδίως στις αστικές περιοχές καθώς έχει γίνει όλο και πιο δύσκολο να βρεθούν διαθέσιμοι χώροι για τους σταθμούς βάσης.

Τα femtocells μπορούν να βοηθήσουν τους παρόχους να προσφέρουν με οικονομικά βιώσιμο τρόπο, μεγαλύτερης χωρητικότητας δίκτυα και να δημιουργήσουν ένα πιο αποδοτικό σχέδιο αναβάθμισης του δικτύου τους με μειωμένους κινδύνους και οικονομικές επιβαρύνσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως τα femtocells είναι λύσεις χαμηλού κόστους για εσωτερική κάλυψη σε σύγκριση με άλλες προσεγγίσεις και πως πλέον οι χρήστες μοιράζονται ένα σημαντικό μέρος της εγκατάστασης (και της συντήρησης) των υποδομών του δικτύου. Επιπλέον, τα femtocells βελτιώνουν σημαντικά την ποιότητα των υπηρεσιών, αυξάνοντας έτσι την εμπιστοσύνη των πελατών και τη μείωση των αποσυνδέσεων, ένα μείζον ζήτημα που μπορεί να κοστίσει στους παρόχους ένα σημαντικό ποσό. Έρευνες δείχνουν ότι η κακή ποιότητα των υπηρεσιών είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για έναν συνδρομητή να αφήσει μια εταιρεία κινητής τηλεφωνίας. Τα femtocells θα βοηθήσουν τους παρόχους κινητών επικοινωνιών να προωθήσουν τη χρήση υπηρεσιών δεδομένων με την παροχή σύνθετων υπηρεσιών (για παράδειγμα, μέσω σχεδίων ζώνης στο σπίτι και συνδυαστικά πακέτα), το οποίο θα ενισχύσει το μέσο κέρδος ανά χρήστη (ARPU), καθώς έχει αποδειχτεί πως οι υπηρεσίες φωνής μόνο δεν είναι πλέον αρκετές για ένα θετικό ARPU. Συνολικά, μπορούμε να πούμε πως σε σύγκριση με τα picocells και άλλες εσωτερικές τεχνολογίες, τα femtocells είναι μια λύση χαμηλού κόστους για την αύξηση της κάλυψης σε εσωτερικούς χώρους και τη βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών. Εξυπηρετούν τον ιδιοκτήτη παρέχοντας μια απρόσκοπτη εμπειρία χρήστη σε εσωτερικούς χώρους, στην εργασία, εν κινήσει ή στο σπίτι, και να προσφέρει τη βάση για συγκλίνουσες υπηρεσίες επόμενης γενιάς που συνδυάζουν φωνή, βίντεο και δεδομένα σε μία συσκευή. Για τους συνδρομητές, όσους δηλαδή βίωναν καθόλου ή κακή κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους στο σπίτι, τα femtocells τους δίνουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν τα κινητά τους στο σπίτι για υπηρεσίες φωνής, πολυμέσων, βίντεο και υψηλής ταχύτητας δεδομένων. Τα femtocells τους προσφέρουν ένα ενιαίο βιβλίο διευθύνσεων και ένα κοινό λογαριασμό χρέωσης για την γραμμή ευρυζωνικών συνδέσεων και τη χρήση κινητού τηλεφώνου. Οι χρήστες μπορούν να επωφεληθούν από υπηρεσίες που εκμεταλλεύονται την ατομικότητα των femtocells και από πακέτα υπηρεσιών που θα είναι

πιο αποδοτικά σε σχέση με το αν οι υπηρεσίες παρέχονταν από περισσότερους από έναν πάροχο. Το femtocell μπορεί να λειτουργήσει επίσης ως εστιακό σημείο για τη σύνδεση όλων των εσωτερικών συσκευών σε ένα διακομιστή στο σπίτι και να λειτουργεί ως πύλη για τη σύνδεση όλων των συσκευών στο Internet.

2.4.1 Τεχνικά θέματα

Εκτός από τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα υπάρχουν και τεχνικά ζητήματα που σχετίζονται με τα femtocells. Πριν επεκταθούμε στο ζήτημα των παρεμβολών και την αντιμετώπισή του, η ενότητα αυτή παρουσιάζει συνοπτικά τα προβλήματα αυτά. Τα θέματα που παρουσιάζονται κατωτέρω περιλαμβάνουν τόσο τεχνικές όσο και εμπορικές προκλήσεις:

- ✓ Χαμηλού κόστος ακριβής συγχρονισμός των femtocells.
Ο συγχρονισμός είναι αναγκαίος για να μειωθούν οι παρεμβολές. Αν ο χρονισμός δεν είναι αρκετά ακριβής, θα προκύψουν λάθη κατά τη δημιουργία του πλαισίου στο πεδίο του φάσματος και έτσι θα μπορούσε να παρατηρηθεί μετατόπιση της συχνότητας των υποφορέων, καθιστώντας αδύνατες τις μεταπομπές από κυψέλη σε κυψέλη. Επιπλέον, καλή ακρίβεια χρονισμού απαιτείται για την αντιμετώπιση φαινομένων Doppler λόγω της κινητικότητας των χρηστών. Ως εκ τούτου, μια μεγάλη πρόκληση για τα femtocells, και προϋπόθεση για την επιτυχία τους, είναι η αντιμετώπιση των απαιτήσεων χρονισμού. Πολλές λύσεις έχουν προταθεί για το συγχρονισμό, καθώς ο περιορισμός του χαμηλού κόστους στενεύει τα περιθώρια λύσεων. Πράγματι, το κύριο μειονέκτημα είναι ότι οι ακριβείς ταλαντωτές είναι πολύ ακριβοί, και έχει εκτιμηθεί, ότι ο κρύσταλλος αντιπροσωπεύει το ακριβότερο στοιχείο σε ένα femtocell. Για αυτό και άλλες λύσεις αναζητούνται συνεχώς, όπως διαμέσου του Internet, προκειμένου να εξασφαλιστεί ο συγχρονισμός με μικρό κόστος.
- ✓ Η γνώση της γεωγραφικής θέσης των femtocell. Μια άλλη σημαντική πρόκληση σε σχέση με τα femtocells είναι η δυνατότητα να εκτιμήσουν τη γεωγραφική θέση τους. Η γνώση είναι αναγκαία για διάφορους λόγους όπως για παράδειγμα υπηρεσίες κλήσεων έκτακτης ανάγκης, το προσεκτικότερο σχεδιασμό του δικτύου και καλύτερο έλεγχο πρόσβασης. Σύμφωνα με έρευνες, το 80% των ερωτηθέντων δήλωσε ότι ήταν σημαντικό ή πολύ σημαντικό η θέση της κυψέλης τους να μπορεί να εντοπιστεί σε έναν χάρτη. Όσον αφορά τις λύσεις για την εξασφάλιση της θέσης των femtocells, είναι πιθανό ότι η υλοποίηση και η διαδικασία να πρέπει να ευθυγραμμίζονται με τους κανονισμούς της χώρας όπου τα femtocells έχουν αναπτυχθεί.
- ✓ Ασφάλεια και σωστή ταυτοποίηση.
Οι περισσότεροι υποψήφιοι πελάτες femtocell είναι ιδιαίτερα ανήσυχοι για την προστασία της ιδιωτικότητάς τους. Για παράδειγμα, είναι γνωστό ότι η χρήση κλειδιών κρυπτογράφησης Wired Equivalent Privacy (WEP) για το Wi-Fi είναι εύκολο να σπάσει. Στα femtocells, ειδικά εάν χρησιμοποιούνται με δημόσια πρόσβαση, οποιοδήποτε κινητό χρήστη έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί με αυτά,

καθιστώντας σημαντική την προστασία των ιδιωτικών πληροφοριών του συνδρομητή του femtocell, και την αποφυγή παράνομης χρήσης του femtocell από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες. Στα δίκτυα femtocell, υπάρχουν τρεις κύριες ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια:

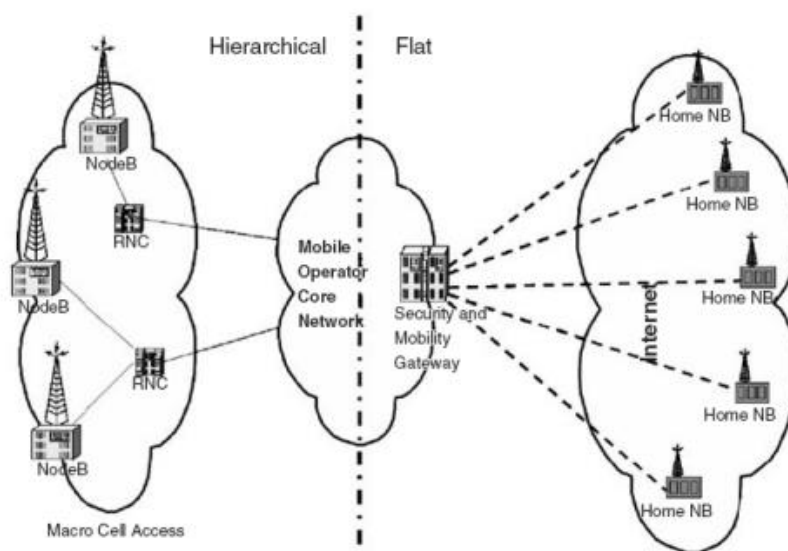
α) Η διαθεσιμότητα του δικτύου και της παροχής υπηρεσιών: εφόσον η σύνδεση μεταξύ του femtocell και του δικτύου κορμού βασίζεται σε IP, υπάρχει κίνδυνος επίθεσης Denial of Service (DoS). Αυτό συμβαίνει όταν για παράδειγμα, ένας κακόβουλος χρήστης συνδέεται με το σύνδεσμο μεταξύ του femtocell και του CN, επιβαρύνοντας την ικανότητα επεξεργασίας του δικτύου και εμποδίζοντας τη νόμιμη σύνδεση των συνδρομητών με το femtocell τους. Μερικά άλλα παραδείγματα θα μπορούσαν να είναι η υποβάθμιση της ποιότητας του δικτύου με την αποστολή μη εξουσιοδοτημένων μηνυμάτων στο CN. Τέτοιες επιθέσεις πρέπει να εμποδίζονται, ώστε να εξασφαλιστεί η διαθεσιμότητα του δικτύου προς συνδρομητές.

β) Η πρόληψη της απάτης και της κλοπής των υπηρεσιών : ορισμένες από τις επιθέσεις συμβαίνουν όταν συνδέονται μη εξουσιοδοτημένοι χρήστες σε femtocell και κάνουν παράνομη χρήση των υπηρεσιών του. Για παράδειγμα, σε CSG λειτουργία, είναι σημαντικό να εξασφαλίζεται ότι όσο δεν είναι συνδρομητές δε θα έχουν πρόσβαση στο femtocell. Ένα άλλο παράδειγμα θα ήταν ένας χρήστης που ταυτοποιείται ως άλλος συνδρομητής femtocell ώστε να αποφύγει τη χρέωση. Σε αυτήν την περίπτωση, όλες οι κλήσεις θα πρέπει να καταβληθούν λανθασμένα από τον νόμιμο συνδρομητή του femtocell. Για την ασφαλή ταυτοποίηση, δύο αποδοτικές μέθοδοι έχουν προταθεί, έκαστη με διαφορετικά πλεονεκτήματα.

γ) Ιδιωτικότητα και εμπιστευτικότητα: εφόσον στα femtocells, τα δεδομένα του χρήστη μεταδίδονται πάνω από το Internet, υπόκεινται στα ίδια ζητήματα ασφάλειας των IP επικοινωνιών. Επιπλέον, τα femtocells αναμένεται να συνδεθούν στο δίκτυο του σπιτιού και να λειτουργήσουν ως πύλες σύνδεσης με διαφορετικές συσκευές. Ως εκ τούτου, καθίσταται εξαιρετικά σημαντική η προστασία όλων των δεδομένων που είναι προσβάσιμα από το femtocell.

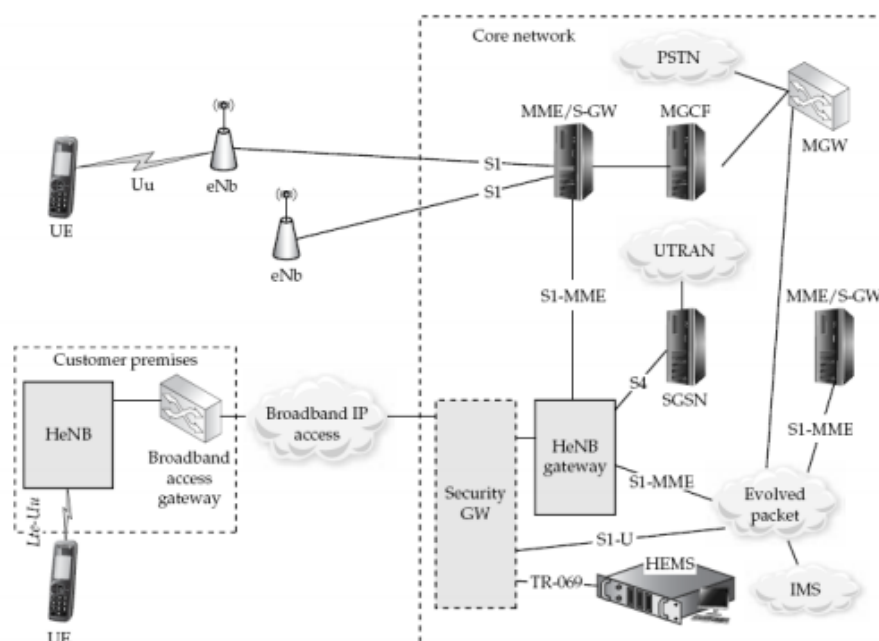
2.4.2 Αρχιτεκτονική LTE-A femtocells

Ενώ η βιομηχανία της κινητής τηλεφωνίας έχει υιοθετήσει επιτυχώς την τεχνολογία, μια σειρά από βασικές τεχνικές προκλήσεις πρέπει πρώτα να αντιμετωπιστεί. Μια τέτοια πρόκληση ήταν και ο καθορισμός και η τυποποίηση της ενσωμάτωσης των femtocells σε κινητά δίκτυα παροχής υπηρεσιών. Σε αντίθεση με τα macrocells, τα δίκτυα femtocells απαιτούν από τους παρόχους να ενσωματώσουν εκατοντάδες χιλιάδες χαμηλής δυναμικότητας σταθμούς βάσης στο σπίτι, που μπορεί να μετακινηθούν, να προστεθούν, και να αλλαχθούν από τους τελικούς χρήστες ανά πάσα στιγμή.



Εικόνα 20: Ενσωμάτωση FEMTOCELLS στην Αρχιτεκτονική Δικτύου

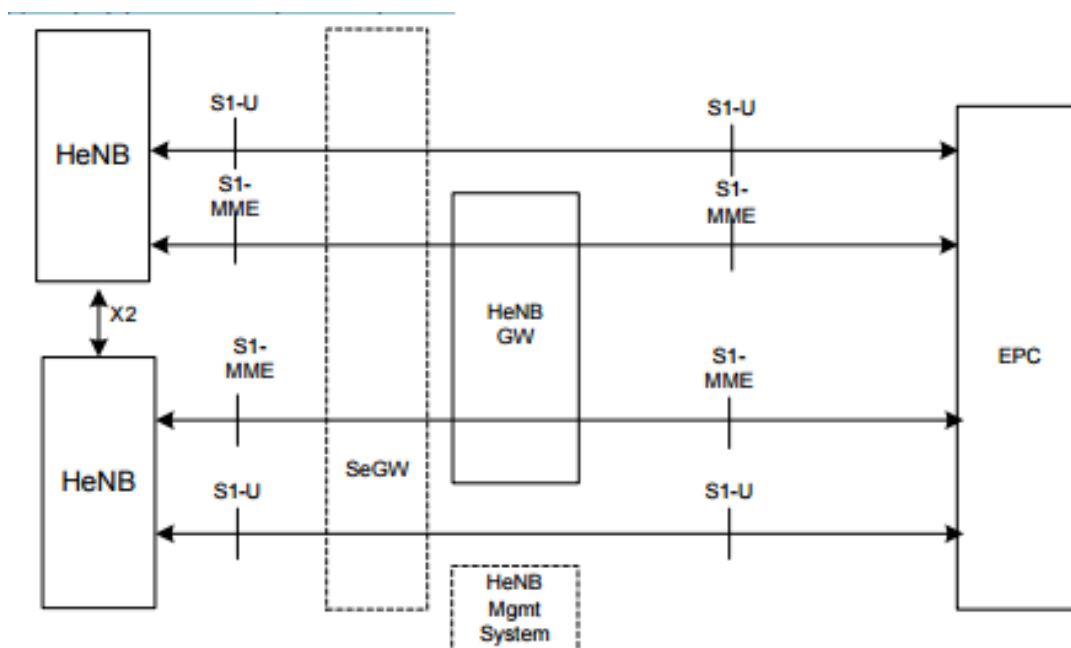
Επειδή η τεχνολογική πρόοδος επιτρέπει ισχυρές δυνατότητες επεξεργασίας ακόμη και σε χαμηλού κόστους σταθμούς βάσης, οι στοίβες πρωτοκόλλου δικτύου μπορεί να διαφοροποιηθούν. Επιπλέον, το πρότυπο Internet Protocol (IP) αντικατέστησε γρήγορα τα ιεραρχικά πρωτόκολλα μετάδοσης τηλεπικοινωνιών. Ο συνδυασμός των παραπάνω καθιστά δυνατή την χρήση δικτύων όπως το Internet ως μεταφορά backhaul στο δίκτυο του παρόχου κινητής. Για το LTE/LTE-A που μας απασχολεί στην παρούσα εργασία, η τυποποίηση για τα femtocells αποτελεί μέρος του αρχικού προτύπου βάσης, το οποίο επιτρέπει στα ζητήματα των LTE femtocells να αντιμετωπιστούν παράλληλα με την ανάπτυξη του LTE. Τα femtocells μπορούν επίσης να βοηθήσουν στην ανάπτυξη των LTE υπηρεσιών από την άποψη ότι η κατανομή των LTE NodeB σταθμών μπορεί να είναι αρκετά λιγότερο πυκνή. Χρησιμοποιώντας μικρά δίκτυα, οι πάροχοι υπηρεσιών μπορούν να επεκτείνουν την κάλυψη σε οποιαδήποτε θέση όπου η ευρυζωνική πρόσβαση είναι διαθέσιμη. Αυτό αυξάνει σημαντικά την ικανότητα της εταιρείας να παρέχει LTE κάλυψη σε περιοχές που διαφορετικά δεν θα ήταν εφικτό.



Εικόνα 21: Διάγραμμα LTE Δικτύου με Δίκτυο FEMTOCELL

Η παραπάνω εικόνα παρουσιάζει ένα υψηλού επιπέδου διάγραμμα ενός LTE δικτύου που περιλαμβάνει ένα δίκτυο femtocell. Το UE επικοινωνεί ασύρματα με ένα HeNodeB(LTE-A femtocell). Το HeNB αποτελεί μια μικρογραφία του eNodeB παρέχοντας κάλυψη LTE στο σπίτι του πελάτη. Τα HeNB διασυνδέονται με το δίκτυο του παρόχου κινητής μέσω του ευρυζωνικού δικτύου διαμέσου μιας πύλης ευρυζωνικής πρόσβασης, όπως και σε όλους τους τύπους femtocells. Το δίκτυο κορμού του παρόχου της κινητής τηλεφωνίας αποκτά πρόσβαση στο HeNB που είναι συνδεδεμένο στην συσκευή ευρυζωνικής πρόσβασης μέσω μιας πύλης ασφαλείας. Η πύλη ασφαλείας χρησιμοποιείται για την προστασία του δικτύου κορμού από επιθέσεις. Από την αξιόπιστη πλευρά της πύλης ασφαλείας βρίσκεται η πύλη HeNB GW. Η HeNB GW είναι υπεύθυνη για τη συγκέντρωση της κυκλοφορίας από ένα μεγάλο αριθμό HeNBs και τη διασύνδεσή τους με το κεντρικό δίκτυο EPC. Η διεπαφή S1-MME μεταφέρει δεδομένα χρησιμοποιώντας την LTE S1-MME διεπαφή. Το HeNB διασυνδέεται με το EPC χρησιμοποιώντας την διεπαφή LTE S1-U διαμέσου της πύλης ασφαλείας. Οι λειτουργικές μονάδες είναι κοινές με αυτές για το HNB (3G femtocell). Η HeNB GW εμφανίζεται στο MME ως eNB, ενώ η HeNB GW εμφανίζεται στο HeNB ως MME. Η S1 διεπαφή μεταξύ του HeNB και του EPC είναι η ίδια, ανεξάρτητα από το αν το HeNB είναι συνδεδεμένο με το EPC μέσω HeNB GW ή όχι. Η HeNB GW πρέπει να συνδέεται με το EPC με τέτοιο τρόπο ώστε η εισερχόμενη και εξερχόμενη κινητικότητα σε κυψέλες που εξυπηρετούνται από την HeNB GW δεν απαιτούν κατ' ανάγκην μεταπομπή (handover) μεταξύ των MME. Ένα HeNB εξυπηρετεί μόνο ένα κελί. Οι λειτουργίες που υποστηρίζονται από το HeNB πρέπει να είναι οι ίδιες με εκείνες που υποστηρίζονται από eNodeB (με κάποιες πιθανές εξαιρέσεις) και οι διαδικασίες που τρέχουν μεταξύ HeNB και του EPC θα πρέπει να είναι οι ίδιες με εκείνες μεταξύ eNodeB και του EPC. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι πως βάση των προδιαγραφών επιτρέπεται η επικοινωνία των HeNB μέσω της X2 σηματοδότησης

προκειμένου να συντονίζονται για διαδικασίες κατανομής πόρων, αποφυγής παρεμβολών και μεταπομπών.



Εικόνα 22: Λογικό Μοντέλο Αρχιτεκτονικής Δικτύου FEMTOCELLS

Η στοίβα πρωτοκόλλου χρήστη είναι ακριβώς η ίδια με αυτή που χρησιμοποιείται για την σύνδεση με το eNodeB αφού το UE βλέπει το HeNB σαν eNodeB. Στο φυσικό επίπεδο υπάρχει διεπαφή RF. Πάνω από το στρώμα MAC, τα υψηλότερα στρώματα των πρωτοκόλλων ελέγχου του UE χρησιμοποιούν το Radio Link Control (RLC) υποστρώμα για να αποκτήσουν πρόσβαση στα διάφορα κανάλια πάνω από τα οποία θα επικοινωνεί με το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Το RLC παρέχει παράδοση των μηνυμάτων χωρίς λάθη μέσω μηχανισμών εντοπισμού σφαλμάτων, αυτοποίησης των μηνυμάτων και αναμετάδοσής τους. Το πρωτόκολλο Packet Data Convergence Protocol (PDCP) εκτελεί συμπίεση επικεφαλίδας, αυξάνει την αξιοπιστία της παράδοσης του πακέτου και παρέχει κρυπτογράφηση και μεταφορά των δεδομένων του πρωτοκόλλου ελέγχου.

Το Radio Resource Control (RRC), όπως υποδηλώνει το όνομα, είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση των πόρων που ανατίθενται στα UE. Το RRC εγκαθιστά και απελευθερώνει κανάλια, συμπεριλαμβανομένων των καναλιών σηματοδότησης. Οι μετρήσεις των ραδιοσημάτων ενεργοποιούνται και αναφέρονται στο RRC, επιτρέποντάς του να εκτελεί τη διαχείριση της κινητικότητας. Η διαχείριση της κινητικότητας περιλαμβάνει τη διαπίστωση αν μια κλήση πρέπει να μεταβιβάζεται (handover), την επιλογή της κυψέλης και τη δρομολόγηση των ενημερώσεων. Το RRC υποστηρίζει QoS, μέτρηση σημάτων αναφοράς από τα UE και μεταφορά μηνυμάτων NAS. Το πρωτόκολλο ελέγχου NAS είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση φορέων του EPS (Evolved Packet System), την ταυτοποίηση και τον έλεγχο ασφαλείας. Τα EPS κανάλια χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά πολυμέσων, φωνής και δεδομένων. Το πρωτόκολλο Εφαρμογής S1 (S1-AP) είναι υπεύθυνο για τις μεταπομπές, την αναφορά τοποθεσίας, την εξισορρόπηση του φόρτου και τον έλεγχο για υπερφόρτωση. Το S1-AP πρωτόκολλο λειτουργεί πάνω από το πρωτόκολλο Stream Control Transmission Protocol (SCTP). Το SCTP, είναι παρόμοιο με το Transmission Control Protocol (TCP), δηλαδή είναι ένα πρωτόκολλο επιπέδου

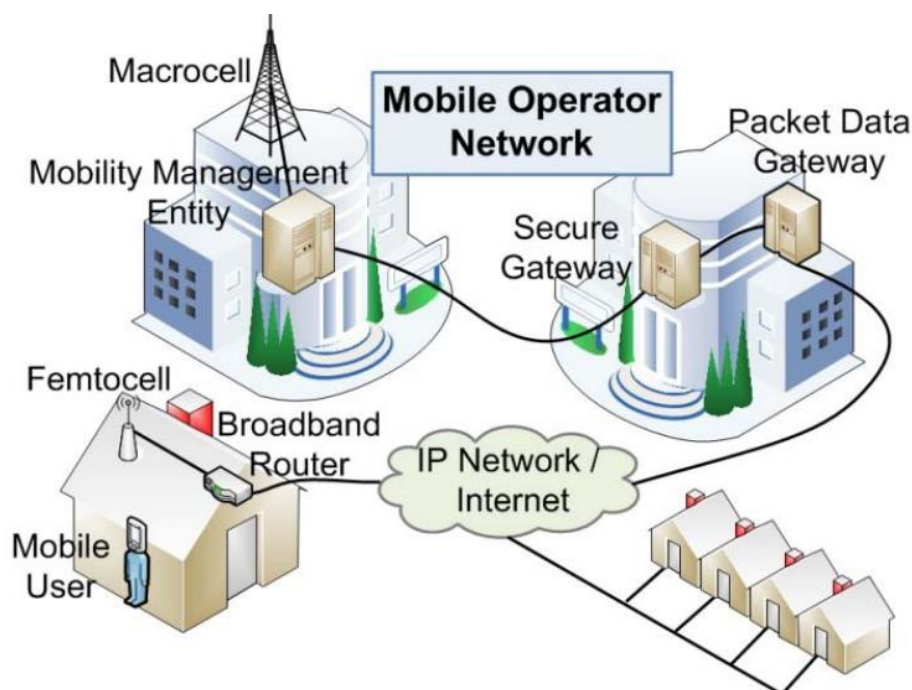
μεταφοράς παρέχοντας αξιόπιστη παράδοση των μηνυμάτων μεταξύ του HeNB και της HNB-GW. Στο στρώμα IP, το IPsec χρησιμοποιείται για λόγους ασφαλείας, δεδομένου ότι οι επικοινωνίες μεταξύ της πύλης HNB-GW και της πύλης ασφαλείας γίνονται πάνω από ένα μη αξιόπιστο δίκτυο IP. Τα Broadband Layer2 (BB L2) και το Physical Layer (BB Phy) εξαρτώνται από το είδος της ευρυζωνικής πρόσβασης που χρησιμοποιείται από το συνδρομητή, όπως οπτική ίνα (FTTH), καλωδιακή ή DSL.

2.4.3 Περιγραφή Δικτύου με femtocells

Τα femtocells αναπτύσσονται σε μεγάλους αριθμούς ενώ θεωρητικά, κάθε σπίτι ή εταιρεία θα μπορούσε να έχει εγκαταστήσει από ένα. Ως αποτέλεσμα, τα femtocells εγκαθίστανται από τον πελάτη με παρόμοιο τρόπο που εγκαθιστούν και WiFi δρομολογητές. Πότε και πού ένας πελάτης εγκαθιστά ένα femtocell είναι ένα εντελώς τυχαίο γεγονός. Για να μειωθούν οι λειτουργικές δαπάνες των femtocells απαιτείται τα δίκτυα femtocells να είναι plug-and-play. Για να καλυφθεί αυτή η ανάγκη τα femtocells μπορούν να υποστηρίξουν λειτουργίες αυτό-οργανώσιμων δικτύων (SON-Self-organizing Networks). Τα macrocells έχουν αναπτυχθεί μετά από εκτεταμένες μετρήσεις και ρυθμίσεις των παραμέτρων από τον πάροχο. Αντίθετα τα SON femtocells πρέπει να είναι σε θέση να προσαρμόζονται δυναμικά κατά την εγκατάσταση και τη λειτουργία τους, ακολουθώντας τις αλλαγές στις συνθήκες του περιβάλλοντός τους, όπως για παράδειγμα την εγκατάσταση ενός γειτονικού femtocell. Παρακάτω περιγράφονται μερικοί από τους πιθανούς μηχανισμούς που χρησιμοποιούνται για να επιτρέπουν στα δίκτυα femtocells δυνατότητες SON:

- ✓ Κατά τη διαδικασία έναρξης λειτουργίας, ένα femtocell καταγράφει και πιστοποιεί τον εαυτό του με το δίκτυο femtocell και στέλνει την τοποθεσία του στον Femtocell Application Server (FAS). Το FAS μπορεί να στείλει στο femtocell τις αρχικές παραμέτρους ρύθμισης μετάδοσης με βάση την εγγύτητά του με άλλα femtocells και macrocells.
- ✓ Μόλις ταυτοποιηθεί το femtocell μπορεί να κατεβάσει αυτόματα την τελευταία έκδοση λογισμικού, το οποίο περιλαμβάνει ενημερώσεις για τη βέλτιστη λειτουργία του.
- ✓ Το femtocell θα πρέπει να είναι σε θέση να τρέχει διαγνωστικά τεστ προκειμένου να διαπιστωθούν τυχόν αστοχίες υλικού που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την απόδοσή του.
- ✓ Σε τακτά χρονικά διαστήματα, το femtocell μπορεί να εκτελέσει διάφορες μετρήσεις προκειμένου να ανιχνεύσει μεταβολές στην ισχύ μετάδοσης από γειτονικά femtocells ή/και από macro σταθμούς βάσης. Μετά από τη μέτρηση που συνήθως λαμβάνει χώρα μέσω σάρωσης, το femtocell μπορεί να προσαρμόσει τις παραμέτρους μετάδοσης για την βελτιστοποίηση της απόδοσής του. Αυτές οι αλλαγές θα πρέπει να αναφερθούν πάλι στο FAS.
- ✓ Το FAS μπορεί να διατηρήσει μια λίστα των γειτονικών femtocells και macrocells. Σε αυτόν τον κατάλογο περιλαμβάνονται οι ρυθμίσεις της μετάδοσης, όπως η ισχύς εκπομπής και οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται. Όταν συμβούν αλλαγές

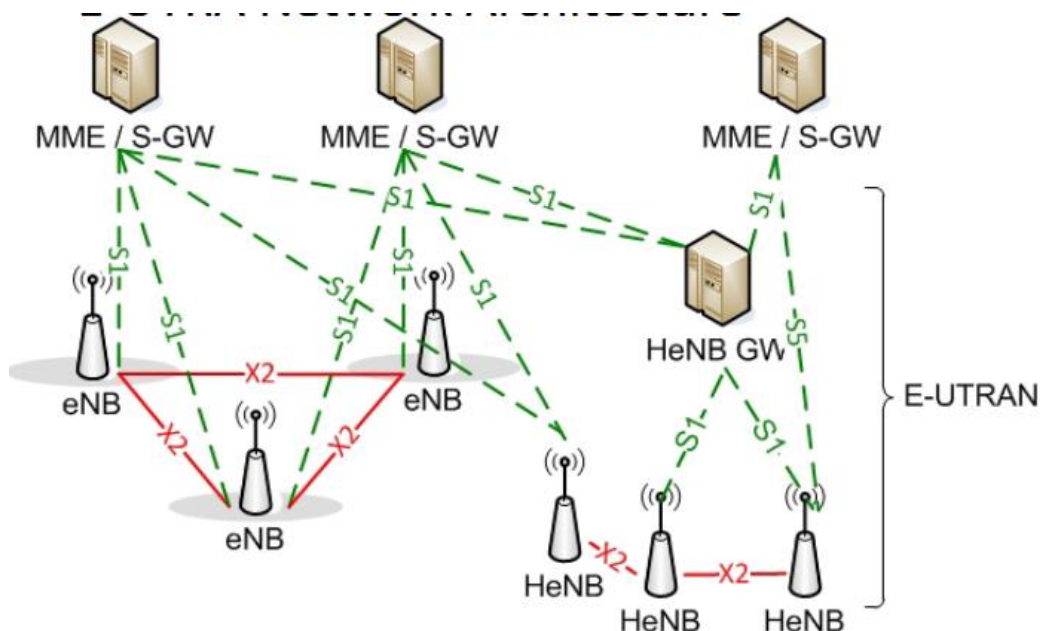
στο δίκτυο, όπως η εγκατάσταση ενός νέου femtocell, το FAS μπορεί να ζητήσει προσαρμογές σε μία ή περισσότερες παραμέτρους των femtocells, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η απόδοση του δικτύου. [16]



Εικόνα 23: Παράδειγμα Υλοποίησης femtocell

2.4.4 Διαχείριση Κινητικότητας σε Δίκτυα Φεμτοκυψελών LTE-Advanced

Αρχικά υπάρχει κίνητρο προκειμένου να χρησιμοποιούνται τα femtocells στα δίκτυα LTE-A. Ειδικότερα, τα δίκτυα γίνονται πιο «πυκνά» καθώς αυξάνονται οι χρήστες ανά κυψέλη. Επιπλέον υπάρχουν περιορισμοί ελέγχου πρόσβασης καθώς παρατηρείται μία υποβάθμιση της απόδοσης SINR κάτω από ορισμένα σενάρια παρεμβολών. Ακόμα δεν υπάρχει συγκεκριμένο σχέδιο ανάπτυξης και εισάγεται η έννοια της ατομικότητας που οδηγεί στην αυθεντικότητα.



Εικόνα 24: Υποστήριξη Femtocells σε LTE-A / E-UTRAN Αρχιτεκτονική δικτύου

Η ταυτοποίηση της κυψέλης περιλαμβάνει όλους τους μηχανισμούς και τα αναγνωριστικά που χρησιμοποιούνται για τη διάκριση των femtocells από μακροκύττατα και/ ή άλλα femtocells. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι τα κυψελωτά δίκτυα χρησιμοποιούν έναν περιορισμένο αριθμό Physical Cell Identifiers (PCI) για τη διάκριση των κυττάρων. Τα μοναδικά αναγνωριστικά κυψελών εκπομπής απαιτούν αυξημένη σηματοδότηση και πόρους. Αυτό συμβαίνει γιατί συνήθως είναι κωδικοποιημένα μέσα στο κανάλι εκπομπής και πρέπει να διαβιβάζονται σε συχνή και περιοδική βάση ώστε να επιτρέπεται η συστηματική τους απόκτηση. Η παρουσία femtocells επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση του PCI καθώς και την τυχαία τους επιλογή. Η τυχαία ανάπτυξη εμποδίζει την κεντρική αντιστοίχιση των τιμών PCI.

Στον τομέα της ταυτοποίησης μίας κυψέλης υπάρχουν και ερευνητικές προκλήσεις. Οι γενικότεροι άξονες είναι η ανάλυση και η επιλογή του PCI. Όσον αφορά την ανάλυση χρησιμοποιούνται διαδικασίες που εγγυώνται τη μοναδική αναγνώριση των κοντινών κυττάρων. Για παράδειγμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες τακτικές :

- ✓ ιεραρχική δομή των κυττάρων επιτρέπει την κατηγοριοποίηση των κελιών σε διάφορα επίπεδα και θέτει προτεραιότητες,
- ✓ ξεχωριστό αναγνωριστικό PLMN για διαφορετικά κύτταρα,
- ✓ προσεγγίσεις ανώτερου επιπέδου ώστε να αποκτάται το παγκόσμιο αναγνωριστικό της κυψέλης (CGI) που μεταδίδεται με μικρότερη συχνότητα. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται σαν βασική για το ζήτημα του PCI σε δίκτυα LTE-A
- ✓ δέσμευση φορέα και PCI για διάφορα κύτταρα το οποίο διατηρείται ως συμπληρωματική μέθοδος στο LTE-A

Η επιλογή του PCI ελαχιστοποιεί τις αρνητικές επιπτώσεις της επαναχρησιμοποίησης PCI μέσω κατανεμημένων αλγορίθμων.

Η ταυτοποίηση της κυψέλης στα LTE-A επιτυγχάνεται μέσω :

- ✓ 504 μοναδικών PCIs
- ✓ PCI επίλυσης διαμορφώνοντας τα UEs να αποκτούν τα μοναδικά E-UTRAN CGI (ECGI) της κυψέλης που στοχεύουν.
- ✓ PCI επιλογή. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να υπάρχει κεντριοποιημένη ή διανεμημένη προσέγγιση.

Αξίζει να αναφερθεί και ο έλεγχος πρόσβασης που περιλαμβάνει την σηματοδότηση, αναγνωριστικά και διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για να επικυρωθεί η κατάσταση ενός UE σε ένα femtocell. Τα σχήματα πρόσβασης είναι 3 :

- ✓ Κλειστά: μία ειδική ομάδα χρηστών που χρησιμοποιούν το femtocell. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει αποκλειστική χρήση των πόρων εκπομπής. Ακόμα παρατηρείται υποβιβασμός του SINR εξαιτίας των διασυννοριακών παρεμβολών
- ✓ Ανοικτά : όλοι οι χρήστες επιτρέπεται να χρησιμοποιούν femtocells. Χαρακτηριστικά της περίπτωσης αυτής είναι οι μειωμένες διασυννοριακές παρεμβολές, η συχνή διακοπή υπηρεσιών και η αυξημένη πιθανότητα ΗΟ.
- ✓ Υβριδικά : τίθεται προτεραιότητα σε μία συγκεκριμένη ομάδα χρηστών. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την ευέλικτη χρήση πόρων και απαιτεί προηγμένο έλεγχο, απόφαση διαχείρισης και αλγόριθμους κατανομής πόρων.

Η παρουσία femtocells εμπεριέχει και διάφορες προκλήσεις για τα δίκτυα και ειδικότερα για τον έλεγχο πρόσβασης. Ορισμένες από αυτές τις προκλήσεις είναι ότι το UE πρέπει να γνωρίζει τις κλειστές ομάδες στις οποίες μπορεί να έχει πρόσβαση, τα femtocells πρέπει να υποδεικνύουν την υποστηριζόμενη κλειστή ομάδα και μία αξιόπιστη οντότητα του δικτύου πρέπει να επικυρώσει την κατάσταση του κινητού τερματικού. Ο έλεγχος πρόσβασης στα LTE-A επιτυγχάνεται μέσω των UEs που είναι μέρος των CSG (closed subscriber groups). Το UE διατηρεί την λίστα των CSGs. Ακόμα τα HeNBs μεταδίδουν το αναγνωριστικό CSG που υποστηρίζουν και το επιτρεπόμενο τύπο πρόσβασης (CSG Indicator). Τέλος η πρόσβαση ελέγχου γίνεται πάντα στα MME εκτός αν πραγματοποιηθεί η παράδοση εντός του CSG.

2.4.5 Αναζήτηση κυψέλης

Η διαδικασία με την οποία το UE αποκτά συγχρονισμό χρόνου και συχνότητας με μία κοντινή κυψέλη, προκειμένου να το αναγνωρίσει και να μετρήσει την ποιότητα του σήματος. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στις μετρήσεις σημάτων που εκτελούνται σε πιλοτικά σήματα ή σήματα αναφοράς που εκπέμπονται από τις κυψέλες με προκαθορισμένη βάση χρόνου – συχνότητας. Προκαλείται από συμβάντα που σχετίζονται με την κατάσταση των κυττάρων εξυπηρέτησης ή των γειτονικών κυψελών (συνήθως το RSS). Η διαδικασία αυτή εκτελείται κατά τη διάρκεια περιόδων αναστολής DL ή UL που παρέχονται από DRX ή προγραμματισμό πακέτων. Επιπλέον όλες οι σχετικές ρυθμίσεις γίνονται (τυπικά) από το δίκτυο.

Παρουσία femtocells παρατηρείται μία πυκνή αλλά μη προγραμματισμένη ανάπτυξη. Ακόμα υπάρχει δυσλειτουργία του δικτύου να παρέχει μία λίστα γειτονικών κυψελών (Neighbor Cell List –NCL) καθώς ο αριθμός των NCL εγγραφών είναι περιορισμένος. Επιπλέον υπάρχουν περιορισμοί ελέγχου πρόσβασης καθώς το NCL πρέπει να

προσαρμόζεται στη βάση του UE. Όσον αφορά την απόδοση του δικτύου, η αναζήτηση και η μέτρηση της ποιότητας του σήματος των πιο κοντινών κυψελών γίνεται χωρίς να καταναλώνεται αρκετή ενέργεια (DRX gaps) ή έχοντας συχνή διακοπή μίας υπηρεσίας (resource gaps) ή αυξάνοντας τα έξοδα συντήρησης του QoS.

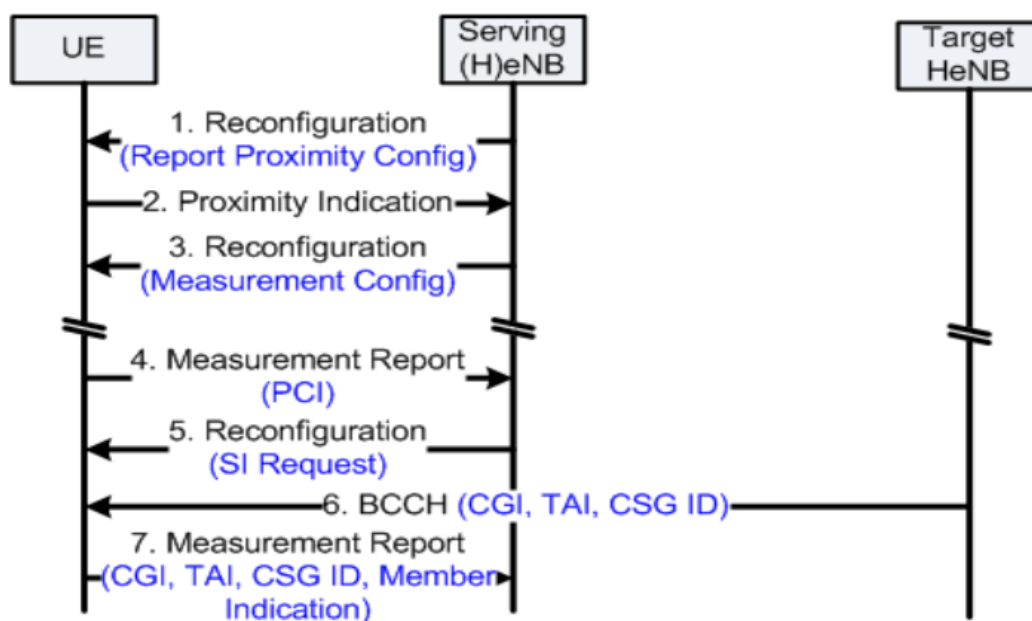
Οι προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν στην ενότητα αυτή είναι οι ακόλουθες :

- ✓ Ανάπτυξη αυτόνομων UE-based στρατηγικές αναζήτησης κυψέλης. Αυτό μπορεί να γίνει με χρήση ευαισθητοποίησης και γνώσης του περιβάλλοντος.
- ✓ Κατασκευή μίας ολοκληρωμένης NCL για κάθε κυψέλη. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μειώνοντας την διάρκεια αναζήτησης κυψέλης και επιμένοντας στην ακρίβεια. Η χρήση στρατηγικών συνεργασίας είναι απαραίτητη.
- ✓ Ανάπτυξη αναζήτησης κυψέλης σε συγκεκριμένο femtocells. Έτσι θα αποφεύγονται οι συχνές και περιττές μετρήσεις με χρήση γνώσης και συνεργασίας των κυψελών.
- ✓ Ανάπτυξη πιο εξελιγμένου προγραμματισμού DRX και πακέτων. Μεταξύ των κυψελών θα πρέπει να υπάρχει ανταλλαγή ακρίβειας/διάρκειας πληροφοριών αναζήτησης αλλά και της απαιτούμενης συντήρησης και εξοικονόμησης ενέργειας.

Σε LTE-A δίκτυα η αναζήτηση της κυψέλης βασίζεται στα ακόλουθα πρωτεύοντα και δευτερεύοντα σήματα συγχρονισμού στην DL κατεύθυνση μετάδοσης σε συγκεκριμένους subcarriers και slots. Επιπλέον τα UE μπορούν να μετρήσουν 2 βασικά μεγέθη τα οποία εκτελούνται σε συγκεκριμένο RS :

- ✓ Ισχύς λήψης σήματος αναφοράς (RSRP)
- ✓ Ποιότητα λήψης σήματος αναφοράς (RSRQ)

Η αναζήτηση κυψέλης στο LTE-A εξαρτάται από την κατάσταση του UE που μπορεί να είναι ανενεργή (idle) ή συνδεδεμένη (connected). Η συνδεδεμένη κατάσταση βασίζεται στις ρυθμίσεις του δικτύου και είναι ενεργοποιημένη η αναφορά και η μέτρηση περιόδου. Επιπλέον δεν απαιτείται η παροχή NCL και πρέπει να υποδεικνύεται τουλάχιστον η συχνότητα φέρουσας για τις γειτονικές κυψέλες. Η παρουσία femtocells μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της εγγύτητας. Ακόμα επιτρέπει στο UE να προσδιορίζει το ίδιο την παρουσία femtocells χρησιμοποιώντας αυτόνομες διαδικασίες αναζήτησης κυψέλης.



Εικόνα 25: Επικοινωνία μεταξύ στοιχείων του δικτύου

Η κατάσταση αδράνειας μπορεί να βασίζεται σε χειροκίνητη επιλογή CSG κυψελών ή σε ρυθμίσεις που παρέχονται από το δίκτυο (πχ NCL) ή σε αυτόματες συναρτήσεις αναζήτησης UE. Ακόμα το UE καθορίζει πότε και πού να αναζητηθούν οι κυψέλες. Οι κυψέλες μπορούν να βοηθήσουν το UE με τη μετάδοση μιας σειράς PCI ή φορέων που προορίζονται αποκλειστικά για χρήση CSG. Τέλος τόσο η αυτόνομη λειτουργία αναζήτησης UE (idle state) όσο και οι διαδικασίες εκτίμησης εγγύτητας αφήνονται στην εφαρμογή UE.

3. ΔΙΚΤΥΑ ΠΕΜΠΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (5G)

3.1 Στόχοι δικτύου 5ης γενιάς

Καθώς οι ανάγκες των συνδρομητών αυξάνονται συνέχεια, αυξάνονται και οι παροχές του δικτύου επικοινωνίας. Αρχικά, ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων πρέπει να βελτιωθεί. Πιο συγκεκριμένο ο όγκος των δεδομένων που μπορεί να εξυπηρετήσει το δίκτυο πρέπει να αυξηθεί έως και 1000 φορές. Ουσιαστικά αναμένεται αύξηση των Bits πληροφορίας ανά μονάδα χρόνου σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Ακόμα οι ρυθμοί μετάδοσης θα αγγίζουν τα 100Mbps για το 95% των χρηστών που χρησιμοποιούν το δίκτυο μία δεδομένη χρονική στιγμή. Τέλος, θα επιτυγχάνεται καλύτερος ρυθμός μετάδοσης έως δεκάδες Gbps.

Σημαντική βελτίωση θα υπάρξει και στην καταναλισκόμενη ενέργεια, δηλαδή τα Joules που χρειαζόμαστε για να στείλουμε ένα bit πληροφορίας, μέχρι και 100 φορές. Εφόσον προβλέπεται μείωση της έκτασης των κυψελών είναι φυσικό και επόμενο να μειωθεί και η ενέργεια που χρειάζεται μια κυψέλη για να λειτουργήσει. Ακόμα έχει τεθεί η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες των κυψελών, μειώνοντας έτσι τόσο το κόστος όσο και την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ζημιογόνους ρύπους.

Το κόστος λειτουργίας του δικτύου θα μειωθεί επίσης, καθώς θα χρησιμοποιηθούν νέες τεχνολογίες όπως mmWave, καθιστώντας τις μικρές κυψέλες οικονομικά και ενεργειακά αποδοτικότερες σε σχέση με τις μακροκυψέλες. Επακόλουθο των μικρών κυψελών είναι επίσης οι μικρότεροι σταθμοί βάσης. Μείωση του κόστους θα υπάρχει και στην περίπτωση υιοθέτησης του cloud-RAN, εφόσον η κεντροποίηση της βασικής ζώνης επεξεργασίας σημαίνει λιγότερη καταναλισκόμενη ενέργεια.

Μια μακροκυψέλη θα κληθεί να εξυπηρετήσει ταυτόχρονα μικρούς αλλά και μεγάλους ρυθμούς δεδομένων, γεγονός που απαιτεί αλλαγές στο κέντρο και το υπάρχον πλάνο διαχείρισης του δικτύου. Επίσης ο ερχομός της καινούργιας γενιάς δικτύων δεν σηματοδοτεί την παύση της χρήσης των προηγούμενων. Τα συστήματα της καινούργιας γενιάς θα συνεργάζονται αρμονικά και με εκείνα των προηγούμενων γενεών (3G, LTE) ενσωματώνοντας και την τεχνολογία του WIFI. Το δίκτυο επιπλέον θα κληθεί να εξυπηρετήσει διαφόρων ειδών συσκευές, ενώ περιμένουμε επίσης και την ανάπτυξη των απευθείας επικοινωνιών μεταξύ μηχανών (D2D communications).

Όσον αφορά την φασματική απόδοση θα υπάρξει βελτίωση μέσω της χρήσης διαφορετικών πιο ενεργών κόμβων, ανά συσκευή, περιοχή και συχνότητα. Σε αυτόν τον τομέα τα δίκτυα πέμπτης γενιάς μπορούν να επωφεληθούν και από την MIMO τεχνολογία πετυχαίνοντας αύξηση της μεταδιδόμενης ποσότητας πληροφορίας ανά κόμβο. Ενώ ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας στην αύξηση της φασματικής αποδοτικότητας είναι η κυριαρχία του OFDMA σε συνδυασμό με TDMA στην χρήση των συχνοτήτων.

Ο χώρος των συχνοτήτων που μπορούν σήμερα να χρησιμοποιηθούν στις επικοινωνίες είναι πολύ περιορισμένος. Εξετάζονται λοιπόν τεχνολογίες στην πέμπτη γενιά δικτύων, όπου θα χρησιμοποιούνται και άλλες συχνότητες (mmWave) πέρα από τις υπάρχουσες αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο το φάσμα που χρησιμοποιείται και κατ' επέκταση, το εύρος ζώνης και την ικανότητα του δικτύου να εξυπηρετήσει περισσότερους χρήστες μια δεδομένη χρονική στιγμή. Επίσης επί τάπητος έχει τεθεί το ζήτημα της αναθεώρησης της

τοπολογίας των υποδομών του δικτύου και δημιουργίας μικρότερων σε έκταση αλλά περισσότερων σε αριθμό κυψελών. Πιο συγκεκριμένα στόχος των δικτύων πέμπτης γενιάς είναι οι σταθμοί βάσης να απέχουν λιγότερο από 100m σχηματίζοντας picocells ή να βρίσκονται ακόμα πιο κοντά, σε απόσταση τέτοια ώστε να μπορούν να συνδεθούν χρησιμοποιώντας WIFI, σχηματίζοντας femtocells. Έτσι αυξάνεται και ο αριθμός που μπορούν να εξυπηρετήσουν μια δεδομένη χρονική στιγμή.

Τέλος ο χρόνος απόκρισης, αναμένεται να πέσει στο 1ms ενώ στο δίκτυο 4^{ης} γενιάς αγγίζει τα 15ms.

3.2 Φυσικό δίκτυο

Το δίκτυο 5ης γενιάς περιλαμβάνει τόσο το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης (radio access network) όσο και τη διασύνδεσή του με τις λειτουργίες του κεντρικού δικτύου (core network), όπου αυτές αναπτύσσονται σε κατανεμημένους ή κεντρικούς κόμβους του σταθερού δικτύου (fixed network). Για την ανάπτυξη αυτών των λειτουργιών, το σταθερό δίκτυο περιλαμβάνει πολλούς κόμβους συσσωμάτωσης στους οποίους μπορούν να εγκατασταθούν υπολογιστικές ή αποθηκευτικές δυνατότητες. Αυτές οι δυνατότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ευελιξία για την αποτελεσματική λειτουργία του κινητού δικτύου. Η αποτελεσματική λειτουργία μπορεί να επιτευχθεί με συγκεντρωτικές ή κατανεμημένες λειτουργίες δικτύου μαζί με την εικονικοποίηση (virtualization) των πόρων του δικτύου μεταφοράς.

Μια σημαντική πρόκληση στο δίκτυο ασύρματης πρόσβασης της 5ης γενιάς είναι η αποτελεσματική ενσωμάτωση ενός επιπρόσθετου «στρώματος» μικρότερων κυψελών στο υπάρχον δίκτυο μακροκυψελών. Εκτός από τη χρήση του κλασικού κατανεμημένου RAN και για μικρές κυψέλες, τα cloud-RAN (C-RAN) θεωρούνται ως μια καινοτόμα προσέγγιση στην οποία οι μικρές κυψέλες αναπτύσσονται ως απομακρυσμένες ραδιοφωνικές κεφαλές (RRHs) συνδεδεμένες σε μία κεντρική μακροκυψέλη μέσω διεπαφής fronthaul. Επιπλέον, το σταθερό δίκτυο περιλαμβάνει ένα ετερογενές σύνολο τεχνολογιών που ενσωματώνονται με τη χρήση του Ethernet ως κοινής πλατφόρμας μεταφοράς. Το Ethernet είναι επίσης μια ενδιαφέρουσα δυνατότητα για τη μεταφορά του fronthaul. Αυτό μπορεί να είναι μια ελκυστική επιλογή δεδομένου ότι οι τρέχουσες διεπαφές fronthaul - π.χ. CPRI, ORI ή OBSAI - ενδέχεται να αντιμετωπίσουν προβλήματα συμφόρησης στο δίκτυο 5ης γενιάς. Ως εκ τούτου, μια νέα λειτουργική διάσπαση μετατοπίζει περισσότερο φόρτο προς τα RRH και απαιτεί σημαντικά μειωμένη μεταφορική ικανότητα, φαίνεται να είναι μια ενδιαφέρουσα επιλογή. Κατά συνέπεια, τέτοιου είδους C-RANs χρειάζεται να ενσωματωθούν αποτελεσματικά στην κλασική κατανεμημένη αρχιτεκτονική RAN (D-RAN).

Radio Access Network

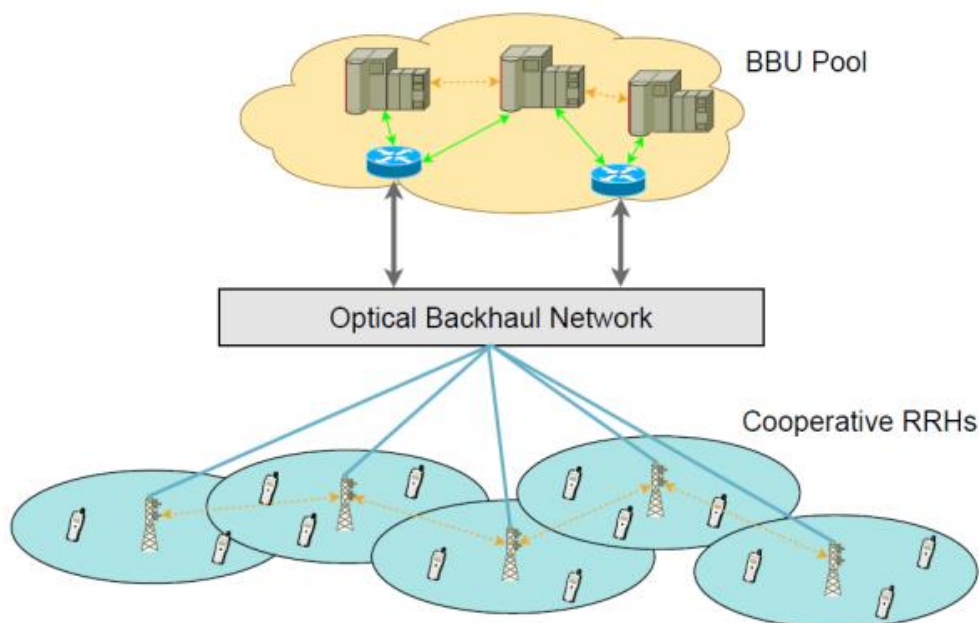
Το Radio Access Network (RAN) των παραδοσιακών κυψελωτών δικτύων συνήθως αποτελείται από σταθμούς βάσης, οι οποίοι επεξεργάζονται και μεταδίδουν σήματα για λογαριασμό των κινητών τηλεφώνων και διαβιβάζουν τα δεδομένα τους στον πυρήνα του δικτύου μέσω του backhaul. Με την πάροδο των ετών, η αρχιτεκτονική RAN έχει εξελιχθεί χρησιμοποιώντας κατανεμημένους σταθμούς βάσης, οι οποίοι διαχωρίζουν τη μονάδα

φασματικής λειτουργίας (Remote Radio Head ή RRH) από τη μονάδα ψηφιακής λειτουργίας (BaseBand Unit ή BBU). Το ασύρματο σήμα βασικής ζώνης μεταφέρεται πάνω σε ζεύξεις οπτικών ινών μεταξύ των RRH και BBU γεγονός που κάνει επίσης δυνατό το φυσικό διαχωρισμό τους (π.χ. για λίγα χιλιόμετρα). Σε αυτή την αρχιτεκτονική, το BBU υλοποιεί τη λειτουργικότητα της συστοιχίας των κεραιών και τα φυσικά και MAC επίπεδα, ενώ το RRH παίρνει και μετατρέπει το ασύρματο σήμα και το ενισχύει.

Για την αντιμετώπιση των προκλήσεων του δικτύου 5G, αναμένεται συνδυασμός και ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών ραδιοσυχνοτήτων με τις υπάρχουσες τεχνολογίες. Αρχικά, αναμένεται να εισαχθούν νέοι τύποι ζωνών συχνοτήτων όπως *micro* και *millimeter waves*. Αυτά θα κάνουν τις μικρές κυψέλες ακόμη μικρότερες και πιο πυκνές από ό, τι στις τρέχουσες ρυθμίσεις. Επίσης, η υιοθέτηση μαζικών συστημάτων MIMO θα απαιτήσει πιο αποτελεσματικά συστήματα διαχείρισης παρεμβολών, π.χ. με συντονισμένες τεχνικές πολλαπλών σημείων (CoMP). Αυτός ο συντονισμός παρεμβολών πρέπει να συμβαίνει σε όλα τα συστήματα (π.χ. σε *macro* και μικρές κυψέλες). Στην πραγματικότητα, η παρεμβολή μεταξύ ετερογενών *macro* και *micro* κυψελών είναι μόνο μια υποδειγματική πτυχή που πρέπει να συντονιστεί στενά.

Οι κατανεμημένοι σταθμοί βάσης άνοιξαν το δρόμο για την περαιτέρω εξέλιξη της αρχιτεκτονική στο Cloud RAN, με την εικονικοποίηση των BBUs στα κέντρα δεδομένων, επιτρέποντας έτσι τη δυναμική παροχή υπηρεσιών. Το C-RAN υπόσχεται σημαντικά πλεονεκτήματα CAPEX και OPEX συγκεντρώνοντας υλικό και μειώνοντας σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας. Το Cloud RAN αξιοποιεί πολλές προηγμένες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων της κοινής δημόσιας διεπαφής ραδιοσυχνοτήτων στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών, της πυκνής πολυπλεξία μήκους κύματος στην οπτική επικοινωνία και την εικονικοποίηση σε πραγματικό χρόνο στο *cloud computing*. Ο στόχος της εικονικοποίησης είναι συνήθως μια "πισίνα" BBU που τρέχει σε κέντρα δεδομένων. Επιπλέον για την παραδοσιακή αρχιτεκτονική RAN, ο στόχος εικονικοποίησης μπορεί επίσης να είναι το εξελιγμένο NodeB (eNodeB) σε ένα 4G δίκτυο, NodeB σε ένα δίκτυο 3G, ή ένας σταθμός βάσης σε παλαιού τύπου δίκτυο 2G (π.χ. τρέξει ένα μέρος των eNodeBs σε VMs). Η αποσύνδεση των BBUs και RRHs μπορεί μελλοντικά να αποφέρει διάφορα οφέλη. Με τη συγκέντρωση και εικονικοποίηση των BBUs, το Cloud RAN μπορεί να μειώσει σημαντικά τη λειτουργία, την αναγκαία υπολογιστική ισχύ, την ενέργεια και το κόστος των ακινήτων για τους παρόχους, χάρις στην εύκολη αναβάθμιση λογισμικού/υλικού, στις λιγότερες επισκέψεις ιστοσελίδας και στο χαμηλότερο κόστος μίσθωσης χώρου ιστοσελίδας. Για παράδειγμα, με βάση την ανάλυση πραγματικών δεδομένων βρέθηκε ότι το Cloud RAN μπορεί να μειώσει κατά τουλάχιστον 22% τους υπολογιστικούς πόρους μοιράζοντας το φορτίο επεξεργασίας μεταξύ των σταθμών βάσης και αξιοποιώντας την ποικιλία των μεταβολών φορτίου. Το Cloud RAN μπορεί επίσης να επιτρέψει προηγμένες τεχνολογίες, όπως το Coordinated MultiPoint (COMP), στα 4G (LTE) δίκτυα και στα προηγμένα LTE δίκτυα. Το COMP δυναμικά συντονίζει τη μετάδοση και λήψη μεταξύ του εξοπλισμού χρήστη και των πολλαπλών eNodeBs, και ως εκ τούτου βελτιώνει την απόδοση υποδοχής, μειώνει τα επίπεδα παρεμβολών και χρησιμοποιεί καλύτερα τους πόρους του δικτύου. Απαιτεί από κοινού επεξεργασία σήματος τόσο για τα δεδομένα στο *uplink* και όσο και στο *downlink*, και συντονισμένο

προγραμματισμό/διαμόρφωση σήματος μεταξύ των σταθμών βάσης γεγονός που μπορεί να επιτευχθεί από την εικονικοποιημένη "πισίνα" BBU.



Εικόνα 26: Αρχιτεκτονική του Cloud Ran

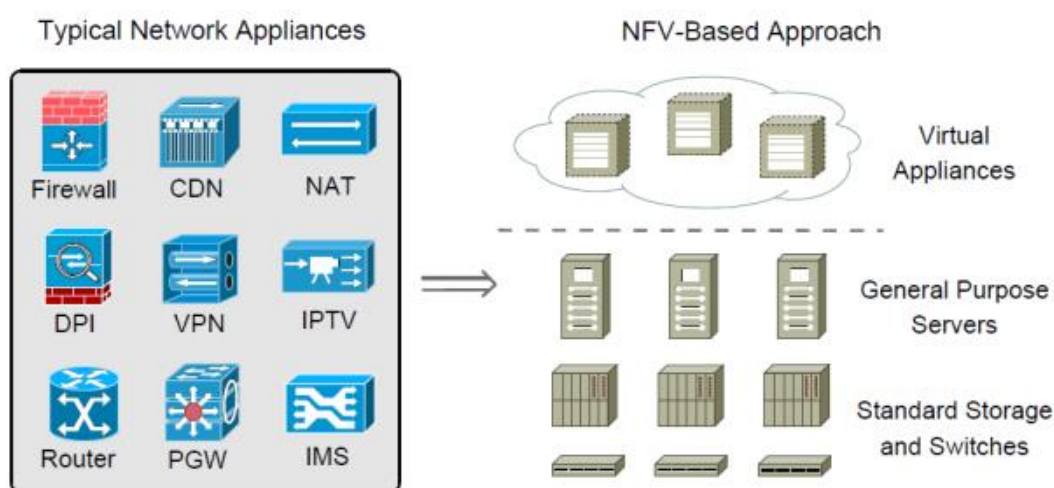
Core Network

Το Cloud EPC μπορεί δυνητικά να αντιμετωπίσει αυτά τα προβλήματα του ακριβού και ιδιόκτητου εξοπλισμού, καθώς και τα άκαμπτα πρωτόκολλα σηματοδότησης εικονικοποιώντας το δίκτυο πυρήνα της κινητής επικοινωνίας, ώστε να ανταποκρίνεται στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της αγοράς. Οι στόχοι της εικονικοποίησης του EPC περιλαμβάνουν Mobility Management Entity (MME), Home Subscriber Server (HSS), SGW, PGW and Policy and Charging Rules Function (PCRF). Για την καλύτερη υποστήριξη της υπηρεσίας φωνής στο LTE (VoLTE) μπορούν οι πάροχοι να εικονικοποιήσουν τα συστατικά ενός IMS, συμπεριλαμβανομένων των διαφόρων Call Session Control Functions (CSCFs), όπως Proxy-CSCF, Serving-CSCF και Interrogating-CSCF, και συναρτήσεων ελέγχου Breakout and Media Gateway. Στην εικόνα 36 απεικονίζεται η εικονικοποίηση του EPC για τα δίκτυα 4G LTE και η συνύπαρξη του με την παλαιότερα EPC. Η συνύπαρξη γίνεται δυνατή μέσω διαφόρων τεχνολογιών όπως με τη συγκέντρωση MME. Σημειώνουμε ότι είναι δυνατόν να εικονικοποιηθεί μόνο ένα μέρος του δικτύου πυρήνα της κινητής, π.χ. SGW και PGW, και να γίνει κανονική υλοποίηση των υπόλοιπων συστατικών του δικτύου. Με την εικονικοποίηση των προαναφερθέντων λειτουργιών του δικτύου, το Cloud EPC μας επιτρέπει να προχωρήσουμε προς μια πιο έξυπνη, ανθεκτική και επεκτάσιμη αρχιτεκτονική πυρήνα. Ακόμα είναι δυνατή η ευέλικτη κατανομή των πόρων του υλικού για την εξάλειψη των επιπτώσεων συμφόρησης και την ταχεία έναρξη καινοτόμων υπηρεσιών για τη δημιουργία νέων πηγών εσόδων (π.χ., machine-to-machine επικοινωνίες). Η εικονικοποίηση της EPC ελευθερώνει τους

κατανομημένους πόρους του δικτύου από γεωγραφικά όρια εξασφαλίζοντας αξιοπιστία και σταθερότητα υπηρεσίας ακόμη και σε περίπτωση τοπικής αστοχίας των πόρων, και μειώνει το Total Cost of Ownership (TCO). Καθιστά επίσης δυνατή την ευέλικτη ανάπτυξη των SGW και PGW, για παράδειγμα βάζοντας τα να συνυπάρχουν με ένα eNodeB και εξαλείφοντας έτσι τις μεγάλες αποστάσεις των υπεραστικών σηράγγων. Με το Cloud EPC οι πάροχοι μπορούν να όχι μόνο να επεκτείνουν τις τρέχουσες επιχειρήσεις τους στην αγορά πραγματοποιώντας οριζόντια ολοκλήρωση, αλλά επίσης να επιχειρήσουν και την κάθετη ολοκλήρωση της επιχείρησής τους στην αγορά.

Network Function Virtualization - NFV

Το NFV υλοποιεί λειτουργίες του δικτύου μέσω τεχνικών εικονικοποίησης του λογισμικού και τις υλοποιεί με την βοήθεια του hardware. Ουσιαστικά αποσυνδέει τις λειτουργίες του δικτύου από τις υλικές συσκευές και τις αναθέτει σε μια εφαρμογή λογισμικού που βασίζεται και τρέχει σε μια τυποποιημένη υποδομή πληροφορικής, switches, συσκευών αποθήκευσης και υψηλής έντασης servers. Το NFV είναι διαθέσιμο σε ενσύρματα αλλά και ασύρματων δίκτυα χωρίς να χρειάζεται να λάβει χώρα κάποια εγκατάσταση νέου εξοπλισμού.

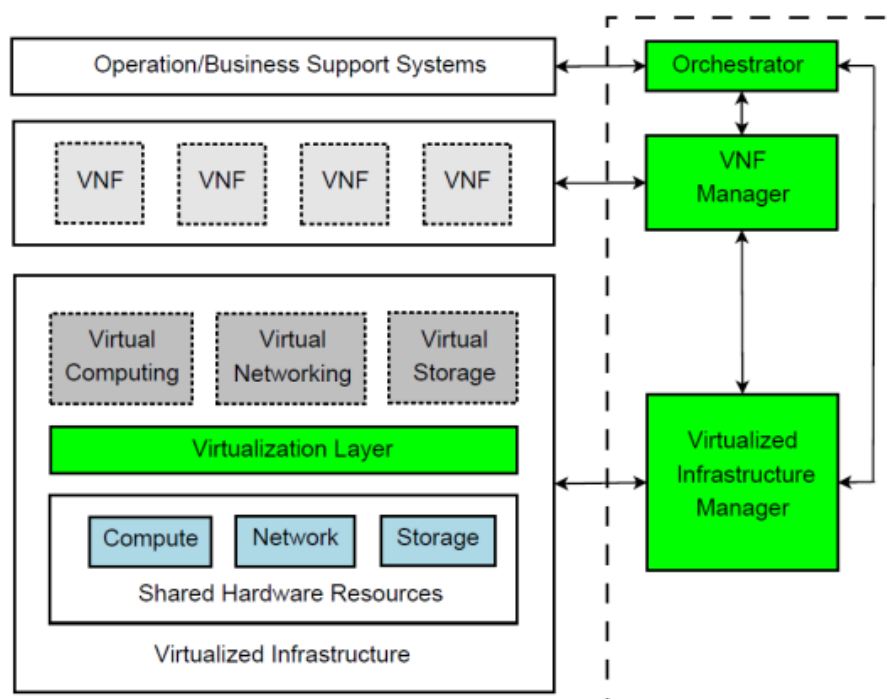


Εικόνα 27: Εικονοποίηση διαφόρων λειτουργιών δικτύου από το NFV

Το NFV παρέχει ευελιξία στο σχεδιασμό του δικτύου. Ειδικότερα, οι υφιστάμενες υπηρεσίες δικτύωσης υποστηρίζονται από ποικίλες λειτουργίες που είναι συνδεδεμένες με ένα στατικό τρόπο. Το NFV παρέχει ακόμα τη δυνατότητα μιας πρόσθετης δυναμικής για τη δημιουργία και τη διαχείριση των λειτουργιών δικτύου. Μέσω ενός γράφου προώθησης, απλοποιείται η παροχή υπηρεσιών με μορφή αλυσίδας και επιτρέπει τη γρήγορη και ανέξοδη δημιουργία, τροποποίηση και αφαίρεση κρίκων από αυτήν την αλυσίδα. Έτσι μπορούν να συνδιαστούν πολλά NFVs και να μειωθεί η πολυπλοκότητα της διαχείρισης, για παράδειγμα, με τη συγχώνευση των serving gateway (SGW) και PGW ενός κεντρικού δικτύου 4G σε ένα μόνο κουτί. Από την άλλη πλευρά, δίνεται η δυνατότητα αποσύνθεσης ενός VNF σε μικρότερα λειτουργικά τμήματα για λόγους επαναχρησιμοποίησης και ταχύτερου χρόνου απόκρισης.

Σε σύγκριση με τις τωρινές υλοποιήσεις το NFV έχει τρεις βασικές διαφορές:

- ✓ Διαχωρισμός του λογισμικού από το hardware οπότε επιτρέπεται η ανεξάρτητη εξέλιξη τους.
- ✓ Ευέλικτη υλοποίηση των λειτουργιών του δικτύου οπότε μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικές λειτουργίες σε διαφορετικές χρονικές στιγμές σε διαφορετικά κέντρα δεδομένων.
- ✓ Δυναμική κλιμάκωση υπηρεσιών με βάση τις τρέχουσες συνθηκών του δικτύου



Εικόνα 28: Αρχιτεκτονική NFV

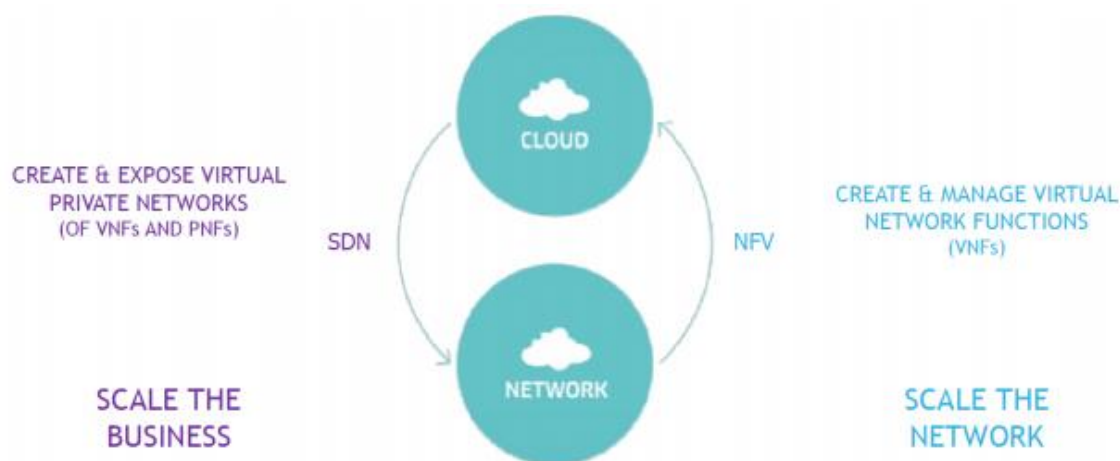
Τα τέσσερα βασικά πλαίσια του είναι :

- ✓ ο orchestrator, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την διαχείριση και την ενορχήστρωση των πόρων λογισμικού και την προσφορά δικτυακών υπηρεσιών από την εικονικοποιημένη υποδομή του hardware.
- ✓ ο διαχειριστής NFV manager, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την συγκεκριμενοποίηση, την κλιμάκωση, τον τερματισμό και τις ενημερώσεις κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός NFV. Επίσης υποστηρίζει την zero-touch αυτοματοποίηση.
- ✓ το επίπεδο εικονικοποίησης που αφαιρεί τους φυσικούς πόρους και τους τοποθετεί στις NFV στις εικονικοποιημένες υποδομές. Έτσι διασφαλίζει ότι ο κύκλος ζωής του NFV είναι ανεξάρτητος από τις υποκείμενες πλατφόρμες υλικού προσφέροντας τυποποιημένες διεπαφές.
- ✓ ο virtualized infrastructure manager που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της αλληλεπίδρασης με τις συναρτήσεις, την εικονικοποίηση και τη διαχείριση των πόρων του δικτύου. Τοποθετεί σε κάθε VM παρατηρητές και διαχειρίζεται τη

συνδεσιμότητα τους στο δίκτυο. Επίσης αναλύει την αιτία διαφόρων ζητημάτων απόδοσης και συλλέγει πληροφορίες για το σχεδιασμό της δυνητικής χωρητικότητας, για βελτιστοποίηση και για τυχόν λάθη των υποδομών του δικτύου.

Οι προϋποθέσεις για την υλοποίηση του NFV είναι οι βιομηχανικά τυποποιημένοι servers και οι τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν για το cloud computing. Πρόσφατες εξελίξεις στο cloud computing, όπως διάφοροι παρατηρητές, OpenStack και Open vSwitch, θέτουν την πραγματοποίηση του NFV εφικτή. Για παράδειγμα το cloud management και τα συστήματα ενορχήστρωση κάνουν ικανή την αυτόματη συγκεκριμενοποίηση και τη μετανάστευση των VMs σε λειτουργία συγκεκριμένων υπηρεσιών δικτύου.

Το NFV είναι στενά συνδεδεμένο με άλλες αναδυόμενες τεχνολογίες, όπως το SDN. NFV και SDN είναι αμοιβαία επωφελής, σε μεγάλο βαθμό συμπληρωματικά το ένας στο άλλο, και μοιράζονται τα ίδια χαρακτηριστικά προώθησης την καινοτομία, τη δημιουργικότητα, τη διαφάνεια και την ανταγωνιστικότητα, ωστόσο, τονίζουμε ότι η εικονικοποίηση και η ανάπτυξη των λειτουργιών του δικτύου δεν εξαρτώνται από το SDN, και αντίστροφα.



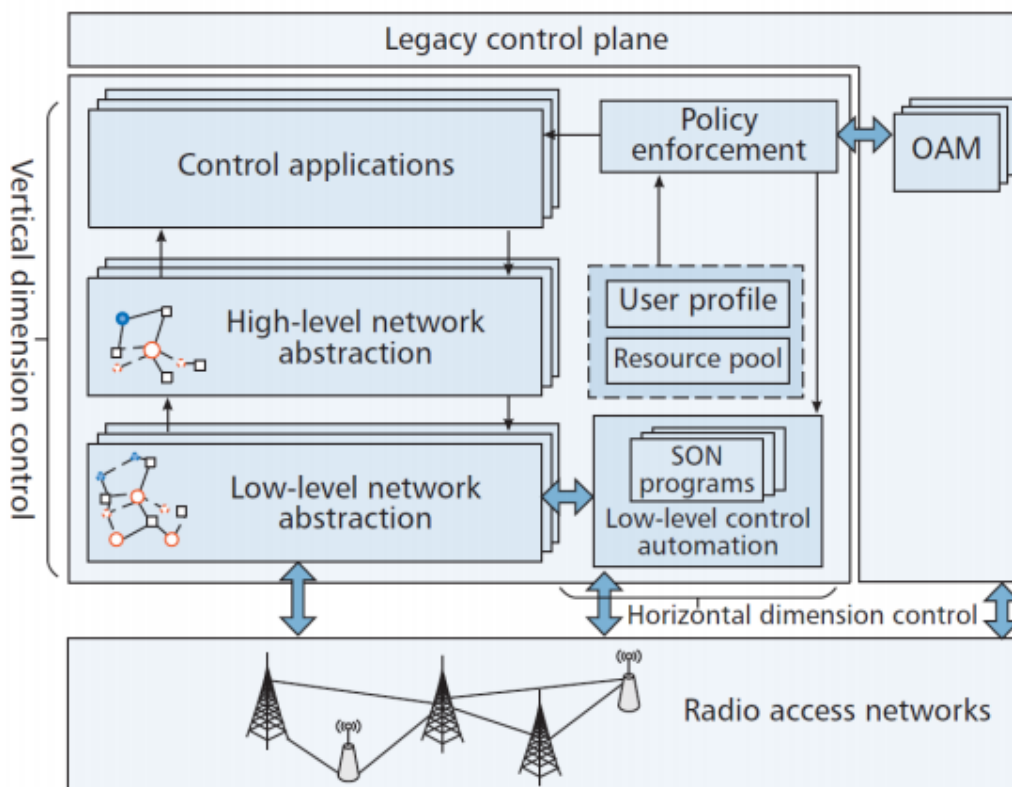
Εικόνα 29: Αλληλοσυμπλήρωση NFV και SDN

Software Defined Networking - SDN

Το Software-Defined Networking (SDN) είναι μια καινούργια και έξυπνη αρχιτεκτονική που έχει στόχο τον προγραμματισμό του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, η κύρια ιδέα πίσω από το SDN είναι να μετακινηθεί το επίπεδο ελέγχου έξω από τα switches και να γίνεται ο έλεγχος των δεδομένων εξωτερικά, μέσω μιας λογικής οντότητας λογισμικού που ονομάζεται ελεγκτής. Αυτή η συγκεντρωτική δομή κάνει τον ελεγκτή κατάλληλο να εκτελέσει τις λειτουργίες διαχείρισης του δικτύου, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει την εύκολη τροποποίηση της συμπεριφοράς του δικτύου μέσω του κεντριοποιημένου επιπέδου ελέγχου.

Το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας αναμένεται να επεκταθεί σε δύο διαστάσεις. Η κατακόρυφη διάσταση χειρίζεται το συντονισμό του δικτύου μεταξύ των κυψελών και των δικτύων. Κατά την κατακόρυφη διάσταση οι κοινές λειτουργίες και απαιτήσεις ελέγχου πρέπει να εξαχθούν από διάφορα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Η συστηματική αφαίρεση λειτουργιών

θα επιτρέψει την επίτευξη μιας ιεραρχικής αρχιτεκτονικής ελέγχου. Η οριζόντια διάσταση επικεντρώνεται στη συνεργασία μεταξύ των οντοτήτων του δικτύου. Στην κατεύθυνση αυτή προβλέπεται η δημιουργία κοινών πρωτοκόλλων ελέγχου και ανοικτών διεπαφών, που θα υποστηρίξει την συνεργασία κάτω από την ίδια αρχιτεκτονική SDN. Αυτό θα διευκολύνει την εφαρμογή λειτουργιών συνεργασίας και θα επιτρέψει το προγραμματιζόμενο SON για την συνεργασία στα χαμηλού στρώματα του δικτύου.



Εικόνα 30: Παραδείγματα αρχιτεκτονικής SDN για κινητό δίκτυο

3.3 Τεχνολογίες

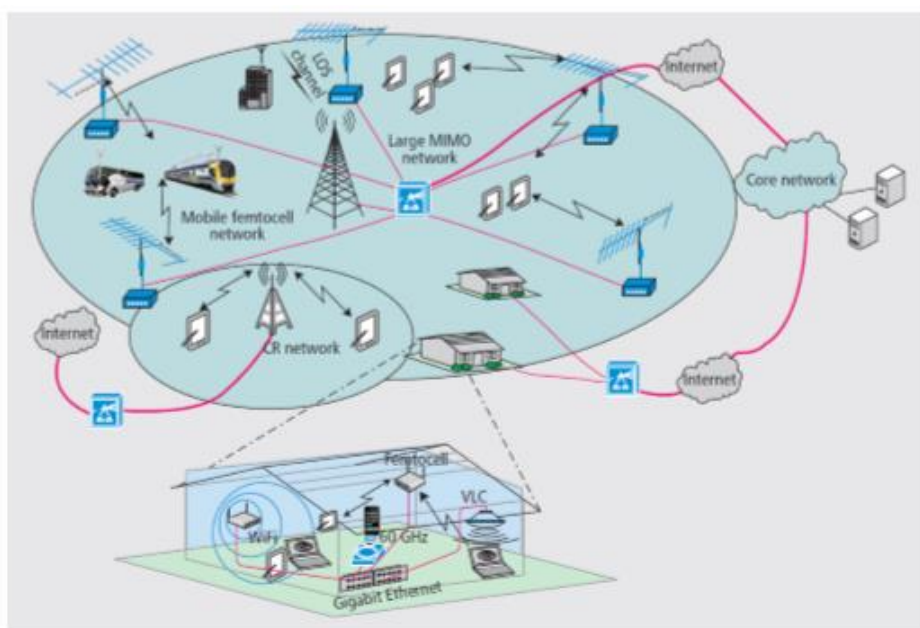
Πύκνωση του δικτύου και αποφόρτιση

Μια προσοδοφόρα και ιδιαίτερα αποδοτική μέθοδος για την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου είναι να γίνουν οι κυψέλες και κατ' επέκταση τα κελιά τους μικρότερα. Δεν είναι μια καινούργια τεχνική, αλλά έχει δοκιμαστεί σε πολλές γενιές κυψελών, ώστε να φτάσουμε στη σημερινή και να χρησιμοποιούμε κελιά τόσο μικρά όπως τα picocells και τα femtocells. Η μείωση του μεγέθους των κυψελών έχει αρκετά πλεονεκτήματα όπως η επαναχρησιμοποίηση του φάσματος σε μια γεωγραφική περιοχή και η μείωση των χρηστών που ανταγωνίζονται για πόρους σε κάθε BS (Base Station). Δίνεται λοιπόν η δυνατότητα να συρρικνωθούν τα κελιά σχεδόν απεριόριστα, χωρίς να θυσιάσει το SIR (Signal to Interference Ratio), μέχρι κάθε σταθμός βάσης να εξυπηρετεί το πολύ ένα χρήστη. Αυτό επιτρέπει στο BS να αφιερώνει του πόρους του και την backhaul σύνδεσή του σε ακόμα μικρότερο αριθμό χρηστών. Η πύκνωση των κυψελών φέρει προκλήσεις όπως η διατήρηση του αναμενόμενου cellsplitting σε κάθε BS, ο προσδιορισμός των

κατάλληλων συσχετισμών μεταξύ των χρηστών και των BS αναφορικά με τα RATs (Radio Access Technology), η υποστήριξη της κινητικότητας μέσα σε ετερογενή δίκτυα και η παροχή του αυξανόμενου κόστους για την εγκατάσταση, τη συντήρηση και το backhaul.

Από την άλλη πλευρά, τα δίκτυα γίνονται όλο και πιο ετερογενή κάτι που μπορεί να αντιμετωπιστεί με την αυξανόμενη ενσωμάτωση διαφορετικών RATs σε μια τυπική 5G-enabled συσκευή.

Ακόμα αν και αναμένεται να είναι μεγαλύτερος ο όγκος των δεδομένων που παράγονται από τους στατικούς χρήστες, η υποστήριξη της κινητικότητας και της always-on συνδεσιμότητας είναι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό στα κινητά δίκτυα που είναι σχετικά με το WiFi. Για το λόγο αυτό αναμένονται adhoc λύσεις όπως αυτή του LTE release 11, όπου ορίζονται εικονικά κελιά, τα οποία χωρίζουν το φυσικό κελί από τη γύρω περιοχή στην οποία ο χρήστης μπορεί να περιπλανιέται χωρίς την ανάγκη του handoff επικοινωνώντας με οποιοδήποτε BS ή υποσύνολο BSs στη συγκεκριμένη περιοχή.



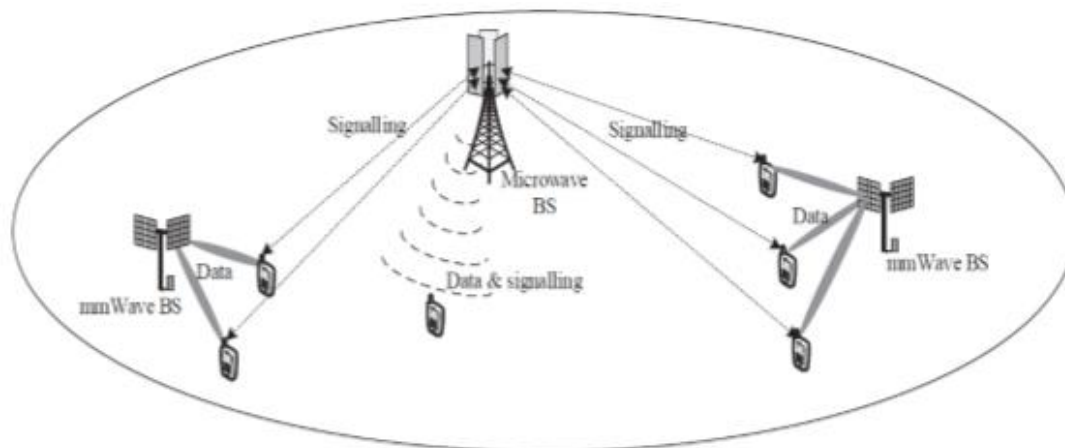
Εικόνα 31: Μια πιθανή ασύρματη δικτύωση του 5G από ετερογενή δίκτυα

Οι μικρότερες κυψέλες απαιτούν μικρότερα κελιά οπότε οι ενεργειακές ανάγκες είναι ομοίως χαμηλότερες και οι σταθμοί βάσης φθηνότεροι, συνεπώς δε χρειάζεται το κόστος των BSs να ξεπερνά αυτό του εξοπλισμού των χρηστών. Έτσι λοιπόν οι enduser-deployed femtocells και τα WiFi access points είναι σίγουρα πιο αποδοτικά και από οικονομικής άποψης. Ωστόσο υπάρχουν και εμπόδια όπως η οργάνωση και η διαχείριση του δικτύου προκειμένου να παρέχει επιχειρηματικού επιπέδου υπηρεσίες. Επιπλέον, εμπόδιο προκαλεί η εμμονή ορισμένων χρηστών να μη μοιράζονται τη σύνδεσή τους, με αποτέλεσμα το όλο αυτό κλειστό status quo να λειτουργεί ανασταλτικά στη μείωση του κόστους του 5G.

Millimeter Wave

Όλες οι επίγειες ασύρματες επικοινωνίες λειτουργούν σε συχνότητες από μερικές εκατοντάδες MHz έως μερικά GHz. Το φασματικό αυτό διάστημα συχνά αποκαλείται και “beachfront-spectrum” και μπορεί να γίνει πιο αποδοτικό εκσυγχρονίζοντας τους κανόνες

και τις διαδικασίες δέσμευσής του. Μεγάλα ποσά σχετικά αδρανούς φάσματος φαίνεται να υπάρχουν στο mmWave εύρος από τα 30 έως τα 300 GHz, όπου τα μήκη κύματος κυμαίνονται από 1-10mm, ενώ υπάρχουν και ορισμένα στο διάστημα 20 έως 30 GHz. Ο λόγος που το mmWave φάσμα παραμένει αδρανές, αφορά κυρίως το γεγονός ότι έχει χαρακτηριστεί ακατάλληλο για κινητές επικοινωνίες, λόγω της χαμηλής ποιότητας διάδοσης, την απορρόφηση από ατμοσφαιρικούς παράγοντες, τη χαμηλή διάθλαση κ.ά.



Εικόνα 32: Δίκτυο με mmWave και phantom cells.

Massive MIMO

Το MIMO αναφέρεται στη χωρική διάσταση της επικοινωνίας που προκύπτει όταν πολλαπλές κεραίες είναι διαθέσιμες στους σταθμούς βάσης και στις κινητές συσκευές. Υπάρχουν δύο είδη MIMO, το single-user (SU-MIMO), του οποίου οι διαστάσεις είναι περιορισμένες ανάλογα με το πόσες κεραίες μπορεί να φέρει μια κινητή συσκευή και το multi-user (MU-MIMO), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιήσει πολλές κεραίες και να ξεπεράσει το πρόβλημα του bottleneck. Με την ανάπτυξη του LTE το MIMO έγινε το κύριο συστατικό του, χρησιμοποιώντας 2 έως 4 κεραίες ανά κινητή συσκευή και το πολύ μέχρι 8 για κάθε BS. Για το λόγο αυτό υπάρχει μια πρόταση, σύμφωνα με την οποία οι σταθμοί βάσης πρέπει να εφοδιαστούν με κεραίες πολύ περισσότερες από τον αριθμό των χρηστών που εξυπηρετούν ανά μονάδα χρόνου-συχνότητας. Έτσι δημιουργούνται μεγάλα συστήματα κεραιών (large-scale antenna systems), γνωστά ως Massive MIMO, τα οποία προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα όπως μεγάλες αυξήσεις στη φασματική αποδοτικότητα χωρίς την ανάγκη για αυξημένη πυκνωση στους BSs, ομαλοποιημένες απαντήσεις καναλιού εξαιτίας της μεγάλης χωρικής ποικιλομορφίας και απλές δομές εκπομπής και λήψης.

Τα massive MIMO συστήματα προϋποθέτουν την χρήση πολλαπλών στοιχείων κεραίας τόσο στον πομπό όσο και στον δέκτη. Τα περισσότερα σημερινά συστήματα MIMO χρησιμοποιούν δύο με τέσσερις κεραίες, ο στόχος των massive MIMO συστημάτων είναι να εκμεταλλευτούν τα δυνητικά μεγάλα κέρδη σε χωρητικότητα που θα προκύψουν από την χρήση μεγαλύτερων συστοιχιών κεραιών. Στο single-user MIMO (SU-MIMO), ο αριθμός των κεραιών που μπορούν να φιλοξενηθούν από μια φορητή συσκευή του χρήστη είναι μικρός. Ωστόσο οι σταθμοί βάσης πρέπει να επικοινωνούν με πολλούς χρήστες ταυτόχρονα και αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση της multiuser έκδοσης του MIMO (MUMIMO).

Προσθέτοντας πολλαπλές κεραίες, μπορούμε να επιτύχουμε ένα μεγαλύτερο βαθμό ελευθερίας, πέρα από τα πλαίσια του χρόνου και του φάσματος, και στα ασύρματα κανάλια, ούτως ώστε να μπορούν να εξυπηρετήσουν μεγαλύτερο όγκο δεδομένων. Οπότε επιτυγχάνεται μεγαλύτερη αξιοπιστία, φασματική και ενεργειακή απόδοση των δικτύων. Με τη σωστή χρήση του multiuserMIMO (MU-MIMO) σε massive MIMO συστήματα, το επίπεδο του μέσου ελέγχου πρόσβασης (MAC) μπορεί να απλοποιηθεί με την αποφυγή πολύπλοκων αλγορίθμων προγραμματισμού και ο σταθμός βάσης μπορεί να στείλει ξεχωριστά σήματα για μεμονωμένους χρήστες που χρησιμοποιούν στον ίδιο χρόνο τις ίδιες συχνότητες. Τέλος, τα συστήματα εκπομπής και λήψης των δεδομένων γίνονται λιγότερο πολύπλοκα λόγω της φύσης των καναλιών μεταξύ των σταθμών βάσης και της χρήσης της ίδιας πηγής σηματοδότησης από μια ομάδα χρηστών.

Ωστόσο υπάρχουν εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν. Ειδικότερα αυτά συνοψίζονται στα ακόλουθα :

- ✓ Αρχιτεκτονικές προκλήσεις: Η αρχιτεκτονική αποτελεί την πιο σοβαρή πρόκληση στην κατανόηση του οράματος του massive MIMO. Αυτό απαιτεί εντελώς διαφορετικές BS δομές, όπου αντί για λίγους υψηλής ενέργειας ενισχυτές που τροφοδοτούν ένα τομέα κεραιών, υπάρχουν πολλοί μικροί χαμηλής ενέργειας ενισχυτές που θα τροφοδοτούν μικρές κεραίες.
- ✓ Πολυδιάστατο MIMO και κυματομορφές ανύψωσης: Οι σημερινοί BS και ειδικά αυτοί που βρίσκονται σε δομές πύργου μπορούν να στεγάσουν έναν περιορισμένο αριθμό κεραιών. Υιοθετώντας όμως το μοντέλο του FD-MIMO(FullDimension MIMO) και αυξάνοντας και τη γωνία ανύψωσης, μπορούν να στεγάσουν αρκετές περισσότερες με τον ίδιο παράγοντα μορφής. Πλεονέκτημα που προκύπτει από την όλη διαδικασία είναι η αύξηση της δύναμης του σήματος και η μείωση των παρεμβολών από χρήστες γειτονικών κελιών.
- ✓ Μοντέλα καναλιού: Οι συσχετισμοί των κεραιών και οι σύνδεσμοι για τις μαζικές συστοιχίες με σχετικές τοποθεσίες πρέπει να καθοριστούν και να καθιερωθεί ένα μοντέλο για την επίδρασή τους και πιο συγκεκριμένα πρέπει να πιστοποιηθεί ο βαθμός ορθογωνιοποίησης του κανονικού καναλιού.
- ✓ Συνύπαρξη με μικρές κυψέλες: Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι massive MIMO BSs πιθανότατα θα πρέπει να συνυπάρχουν με μικρότερα κελιά τα οποία δε θα είναι εφοδιασμένα με MIMO λόγω του μικρού παράγοντα μορφής. Ο μεγάλος αριθμός κεραιών στα massive MIMO BSs προσφέρει την ευκαιρία αποφυγής παρεμβολών με σχετική απλότητα και χαμηλό κόστος.
- ✓ Συνύπαρξη με mmWave: Το mmWave χρειάζεται αρκετές κεραίες για την κατεύθυνση των ακτινών. Στις συχνότητες αυτές όμως οι κεραίες είναι αρκετά μικρές και έτσι ένας μεγάλος αριθμός από αυτές μπορεί να χωρέσει σε μια κινητή συσκευή με αποτέλεσμα οι κεραίες αυτές να μπορούν πραγματικά να παρέχουν σχηματισμούς δέσμης και ευκαιρίες για MIMO.

Σηματοδότηση και πολλαπλή πρόσβαση(Signaling and multiple access)

Τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς θα διαφοροποιούνται στην σηματοδότηση και την πολλαπλή πρόσβαση. Το OFDM έχει γίνει το κυρίαρχο σχήμα σηματοδότησης για υψηλών ταχυτήτων ασύρματες επικοινωνίες κυρίως γιατί παρέχει ένα φυσικό τρόπο για αντιμετώπιση της

επιλεκτικότητας της συχνότητας. Από την άλλη πλευρά, το OFDMA εμπεριέχει την πολλαπλή πρόσβαση στο επίπεδο του υποφορέα. Σε συνδυασμό δε με το TDMA μπορεί εύκολα να διαχωρίζει τα πηγαία blocks μέσω του ψηφιακού φιλτραρίσματος.

Από την άλλη πλευρά το OFDM έχει PARP (Peak to Average Power Ratio) υψηλότερο απ' ό τι σε άλλα σχήματα, με αποτέλεσμα να εγκαθιδρύει ένα μη ελκυστικό tradeoff ανάμεσα στη γραμμικότητα του εκπεμπόμενου σήματος και στο κόστος του ενισχυτή. Η λύση στο πρόβλημα αυτό είναι το precoding των σημάτων όπως στο LTE Uplink. Ακόμα, η αποδοτικότητα του φάσματος δεν είναι πλήρως ικανοποιητική καθώς αν χρησιμοποιηθεί το OFDM στο mmWave εύρος ζώνης είναι μεγάλο το ίδιο και η δυσκολία για τη δημιουργία αποδοτικών ενισχυτών ενέργειας γι' αυτές τις συχνότητες. [17,18]

3.4 Ερευνητικά Έργα στα δίκτυα 5ης γενιάς

Το 5G-PPP (5G Infrastructure Public Private Partnership) είναι μια κοινή πρωτοβουλία μεταξύ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και της ευρωπαϊκής βιομηχανίας ICT (κατασκευαστές ICT, τηλεπικοινωνιακοί φορείς, πάροχοι υπηρεσιών και ερευνητικά ιδρύματα). Το 5G-PPP βρίσκεται τώρα στη δεύτερη φάση, όπου ξεκίνησαν 21 νέα έργα στις Βρυξέλλες τον Ιούνιο του 2017. Το 5G PPP θα προσφέρει λύσεις, αρχιτεκτονικές, τεχνολογίες και πρότυπα για τις πανταχού παρούσες επικοινωνιακές υποδομές της επόμενης γενιάς που θα εμφανιστεί και εξελιχτεί την επόμενη δεκαετία. Η πρόκληση είναι το δίκτυο 5G να εξασφαλίσει την ηγετική θέση της Ευρώπης στους συγκεκριμένους τομείς. Η πρωτοβουλία του 5G PPP θα ενισχύσει την ευρωπαϊκή βιομηχανία ώστε να ανταγωνιστεί επιτυχώς στις παγκόσμιες αγορές και να ανοίξει νέες ευκαιρίες καινοτομίας. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν τα μέλη της αναμένουν "να ανοίξει μια πλατφόρμα που θα μας βοηθήσει να επιτύχουμε τον κοινό μας στόχο να διατηρήσουμε και να ενισχύσουμε το παγκόσμιο τεχνολογικό προβάδισμα".

Οι βασικές προκλήσεις που πρέπει να ξεπεραστούν είναι :

- Παροχή 1000 φορές μεγαλύτερης χωρητικότητας ασύρματης περιοχής και πιο ποικίλες δυνατότητες υπηρεσιών σε σύγκριση με το 2010.
- Εξοικονόμηση έως και 90% της ενέργειας ανά παρεχόμενη υπηρεσία. Έμφαση θα δοθεί στα δίκτυα κινητής επικοινωνίας, όπου η κυρίαρχη κατανάλωση ενέργειας προέρχεται από το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης.
- Μείωση του μέσου κύκλου δημιουργίας υπηρεσίας από 90 ώρες σε 90 λεπτά.
- Δημιουργία ασφαλούς και αξιόπιστου διαδικτύου με "μηδενικό" χρόνο αναμονής για παροχή υπηρεσιών.
- Διευκόλυνση της πολύ πυκνής ανάπτυξης συνδέσεων ασύρματης επικοινωνίας για σύνδεση περισσότερων από 7 τρισεκατομμυρίων ασύρματων συσκευών που εξυπηρετούν πάνω από 7 δισεκατομμύρια ανθρώπους.
- Εξασφάλιση πρόσβασης σε ένα ευρύτερο φάσμα υπηρεσιών και εφαρμογών με χαμηλό κόστος για όλους τους χρήστες οπουδήποτε και αν βρίσκονται. [25]



Εικόνα 33: Στόχοι του 5G-PPP

3.4.1 Πρώτη φάση του 5G-PPP

Η πρώτη φάση του 5G – PPP περιέχει 19 συνολικά project (τα οποία επελέγησαν από 83 συνολικές προτάσεις που υπεβλήθησαν προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή) τα λογότυπα των οποίων παρουσιάζονται στην εικόνα που ακολουθεί στη συνέχεια:



Εικόνα 34: Πρώτη φάση του 5G-PPP

Ενδεικτικά αναλύονται παρακάτω ορισμένα από αυτά τα projects.

METIS-II : Σκοπός του ερευνητικού αυτού έργου είναι να αναπτύξει το γενικό σχεδιασμό δικτύου ραδιοεπικοινωνίας 5G και να παρέχει τις τεχνικές δυνατότητες που απαιτούνται για την αποτελεσματική ενσωμάτωση και χρήση των διαφόρων τεχνολογιών 5G. Το METIS-II παρέχει το πλαίσιο συνεργασίας 5G στο 5G-PPP για μια κοινή αξιολόγηση των εννοιών του δικτύου ραδιοεπικοινωνιών 5G και προετοιμάζει συντονισμένη δράση προς τους ρυθμιστικούς φορείς και τους οργανισμούς τυποποίησης. Με βάση την πολύ ισχυρή και διεθνή κοινοπραξία της με εταίρους από όλες τις περιοχές με ισχυρές πρωτοβουλίες έρευνας και ανάπτυξης 5G (ΕΕ, ΗΠΑ, Κίνα, Ιαπωνία, Κορέα) περιλαμβάνει τους περισσότερους από τους σημαντικότερους διεθνείς σημαντικούς φορείς και βασικούς ερευνητές. Οι στόχοι του έργου αυτού είναι οι ακόλουθοι :

- ✓ Σχεδιασμός του συνολικού δικτύου ραδιοεπικοινωνίας (RAN) 5G εστιάζοντας ιδιαίτερα στο σχεδιασμό της τεχνολογίας για την αποτελεσματική ενσωμάτωση των καινοτόμων ιδεών του δικτύου ασύρματης πρόσβασης σε ένα ολιστικό σύστημα 5G.
- ✓ Παρέχεται το πλαίσιο συνεργασίας 5G στο 5G-PPP για μια κοινή αξιολόγηση της έννοιας του δικτύου ραδιοεπικοινωνίας 5G τόσο από άποψη απόδοσης όσο και από τεχνοοικονομική άποψη. Ειδικότερα, το METIS-II βελτιώνει περαιτέρω τα σενάρια 5G, τις απαιτήσεις και τα KPIs, αναπτύσσει ένα πλαίσιο αξιολόγησης επιδόσεων και τεχνοοικονομικής αξιολόγησης και παρέχει ενοποίηση και καθοδήγηση σε άλλα έργα 5G-PPP σχετικά με το φάσμα και τις συνολικές πτυχές σχεδιασμού δικτύων ραδιοεπικοινωνίας 5G.

- ✓ Προετοιμασία συντονισμένης δράσης προς τους ρυθμιστικούς οργανισμούς για την αποτελεσματική τυποποίηση, ανάπτυξη και οικονομικά ελκυστική ανάπτυξη του δικτύου 5G με ισχυρό ευρωπαϊκό αποτύπωμα. [19]

COHERENT : Στόχος του έργου αυτού είναι η έρευνα, η ανάπτυξη και η παρουσίαση ενός ενιαίου προγραμματιζόμενου πλαισίου ελέγχου για ετερογενή δίκτυα ραδιοεπικοινωνιών 5G. Το έργο επικεντρώνεται σε τρεις καινοτομίες στον έλεγχο και τον συντονισμό των δικτύων 5G :

- ✓ Ορισμός δικτύων ραδιοεπικοινωνίας για τη δημιουργία ενός εύκαμπτου και ευέλικτου πλαισίου ελέγχου και συντονισμού των πόρων του δικτύου 5G.
- ✓ Αποτελεσματική μοντελοποίηση και διαχείριση ραδιοφωνικών πόρων σε προγραμματιζόμενα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης, με σαφώς καθορισμένες διεπαφές και πρωτόκολλα ελέγχου για την απλούστευση της διαχείρισης των ετερογενών δικτύων κινητής τηλεφωνίας.
- ✓ Ευέλικτη διαχείριση του φάσματος, βασισμένη στην ευαισθητοποίηση σχετικά με τη χρήση του ραδιοφάσματος μέσω του πλαισίου ελέγχου COHERENT, για την υποστήριξη διαφορετικών συστημάτων πρόσβασης στο φάσμα, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, αδειοδοτούμενης κοινής πρόσβασης, πρόσβασης με υποβοήθηση της άδειας χρήσης και ευέλικτης αμφίδρομης επικοινωνίας σε δίκτυα πρόσβασης ραδιοσυχνοτήτων 5G. [20]

mmMAGIC : Το πρόγραμμα mmMAGIC αναπτύσσει και σχεδιάζει νέες ιδέες για την τεχνολογία κινητής ραδιοεπικοινωνίας (RAT) στην περιοχή 6-100 GHz, συμπεριλαμβανομένης νέας κυματομορφής και τεχνικών. Το νέο αυτό πρότυπο RAT θεωρείται βασικό στοιχείο του συνολικού οικοσυστήματος 5G multi-RAT. Το έργο αναπτύσσει επίσης τις δυνατότητες αυτοεξυπηρέτησης και εμπλοκής, δημιουργώντας έτσι μια κλιμακούμενη και οικονομικά βιώσιμη ολοκληρωμένη λύση 5G για την κάλυψη των μελλοντικών αναγκών των φορέων εκμετάλλευσης, επιτρέποντας, για παράδειγμα, τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας και ροή βίντεο, εικονική πραγματικότητα, και εξαιρετικά ανταποκρινόμενες υπηρεσίες cloud σε 5G για χρήστες κινητών τηλεφώνων. Το έργο εκτελεί εκτεταμένες μετρήσεις ραδιοφωνικών καναλιών στην περιοχή 6-100 GHz σε διάφορες τοποθεσίες στην Ευρώπη και αναπτύσσει προηγμένα μοντέλα καναλιών τα οποία χρησιμοποιούνται για αυστηρή επικύρωση και ανάλυση σκοπιμότητας των προτεινόμενων εννοιών και συστημάτων καθώς και για χρήση προτύπων. Η φιλοδοξία του έργου ήταν να προετοιμάσει το έδαφος για ένα ευρωπαϊκό ξεκίνημα στα συστήματα 5G που λειτουργούν πάνω από 6 GHz.

Για την επίτευξη των στόχων του έργου, το mmMAGIC οργανώθηκε σε παράλληλες δραστηριότητες που υλοποιήθηκαν σε έξι διαφορετικά πακέτα εργασίας. Τα πέντε έχουν τεχνικό χαρακτήρα και το ένα είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση και τη διάδοση των έργων. Οι εργασίες έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης στα πακέτα τεχνικής εργασίας συνίστανται στον καθορισμό των αναγκών των χρηστών και των συνεπειών των ρυθμιστικών περιορισμών (WP1 υπό την ηγεσία της Intel Mobile Communications GmbH), των μετρήσεων καναλιών και της μοντελοποίησης (WP2 με επικεφαλής τον Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut) (WP3 - WP5, με επικεφαλής την Nokia Solutions and

Networks, Huawei Technologies Dusseldorf GmbH και Samsung Electronics (UK) Ltd., αντίστοιχα) και τη διάδοση και απεικόνιση των αποτελεσμάτων (WP6 και WP1). [21]

5G-Crosshaul: Η κίνηση των κινητών δεδομένων προβλέπεται να αυξηθεί 11 φορές μεταξύ του 2013 και του 2018. Τα δίκτυα 5G που εξυπηρετούν αυτό το τσουνάμι δεδομένων κινητής τηλεφωνίας θα απαιτήσουν λύσεις fronthaul και backhaul μεταξύ του RAN και των πακέτων ώστε να αντιμετωπίσουν αυτό το αυξημένο φορτίο κίνησης ενώ πληρούν τις νέες αυστηρές απαιτήσεις υπηρεσίας 5G με οικονομικά αποδοτικό τρόπο.

Το έργο 5G-Crosshaul στοχεύει στην ανάπτυξη ενός ενοποιημένου δικτύου μεταφοράς 5G και fronthaul, το οποίο επιτρέπει μια ευέλικτη και καθορισμένη από λογισμικό αναδιάταξη όλων των στοιχείων δικτύωσης σε ένα ενοποιημένο περιβάλλον διαχείρισης πολλαπλών υπηρεσιών. Το προβλεπόμενο δίκτυο μεταφοράς Xhaul αποτελείται από διακόπτες μεγάλης χωρητικότητας και ετερογενείς συνδέσμους μετάδοσης (π.χ. οπτικές ίνες ή ασύρματες οπτικές ίνες, χαλκό υψηλής χωρητικότητας, mmWave) που διασύνδεουν απομακρυσμένες ραδιοφωνικές κεφαλές, 5GPoA (π.χ. μακροσκοπικά και μικρά κελιά - μίνι κέντρα δεδομένων) και σημεία παρουσίας των βασικών δικτύων ενός ή πολλαπλών παρόχων υπηρεσιών. Αυτό το δίκτυο μεταφορών διασύνδεει με ευελιξία διανεμημένες λειτουργίες του δικτύου ραδιοεπικοινωνίας και του κεντρικού δικτύου, που φιλοξενούνται σε κόμβους cloud μέσω (i) μιας υποδομής ελέγχου που χρησιμοποιεί ένα ενοποιημένο μοντέλο αφηρημένου δικτύου για την ενοποίηση του επιπέδου ελέγχου (Xhaul Control Infrastructure, XCI), (ii) ενός ενοποιημένου επιπέδου δεδομένων που περιλαμβάνει καινοτόμες τεχνολογίες μετάδοσης υψηλής χωρητικότητας και νέες αρχιτεκτονικές μεταγωγών προκαθορισμένης καθυστέρησης (Xhaul Packet Forwarding Element, XFE). Τα πειράματα Xhaul σχετίζονται με την κινητικότητα και πραγματοποιούνται στα τρένα μεγάλης ταχύτητας της Ταϊβάν. Οι στόχοι Xhaul KPI περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, την αύξηση της χωρητικότητας δικτύου κατά 20%, την καθυστέρηση <1 ms και την μείωση του TCO κατά 30%. [22]

5G NORMA : Ο κύριος στόχος του 5G NORMA είναι να αναπτύξει μια αρχιτεκτονική πρωτοποριακή και προσαρμοστική του θα υλοποιηθεί στο δίκτυο 5G. Η αρχιτεκτονική αυτή θα επιτρέπει τη δημιουργία πρωτοφανών επιπέδων προσαρμοστικότητας στο δίκτυο, εξασφαλίζοντας αυστηρές απαιτήσεις απόδοσης, ασφάλειας, κόστους και ενέργειας που πρέπει να πληρούνται. Η αρχιτεκτονική NORMA 5G παρέχει την απαιτούμενη προσαρμοστικότητα ικανή να χειριστεί αποτελεσματικά τις ποικίλες απαιτήσεις και τις διακυμάνσεις της ζήτησης κυκλοφορίας που προκύπτουν από τα ετερογενή δίκτυα. Η τεχνική προσέγγιση βασίζεται στην καινοτόμο ιδέα της προσαρμοστικής σύνθεσης και της κατανομής των λειτουργιών του δικτύου κινητής τηλεφωνίας, η οποία αποσυνδέει ευέλικτα τις λειτουργίες του κινητού δικτύου και τοποθετεί τις λειτουργίες που προκύπτουν στην καταλληλότερη θέση. Με αυτόν τον τρόπο, οι λειτουργίες πρόσβασης δεν είναι πλέον (αναγκαστικά) σε διαφορετικές τοποθεσίες, οι οποίες εκμεταλλεύονται για να βελτιστοποιούν από κοινού τη λειτουργία τους. Η προσαρμοστικότητα της αρχιτεκτονικής ενισχύεται περαιτέρω από το καινοτόμο λογισμικό που καθορίζεται από το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας και τις κινητές έννοιες πολλαπλών μισθώσεων. Η 5G NORMA διασφαλίζει την οικονομική βιωσιμότητα της λειτουργίας του δικτύου και ανοίγει ευκαιρίες αξιοποιώντας παράλληλα την

αποτελεσματικότητα της αρχιτεκτονικής για να το κάνει με τρόπο οικονομικό και αποδοτικό. [23]

5G-ENSURE : Το 5G-ENSURE καθορίζει μια Αρχιτεκτονική Ασφάλειας 5G, κοινή και συμφωνημένη από τους διάφορους εμπλεκόμενους φορείς της 5G. Το έργο 5G-ENSURE έχει ξεκινήσει επίσης ένα όραμα δοκιμών 5G Security και μια αρχική ρύθμιση, στην οποία θα διατεθούν οι ενεργοποιητές ασφαλείας. Επιπλέον, το δυναμικό των ανεπτυγμένων μηχανισμών ασφάλειας 5G θα παρουσιαστεί και θα επιδειχθεί στο πλαίσιο προσεκτικά επιλεγμένων περιπτώσεων χρήσης ασφάλειας 5G (π.χ., περιπτώσεις χρήσης που σχετίζονται με την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο και την αεροδιαστημική). [24]

Euro-5G : Ο πρωταρχικός στόχος αυτού του έργου είναι να διευκολυνθεί η αποτελεσματική και αποδοτική συνεργασία και η ολοκλήρωση μεταξύ όλων των project του 5G – PPP, της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και του συνδέσμου υποδομών 5G. Οι μετρικές για την αξιολόγηση της επιτυχίας του 5G – PPP θα βασιστούν στα KPIs (Key Performance Indicators) που περιλαμβάνονται στη συμβατική ρύθμιση που υπογράφηκε από το σύνδεσμο υποδομών 5G εξ ονόματος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής το Δεκέμβριο του 2013. Το Euro – 5G θα προσπαθήσει να εξασφαλίσει την απρόσκοπτη ολοκλήρωση των Ευρωπαϊκών βιομηχανικών πολιτικών, ώστε τα αποτελέσματά του να είναι χρήσιμα και σχετικά στο μέτρο του δυνατού. Για το λόγο αυτό θα υποστηρίξει ενεργά το στόχο του 5G – PPP προκειμένου να ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα της Ευρωπαϊκής βιομηχανίας ICT και να διασφαλίσει μια Ευρωπαϊκή κοινωνία όπου ο καθένας θα μπορεί να απολαύσει τα οικονομικά και κοινωνικά οφέλη των μελλοντικών δικτύων. [26]

5G – Exchange : Το συγκεκριμένο έργο θα επιτρέψει την αποτελεσματική εκμετάλλευση ή αλλιώς ενορχήστρωση επιχειρηματικών και τεχνικών υπηρεσιών. Μια τέτοια στρατηγική θα επιτρέψει την εμφάνιση δικτύων και υπηρεσιών απ' άκρη σε άκρη για ετερογενή περιβάλλοντα τεχνολογικών πόρων. Ο κατακερματισμός της αγοράς έχει οδηγήσει σε έναν μεγάλο αριθμό φορέων εκμετάλλευσης δικτύων οι οποίοι επικεντρώνονται σε διαφορετικές χώρες και περιοχές. Αυτό καθιστά δύσκολη τη δημιουργία υπηρεσιών υποδομής που καλύπτουν πολλές χώρες, όπως η εικονική συνδεσιμότητα ή οι υπολογιστικοί πόροι, καθώς κανένας φορέας δεν έχει αποτύπωμα παντού.

Το 5GEx στοχεύει στην συνεργασία μεταξύ των φορέων εκμετάλλευσης, όσον αφορά τις υπηρεσίες υποδομής 5G, με στόχο την εισαγωγή της ενοποίησης μέσω του NFV / SDN. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω :

- μιας ανοιχτής πλατφόρμας που επιτρέπει την ενορχήστρωση μεταξύ τομέων υπηρεσιών σε αυτούς τους πολλαπλούς τομείς, με ένα σύνολο εργαλείων λογισμικού ανοικτού κώδικα και επεκτάσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτός του πλαισίου 5GEx.
- ένα δίκτυο Sandbox που επιτρέπει πειραματισμό και επικύρωση της αρχιτεκτονικής που έχει επινοηθεί, των μηχανισμών και των επιχειρηματικών μοντέλων.
- μιας πλατφόρμας πολλαπλών τομέων απόδειξης της καινοτομίας που επιτρέπει πολλαπλές περιπτώσεις χρήσης 5G και ρεαλιστικά σενάρια που αποδεικνύουν την

ενορχήστρωση πολύπλοκων υποδομών από άκρο σε άκρο ως υπηρεσία σε πολλούς μεταφορείς.

- συμβολές σε φορείς τυποποίησης των εννοιών που αποκτήθηκαν κατά την ανάπτυξη και πειραματισμό του έργου.
- συμβολή στην τόνωση των φορέων της τηλεπικοινωνίας και της πληροφορικής μέσω της ενεργού προώθησης της υιοθέτησης των ανοιχτών λύσεων του 5GEx.

Αυτές οι υπηρεσίες υποδομής 5G θα παράσχουν έναν κρίσιμο ρόλο στην πραγματοποίηση του 5G, καθώς αποτελούν το θεμέλιο όλων των υπηρεσιών cloud και δικτύωσης. Το 5GEx αποσκοπεί στο να επιτρέψει, μέσω της συνεργασίας των φορέων εκμετάλλευσης, μια ενοποιημένη ευρωπαϊκή αγορά υπηρεσιών υποδομής που θα ενσωματώνει πολλαπλούς φορείς και τεχνολογίες, όπου η παροχή υπηρεσιών είναι γρήγορη, αυτοματοποιημένη και οδηγεί σε ισχυρότερη οικονομία μέσω οικονομιών κλίμακας. [27]

5G – Norma : Ο κύριος στόχος του 5G NORMA είναι να αναπτύξει μια αρχιτεκτονική πρωτοποριακή, προσαρμοστική και μελλοντική για το δίκτυο 5^{ης} γενιάς. Η αρχιτεκτονική επιτρέπει τη δημιουργία πρωτοφανών επιπέδων προσαρμοστικότητας στο δίκτυο, εξασφαλίζοντας αυστηρές απαιτήσεις απόδοσης, ασφάλειας, κόστους και ενέργειας που πρέπει να πληρούνται. Με το 5G NORMA, κορυφαίοι παίκτες στο κινητό οικοσύστημα στοχεύουν στην υποστήριξη της ηγετικής θέσης της Ευρώπης στο 5G. Η αρχιτεκτονική 5G NORMA θα παράσχει την απαραίτητη προσαρμοστικότητα ώστε να χειριστεί αποτελεσματικά τις διαφορετικές απαιτήσεις και τις διακυμάνσεις της ζήτησης της κυκλοφορίας των υπηρεσιών. Το 5G NORMA δεν ακολουθεί το πρότυπο "ένα σύστημα που ταιριάζει σε όλες τις υπηρεσίες", οπότε θα επιτρέψει την προσαρμογή των μηχανισμών που εκτελούνται για μια δεδομένη υπηρεσία. Η τεχνική προσέγγιση βασίζεται στην καινοτόμο ιδέα της προσαρμοστικής σύνθεσης και της κατανομής των λειτουργιών του δικτύου κινητής τηλεφωνίας, η οποία αποσυνθέτει με ευελιξία τις λειτουργίες του κινητού δικτύου και τοποθετεί τις λειτουργίες που προκύπτουν στην καταλληλότερη θέση. Με αυτόν τον τρόπο, οι λειτουργίες πρόσβασης και πυρήνα δεν είναι πλέον (αναγκαστικά) διανεμημένες σε διαφορετικές τοποθεσίες. Η προσαρμοστικότητα της αρχιτεκτονικής ενισχύεται περαιτέρω από το καινοτόμο λογισμικό που καθορίζεται από το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας και τις κινητές έννοιες πολλαπλών μισθώσεων και υποστηρίζεται από τις επιβεβαιώσεις των διαδηλώσεων. Το 5G NORMA θα διασφαλίσει την οικονομική βιωσιμότητα της λειτουργίας του δικτύου και θα ανοίξει ευκαιρίες για νέους «παίκτες», αξιοποιώντας παράλληλα την αποτελεσματικότητα της αρχιτεκτονικής για να το κάνει με τρόπο οικονομικό και αποδοτικό. [28]

5G–XHAUL : Οι μικρές κυψέλες, τα δίκτυα πρόσβασης Cloud-Radio (C-RAN), τα δίκτυα που καθορίζονται από το λογισμικό (SDN) και η λειτουργία Virtualization Function Network (NVF) αποτελούν βασικούς παράγοντες για την αντιμετώπιση της ζήτησης για ευρυζωνική σύνδεση με χαμηλό κόστος και ευέλικτες εφαρμογές. Οι μικρές κυψέλες, σε συνδυασμό με τα C-RAN, SDN, NVF θέτουν πολύ αυστηρές απαιτήσεις στο δίκτυο μεταφορών. Εδώ απαιτούνται ευέλικτες ασύρματες λύσεις για δυναμικές αρχιτεκτονικές backhaul και fronthaul παράλληλα με οπτικές διασυνδέσεις πολύ υψηλής χωρητικότητας. Ωστόσο, δεν υπάρχει συναίνεση ως προς τον τρόπο με τον οποίο οι δύο τεχνολογίες

μπορούν να συνδυάζονται πιο αποτελεσματικά. Το 5G-XHaul προτείνει μια «ενοποιημένη» λύση οπτικού και ασύρματου δικτύου ικανή να συνδέει με ευελιξία τις μικρές κυψέλες στο κεντρικό δίκτυο. Αξιοποιώντας την κινητικότητα των χρηστών, η λύση μας επιτρέπει τη δυναμική κατανομή πόρων δικτύου σε προβλεπόμενα και πραγματικά διαθέσιμα σημεία. Για να υποστηρίξουμε αυτές τις νέες ιδέες, θα αναπτυχθούν:

- Δυναμικά προγραμματιζόμενοι, υψηλής χωρητικότητας και χαμηλής καθυστέρησης πομποδέκτες mm-Wave από σημείο σε πολλαπλό σημείο, που συνεργάζονται με συστήματα υπο-6 GHz.
- Ένα δίκτυο οπτικών μέσων που διαθέτει ελαστικό και λεπτό κοκκώδες εύρος ζώνης, που συνεργάζεται με προηγμένα παθητικά οπτικά δίκτυα.
- Ένας έλεγχος λειτουργικού ικανός να προβλέπει την κυκλοφορία σε χρόνο και χώρο, καθώς και τη δυνατότητα ανασυγκρότησης των στοιχείων του δικτύου.

Η καλά ισορροπημένη κοινοπραξία βιομηχανικών και ερευνητικών εταιριών του 5G-Xhaul με μοναδική εμπειρία και δεξιότητες σε όλους τους τομείς των συστημάτων και των δικτύων επικοινωνίας θα επηρεάσουν :

- Την ανάπτυξη νέων συγκλινουσών οπτικών / ασύρματων αρχιτεκτονικών και αλγορίθμων διαχείρισης δικτύου για κινητά σενάρια.
- Την εισαγωγή προηγμένων πομπών mm-Wave και οπτικών πομποδεκτών και λειτουργιών ελέγχου.
- Την υποστήριξη της ανάπτυξης διεθνών προτύπων μέσω τεχνικών και τεχνολογικών συνεισφορών.

Οι τεχνολογίες 5G-XHaul θα ενσωματωθούν σε μια δοκιμαστική πλατφόρμα στο Μπρίστολ (Ηνωμένο Βασίλειο). Αυτό θα υποστηρίξει μοναδικά την αξιολόγηση νέων οπτικών και ασύρματων στοιχείων και την απόδοση από άκρο σε άκρο. [29]

COGNET : Το έργο CogNet στοχεύει στην έρευνα και ανάπτυξη μιας πλατφόρμας διαχείρισης δικτύου σε πραγματικό χρόνο με την ικανότητα να κλιμακώνεται (επεκτείνεται) προκειμένου να αντιμετωπίζει τις απαιτήσεις του μελλοντικού 5G δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, το έργο αυτό έχει τους εξής στόχους:

- Συλλογή και προ – επεξεργασία μαζικών δεδομένων από το δίκτυο 5G.
- Ανάπτυξη ενός συστήματος για την αυτοδιαχείριση των κόμβων του δικτύου, ενώ υποστηρίζει ενιαία διαχείριση δικτύου.
- Εφαρμογή αλγορίθμων μηχανικής μάθησης για την αντιμετώπιση της πρόβλεψης της ζήτησης και του εφοδιασμού, επιτρέποντας στο δίκτυο να αλλάξει το μέγεθός του χρησιμοποιώντας εικονικοποίηση. Επιπλέον, θα αντιμετωπιστούν τα θέματα ανθεκτικότητας του δικτύου, συμπεριλαμβανομένων εντοπισμού σφαλμάτων δικτύου, βλαβών και συνθηκών όπως συμφόρηση δικτύου ή υποβάθμιση των επιδόσεων.
- Εντοπισμός (αναγνώριση) σοβαρών θεμάτων ασφαλείας όπως μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, παραβιασμένες συνιστώσες δικτύου ή χρήση

συνιστωσών δικτύου που είναι σε κίνδυνο. Στη συνέχεια, υπάρχει συνεργασία με την αυτόνομη διαχείριση του δικτύου για την λήψη των κατάλληλων μέτρων.

Οι τεχνικές και ερευνητικές προκλήσεις που προσπαθεί να ξεπεράσει το συγκεκριμένο έργο είναι οι εξής:

- Συλλογή και επεξεργασία μεγάλων δεδομένων από το 5G δίκτυο σε πραγματικό χρόνο.
- Ανάπτυξη νέων αλγορίθμων που χρησιμοποιούν μηχανική μάθηση για να μάθουν από τα συλλεχθέντα δεδομένα και στη συνέχεια να εφαρμόσουν την αποκτηθείσα γνώση για τη διαχείριση δικτύου.
- Βελτίωση της επεκτασιμότητας, της αντοχής και της ασφάλειας των 5G δικτύων.
- Πραγματοποίηση μετρήσιμων βελτιώσεων στα δίκτυα, όπως αυτές αναγνωρίζονται μέσω των βασικών δεικτών απόδοσης (KPIs).

3.4.2 Δεύτερη φάση του 5G-PPP

Η δεύτερη φάση αποτελείται από 21 νέες προτάσεις έργων 5G-PPP οι οποίες επιλέχτηκαν ανάμεσα σε 101 προτάσεις. Τα λογότυπα τους εμφανίζονται παρακάτω και ενδεικτικά αναλύονται ορισμένα από αυτά.



Εικόνα 35: Δεύτερη φάση 5G-PPP

5G-Essence : Το 5G ESSENCE απευθύνεται σε υπολογιστικά συστήματα Edge Cloud και Small Cell-as-a-Service (SCAaS) για την άρση των φραγμών στην αγορά μικρών κυψελών (SC), που προβλέπεται να αναπτυχθούν με εντυπωσιακό ρυθμό μέχρι το 2020

και μετά και να διαδραματίσει βασικό ρόλο στο οικοσύστημα 5G. Το 5G ESSENCE προσφέρει μια εξαιρετικά ευέλικτη και κλιμακούμενη πλατφόρμα, ικανή να υποστηρίξει νέα επιχειρηματικά μοντέλα και ροές εσόδων, δημιουργώντας μια ουδέτερη αγορά υποδοχής και μειώνοντας το λειτουργικό κόστος παρέχοντας νέες ευκαιρίες ιδιοκτησίας, ανάπτυξης, λειτουργίας και απόσβεσης. Επιπλέον αξιοποιεί τις γνώσεις, τις λειτουργικές μονάδες SW και τα πρωτότυπα από διάφορα project της πρώτης φάσης του 5G-PPP.

Μεταξύ των βασικών στόχων του 5G ESSENCE είναι:

- Πλήρης εξειδίκευση των κρίσιμων αρχιτεκτονικών βελτιώσεων.
- Ορισμός της βασικής αρχιτεκτονικής του συστήματος και των διασυνδέσεων για την παροχή ενός δικτύου SC και ενός προγραμματιζόμενου ελεγκτή RRM
- Ανάπτυξη του κεντρικού ελεγκτή SD-RAN για τον προγραμματισμό της χρήσης των ραδιοφωνικών πόρων με ενοποιημένο τρόπο για όλα τα CESC (Cloud-Enabled Small Cells).
- Αξιοποίηση τεχνικών εικονικής προβολής υψηλών επιδόσεων και αποτελεσματικότητας για καλύτερη χρήση των πόρων, υψηλότερη απόδοση και μικρότερη καθυστέρηση στον χρόνο δημιουργίας των υπηρεσιών δικτύου.
- Ανάπτυξη τεχνικών για τη διαχείριση διανεμημένων υπηρεσιών.
- Επίδειξη και αξιολόγηση του πολυλειτουργικού δικτύου SC που έχει ενσωματωθεί σε τεχνολογία cloud.
- Διεξαγωγή ανάλυσης αγοράς και δημιουργίας νέων επιχειρηματικών μοντέλων

Μεγιστοποίηση των επιπτώσεων στην υλοποίηση του οράματος των 5G. [30]

5GCAR : Οι κύριοι στόχοι του σχεδίου 5GCAR είναι:

- Ανάπτυξη μιας συνολικής αρχιτεκτονική συστήματος 5G που παρέχει βελτιστοποιημένη συνδεσιμότητα δικτύου V2X από άκρο σε άκρο για εξαιρετικά αξιόπιστες υπηρεσίες V2X με χαμηλή καθυστέρηση. Επιπλέον υποστηρίζει την ασφάλεια και την προστασία της ιδιωτικής ζωής, διαχειρίζεται την ποιότητα εξυπηρέτησης και παρέχει διαχείριση ροής κυκλοφορίας σε ένα multi-RAT και multi-link V2X.
- Συνεργασία μεταξύ multi-RAT που επιτρέπουν την ενσωμάτωση υφιστάμενων λύσεων επικοινωνίας και καινοτόμων λύσεων 5G V2X.
- Ανάπτυξη μιας αποτελεσματικής, ασφαλούς και κλιμακούμενης διεπαφής sidelink για επικοινωνίες υψηλής ταχύτητας V2X με χαμηλή καθυστέρηση.
- Προτείνει τεχνικές τοποθέτησης μέσω ραδιοσυχνοτήτων 5G τόσο για τους ευάλωτους χρήστες του οδικού δικτύου όσο και για τα οχήματα ώστε να αυξηθεί η διαθεσιμότητα πολύ ακριβούς εντοπισμού.
- Προσδιορισμός επιχειρηματικού μοντέλου και εναλλακτικών λύσεων χρήσης φάσματος που υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών 5G V2X.
- Παρουσίαση και αξιολόγηση αναπτυγμένων εννοιών και ποσοτικού οφέλους λύσεων 5G V2X χρησιμοποιώντας αυτοματοποιημένα σενάρια οδήγησης σε χώρους δοκιμών.[31]

5G-MEDIA : Το επίκεντρο της αξιοσημείωτης έρευνας του 5G PPP H2020 μέχρι τώρα ήταν η πρόοδος στις αρχιτεκτονικές δικτύων, τις τεχνολογίες και τις υποδομές. Έχει δοθεί λιγότερη προσοχή στις εφαρμογές και τις υπηρεσίες που θα αξιοποιήσουν τις προηγμένες δυνατότητες δικτύου 5G. Το 5G-MEDIA στοχεύει στην καινοτομία των εφαρμογών που σχετίζονται με τα μέσα ενημέρωσης διερευνώντας τον τρόπο με τον οποίο οι εφαρμογές αυτές και το υποκείμενο δίκτυο 5G πρέπει να συνδυαστούν και να συνεργάζονται προς όφελος και των δύο. Από αυτή την άποψη, η 5G-MEDIA επιδιώκει

- να αξιοποιήσει και να επεκτείνει κατάλληλα τα πολύτιμα αποτελέσματα των project 5G που προσφέρουν μια ευέλικτη πλατφόρμα προγραμματισμού, επαλήθευσης και ενορχήστρωσης των υπηρεσιών
- να αναπτύξει δίκτυα και εφαρμογές σε μεγαλύτερη κλίμακα. [32]

5G-MoNArch : Η αναμενόμενη πολυμορφία των υπηρεσιών και οι εφαρμογές του δικτύου 5^{ης} γενιάς απαιτούν μια ευέλικτη, προσαρμόσιμη και προγραμματιζόμενη αρχιτεκτονική. Ενώ αυτό έχει αντιμετωπιστεί στην πρώτη φάση των projects του 5G-PPP σε εννοιολογικό επίπεδο, πρέπει να τεθεί σε εφαρμογή στη δεύτερη φάση, λαμβάνοντας υπόψη την πρόοδο στα πρότυπα και τα πειραματικά αποτελέσματα. Από αυτή την άποψη, οι κύριοι στόχοι του 5G-MoNArch συνοψίζονται παρακάτω :

- Λεπτομερής προδιαγραφή και επέκταση της αρχιτεκτονικής 5G.
- Επέκταση του υπάρχοντος σχεδιασμού αρχιτεκτονικής με βασικές καινοτομίες :
 - Έλεγχος και διαχείριση μεταξύ των τμημάτων του δικτύου.
 - Μοντελοποίηση και βελτιστοποίηση που βασίζεται σε πειράματα.
 - Πρωτόκολλο που βασίζεται σε τεχνολογία cloud.
- Λειτουργικές καινοτομίες για τις βασικές τεχνολογίες που απαιτούνται για τις περιπτώσεις εντοπισμού χρήσης
 - Ανθεκτικότητα και ασφάλεια
 - Ελαστικότητα πόρων
- Ανάπτυξη και πειραματική εφαρμογή της αρχιτεκτονικής σε δύο περιπτώσεις
- Αξιολόγηση, επικύρωση και επαλήθευση της απόδοσης της αρχιτεκτονικής. [33]

5G-PICTURE : Το 5G-PICTURE θα σχεδιάσει και θα αναπτύξει μια ολοκληρωμένη, κλιμακωτή και ανοιχτή υποδομή 5G με στόχο την υποστήριξη λειτουργικών και τελικών χρηστών τόσο του ICT όσο και για τις "κάθετες" βιομηχανίες. Αυτή η υποδομή θα βασίζεται σε μια συγκλίνουσα λύση fronthaul και backhaul, ενσωματώνοντας την προηγμένη ασύρματη πρόσβαση και τους νέους τομείς οπτικών δικτύων. Για να αντιμετωπίσει τους περιορισμούς των σημερινών λύσεων, το 5G-PICTURE θα υιοθετήσει τη νέα ιδέα των Δίκτυο Ανασυγκροτημένων Ραδιοεπικοινωνιών (DA-RANs), επιτρέποντας σε κάθε υπηρεσία να αναμιγνύει και να ταιριάζει με ευελιξία και να χρησιμοποιεί υπολογιστές, αποθηκευτικούς και δικτυακούς πόρους μέσω προγραμματισμού HW. Θα βασιστεί επίσης στο λογισμικό δικτύωσης για να επιτρέψει σε μια ανοιχτή πλατφόρμα αναφοράς να δημιουργήσει μια ποικιλία λειτουργιών δικτύου και

να υιοθετήσει την αλυσίδα τεμαχισμού και υπηρεσιών, ώστε να διευκολυνθεί λειτουργία και εξυπηρέτηση του δικτύου. [34]

MATILDA : Το MATILDA στοχεύει στην ανάπτυξη και υλοποίηση μιας ριζικής αλλαγής στην ανάπτυξη λογισμικού για εφαρμογές του δικτύου 5^{ης} γενιάς, καθώς και σε εικονικές και φυσικές λειτουργίες δικτύου και υπηρεσίες δικτύου. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω της υιοθέτησης ενός ενιαίου μοντέλου προγραμματισμού και της δημιουργίας ενός ανοιχτού περιβάλλοντος ανάπτυξης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από εφαρμογές καθώς και προγραμματιστές λειτουργιών δικτύου. Έξυπνοι και ενοποιημένοι μηχανισμοί «ενορχήστρωσης» πρόκειται να εφαρμοστούν για την αυτόματη τοποθέτηση των έτοιμων εφαρμογών 5G και τη δημιουργία και συντήρηση των απαιτούμενων τμημάτων του δικτύου. Η εφαρμογή των πολιτικών ανάπτυξης και εκτέλεσης παρέχεται μέσω ενός συνόλου μηχανισμών βελτιστοποίησης που παρέχουν σχέδια ανάπτυξης βασισμένα σε στόχους υψηλού επιπέδου και ένα σύνολο μηχανισμών που υποστηρίζουν την προσαρμογή κατά την εκτέλεση των στοιχείων της εφαρμογής ή / και τις λειτουργίες δικτύου βάσει πολιτικών που καθορίζονται για λογαριασμό ενός παρόχου υπηρεσιών.

Η διαχείριση πολλαπλών τοποθεσιών και των πόρων υποστηρίζεται από έναν διαχειριστή υποδομής με πολυδιάστατα χαρακτηριστικά. Ωστόσο η διαχείριση του κύκλου ζωής των υποστηριζόμενων γραφικών διασύνδεσης Virtual Network Functions Forwarding (VNF-FGs), καθώς και του συνόλου των δραστηριοτήτων διαχείρισης δικτύου παρέχονται από έναν πολυεθνικό διαχειριστή οργάνωσης NFV (NFV). Οι μηχανισμοί ανάλυσης με γνώμονα το δίκτυο και την εφαρμογή υποστηρίζονται με βάση την επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο και από την συλλογή δεδομένων από ένα σύνολο ροών παρακολούθησης. [35]

NGPaaS: Μια ιδανική υπηρεσία 5G Platform-As-A-Service (PaaS) δεν θα πρέπει να διευκολύνει μόνο την εγκατάσταση και την εκτέλεση κλασσικών εφαρμογών εικονικού δικτύου (VNF) με ποιότητα «telco-grade», αλλά θα πρέπει να συνδυάζει όλα τα είδη εφαρμογών με αυτά τα VNF για τη δημιουργία νέων πιο ευέλικτων και ισχυρών «στοιχείων» cloud διαχωρίζοντας τη συνδεσιμότητα από την πληροφορική. Ένα τέτοιο 5G PaaS δεν υπάρχει σήμερα. Ο κύριος στόχος του NGPaaS είναι να την οικοδομήσει:

- Την τεχνολογία PaaS της Telco για την υποστήριξη διαφορετικών διαμορφώσεων και ενός μεγάλου συνόλου επιλογών ανάπτυξης όπως το FPGA / ARM / x86, το ιδιωτικό / δημόσιο cloud με ένα κλιμακωτό και ενοποιητικό τρόπο.
- Νέο μοντέλο Dev-for-Operations για την απομάκρυνση όχι μόνο μεταξύ διαφορετικών ομάδων του ίδιου οργανισμού αλλά και διαφορετικών οργανισμών.
- Υψηλής ποιότητας και υψηλής απόδοσης αναπτυξιακά και επιχειρησιακά εργαλεία βασισμένα σε αυτά που χρησιμοποιούνται στο περιβάλλον των τηλεπικοινωνιών για την εξασφάλιση της ποιότητας και των SLA.
- Νέο μοντέλο OSS / BSS για διασύνδεση με τους πόρους του cloud που υποστηρίζουν το PaaS της Telco, βελτιστοποιημένο ως προς το κόστος και την απόδοση σε ένα εξαιρετικά δυναμικό περιβάλλον. [35]

Global vision, standardisation & stakeholder engagement in 5G : Ο πρωταρχικός στόχος του Global5G.org είναι να διευκολύνει μια ευρωπαϊκή συμβολή στο διεθνές όραμα

των δικτύων 5G, αντιμετωπίζοντας ένα ευρύ φάσμα απαιτήσεων από διαφορετικές κάθετες βιομηχανίες. Το Global5G.org καλύπτει ένα σημερινό κενό στις προσπάθειες για την εφαρμογή ενός ευρωπαϊκού "5G Vision Vision" σε ένα διεθνές πλαίσιο. Το Global5G.org θα παρουσιάσει όλες τις σημαντικές εξελίξεις και τα αποτελέσματα των πρωτοβουλιών που σχετίζονται με το 5G, ως μέρος της προσπάθειας για ένα βιώσιμο Global 5G Vision 5G. [36]

One 5G : Οι στόχοι του έργου αυτού περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω :

- Προτάσεις για τις αναγκαίες επεκτάσεις 5G προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα δύο επιλεγμένα σενάρια («μεγαλοπρεπείς» και «υποεξυπηρετούμενες περιοχές»)
- Δημιουργία νέων χαρακτηριστικών με συναίνεση και παροχή τεχνικών συστάσεων για τη μετακίνηση του 5G προς την κατεύθυνση '5G advanced (pro)'
- Πρόταση προηγμένων τεχνολογικών συνδέσεων και βελτιώσεις πέραν του release 15 για να καταστεί δυνατή η λειτουργία πολλαπλών υπηρεσιών και η πρακτική εφαρμογή του «5G advanced (pro)», με συστήματα πρόσβασης, προηγμένους μαζικούς ενεργοποιητές MIMO και διαχείριση συνδέσεων.
- Έρευνα συστημάτων βελτιστοποίησης επιδόσεων, προκειμένου να επιτευχθεί επιτυχής ανάπτυξη και λειτουργία, συμπεριλαμβανομένων των βελτιστοποιήσεων τόσο για τον χειριστή του δικτύου όσο και για τις επιδόσεις του χρήστη E2E.
- Αξιολόγηση των αναπτυσσόμενων επεκτάσεων και τροποποιήσεων μέσω διαφορετικών προσεγγίσεων και εκτεταμένων προσομοιώσεων. [37]

SLICENET : Το SLICENET θα μεγιστοποιήσει τις δυνατότητες των υποδομών 5G και των υπηρεσιών τους βασισμένες σε προηγμένη δικτύωση λογισμικού και διαχείριση γνωστικών δικτύων για κοινή χρήση υποδομών σε πολλούς τομείς χειριστών σε δίκτυα 5G με δυνατότητα SDN / NFV. Το έργο στοχεύει στην πραγματική αποκοπή του E2E μέσω ενός ιδιαίτερα καινοτόμου πλαισίου πρόβλεψης, ελέγχου, διαχείρισης και συντονισμού των τμημάτων του δικτύου, με γνώμονα την QoE. Το SLICENET θα πειραματιστεί με τρεις περιπτώσεις χρήσης που θα καλύπτουν διαφορετικές κατακόρυφες περιοχές:

- 5G Smart Grid Self-Healing, η οποία θα αυξήσει την αυτοματοποίηση της διανομής ισχύος με αυτο-θεραπευτικές λύσεις προς ένα πιο έξυπνο δίκτυο.
- 5G Smart-Connected Ambulance, η οποία θα προωθήσει τις υπηρεσίες ασθενοφόρων έκτακτης ανάγκης χρησιμοποιώντας το ασθενοφόρο ως κόμβο σύνδεσης (ή κινητό άκρο) για τον ιατρικό εξοπλισμό έκτακτης ανάγκης.
- 5G Smart City, η οποία θα εφαρμόσει την απομακρυσμένη μέτρηση νερού και το ευφυές σύστημα δημόσιου φωτισμού στην πόλη Alba Iulia στη Ρουμανία και θα έχει πρόσβαση σε διάφορους τεχνικά και λειτουργικά KPIs σε σχέση με το αρχικό status quo της πόλης. [38]

BLUESPACE : Η βασική ιδέα του BLUESPACE είναι να εκμεταλλευτεί την πολυπλεξία χωρικής διαίρεσης (SDM) στο δίκτυο ραδιοεπικοινωνίας (RAN) με αποδοτική διεπαφή διαμόρφωσης οπτικής δέσμης για την πραγματική ζώνη ασύρματης μετάδοσης Ka-band. Οι κύριοι στόχοι που στοχεύει το έργο BLUESPACE είναι :

- Ανάπτυξη μιας πραγματικά βιώσιμης και αποτελεσματικής πορείας για ασύρματες επικοινωνίες 5G με 1000 φορές αύξηση της χωρητικότητας.
- Συνδεσιμότητα για πάνω από 1 δισεκατομμύριο χρήστες.
- Αυστηρό έλεγχο καθυστέρησης.
- Προγραμματισμό λογισμικού δικτύου. [39]

3.5 Το ορόσημο της πρώτης φάσης της αρχιτεκτονικής 5ης γενιάς

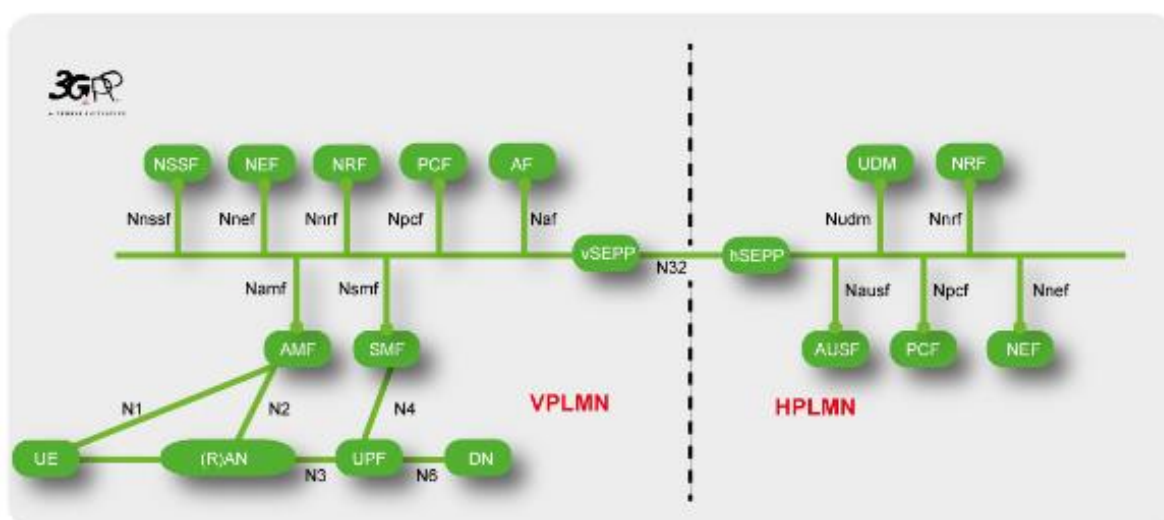
Τα τελευταία δύο χρόνια, η εργασία αρχιτεκτονικής 3GPP πέμπτης γενιάς προχώρησε από την περίοδο μελέτης το 2016 έως την παράδοση ενός πλήρους φάσματος προδιαγραφών επιπέδου 2. Με την επίτευξη αυτού του ορόσημου στο Release 15 της 3GPP, έχει καθοριστεί η αρχιτεκτονική συστήματος 5G - παρέχοντας ένα σύνολο λειτουργιών και λειτουργικότητας που απαιτείται για την ανάπτυξη ενός εμπορικά λειτουργικού συστήματος 5G.

Η ομάδα εργασίας αρχιτεκτονικής 3GPP ονομάζεται SA2 και έχει καθορίσει τη συνολική αρχιτεκτονική του συστήματος 5G όπως είναι η λεπτομερής περιγραφή των χαρακτηριστικών, η λειτουργικότητα και οι υπηρεσίες συμπεριλαμβανομένης της δυναμικής συμπεριφοράς που ορίζεται από τις ροές πληροφοριών.

Αρχιτεκτονική βασισμένη σε υπηρεσίες

Σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές, η αρχιτεκτονική του συστήματος 3GPP-5G βασίζεται στην υπηρεσία. Αυτό σημαίνει ότι τα στοιχεία της αρχιτεκτονικής ορίζονται ως λειτουργίες του δικτύου που προσφέρουν τις υπηρεσίες, μέσω διασυνδέσεων ενός κοινού πλαισίου με τις λειτουργίες του δικτύου που επιτρέπεται να κάνουν χρήση αυτών των παρεχόμενων υπηρεσιών. Οι λειτουργίες του network repository (NRF) επιτρέπουν σε κάθε λειτουργία δικτύου να ανακαλύψει τις υπηρεσίες που προσφέρουν άλλες λειτουργίες δικτύου. Αυτό το μοντέλο αρχιτεκτονικής υιοθετεί αρχές όπως συνοχή, επαναχρησιμοποίηση και αυτοσυγκράτηση των λειτουργιών του δικτύου και επιλέγεται για να επιτρέψει την χρήση τελευταίων τεχνολογιών λογισμικού.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει ένα από τα στοιχεία της αρχιτεκτονικής που βασίζεται στην υπηρεσία και σχετίζεται με ένα σενάριο περιαγωγής με τοπική «έξαρση», δηλαδή το UE περιαγωγής διασυνδέει το Δίκτυο δεδομένων (data network-DN) στο visited network (VPLMN) και στο Οικιακό Δίκτυο (home network-HPLMN) μέσω πληροφοριών συνδρομής (UDM), πιστοποίησης ταυτότητας συνδρομητή (AUSF) και ειδικές πολιτικές UE (PCF). Στο VPLMN παρέχεται η επιλογή δικτύου (NSSF), ο έλεγχος πρόσβασης του, η διαχείριση της κινητικότητας (AMF), η διαχείριση υπηρεσιών δεδομένων (SMF) και οι λειτουργίες εφαρμογής (AF). Το επίπεδο χρήστη (UPF) διοικείται σύμφωνα με ένα μοντέλο ελέγχου και διαχωρισμού χρήστη, παρόμοιο με αυτό που είχε ήδη εισαχθεί στην τελευταία έκδοση 3GPP 4G. Ο proxy ασφαλείας (SEPP) προστατεύει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των PLMN.



Εικόνα 36: Αρχιτεκτονική συστήματος 3GPP

Οι υπηρεσίες που βασίζονται στις παραπάνω αρχές εφαρμόζονται ανάμεσα στις λειτουργίες ελέγχου του Core Network. Επιπλέον, η αρχιτεκτονική του συστήματος 5G επιτρέπει στις λειτουργίες δικτύου την αποθήκευση σε λειτουργίες αποθήκευσης δεδομένων (Data Storage Functions - DSF). Οι παλαιότερες αρχιτεκτονικές συστημάτων είχαν περισσότερο επίμονες UE ενώσεις ειδικών μεταφορών, γεγονός που καθιστούσε πιο περίπλοκη την αλλαγή του εξυπηρετητικού κόμβου UE που συγκρίνεται με ένα AMF. Η νέα λειτουργία απλοποιεί την αλλαγή της παράστασης AMF που εξυπηρετεί UE. Υποστηρίζει επίσης την αύξηση της ανθεκτικότητας AMF και την εξισορρόπηση φορτίου, καθώς κάθε AMF ενός συνόλου AMF εντός του ίδιου «κομματιού» του δικτύου μπορεί να χειριστεί τις διαδικασίες οποιουδήποτε UE που εξυπηρετείται από το σύνολο των AMFs.

Κοινό δίκτυο πυρήνα

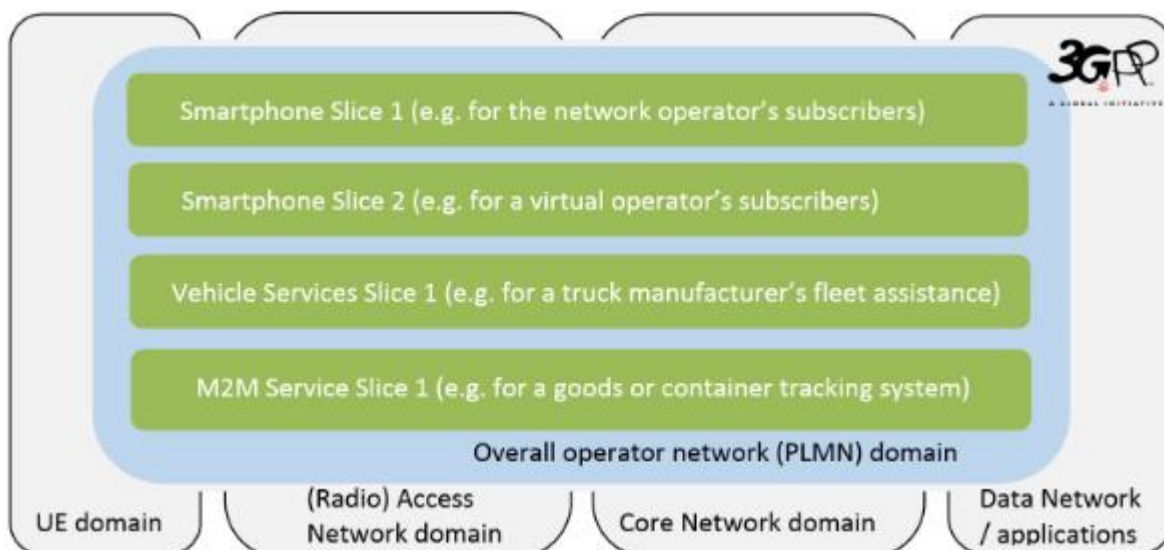
Ο γενικευμένος σχεδιασμός των λειτουργικών δυνατοτήτων και η προηγμένη συμβατότητα ανάμεσα στο δίκτυο πρόσβασης (access network) και στο δίκτυο πυρήνα (core network) επιτρέπουν στο τελευταίο δίκτυο 5^{ης} γενιάς να λειτουργεί με διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης. Μελέτες για άλλα συστήματα πρόσβασης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μελλοντικές εκδόσεις ήδη κυκλοφορούν. Η αρχιτεκτονική του συστήματος 5G επιτρέπει την εξυπηρέτηση των δύο δικτύων πρόσβασης από το ίδιο AMF και συνεπώς και την απρόσκοπτη κινητικότητα μεταξύ αυτών των προσβάσεων 3GPP και των μη 3GPP. Η διαχωρισμένη λειτουργία πιστοποίησης μαζί με ένα ενοποιημένο πλαίσιο πιστοποίησης επιτρέπουν την προσαρμογή του ελέγχου ταυτότητας του χρήστη σύμφωνα με τις ανάγκες των διαφορετικών σεναρίων χρήσης, π.χ. διαφορετικές ανά τμήμα του δικτύου. Ορισμένες λειτουργίες παρέχουν παραλλαγές που είναι πιο κατάλληλες για συγκεκριμένα δίκτυα πρόσβασης, όπως λειτουργίες QoS που περιγράφονται παρακάτω.

Τμηματοποίηση Δικτύου

Ένα ξεχωριστό βασικό χαρακτηριστικό της αρχιτεκτονικής συστήματος 5G είναι ο τεμαχισμός του δικτύου. Η προηγούμενη γενιά υποστήριζε ορισμένες πτυχές αυτού του είδους με τη λειτουργικότητα των «αφοσιωμένων» Δικτύων πυρήνα. Ο τεμαχισμός του δικτύου 5G είναι μια ισχυρότερη έννοια και περιλαμβάνει ολόκληρο το PLMN. Στο πλαίσιο της αρχιτεκτονικής του συστήματος της 3GPP 5G, ένα τμήμα του δικτύου αναφέρεται σε ένα σύνολο χαρακτηριστικών και λειτουργιών που ορίζονται από το 3GPP και αποτελούν από κοινού ένα πλήρες PLMN για την παροχή υπηρεσιών σε UEs. Η τμηματοποίηση του δικτύου επιτρέπει την ελεγχόμενη σύνθεση ενός PLMN από τις καθορισμένες λειτουργίες δικτύου με τις ιδιαιτερότητες και τις παρεχόμενες υπηρεσίες που απαιτούνται για ένα συγκεκριμένο σενάριο χρήσης.

Παλαιότερες αρχιτεκτονικές συστημάτων στηρίζονταν σε μία ενιαία ανάπτυξη ενός PLMN για να παρέχει όλα τα χαρακτηριστικά, τις δυνατότητες και τις υπηρεσίες που απαιτούνταν. Πολλές από τις δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά που παρέχονταν από αυτή την ενιαία λειτουργία χρειάστηκαν στην πραγματικότητα μόνο για ένα υποσύνολο των χρηστών των PLMN. Η τμηματοποίηση του δικτύου επιτρέπει στον φορέα εκμετάλλευσης δικτύου να αναπτύξει πολλαπλά, ανεξάρτητα PLMN, όπου το καθένα προσαρμόζεται, βάσει των χαρακτηριστικών, των δυνατοτήτων και των υπηρεσιών που απαιτούνται για να ικανοποιηθεί το υποσύνολο των εξυπηρετούμενων χρηστών.

Η πολύ αφηρημένη απεικόνιση που ακολουθεί δείχνει ένα παράδειγμα ενός PLMN που αναπτύσσεται σε τέσσερα τμήματα του δικτύου. Κάθε ένα περιλαμβάνει όλα όσα χρειάζονται για να σχηματίσουν ένα πλήρες PLMN. Τα δύο τμήματα του δικτύου για τα smartphones υποδεικνύουν ότι ένας φορέας εκμετάλλευσης μπορεί να αναπτυχθεί σε πολλαπλές τμήματα του δικτύου με ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά, τις ίδιες δυνατότητες και τις ίδιες υπηρεσίες του συστήματος, αλλά σε διαφορετικούς επιχειρηματικούς τομείς. Συνεπώς κάθε ένας από αυτούς παρέχει διαφορετική χωρητικότητα χρηστών και μεταφοράς δεδομένων. Τα άλλα δύο τμήματα αντιπροσωπεύουν ότι μπορεί να υπάρξει διαφοροποίηση μεταξύ τμημάτων του δικτύου σε σχέση με τα παρεχόμενα χαρακτηριστικά, τις δυνατότητες και τις υπηρεσίες του συστήματος. Το τμήμα του δικτύου M2M θα μπορούσε, για παράδειγμα, να προσφέρει λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας από μπαταρίες ακατάλληλες για smartphone, καθώς τα χαρακτηριστικά αυτά συνεπάγονται καθυστερήσεις που δεν είναι αποδεκτές για τυπικές χρήσεις έξυπνων τηλεφώνων.



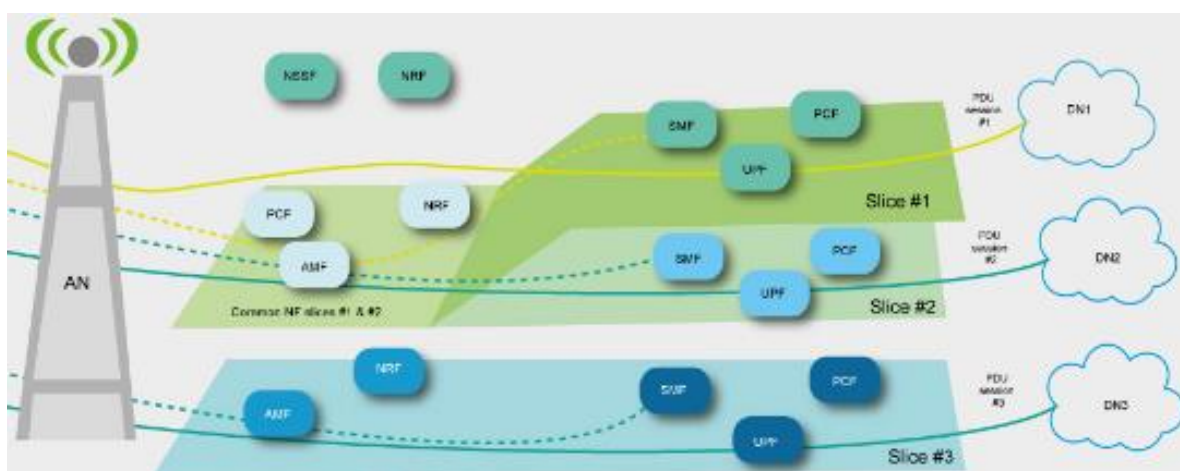
Εικόνα 37: Ανάπτυξη PLMN σε τέσσερα τμήματα του δικτύου

Η υπηρεσία που βασίζεται στην αρχιτεκτονική, το λογισμικό και την απεικόνιση παρέχει την ευελιξία που επιτρέπει στον εξυπηρετητή να ανταποκρίνεται γρήγορα στις ανάγκες των πελατών. Αφιερωμένα και προσαρμοσμένα τμήματα του δικτύου μπορούν να αναπτυχθούν με τις λειτουργίες, τα χαρακτηριστικά, τη διαθεσιμότητα και τη χωρητικότητα ανάλογα με τις ανάγκες. Τυπικά, οι εν λόγω αναπτύξεις θα βασίζονται σε συμφωνία παροχής υπηρεσιών. Περαιτέρω, ένας φορέας εκμετάλλευσης μπορεί να ωφεληθεί εφαρμόζοντας κοινές δυνατότητες εικονικοποίησης, πλατφόρμες και υποδομή διαχείρισης συνήθως για το 3GPP και για άλλες δυνατότητες δικτύου που δεν καθορίζονται από το 3GPP, αλλά ότι ένας φορέας εκμετάλλευσης δικτύου μπορεί να χρειαστεί ή να θέλει να αναπτύξει στο δίκτυό του ή στον τομέα της διαχείρισης. Αυτό επιτρέπει μια ευέλικτη ανάθεση των ίδιων πόρων με τις ανάγκες και τις προτεραιότητες που αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου.

Οι εφαρμογές τόσο της μικρότερης εμβέλειας της λειτουργικότητας που έχει οριστεί για το 3GPP, όσο και εκείνων του ευρύτερου πεδίου εφαρμογής όσων αναπτύσσονται εντός του πεδίου του φορέα εκμετάλλευσης, ονομάζονται συνήθως «δίκτυο». Λόγω αυτής της διπλής εννοιολογικής σημασίας και επειδή ο όρος «τμηματοποίηση» χρησιμοποιείται στη βιομηχανία και στον ακαδημαϊκό χώρο για τον τμηματισμό ουσιαστικά κάθε είδους (δικτύου) πόρων, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι προδιαγραφές αρχιτεκτονικής συστήματος 3GPP ορίζουν την τμηματοποίηση του δικτύου μόνο στο πλαίσιο των πόρων του 3GPP, δηλαδή τι ακριβώς συνθέτει ένα PLMN. Αυτό δεν εμποδίζει την ανάπτυξη ενός τμήματος του δικτύου PLMN π.χ. τεμαχισμένων πόρων δικτύου μεταφοράς. Ακολουθώντας το παράδειγμα περαιτέρω, τα τμήματα του PLMN μπορούν να αναπτυχθούν με και χωρίς τεμαχισμένους πόρους δικτύου μεταφοράς.

Η εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζει περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την τμηματοποίηση του δικτύου 3GPP. Σε αυτό το σχήμα, το τμήμα # 3 του δικτύου είναι μια απλή ανάπτυξη όπου όλες οι λειτουργίες δικτύου εξυπηρετούν μόνο ένα κομμάτι δικτύου. Το σχήμα δείχνει επίσης πως ένας σταθμός UE λαμβάνει μία υπηρεσία από πολλαπλά τμήματα δικτύου # 1 και # 2. Σε αυτές τις αναπτύξεις υπάρχουν κοινές λειτουργίες δικτύου

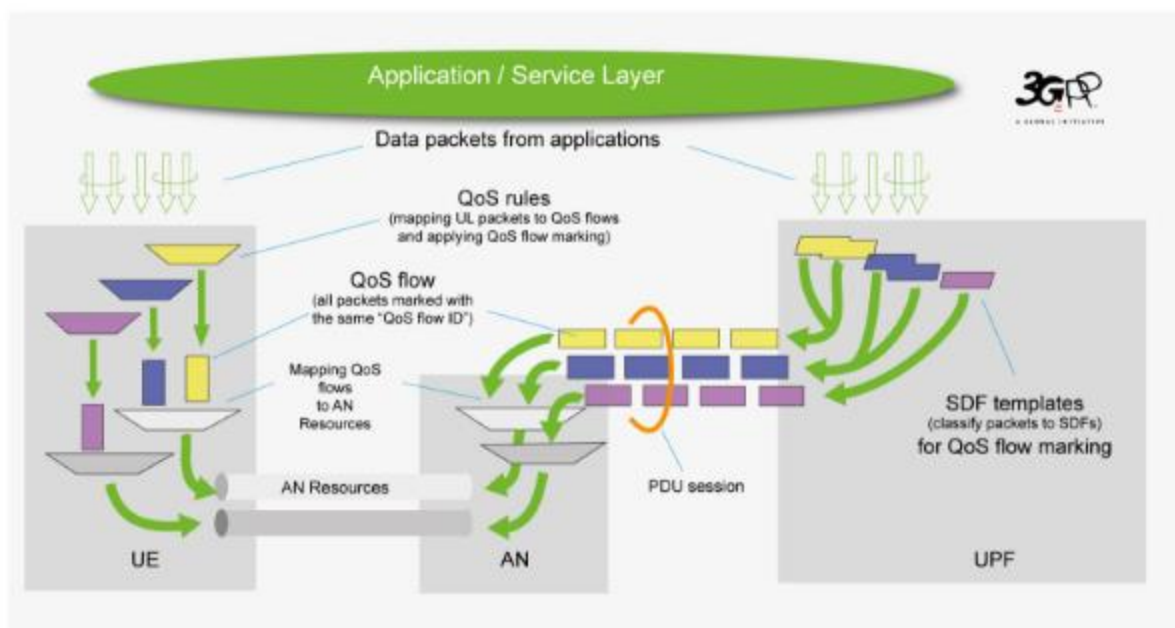
για ένα σύνολο τμημάτων, συμπεριλαμβανομένου του AMF και του σχετικού μηχανισμού ελέγχου πολιτικής (PCF) και του χώρου αποθήκευσης υπηρεσιών λειτουργίας δικτύου (NRF). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχει ένα ενιαίο παράδειγμα ελέγχου πρόσβασης και διαχείρισης κινητικότητας ανά UE που είναι υπεύθυνο για όλες τις υπηρεσίες ενός UE. Οι υπηρεσίες του χρήστη και πιο συγκεκριμένα οι υπηρεσίες δεδομένων, μπορούν να αποκτηθούν μέσω πολλαπλών, ξεχωριστών τμημάτων του δικτύου. Στο σχήμα, το τμήμα # 1 παρέχει στο UE υπηρεσίες δεδομένων για το Data Network # 1 και το τμήμα # 2 για το Data Network # 2. Αυτά τα τμήματα και οι υπηρεσίες δεδομένων είναι ανεξάρτητες η μία με την άλλη εκτός από την αλληλεπίδραση με την κοινή πρόσβαση και τον έλεγχο της κινητικότητας που ισχύει για όλες τις υπηρεσίες του χρήστη / UE. Αυτό καθιστά δυνατή την προσαρμογή κάθε τμήματος για π.χ. διαφορετικές υπηρεσίες δεδομένων QoS ή διαφορετικές λειτουργίες εφαρμογής.



Εικόνα 38: Ανάπτυξη του 3GPP χρησιμοποιώντας τμηματοποίηση δικτύου

Υποστήριξη των εφαρμογών

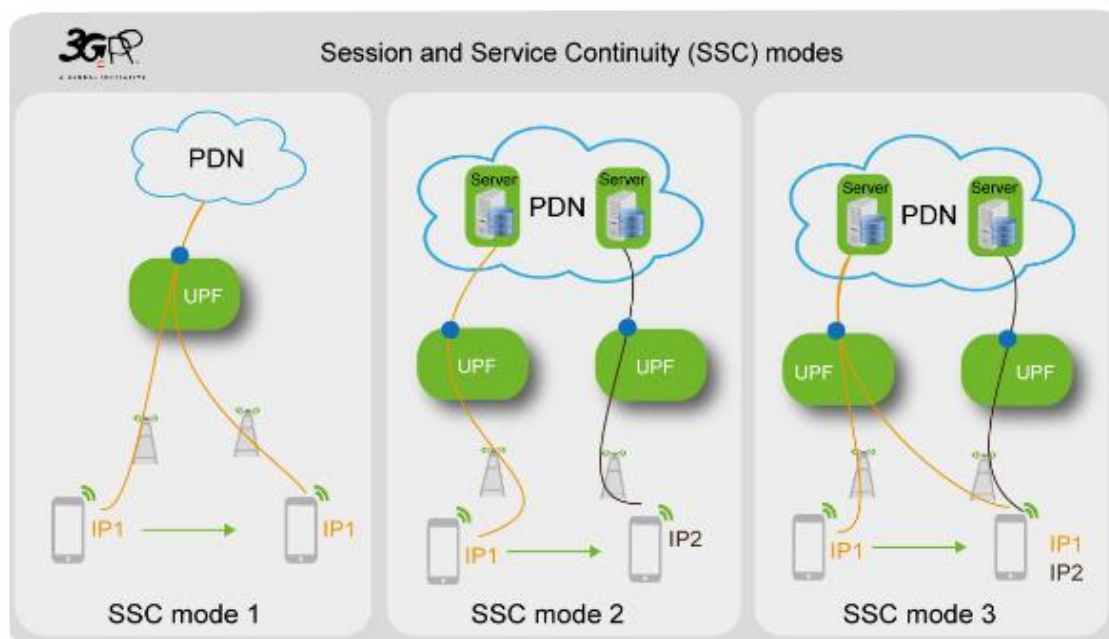
Η βάση της υποστήριξης της εφαρμογής είναι οι υπηρεσίες δεδομένων, οι οποίες προσφέρουν σημαντικά μεγαλύτερη ευελιξία προσαρμογής σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές. Ένα κύριο μέρος αυτού του μοντέλου είναι το νέο μοντέλο QoS της αρχιτεκτονικής του συστήματος 3GPP 5G, που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, το οποίο επιτρέπει στις διαφοροποιημένες υπηρεσίες δεδομένων να υποστηρίζουν ποικίλες απαιτήσεις εφαρμογής ενώ χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τους πόρους. Επιπλέον, έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης, συμπεριλαμβανομένων των σταθερών προσβάσεων, όπου μπορεί να είναι επιθυμητή η QoS χωρίς πρόσθετη σηματοδότηση. Επιπλέον, η συμμετρική διαφοροποίηση QoS στην κατερχόμενη και ανερχόμενη ζεύξη υποστηρίζεται με ελάχιστη σηματοδότηση του επιπέδου ελέγχου από την νεοεισαχθείσα Ανακλαστική QoS.



Εικόνα 39: Επίπεδο εφαρμογής

Ένα μεγάλο μέρος της λειτουργικότητας που παρέχει συνδεσιμότητα δεδομένων είναι η υποστήριξη της ευέλικτης ανάπτυξης των λειτουργιών εφαρμογής στην τοπολογία του δικτύου, η οποία υποστηρίζεται, για παράδειγμα, μέσω τριών διαφορετικών τρόπων λειτουργίας Session and Service Continuity (SSC).

Οι λειτουργίες SSC περιλαμβάνουν την πιο παραδοσιακή λειτουργία (SSC 1), όπου η IP παραμένει σταθερή ώστε να παρέχει συνεχή υποστήριξη εφαρμογών. Οι νέες λειτουργίες επιτρέπουν τη μετατόπιση της IP. Υπάρχουν δύο επιλογές, make-before-break (SSC mode 3) και break-before-make (λειτουργία SSC 2). Η αρχιτεκτονική επιτρέπει στις εφαρμογές να επηρεάζουν την επιλογή κατάλληλων χαρακτηριστικών υπηρεσίας δεδομένων και τη λειτουργία SSC.



Εικόνα 40: Session and Service Continuity (SSC) modes

Καθώς η ανάπτυξη του δικτύου 5G αναμένεται να εξυπηρετήσει τεράστιες ποσότητες κίνησης δεδομένων, είναι απαραίτητη η αποτελεσματική διαχείριση της διαδρομής του χρήστη. Η αρχιτεκτονική του συστήματος ορίζει εκτός από τις λειτουργίες SSC, τη λειτουργικότητα των ταξινομητών Uplink και των σημείων διακλάδωσης ώστε να επιτρέπεται η έγχυση της κίνησης επιλεκτικά προς και από τις λειτουργίες εφαρμογής προς το χρήστη. Επίσης, όπως επιτρέπεται από τις πολιτικές, οι λειτουργίες εφαρμογής μπορούν να συντονίζονται με το δίκτυο παρέχοντας πληροφορίες σχετικές με τη βελτιστοποίηση της κυκλοφορίας ή μπορούν να εγγραφούν σε συμβάντα συστήματος 5G που μπορεί να σχετίζονται με εφαρμογές. [40]

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το δίκτυο της 5ης γενιάς αναμένεται να συμβάλλει θετικά σε διάφορους τομείς. Ειδικότερα, θα υπάρξει σημαντική βελτίωση στον τομέα της ενέργειας καθώς να υπάρχει δυναμικός καταμερισμός των πόρων ανάλογα με τις απαιτήσεις του δικτύου. Ακόμα η εξέλιξη του λογισμικού θα επιτρέπει την διαχείριση και τον έλεγχο ώστε να δημιουργηθούν κεντριοποιημένα δίκτυα ασύρματης πρόσβασης όπως το C-RAN. Όσον αφορά τον τομέα της ασφάλειας και εκεί αναμένεται εξέλιξη καθώς θα υπάρχουν μηχανισμοί αποφυγής παραβίασης της ιδιωτικής ζωής. Η κωδικοποίηση από άκρο σε άκρο θα συμβάλλει στον τομέα αυτό. Εξαιρετική πρόοδος θα υπάρξει και στις καθυστερήσεις του δικτύου. Τα δίκτυα παράδοσης περιεχομένου (CDN) θα υπάρχουν σε διάφορα σημεία του δικτύου ώστε να εξοικονομούνται οι πόροι μεταφοράς και να μειώνονται οι καθυστερήσεις κατά την μετάδοση.

Από την πλευρά του χρήστη θα υπάρχει βελτίωση στον τομέα των παρεχόμενων υπηρεσιών. Ειδικότερα, η σύνδεση με τους τελικούς εξυπηρετητές θα είναι πιο «σταθερή» οπότε θα παρέχεται η υπηρεσία της βιντεοκλήσης και της αναπαραγωγής βίντεο χωρίς παύσεις. Ακόμα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, η ζήτηση του δικτύου είναι αρκετά υψηλή κάτι που μειώνει την ποιότητα των υπηρεσιών. Αυτή η κατάσταση θα αλλάξει μέσω της αυξημένης χωρητικότητας που θα παρέχεται.

Από την πλευρά του δικτύου, οι βασικές προτεινόμενες τεχνολογίες είναι η SDN για το λογισμικό, η NFV για την εικονοποίηση του δικτύου και η χρήση mmWave στο φυσικό επίπεδο.

Η υιοθέτηση του 5G θα είναι κρίσιμη για την πλήρη υλοποίηση του οράματος ενός πρώτου συνδεδεμένου εργατικού δυναμικού που θα έχει το βέλτιστο εύρος ζώνης στην κινητή τηλεφωνία για να υποστηρίξει τη βελτίωση της συνεργασίας και των επικοινωνιών. Αναμένουμε μια έκρηξη πιο προηγμένων περιπτώσεων χρήσης IoT που θα καταναλώνουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης - ειδικά καθώς αναζητούμε περιπτώσεις που οδηγούν σε αυξανόμενες αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφορετικών τελικών σημείων IoT και τελικών χρηστών κινητής τηλεφωνίας, χρησιμοποιώντας την ενισχυμένη πραγματικότητα, την τεχνητή νοημοσύνη και τη μηχανική μάθηση.

Οι απαιτήσεις για τη νέα γενιά είναι αρκετά υψηλές οπότε η υψηλή ταχύτητα και ευελιξία του δικτύου θα οδηγήσουν σε λειτουργικές αλλαγές και σε νέα μοντέλα. Πιο συγκεκριμένα, αναμένεται η διαθεσιμότητα του δικτύου να φτάσει σχεδόν το 100% όπως και η γεωγραφική κάλυψη. Αυτό είναι εφικτό, ανάλογα με τη θέση των κυψελών η οποία με τη σειρά της καθορίζεται από το κόστος συνυπολογίζοντας το κέρδος κάλυψης μιας συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής. Αυτή είναι σημαντική πρόκληση του ανερχόμενου δικτύου κυρίως για τις αγροτικές περιοχές. Εξίσου μεγάλη πρόκληση είναι η πυκνότητα της σύνδεσης που αναμένεται να φτάσει 1000 φορές το εύρος ζώνης ανά μονάδα επιφάνειας, και ο αριθμός των συνδέσεων να γίνει 10-100 φορές μεγαλύτερος.

Μέσω πρωτοβουλιών της Κομισιόν, η Ευρώπη θέλει να παίξει πρωταγωνιστικό ρόλο στην επερχόμενη «εποχή του 5G». Με αυτόν τον γνώμονα η παρούσα εργασία συνέλεξε και αποτύπωσε τα χρηματοδοτούμενα από τη Κομισιόν έργα που αφορούν το 5G και υλοποιούνται υπό την αιγίδα της 5G-PPP.

Όλες οι γενιές φέρουν κάποια πρότυπα και τεχνολογίες οι οποίες προφανώς δεν είναι μονοδιάστατες και συνδυαστικά μπορούν να καλύψουν τα κενά που πιθανόν υπάρχουν. Οι προοπτικές του νέου δικτύου είναι πολλά υποσχόμενες γι αυτό και αναμένεται από το κοινό ως το 2020, ένας στόχος που ελπίζουμε να είναι εφικτός. Αναμένεται να υλοποιηθούν ειδικές εφαρμογές με απειροελάχιστη καθυστέρηση ανάμεσα στην εντολή και την ανταπόκριση των συστημάτων όπως οι ρομποτικές εγχειρήσεις μέσω ασύρματων δικτύων, «έξυπνες» πόλεις με μέσα μαζικής μεταφοράς χωρίς οδηγό, αυτοματοποιημένα αυτοκίνητα και άλλες. Από την άλλη πλευρά δεν είναι λίγοι και εκείνοι που διατηρούν επιφυλάξεις για το νέο δίκτυο καθώς θα πρέπει να αναβαθμιστούν και οι συσκευές ώστε να υποστηρίζουν αντίστοιχα τη νέα γενιά κάτι που θα προκαλέσει επιπλέον κόστος στο χρήστη. Συνεπώς, η εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών είναι κοντά αλλά θα πρέπει να αναλογιστούμε αν είμαστε έτοιμοι να δεχτούμε το Internet of Things (IoT).

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%BF%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%AD%CE%BB%CE%BC%CE%BF%CE%9C%CE%B1%CF%81%CE%BA%CF%8C%CE%BD%CE%B9>
- [2] Κινητά και Ασύρματα Δίκτυα, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής, 2014-2015
- [3] Κωνσταντίνος Ν. Χαλκιώτης, Βασικές αρχές λειτουργίας των δικτύων κινητών επικοινωνιών (GSM/GPRS - UMTS), των κινητών τηλεφώνων και άλλων ασυρμάτων διατάξεων μικρής εμβέλειας (Bluetooth, WLAN), Πρακτικά ημερίδας: Επίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην υγεία, 1^η Ιουνίου 2005
- [4] Πασβαντίδης Αντώνιος, Διαχείριση συχνοτήτων στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα, Καβάλα 2011
- [5] Λύκου Άννα Αικατερίνη, Οι Γενιές των Δικτύων Κινητής Τηλεφωνίας και Παρουσίαση των Συστημάτων 4ης Γενιάς LTE και LTE-Advanced, Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Λάρισα 2014
- [6] Δρόσου Μιχαήλ, Επίδοση τεχνικών μετάδοσης και ανάθεσης ραδιοπάρων σε ευρυζωνικά δίκτυα τέταρτης γενιάς, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Οκτώβριος 2016
- [7] Ταλιέρης Κωνσταντίνος, 4G, Εργασία Εξαμήνου στο μάθημα ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ, Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Ιούνιος 2015
- [8] Σουτλής Κωνσταντίνος, Ποιότητα Υπηρεσιών και Ασφάλεια σε Ασύρματα Δίκτυα 4ης Γενιάς (4G), Διπλωματική Εργασία, Τμήμα εφαρμοσμένης πληροφορικής, Θεσσαλονίκη 2010
- [9] Ασφάλεια Ασύρματων & κινητών επικοινωνιών, Κινητές Επικοινωνίες Μέρος Ι, Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και επικοινωνιακών συστημάτων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Απρίλιο-Μάιος 2007
- [10] Ευσταθίου Δημήτριος, Ευρυζωνικά Δίκτυα, Ενότητα 10, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας
- [11] Χρήστος Μπούρας, Ευρυζωνικές Τεχνολογίες, Ενότητα 11, Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Πατρών
- [12] Νίκος Πασσάς, Κινητές Επικοινωνίες, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο, 2016-2017
- [13] Χρήστου Βασίλης, Δίκτυα 4G-Τεχνοοικονομική Ανάλυση 4G, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Ιούνιος 2012
- [14] IBM Software, 4G – Unleashing the Communication Service Innovation, White Paper, Infosys, June 2013
- [15] Δηλές Γεώργιος, Διαχείριση Παρεμβολών σε Ετερογενή LTE-A Συστήματα, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών & Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2013
- [16] Διονύσης Ξενάκης, Mobility Management for Femtocells in LTE-Advanced: Key aspects and survey of handover decision algorithms, Τμήμα πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο
- [17] View on 5G Architecture, 5G PPP Architecture Working Group, 18/07/2017, version 2
- [18] Παναγιώτης Γ. Τζαγκαράκης, Τεχνολογίες κινητών δικτύων πέμπτης γενιάς, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο, 2016
- [19] <https://metis-ii.5g-ppp.eu/>
- [20] <http://www.ict-coherent.eu/>
- [21] <https://5g-mmmagic.eu>
- [22] <https://5g-ppp.eu/xhaul>
- [23] <https://5g-ppp.eu/5g-norma/>
- [24] <https://5g-ppp.eu/5g-ensure/>
- [25] <https://5g-ppp.eu/>
- [26] <https://5g-ppp.eu/euro-5g/>
- [27] <https://5g-ppp.eu/5gex/>
- [28] <https://5g-ppp.eu/5g-norma/>
- [29] <https://5g-ppp.eu/5g-xhaul/>
- [30] <https://5g-ppp.eu/5g-essence/>
- [31] <https://5g-ppp.eu/5gcar/>
- [32] <https://5g-ppp.eu/5g-MEDIA/>
- [33] <https://5g-ppp.eu/5g-Monarch/>
- [34] <https://5g-ppp.eu/5g-picture/>
- [35] <https://5g-ppp.eu/NGPAAS/>
- [36] <https://5g-ppp.eu/global5g-org/>
- [37] <https://5g-ppp.eu/one5g/>

- [38] <https://5g-ppp.eu/slicenet/>
- [39] <https://5g-ppp.eu/bluespace/>
- [40] http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1930-sys_architecture
- [41] <http://www.kathimerini.gr/780916/article/tecnologia/diaktyo/h-epanastash-ths-5hs-genias>