

**ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Τ.Ε.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ

Ιωάννης Κ. Χρυσικόπουλος

Επιβλέπουσα: Αναστασία Βελώνη, Λέκτορας Εφαρμογών

**ΑΘΗΝΑ
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2018
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ

Ιωάννης Κ. Χρυσικόπουλος
A.M. 33133

Εισηγητής:

Αναστασία Βελώνη, Λέκτορας Εφαρμογών

Εξεταστική Επιτροπή:

Αναστασία Βελώνη
Ιωάννης Έλληνας
Ιωάννης Αμοργίνος

Ημερομηνία εξέτασης

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος/η Ιωάννης Χρυσικόπουλος, του Κωνσταντίνου με αριθμό μητρώου 33133 φοιτητής του Τμήματος Μηχανικών Η/Υ Συστημάτων Τ.Ε. του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασης της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού θμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ολοκληρώθηκε μετά από επίμονες προσπάθειες, σε ένα ενδιαφέρον γνωστικό αντικείμενο, όπως αυτό των δικτύων. Την προσπάθειά μου αυτή υποστήριξε η επιβλέπουσα καθηγήτρια μου, την οποία θα ήθελα να ευχαριστήσω.

Περίληψη

Η ανάγκη για επικοινωνία ήταν ανέκαθεν μια από τις βασικότερες ανάγκες του ανθρώπου, είναι ο λόγος για τον οποίο εξελιχθήκαμε και γι' αυτό δώσαμε τεράστια βάση στην ανάπτυξη της επικοινωνίας. Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο 'Σύγχρονες τεχνολογίες δικτύων ασύρματων κινητών επικοινωνιών' παρουσιάζει τις ιδιαιτερότητες των δικτύων κινητής επικοινωνίας καθώς και των συστημάτων σταθερής πρόσβασης. Επίσης αναφέρονται οι περασμένες γενιές κινητής τηλεφωνίας και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν εκείνη την εποχή καθώς και πως εξελίχθηκαν οι τεχνολογίες αυτές φτάνοντας στο σημερινό επίπεδο κινητής επικοινωνίας, αγγίζοντας απίστευτες ταχύτητες οι οποίες εκτόξευσαν τα πολυμέσα και τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης στα ύψη κάνοντας την ανθρώπινη επικοινωνία ακόμα πιο εύκολη αλλά και πιο ευχάριστη χρησιμοποιώντας την τελευταία τεχνολογία υλικού με συνδυασμό των σύγχρονων τεχνολογιών κινητής δικτύωσης. Τέλος εξετάζεται το μέλλον, τώρα που η τέταρτη γενιά βρίσκεται στην ακμή της, πως θα γίνει το άλμα για την πέμπτη; Και πως αυτό θα επηρεάσει το μέλλον της κινητής επικοινωνίας;

Abstract

The need for communication has always been one of the most basic needs of the human being, it is the reason why we have evolved and that is why we have given a huge base to the development of communication. This diploma thesis titled 'Modern wireless networking technologies' presents the peculiarities of mobile communication networks as well as fixed access systems. It also highlights the past generations of mobile telephony and the technologies used at that time as well as how these technologies have evolved reaching the current level of mobile communications, reaching incredible speeds that have pushed the media and social media to the heights making human communication even more easy but also more enjoyable using the latest hardware technology with a combination of modern mobile networking technologies. Lastly, the future is being considered, now that the

fourth generation is at its peak, how will the fifth jump be made? And how will this affect the future of mobile communication?

Λέξεις κλειδιά:

τηλεπικοινωνίες, επικοινωνία, σταθερή επικοινωνία, κινητή τηλεφωνία, δίκτυα, οπτικές ίνες, πολυμέσα, τέταρτη γενιά, πέμπτη γενιά, κυψελική τεχνολογία, τηλεφωνικά κέντρα , παγκόσμιες κινητές τηλεπικοινωνίες

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	14
1.1 Εισαγωγή στην σταθερή επικοινωνία.	14
1.2 Ιστορική αναδρομή της σταθερής τηλεφωνίας.	14
1.2.1 Σημαντικές ημερομηνίες κατά την εξέλιξη του τηλεφώνου	18
1.3 Είδη τηλεφωνικών συνδέσεων.	20
1.3.1 Καλώδια χαλκού.	20
1.3.1.1 xDSL (Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή).....	22
1.3.2 Οπτικές ίνες.	22
1.3.2.1 Τύποι καλωδίων οπτικών ινών	24
1.3.2.2 Πλεονεκτήματα οπτικής ίνας έναντι καλωδίων χαλκού	26
1.3.2.2 Μειονεκτήματα οπτικής ίνας έναντι καλωδίων χαλκού	26
1.4 Τηλεφωνικά κέντρα	27
1.4.1 Αναλογικά (POTS- plain old telephone service).	27
.....	28
1.4.2 Ψηφιακά ISDN.....	28
1.4.2.1 Η ιστορία του ISDN.....	30
1.4.3 Ψηφιακά VoIP.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	31
2.1 Η αρχή της κινητής επικοινωνίας.	31
2.1.1 MTS.....	31
2.1.2 IMTS.....	33
2.2 Πρώτη γενιά ασύρματης κυψελικής τεχνολογίας.	33
2.3 Δεύτερη γενιά ασύρματης κυψελικής τεχνολογίας.	35
2.3.1 GSM.	36
2.3.2 GPRS.....	37
2.3.3 EDGE.....	38
2.4 Τρίτη γενιά ασύρματης κυψελικής τεχνολογίας (3G)	40
2.4.2 IMT-2000.....	41
2.4.2.1 CDMA.....	42
2.4.2.2 CDMA ONE	43
2.4.2.3 CDMA2000	43
2.4.2.2 WCDMA	45
2.4.3 Άλμα προς το 4G.....	47
.....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	48

3.1 Εισαγωγή στο 4G.....	48
.....	49
3.1.1 Ανάγκη για 4G	49
3.1.2 4G έναντι 3G	50
3.1.3 Στόχοι της τέταρτης γενιάς.	51
3.2 Αρχιτεκτονική	52
3.2.1 Σχεδιασμός.....	53
3.2.2 IMT Advanced.....	53
3.3 Τεχνολογίες τέταρτης γενιάς επικοινωνίας	54
3.3.1 LTE.....	55
3.3.1.1 Η αρχιτεκτονική του LTE	55
3.3.1.2 Ασφάλεια	58
3.3.1.3 Επικοινωνία D2D σε LTE-Advanced.	59
3.3.1.3.1 Αρχιτεκτονική D2D.....	61
3.3.2 UMB To Ultra.....	62
3.3.3 WIMAX	63
3.4 Υπηρεσίες και πολυμέσα	66
3.4.1 Κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην τέταρτη γενιά.	66
3.4.2 Εφαρμογές της τέταρτη γενιά.....	68
3.4.3 Χαρακτηριστικά της τέταρτη γενιά.	69
3.5 Επόμενη στάση 5G.....	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	73
4.1 Χαρακτηριστικά πέμπτης γενιάς.....	73
4.1.1 Ταχύτητα	74
4.1.2 Δυνατότητες.....	75
4.2 Τεχνολογίες.....	76
4.2.1 Device to Device.....	76
4.2.1.1 Επικοινωνία D2D και δίκτυα 5G.....	78
4.2.1 Συχνότητες	79
4.2.2 EDGE Computing.....	81
4.2.2.1 Πρακτικές χρήσεις MEC.....	81
4.2.3 Τεχνολογικές απαιτήσεις	83
4.2.5 NOMA.....	84
4.2.5.1 Οφέλη του NOMA.....	87
4.2.5.2 Περιορισμοί του NOMA	87
4.3 5G και πολυμέσα	89

4.3.1 Αυξημένη και Εικονική Πραγματικότητα	89
4.3.2 Αυτοδύναμα αυτοκίνητα.....	91
4.3.2.1 Ασφάλεια	94
4.4 Τέταρτη και πέμπτη γενιά	95
4.4.1 Δυνατότητες της 5G όπου δεν προσφέρει το 4G.....	95
4.4.2 Διαφορές στην λειτουργικότητα ανάμεσα στο 5G και 4G.....	96
5.1 RAN και C-RAN	98
5.1.1 eMBB	100
5.1.2 CPRI	101
5.2 5G και C-RAN.....	102
5.3 BACKHAUL	103
5.3.1 xDSL.....	104
5.3.2 FTTx.....	104
5.4 MIDHAUL.....	106
5.5 FRONTHAUL.....	107
Συμπεράσματα.....	109

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Alexander Graham Bell	15
Εικόνα 2 : Επιτραπέζιο τηλέφωνο.....	17
Εικόνα 3 : Τηλέφωνο με καντράν	17
Εικόνα 4: Τηλέφωνο με πλήκτρα	18
Εικόνα 5: Ασύρματο τηλέφωνο	18
Εικόνα 6: Καλώδια χαλκού.....	21
Εικόνα 7: Ρολό χαλκού	21
Εικόνα 8: Οπτικές ίνες.....	24
Εικόνα 9: Καλώδιο οπτικών ινών	24
Εικόνα 10: Εσωτερικό Οπτικής Ίνα.....	24
Εικόνα 11: Εσωτερική λειτουργία μιας οπτικής ίνας.....	25
Εικόνα 12: Τηλεφωνικό κέντρο	27
Εικόνα 13: POTS	28
Εικόνα 14: ISDN	29
Εικόνα 15: Κινητό τηλέφωνο	35
Εικόνα 16: GSM.....	36
Εικόνα 17: GPRS.....	37
Εικόνα 18: EDGE.....	38
Εικόνα 19: Λογότυπο UTI	41
Εικόνα 20: Πύργος κυψέλης.....	44
Εικόνα 21: HSPA	48
Εικόνα 22: 4G	49
Εικόνα 23: Λογότυπο IMT.....	54
Εικόνα 24: Λογότυπο LTE	55
Εικόνα 25: Αρχιτεκτονική του EPC.....	57
Εικόνα 26: Inband D2D	61
Εικόνα 27: Outband D2D	62
Εικόνα 28: Λογότυπο UMB	62
Εικόνα 29: WiMAX.....	64
Εικόνα 30: Advanced Security	69
Εικόνα 31: Broadband Services.....	70
Εικόνα 32: Reliability.....	71
Εικόνα 33: 5G	73
Εικόνα 34: D2D επικοινωνία	76
Εικόνα 35: Augmented Reality.....	82
Εικόνα 36: NOMA	84
Εικόνα 37: NOMA vs OMA.....	85
Εικόνα 38: VR VS AR	91
Εικόνα 39: 5G	100
Εικόνα 40 : FTTx.....	104
Εικόνα 41: MEF	107

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Εισαγωγή στην σταθερή επικοινωνία.

Η σταθερή επικοινωνία είναι τα πρώτα βήματα της τηλεπικοινωνίας. Σταθερές επικοινωνίες μπορούν να χαρακτηριστούν τα σταθερά τηλέφωνα, τα φαξ, το τηλεφωνικό δίκτυο μιας εταιρίας. Με λίγα λόγια το σημείο πρόσβασης υπηρεσίας είναι σταθερό. Με την εφεύρεση του τηλεφώνου η καθημερινότητα του ανθρώπου άλλαξε προς το καλύτερο. Πριν υπάρξει το τηλέφωνο σαν συσκευή στις κοινωνίες μας τα μέσα επικοινωνίας που χρησιμοποιούσαμε ήταν διάφορα ήδη τηλεγράφου. Τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά, με το τηλέφωνο από την άλλη η επικοινωνία ήταν άμεση και γρήγορη. Με αποτέλεσμα η επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων για ενημέρωση για οποιοδήποτε συμβάν μπορούσε να πραγματοποιηθεί σε κάθε γωνία του πλανήτη. (1)

1.2 Ιστορική αναδρομή της σταθερής τηλεφωνίας.

Ο **Alexander Graham Bell** γεννήθηκε στις 3 Μαρτίου του 1847, στο Εδιμβούργο της Σκωτίας. Ήταν φυσικός, σπούδασε στα πανεπιστήμια του Εδιμβούργου και του Λονδίνου. Έχει εφεύρει το πρώτο πρακτικό τηλέφωνο και ίδρυσε την εταιρία American Telephone and Telegraph (AT&T) το 1885 . (2)

Όταν ήταν έντεκα, ο Bell δημιούργησε μια μηχανή που μπορούσε να καθαρίσει το σιτάρι. Αργότερα είπε ότι εάν είχε κατανοήσει αρκετά τον ηλεκτρισμό, δεν θα είχε κίνητρο έτσι ώστε να εφεύρει το τηλέφωνο. Όλοι οι άλλοι "γνώριζαν" ότι ήταν αδύνατο να στείλουν φωνητικά σήματα πάνω σε ένα καλώδιο. (2)

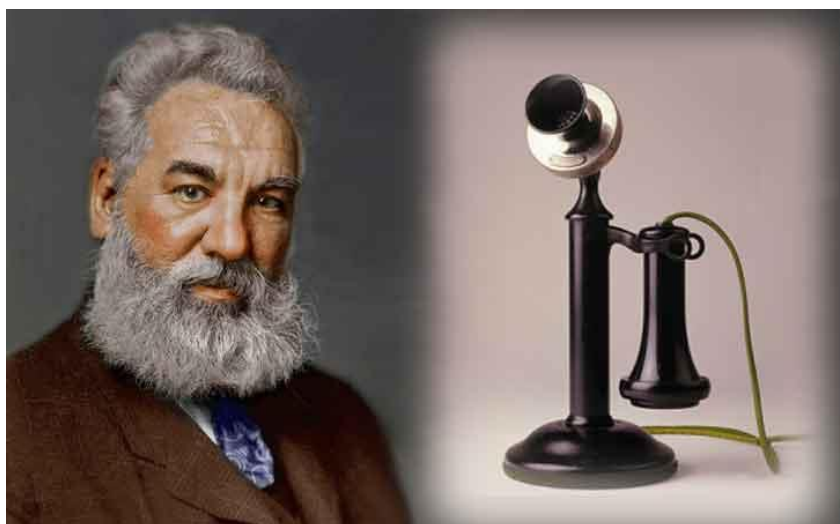
Προσπαθώντας να τελειοποιήσει μια μέθοδο για τη μεταφορά πολλαπλών μηνυμάτων σε ένα μόνο καλώδιο, άκουσε τον ήχο ενός ελατηρίου κατά μήκος 60 ποδών καλωδίου σε ένα ηλεκτρικό κατάστημα της Βοστώνης. Ο Thomas A. Watson, ένας από τους βοηθούς του Bell, προσπαθούσε να επανενεργοποιήσει έναν τηλεγραφητή πομπό. Ακούγοντας τον ήχο, ο Bell πίστευε ότι θα μπορούσε να λύσει το πρόβλημα της αποστολής ανθρώπινης

φωνής πάνω σε ένα καλώδιο. Κατάλαβε πώς να μεταδώσει πρώτα ένα απλό ρεύμα και έλαβε ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την εφεύρεση αυτή στις 7 Μαρτίου 1876. Πέντε ημέρες αργότερα, έστειλε πραγματική ομιλία. Κάθισε σε ένα δωμάτιο, μίλησε στο τηλέφωνο στον βοηθό του όπου βρισκόταν σε ένα άλλο δωμάτιο, λέγοντας τις πλέον διάσημες λέξεις: "Κύριε Watson, ελάτε εδώ". Το δίπλωμα τηλεφώνου είναι ένα από τα πιο πολύτιμα διπλώματα ευρεσιτεχνίας που εκδόθηκαν ποτέ. (2)

Ο Bell είχε και άλλες εφευρέσεις - στο δικό του σπίτι είχε πρόδρομο για τον σύγχρονο κλιματισμό, συνεισέφερε στην τεχνολογία των αερομεταφορών και το τελευταίο του δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, στην ηλικία των 75 ετών, ήταν για το ταχύτερο υδροπτέρυγο που εφευρέθηκε. (2)

Ο Bell ήταν αφοσιωμένος στην πρόοδο της επιστήμης και της τεχνολογίας. Ως εκ τούτου ανέλαβε την προεδρία μιας μικρής, σχεδόν ανήκουστης, επιστημονικής κοινωνίας το 1898: της National Geographic Society. (2)

Ο Bell και ο γιος του, Gilbert Grosvenor, πήραν το στενό περιοδικό της κοινωνίας και πρόσθεσαν όμορφες φωτογραφίες και ενδιαφέροντα γράμματα μετατρέποντας το National Geographic σε ένα από τα πιο γνωστά περιοδικά του κόσμου. Είναι επίσης ένας από τους ιδρυτές του περιοδικού Science. (2)



Εικόνα 1: Alexander Graham Bell

Το τηλεγράφημα και το τηλέφωνο είναι αρκετά παραπλήσια σαν ιδέα, και μέσω των προσπαθειών του Bell να βελτιώσει το τηλεγράφημα, κατάφερε με επιτυχία την εφεύρεση του τηλεφώνου. (2)

Το τηλεγράφημα ήταν ένα εξαιρετικά επιτυχημένο σύστημα επικοινωνίας για περίπου 30 χρόνια πριν ο Bell ξεκινήσει να πειραματίζεται. Το κύριο πρόβλημα με το τηλεγράφημα ήταν ότι χρησιμοποίησε τον κώδικα Morse και περιορίστηκε στην αποστολή και λήψη ενός μηνύματος κάθε φορά. Ο Bell είχε μια καλή αντίληψη για τη φύση του ήχου και της μουσικής. Αυτό του επέτρεψε να αντιληφθεί τη δυνατότητα μετάδοσης περισσότερων από ένα μηνυμάτων κατά μήκος του ίδιου καλωδίου ταυτόχρονα. (2)

Η ιδέα του Bell δεν ήταν νέα, άλλοι μπροστά του είχαν προβλέψει ένα πολλαπλό τηλεγράφημα. Ο Bell παρουσίασε τη δική του λύση, το "Harmonic Telegraph". Αυτό βασιζόταν στον κύριο λόγο ότι οι μουσικές νότες μπορούσαν να αποστέλλονται ταυτόχρονα στο ίδιο σύρμα, αν οι σημειώσεις αυτές διέφεραν στο βήμα. (2)

Με το δεύτερο μέρος του 1874 το πείραμα του Bell είχε προχωρήσει αρκετά για να ενημερώσει τα στενά μέλη της οικογένειας για τη δυνατότητα ενός πολλαπλού τηλεγράφου. Ο μελλοντικός πατέρας του Bell, δικηγόρος Gardiner Green Hubbard, βρήκε την ευκαιρία να σπάσει το μονοπώλιο που άσκησε η εταιρεία Western Union Telegraph. Έδωσε στο Bell την οικονομική υποστήριξη που απαιτούσε για να συνεχίσει την εργασία του αναπτύσσοντας το πολλαπλό τηλεγράφο. (2)

Ωστόσο, ο Bell δεν μπόρεσε να αναφέρει ότι αυτός και ο συνεργός του, ένας άλλος λαμπρός νέος ηλεκτρολόγος Thomas Watson, ανέπτυσαν μια ιδέα που του συνέβη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Αυτή η ιδέα ήταν να δημιουργηθεί μια συσκευή που θα μπορούσε να μεταδώσει ηλεκτρικά την ανθρώπινη φωνή. (2)

Οι Bell και Watson συνέχισαν να εργάζονται για το αρμονικό τηλεγράφημα με την επιμονή του Hubbard και μερικών άλλων οικονομικών

υποστηρικτών. Κατά το Μάρτιο του 1875 ο Bell συναντήθηκε με έναν άνδρα που ονομάζεται Joseph Henry χωρίς τη γνώση του Χάμπαρντ. Ο Joseph Henry ήταν ο σεβαστός διευθυντής του Smithsonian Institution. Άκουσε προσεκτικά τις ιδέες του Bell και πρόσφερε ενθαρρυντικές εντυπώσεις. Τόσο ο Bell όσο και ο Watson προωθήθηκαν από τις απόψεις του Henry και συνέχισαν το έργο τους με ακόμα μεγαλύτερο ενθουσιασμό και αποφασιστικότητα. (2)

Μέχρι τον Ιούνιο του 1875 συνειδητοποίησαν ότι ο στόχος τους να δημιουργήσουν μια συσκευή που θα μπορούσε να μεταδώσει ηλεκτρικά την ομιλία θα γινόταν σύντομα πιο εύκολη στο να το συνειδητοποίηση κάποιος. Τα πειράματά τους είχαν αποδείξει ότι διαφορετικοί ήχοι θα μεταβάλλουν τη δύναμη ενός ηλεκτρικού ρεύματος σε ένα σύρμα. (2)

Η εξέλιξη των τηλεφωνικών συσκευών παραθέτονται παρακάτω με φωτογραφίες και μια μικρή περιγραφή τους.

1. Αρχικά υπήρξε το επιτραπέζιο τηλέφωνο (εικόνα 2),



Εικόνα 2 : Επιτραπέζιο τηλέφωνο

2. Έπειτα είναι τα καντράν (εικόνα



Εικόνα 3 : Τηλέφωνο με καντράν

τηλέφωνα με 3),

3. και στην συνέχεια φτάσαμε στα τηλέφωνα με πλήκτρα (εικόνα 4)



Εικόνα 4: Τηλέφωνο με πλήκτρα

4. και τέλος το τηλέφωνο που χρησιμοποιούμε μέχρι και σήμερα, το ασύρματο τηλέφωνο (εικόνα 5).



Εικόνα 5: Ασύρματο τηλέφωνο

1.2.1 Σημαντικές ημερομηνίες κατά την εξέλιξη του τηλεφώνου

Στην συγκεκριμένη υποενότητα θα αναφέρουμε σημαντικά γεγονότα τις εξέλιξης του τηλεφώνου που πραγματοποιήθηκαν μέσα στον χρόνο. (2)

- 1874: Το κεφάλαιο του τηλεφώνου αποκαλύφθηκε.
- 1876: Ο Αλέξανδρος Γκράχαμ Μπελ εξηγεί το τηλέφωνο.
- 1877: Το πρώτο μόνιμο εξωτερικό τηλεφωνικό καλώδιο ολοκληρώθηκε. Τεντώθηκε σε απόσταση μόλις τριών μιλίων. Αυτό παρακολουθήθηκε στενά στις ΗΠΑ από την πρώτη εμπορική τηλεφωνική υπηρεσία παγκοσμίως.

- 1878: Η λειτουργική ανταλλαγή αναπτύχθηκε, η οποία επέτρεψε την εναλλαγή κλήσεων μεταξύ συνδρομητών αντί να έχουν άμεσες γραμμές.
- 1879: Οι συνδρομητές άρχισαν να ορίζονται με αριθμούς και όχι με τα ονόματά τους.
- 1880: Η υπηρεσία μεγάλων αποστάσεων επεκτάθηκε σε όλη αυτή την περίοδο χρησιμοποιώντας μεταλλικά κυκλώματα.
- 1888: Το κοινό σύστημα συσσωρευτών που αναπτύχθηκε από τον Hammond V. Hayes, επιτρέπει σε μία κεντρική μπαταρία να τροφοδοτεί όλα τα τηλέφωνα σε μια ανταλλαγή, αντί να στηρίζεται σε κάθε μπαταρία της ίδιας της μπαταρίας.
- 1891: Πρώτο σύστημα αυτόματης κλήσης που εφευρέθηκε από το κτηνοτρόφο από τη πόλη Κάνσας. Πιστεύει ότι οι κακοί χειριστές στέλνουν τους πιθανούς πελάτες τους αλλού. Ήταν ο στόχος του να απαλλαγεί από τους χειριστές εντελώς.
- 1900: Πρώτη τηλεφωνική συσκευή με κέρματα εγκατεστημένη στο Χάρτφορντ του Κοννέκτικατ.
- 1904 : "Γαλλικό τηλέφωνο" που αναπτύχθηκε από την Bell Company. Αυτό είχε τον πομπό και τον δέκτη σε ένα απλό ακουστικό.
- 1911: Η American Telegraph και η Telegraph (AT & T) αποκτούν την Western Union Telegraph Company σε μια εχθρική εξαγορά. Αγόρασαν μετοχές στην εταιρεία κρυφά και οι δύο τελικά συγχωνεύθηκαν.
- 1918: Εκτιμήθηκε ότι περίπου δέκα εκατομμύρια τηλεφωνικά συστήματα Bell λειτουργούσαν σε όλο το Ηνωμένο Βασίλειο
- 1921: Η μετάβαση μεγάλου αριθμού κλήσεων έγινε δυνατή με τη χρήση φανταστικών κυκλωμάτων. Αυτό επέτρεψε την πραγματοποίηση τριών συνομιλιών σε δύο ζεύγη καλωδίων.

- 1927: Πρώτη διατλαντική υπηρεσία από τη Νέα Υόρκη στο Λονδίνο άρχισε να λειτουργεί. Το σήμα μεταδόθηκε από ραδιοκύματα.
- 1936: Η έρευνα για τα ηλεκτρονικά τηλεφωνικά κέντρα άρχισε και τελικά τελειοποιήθηκε στη δεκαετία του 1960 με το ηλεκτρονικό σύστημα μεταγωγής (SES).
- 1946: Η πρώτη εμπορική υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας παγκοσμίως τεθεί σε λειτουργία. Θα μπορούσε να συνδέσει κινούμενα οχήματα με τηλεφωνικό δίκτυο μέσω ραδιοκυμάτων.
- 1947: Ραδιοφωνική τεχνολογία μικροκυμάτων που χρησιμοποιείται για πρώτη φορά για τηλεφωνικές κλήσεις μεγάλων αποστάσεων.
- 1947: Το τρανζίστορ εφευρέθηκε στα εργαστήρια Bell.
- 1955: Είδε την αρχή της τοποθέτησης των υπερατλαντικών τηλεφωνικών καλωδίων.
- 1962 : Ο πρώτος παγκόσμιος δορυφόρος επικοινωνιών παγκοσμίως, Telstar ξεκίνησε.
- Η δεκαετία του '80 : Η ανάπτυξη καλωδίων οπτικών ινών κατά τη διάρκεια αυτής της δεκαετίας, προσέφερε τη δυνατότητα να μεταφέρουν πολύ μεγαλύτερους όγκους κλήσεων από τους δορυφόρους ή τα μικροκύματα.

1.3 Είδη τηλεφωνικών συνδέσεων.

1.3.1 Καλώδια χαλκού.

Το καλώδιο τηλεπικοινωνιών χαλκού αποτελεί από καιρό το προτιμώμενο υλικό για επικοινωνίες μακράς και μικρής εμβέλειας, απολαμβάνοντας σταθερή ανάπτυξη τα τελευταία 50 χρόνια. (3)

Στη δεκαετία του 1980, ο χαλκός επωφελήθηκε από την επανάσταση του φαξ. Για την εξυπηρέτησή του εγκαταστάθηκαν πολλές τηλεφωνικές

γραμμές. Πιο πρόσφατα, το Διαδίκτυο ώθησε πολλούς ανθρώπους να εγκαταστήσουν πρόσθετες γραμμές και, φυσικά, η κανονική ανάπτυξη του οικιακού αποθέματος, μαζί με τα γραφεία στο σπίτι και η αυξανόμενη ευημερία γενικά, έχει αυξήσει τον αριθμό των τηλεφωνικών γραμμών που βρίσκονται σε υπηρεσία. (3)

Ταυτόχρονα, οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν επιφέρει θεμελιώδεις αλλαγές στη μετάδοση δεδομένων, ιδίως μέσω της εμφάνισης δορυφορικής επικοινωνίας, ασύρματης επικοινωνίας και αυξημένης χρήσης οπτικών ινών, καθώς και ανάπτυξης στην αγορά της καλωδιακής εταιρείας. (3)

Ενώ επηρεάστηκε η χρήση του χαλκού, δεν είναι καθόλου παρωχημένη. Αντίθετα, ο χαλκός είναι παρών σε κάποια μορφή ή μορφή στις περισσότερες από αυτές τις τεχνολογίες. Επιπλέον, αποτελεί αναπόσπαστο μέρος των συναρπαστικών νέων διαδικασιών μετάδοσης, HDSL και ADSL (High Digital Subscriber Line και ασύμμετρες ψηφιακές συνδρομητικές γραμμές) που μπορούν να επεκτείνουν τη χωρητικότητα μηνυμάτων των υφιστάμενων συνεστραμμένων ζευγών σύρματος χαλκού σε εκείνη των οπτικών ινών χωρίς τη δαπάνη των συστημάτων μεταγωγής. (3)



Εικόνα 6: Καλώδια χαλκού



Εικόνα 7: Ρολό χαλκού

1.3.1.1 xDSL (Ψηφιακή Συνδρομητική Γραμμή)

Οι πρόσφατα εισαγόμενες τεχνολογίες xDSL όπως το VDSL & SHDSL, που έγιναν δυνατές μέσω της τεχνολογίας πολυπλεξίας, επιτρέπουν στα υπάρχοντα ζευγάρια συνεστραμμένων συρμάτων να μεταφέρουν πολύ μεγαλύτερα σήματα, επιτρέποντας τη μετάδοση δεδομένων υψηλής ταχύτητας. (3)

Σημαντική τεχνολογική εξέλιξη στον τομέα αυτό είναι ο τομέας του DSP (Digital Signal Processing). Ειδικό υλικό, συνδεδεμένο τόσο με το χρήστη όσο και με τα άκρα του διακόπτη, επιτρέπει τη μετάδοση δεδομένων μέσω των καλωδίων με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα από την κανονική καλωδίωση του καλωδιακού τηλεφώνου. (3)

Ένα βασικό πλεονέκτημα είναι ότι οι γραμμές είναι ανοιχτές 24 ώρες την ημέρα. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιεί διαφορετικά μέρη του διαθέσιμου φάσματος για τη μεταφορά φωνής και δεδομένων, με την ικανότητα να χρησιμοποιεί και τα δύο ταυτόχρονα. (3)

Εκτός από τη μετάδοση δεδομένων τύπου Internet, οι εφαρμογές xDSL επεκτείνονται ώστε να περιλαμβάνουν απομακρυσμένη πρόσβαση LAN, τηλεδιάσκεψη, ιατρική διάγνωση, εξ αποστάσεως εκπαίδευση και video on demand. (3)

1.3.2 Οπτικές ίνες.

Η τεχνολογία οπτικών ινών έχει φέρει επανάσταση στον τομέα των τηλεπικοινωνιών. Έχει χρειαστεί πολλά χρόνια για την αξιοποίηση των οπτικών ινών στο πλήρες δυναμικό τους για τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η τεχνολογία οπτικών ινών δημιουργήθηκε για πρώτη φορά πριν από περίπου 43 χρόνια, η πρόοδος ήταν αργή. Βλέποντας την οπτική ίνα προσφέρει στους τελικούς χρήστες πρόσβαση σε δεδομένα με την ταχύτητα του φωτός. (4)

Για το Internet και το εύρος ζώνης, η τεχνολογία οπτικών ινών παραμένει σε μεγάλο βαθμό ανεπαρκώς αξιοσημείωτη. Μόνο μια χούφτα

πάροχοι υπηρεσιών σε επιλεγμένες χώρες παρέχουν πλήρη πρόσβαση σε δίκτυα με βάση την οπτική ίνα. (4)

Συνοπτική αναφορά για τα οφέλη των οπτικών ινών για τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς και ο τρόπος που αποστέλλονται οι μεταδόσεις παρατίθενται παρακάτω (4) :

- Δημιουργείται οπτικό σήμα χρησιμοποιώντας έναν πομπό.
- Το σήμα μεταδίδεται μέσω της ίνας, εξασφαλίζοντας ότι το σήμα δεν παραμορφώνεται ή μειώνεται.
- Το σήμα λαμβάνεται και μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα.

Από την ίδρυση της πρώτης ίνας WAN στο Essex στο U.K το 1978, οι ίνες αναπτύχθηκαν αργά και σε ορισμένες περιπτώσεις αργότερα αντικατέστησε πλήρως τις παραδοσιακές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες με βάση το χαλκό. (4)

Πολύ απλά, οι ίνες είναι ένα πιο αποτελεσματικό μέσο μετάδοσης τηλεπικοινωνιακών σημάτων (δεδομένων και φωνής). Τα σήματα αποστέλλονται με φως στις ίνες από γυαλί, σε αντίθεση με το χάλκινο σύρμα. (4)

Οι οπτικές ίνες είναι πολύ λεπτά νήματα από πλαστικό ή γυαλί, από μέσα τους μεταδίδονται ψηφιακά δεδομένα υπό μορφή φωτός. Έχουν μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια, ο λόγος είναι ότι η μέθοδος που χρησιμοποιείτε για την μετάδοση είναι η φωτεινή δέσμη, επίσης η κατανάλωση ενέργειας είναι μικρότερη σε σύγκριση με το ηλεκτρονικό σήμα. Μεταφέρουν ταυτόχρονα μεγάλο όγκο πληροφορίας σε σύγκριση με τα χάλκινα καλώδια. Τα δεδομένα που μεταφέρονται μέσα σε οπτικές ίνες δεν είναι τόσο ευάλωτα σε παρεμβολές. Η κωδικοποίηση και η αποκωδικοποίηση γίνεται γρηγορότερα λόγω του ότι η μετάδοση των δεδομένων γίνεται ψηφιακά. (5) (6)

Ένα πολύ μεγάλο θετικό της οπτικής ίνας είναι ότι δεν έχουμε σχεδόν καθόλου απώλειες δεδομένων. Το κόστος πρώτης ύλης είναι το γυαλί οπότε είναι χαμηλό. Σε σχέση με τα χάλκινα καλώδια οι οπτικές ίνες είναι πολύ πιο

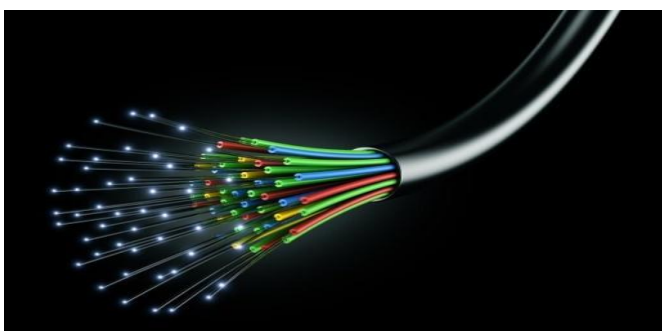
ελαφριές και λεπτές. Τέλος για την υλοποίηση ενός δικτύου οπτικών ινών χρειάζεται λιγότερος χώρος λόγω της δομής των ινών. (5) (6)

Κάποια μειονεκτήματα τα οποία έχει η οπτική ίνα είναι ότι η ευλυγισία της είναι μέτρια, και η διαδικασία της εγκατάστασής της είναι δύσκολη και θα πρέπει να πραγματοποιηθεί με μικρή κλίση γιατί θα υπάρξει απώλεια στα δεδομένα. Σε σύγκριση με τα χάλκινα καλώδια η τιμή της οπτικής ίνας είναι μεγαλύτερη και επίσης είναι αρκετά εύθραυστες. (5) (6)

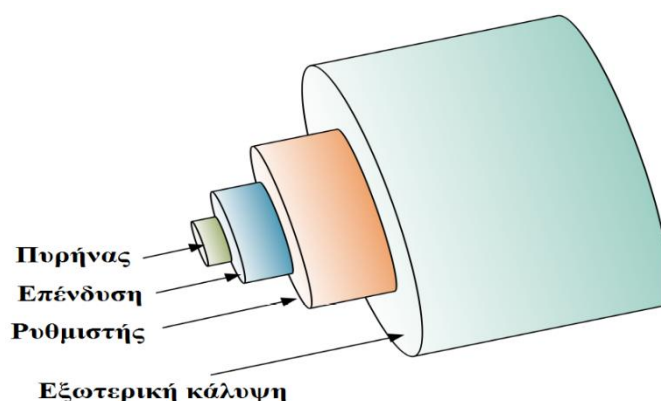


1.3.2.1 Τύποι καλωδίων (Εικόνα 7: Οπτικές ίνες)

Οι οπτικές ίνες φέρουν φωτεινά σήματα που ονομάζονται τρόποι λειτουργίας. Δηλαδή έχουν διαφορετικούς τρόπους μετακίνησης: ένας τρόπος είναι απλώς ο δρόμος που μια δέσμη φωτός ακολουθεί κάτω από την ίνα. Μια λειτουργία είναι να κινηθεί το φως κατ' ευθείαν κάτω από τη μέση της ίνας. Ένα άλλος τρόπος είναι να αναπήδηση κάτω από την ίνα σε μια μικρή κλίμακα. Άλλοι τρόποι περιλαμβάνουν την αναπήδηση της ίνας σε άλλες γωνίες, περισσότερο ή λιγότερο απότομες. (7)



Εικόνα 8: Καλώδιο οπτικών ινών



Ο απλούστερος τύπος οπτικών ινών ονομάζεται μονή λειτουργία (Single-mode). Έχει ένα πολύ λεπτό πυρήνα περίπου 5-10 μικρών (εκατομμυριοστό του μέτρου) σε διάμετρο. Σε μία τέτοιου είδους ίνα, όλα τα σήματα κινούνται κατ'ευθείαν προς τα κάτω στη μέση χωρίς να αναπηδούν από τις άκρες. Η καλωδιακή τηλεόραση, το Internet και τα τηλεφωνικά σήματα μεταφέρονται γενικά με ίνες μονής λειτουργίας, τυλιγμένες σε μια τεράστια δέσμη. Καλώδια όπως αυτό μπορούν να στείλουν πληροφορίες πάνω από 100 χιλιόμετρα (60 μίλια). (7)



Εικόνα 10: Εσωτερική λειτουργία μιας οπτικής ίνας

Ένας άλλος τύπος καλωδίου οπτικών ινών ονομάζεται πολλαπλή λειτουργία. Κάθε οπτική ίνα σε ένα καλώδιο πολλαπλών λειτουργιών είναι περίπου 10 φορές μεγαλύτερο από ένα σε ένα καλώδιο μονής λειτουργίας. Αυτό σημαίνει ότι οι δέσμες φωτός μπορούν να ταξιδέψουν στον πυρήνα ακολουθώντας μια ποικιλία διαφορετικών διαδρομών όπως οι πράσινες, κόκκινες, μπλε γραμμές στην εικόνα 11, με άλλα λόγια, σε πολλαπλούς τρόπους. Τα καλώδια πολλαπλών λειτουργιών μπορούν να στέλνουν πληροφορίες μόνο σε σχετικά μικρές αποστάσεις και χρησιμοποιούνται (μεταξύ άλλων) για τη σύνδεση μεταξύ των δικτύων υπολογιστών. (7)

1.3.2.2 Πλεονεκτήματα οπτικής ίνας έναντι καλωδίων χαλκού

Η τεχνολογία οπτικών ινών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για φωνή, (τηλέφωνα) και δεδομένα (Internet και TV). Παρέχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις επικοινωνίες με βάση το σύρμα χαλκού.[70]

- Χαμηλότερη εξασθένηση - η απώλεια έντασης κάθε είδους φυσικής ιδιοκτησίας μέσω ενός μέσου. (Για παράδειγμα, η ισχύς σήματος πάνω από την οπτική ίνα).
- Λιγότερες παρεμβολές - οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές επηρεάζουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Αυτό μπορεί να διακόψει, να παρεμποδίσει, να υποβαθμίσει ή να περιορίσει την απόδοση ενός κυκλώματος. Αυτές οι επιπτώσεις μπορεί να κυμαίνονται από τον περιορισμό των δεδομένων μέχρι την πλήρη απώλεια δεδομένων.

1.3.2.2 Μειονεκτήματα οπτικής ίνας έναντι καλωδίων χαλκού

Προηγουμένως, η υποδομή οπτικών ινών δεν ήταν άμεσα διαθέσιμη στις ανεπτυγμένες χώρες. Η οπτική ίνα ήταν επίσης δαπανηρή και χρονοβόρα στην εγκατάσταση. Εξαιτίας αυτού, η ίνα χρησιμοποιήθηκε ευρέως μόνο σε τηλεφωνικές επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων, όπου χρησιμοποιείται για την πλήρης χωρητικότητά της. (4)

Μέχρι το 2002, από τον κλάδο των τηλεπικοινωνιών είχε κατασκευαστεί παγκόσμιο δίκτυο άνω των 250.000 χιλιομέτρων ινών, με χωρητικότητα 2.56 Tb / s. (4)

Ωστόσο, από το 2000, το κόστος των ινών ως υπηρεσιών Διαδικτύου έχει μειωθεί σημαντικά. Σε ορισμένες πόλεις των Ηνωμένων Πολιτειών, είναι φθηνότερο ανά συνδρομητή, για την εγκατάσταση ινών στο σπίτι, από την υπηρεσία χαλκού. (4)

1.4 Τηλεφωνικά κέντρα.

Παλιά υπήρχαν τηλεφωνικά κέντρα τα όποια ήταν χειροκίνητα δηλαδή για να καλέσει κάποιος γυρνούσε μια μαγνητοσκοπημένη μηχανή όπου είχε προσκολλημένο το τηλέφωνο του και γινόταν μια σύνδεση με το τηλεφωνικό κέντρο, στην συνέχεια ο υπάλληλος που εργαζόταν εκεί ρωτούσε με ποιον αριθμό θέλει να τον συνδέσει.. Υπήρχαν και τα ημιαυτόματα τηλεφωνικά κέντρα στα οποία μόλις σήκωνες το ακουστικό η σύνδεση στο τηλεφωνικό κέντρο γινόταν απευθείας . (2)

Τέλος είναι τα αυτόματα τηλεφωνικά κέντρα, σε αυτήν την περίπτωση η σύνδεση με τον αριθμό που επιθυμεί κάποιος γίνεται απευθείας χωρίς να έχει επαφή με το τηλεφωνικό κέντρο. Τα αυτόματα τηλεφωνικά κέντρα χρησιμοποιούνται πλέον παντού. (8)



Εικόνα 11: Τηλεφωνικό κέντρο

1.4.1 Αναλογικά (POTS- plain old telephone service).

Η επικοινωνία πραγματοποιείται μέσω ειδικού δικτύου τηλεφωνίας. POTS είναι επίσης γνωστή ως δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο PSTN. Αυτός ο όρος περιγράφει την τυπική τηλεφωνική υπηρεσία, η οποία αποτελεί τη βασική μορφή σύνδεσης οικιακών και μικρών επιχειρήσεων τηλεφωνικών υπηρεσιών με το τηλεφωνικό δίκτυο στα περισσότερα μέρη του κόσμου. (9)

Αυτό το όνομα αποτελεί αντανάκλαση της τηλεφωνικής υπηρεσίας που είναι ακόμα διαθέσιμη μετά την εμφάνιση πιο προηγμένων μορφών τηλεφωνίας όπως το ISDN, τα κινητά τηλέφωνα και το VoIP. (9)

Το POTS είναι διαθέσιμο από την εισαγωγή του δημόσιου τηλεφωνικού συστήματος στα τέλη του 19ου αιώνα. Η υπηρεσία αυτή χρησιμοποιήθηκε σε μορφή σχεδόν αμετάβλητη για τον κανονικό χρήστη παρά την εισαγωγή κλήσης τόνου αφής, ηλεκτρονικών τηλεφωνικών κέντρων και οπτικών ινών στο τηλεφωνικό δίκτυο. (9)

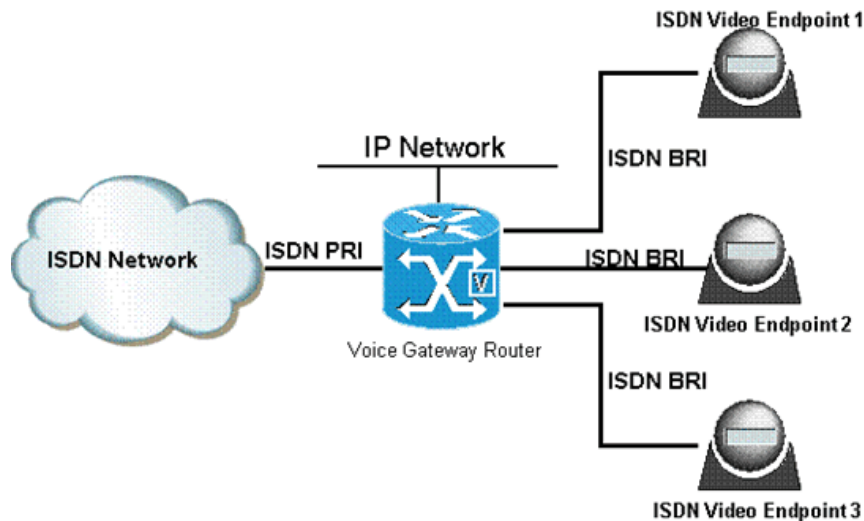
POTS Line (POTS = Plain Old Telephone Service)



Εικόνα 13: POTS

1.4.2 Ψηφιακά ISDN.

Η διαδικασία είναι σχεδόν πανομοιότυπη με την αναλογική αλλά με την ιδιοτροπία ότι η φωνή μετατρέπεται σε δεδομένα, μεταδίδεται πάλι μέσω του δικτύου τηλεφωνίας και μετατρέπεται πάλι σε φωνή. (9)



Εικόνα 12: ISDN

Το ψηφιακό δίκτυο ενοποιημένων υπηρεσιών (Integrated Services Digital Network, ISDN) είναι ένα σύνολο προτύπων επικοινωνίας για την ψηφιακή τηλεφωνική σύνδεση και τη μετάδοση φωνής και δεδομένων μέσω ψηφιακής γραμμής. Αυτές οι ψηφιακές γραμμές είναι συνήθως τηλεφωνικές γραμμές και ανταλλαγές που έχουν θεσπιστεί από την κυβέρνηση. Πριν από την ISDN, δεν ήταν δυνατό οι συνηθισμένες τηλεφωνικές γραμμές να παρέχουν γρήγορη μεταφορά σε μία μόνο γραμμή. (9)

Το ISDN σχεδιάστηκε για να τρέχει σε ψηφιακά τηλεφωνικά συστήματα που ήταν ήδη σε ισχύ. Ως εκ τούτου, πληροί τις προδιαγραφές του τηλεπικοινωνιακού ψηφιακού δικτύου φωνής. Ωστόσο, χρειάστηκε πολύς χρόνος για να τυποποιηθεί το ISDN επιπλέον θα πρέπει να αναφέρουμε ότι ποτέ δεν αναπτύχθηκε πλήρως στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα στα οποία προοριζόταν. (9)

Το SDN λαμβάνει ταυτόχρονα όλα τα δεδομένα μέσω μιας τηλεφωνικής γραμμής. Ως εκ τούτου, η φωνή και τα δεδομένα δεν διαχωρίζονται πλέον όπως ήταν σε προηγούμενες τεχνολογίες, οι οποίες χρησιμοποίησαν ξεχωριστές γραμμές για διαφορετικές υπηρεσίες. Το ISDN

είναι ένα σύστημα τηλεφωνικού δικτύου μεταγωγής κυκλώματος, αλλά επιτρέπει επίσης πρόσβαση σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων. (9)

Το ISDN χρησιμοποιείται επίσης με συγκεκριμένα πρωτόκολλα, όπως το Q.931, όπου λειτουργεί ως δίκτυο, σύνδεση δεδομένων και φυσικά επίπεδα στο μοντέλο OSI. Ως εκ τούτου, σε γενικές γραμμές, το ISDN είναι στην πραγματικότητα μια σουίτα υπηρεσιών μετάδοσης στο πρώτο, δεύτερο και τρίτο επίπεδο του μοντέλου OSI. (9)

Οι δύο κύριες παραλλαγές του ISDN είναι:

- Βασική διασύνδεση ρυθμού (BRI-ISDN): Η μορφή του ISDN που αναγνωρίζουν οι καταναλωτές ως επιλογή πρόσβασης στο διαδίκτυο, η BRI λειτουργεί πάνω σε κανονικές χάλκινες τηλεφωνικές γραμμές και υποστηρίζει ταχύτητες δεδομένων 128 Kbps τόσο για μεταφορτώσεις όσο και για λήψεις. Δύο κανάλια δεδομένων 64 kbps που καλούνται κανάλια φορέων (που ονομάζονται επίσης συνδέσεις DS-0 στις τηλεπικοινωνίες) μεταφέρουν τα δεδομένα ενώ ένα κανάλι 16 Kbps χειρίζεται πληροφορίες ελέγχου. (9)
- Πρωτεύουσα διασύνδεση ρυθμού (PRI-ISDN): Αυτή η μορφή ISDN υψηλής ταχύτητας υποστηρίζει πλήρεις ταχύτητες T1 1.544 Mbps και έως 2.048 Mbps σε E1. Στο T1, το PRI χρησιμοποιεί 23 παράλληλους διαύλους φορέα, έκαστος των οποίων έχει 64 Kbps κυκλοφορίας, σε σύγκριση με δύο τέτοια κανάλια για το BRI. Στην Ευρώπη και την Ασία, οι πάροχοι καλούν συχνά αυτή την υπηρεσία ISDN30 καθώς οι γραμμές E1 που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις χώρες υποστηρίζουν 30 κανάλια κομιστή. (10)

1.4.2.1 Η ιστορία του ISDN

Καθώς οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών μετέτρεψαν σταδιακά τις τηλεφωνικές τους υποδομές από αναλογική σε ψηφιακή, οι συνδέσεις με μεμονωμένες κατοικίες και επιχειρήσεις που αναφέρονται ως το δίκτυο "τελευταίου μιλίου", παρέμειναν σε παλαιά πρότυπα σηματοδότησης και

χάλκινα καλώδια. Το ISDN σχεδιάστηκε ως ένας τρόπος μετεγκατάστασης της μετάβασης σε ψηφιακά σήματα. Επιχειρήσεις που βρέθηκαν ιδιαίτερα αξία στο ISDN λόγω του μεγαλύτερου αριθμού τηλεφώνων γραφείου και μηχανών φαξ που τα δίκτυά τους χρειάζονται για να υποστηρίξουν (10)

1.4.3 Ψηφιακά VoIP.

Στην περίπτωση των ψηφιακών κέντρων η μεταφορά της φωνής πραγματοποιείται πάλι σε μορφή δεδομένων με την χρήση του διαδικτύου μέσω δικτύων υπολογιστών . Επίσης αυτός ο τρόπος επικοινωνίας δεν είναι αναγκαίο να γίνετε η αποστολή δεδομένων μέσω ειδικών τηλεφωνικών γραμμών η οποίοι έχουν κάποιο όριο ταχύτητας και είναι αναγκαίες ειδικές εγκαταστάσεις . (11)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Η αρχή της κινητής επικοινωνίας.

Στην Σκανδιναβία λειτούργησε το πρώτο αυτοματοποιημένο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας στις αρχές της δεκαετίας του `80, λόγω του όγκου των κινητών τηλεφώνων δεν μπορούσαν να μεταφερθούν εύκολα και για αυτό ήταν κυρίως εγκατεστημένα σε κάποιο όχημα. Η ανέγερση των κινητών τηλεφώνων συνέβη την δεκαετία του `90 με την ψηφιοποίηση δικτύων και συσκευών. Ο όγκος των κινητών μίκρυνε σε σημείο να χωράν στην παλάμη μας.

Στην συνέχεια ήρθαν στο προσκήνιο τα κινητά δεύτερης γενιάς, παρείχαν περισσότερες ευκολίες όπως λήψη φωτογραφιών κ.α. Κατά τον 21^ο αιώνα ήρθαν τα κινητά τρίτης γενιάς, με ακόμα περισσότερες ευκολίες και απεριόριστες δυνατότητες των πολυμέσων.

2.1.1 MTS.

Το 1946 δημιουργήθηκε το πρώτο δημόσιο σύστημα κινητών τηλεφώνων (Mobile Telephone System, MTS). Λόγο της εποχής υπήρχαν κάποιοι περιορισμοί, η μετακίνηση πομποδεκτών του MTS πραγματοποιούνταν με οχήματα εξαιτίας του όγκου και του βάρους τους και αυτός είναι ο κύριος λόγος που χρησιμοποιήθηκε για κινητή τηλεφωνία μεταξύ οχημάτων. Το σύστημα του MTS ήταν ημιαμφίδρομο δηλαδή οι χρήστες είτε μιλούσαν είτε άκουγαν, για την εναλλαγή καταστάσεων πατούσαν ένα συγκεκριμένο πλήκτρο για να μεταβούν από την ακρόαση στην ομιλία. [8],[9]

Επίσης το σύστημα ήταν αναλογικό αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα φωνής λαμβάνονται και επεξεργάζονται ως συνεχείς κυματομορφές και χρησιμεύουν για τη διαμόρφωση και την αναδιαμόρφωση του φέροντος ραδιοσήματος. (12) (13)

Το MTS για να παρέχει υπηρεσία σε κάποια περιοχή έπρεπε να χρησιμοποιηθεί ένας σταθμός βάσης με έναν υψηλής ισχύος πομπό. Όταν μια άλλη περιοχή ήθελε να χρησιμοποιήσει το MTS θα έπρεπε να εγκατασταθεί και σε εκείνη την περιοχή άλλος ένας σταθμός, κάτι που έπρεπε να ισχύει για τους σταθμούς που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα είναι ότι θα έπρεπε τοποθετηθούν μακριά ο ένας με τον άλλον γιατί αλλιώς θα υπάρξει απώλεια δεδομένων και γενικά παρεμβολές. (12) (13)

Η χρήση ενέργειας ήταν περιορισμένη, με αποτέλεσμα οι κινητές μονάδες κατά την συνομιλία να μην εκπέμπουν άμεσα στις μονάδες του συνομιλητή αλλά σε σταθερούς σταθμούς λήψης. Με την χρήση αυτών των σταθμών γινόταν η μεταγωγή των κλήσεων μέσω σύνδεσης με σταθμούς βάσης. Η διαδικασία για να πραγματοποιηθεί μια κλήση από ένα σταθερό τηλέφωνο προς ένα τερματικό MTS, ο χρήστης που ήθελε να κάνει την κλήση σχημάτιζε ένα ειδικό αριθμό έτσι ώστε να γίνει η σύνδεση με το χειριστή του MTS. (12) (13)

Στην συνέχεια έπρεπε να ενημερώσει το χειριστή για τον αριθμό με τον οποίο ήθελε να γίνει η σύνδεση. Ο χειριστής από την μεριά του έβρισκε ένα ελεύθερο κανάλι συχνοτήτων για να μεταφέρει την κλήση στο κινητό τερματικό MTS, με λίγα λόγια η λειτουργία των συστημάτων MTS ήταν χειροκίνητη. (12) (13)

Τα αρνητικά ή οι περιορισμοί των συστημάτων MTS ήταν η χειροκίνητη μεταγωγή και το περιορισμένο πλήθος καναλιών συχνοτήτων, όπου συνήθως ο αριθμός των καναλιών ήταν τρία, με αποτέλεσμα μόνο τρεις κλήσεις μπορούσαν να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα. (12) (13)

2.1.2 IMTS.

Το 1960 ξεκίνησε να λειτουργεί μια νέα έκδοση το IMTS (*Improved Mobile Telephone System*) η βελτιωμένη έκδοση προσέφερε αυτόματη μεταγωγή κλήσης, καθώς και αμφίδρομες συνομιλίες με αποτέλεσμα να καθιστά τον χειριστή και την χρήση πλήκτρων περιττές. Επιπλέον το IMTS χρησιμοποιούσε 23 κανάλια και παρόλο την βελτίωση της τηλεφωνίας η απόδοση τους δεν ήταν αρκετή. (12) (13)

Οι ερευνητές των εργαστηρίων Bell της **AT&T** έδωσαν την λύση με την έννοια της κυψέλης, όπου με τα χρόνια έφερε την επανάσταση στον τομέα της κινητής τηλεφωνίας. (12) (13)

Ο D.H Ring το 1947 έδωσε την ιδέα για την κυψελικής τηλεφωνίας. Με τον όρο κυψελική τηλεφωνία σήμαινε ότι κάθε σταθμός βάσης υψηλής εμβέλειας θα αντικαθιστούνταν από πολλούς σταθμούς μικρότερης εμβέλειας, και όλη η περιοχή κάλυψης ενός τέτοιου είδους σταθμού ονομάζονταν κυψέλη. (12) (13)

Κάθε κυψέλη διατίθεται με κάποιο πλήθος καναλιών, με αποτέλεσμα οι γειτονικές κυψέλες δεν χρησιμοποιούσαν τα ίδια κανάλια και έτσι δεν υπήρχαν παρεμβολές. (12) (13)

2.2 Πρώτη γενιά ασύρματης κυψελικής τεχνολογίας.

Κατά το τέλος της δεκαετίας του 1960 σχεδιάστηκε η πρώτη γενία των κυψελικών συστημάτων (*First Generation, συστήματα 1G*) και η εγκατάσταση τους πραγματοποιήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980. (14)

Χρησιμοποιήθηκε για φωνητικές υπηρεσίες και βασίστηκε στην τεχνολογία που ονομάζεται Advanced Mobile Phone System (AMPS). Το σύστημα AMPS διαμορφώθηκε σε συχνότητα και χρησιμοποιήθηκε πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση συχνότητας (FDMA) με χωρητικότητα καναλιών 30 KHz και ζώνη συχνοτήτων 824-894MHz. Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι:

(4)

- Ταχύτητα -2,4 kbps
- Αφήνει φωνητικές κλήσεις σε μία χώρα
- Χρησιμοποιήστε αναλογικό σήμα.
- Κακή ποιότητα φωνής
- Κακή διάρκεια ζωής της μπαταρίας
- Μεγάλο μέγεθος τηλεφώνου
- Περιορισμένη χωρητικότητα
- Κακή αξιοπιστία της μεταβίβασης
- Κακή ασφάλεια
- Προσφέρεται πολύ χαμηλό επίπεδο αποδοτικότητας φάσματος

Εισάγει τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας όπως το κινητό τηλεφωνικό σύστημα (MTS), το προηγμένο σύστημα κινητού τηλεφώνου (AMTS), η βελτιωμένη υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας (IMTS) και το push to talk (PTT). Έχει χαμηλή χωρητικότητα, αναξιόπιστη μεταβίβαση, δεν υπήρχε καθόλου ασφάλεια επειδή οι φωνητικές κλήσεις αναπαράχθηκαν σε πύργους ραδιοφώνου, καθιστώντας αυτές τις κλήσεις ευαίσθητες σε ανεπιθύμητη παρακολούθηση από τρίτους. (15)

Η πρώτη γενιά είναι το πρότυπο της αναλογικής τηλεπικοινωνίας, κάποιες από τις διαφορές, ανάμεσα της πρώτης και δεύτερης γενιάς, είναι τα ραδιοκύματα, στην πρώτη γενιά είναι αναλογικά ενώ στην δεύτερη είναι

ψηφιακά. Η ψηφιακή σηματοδότηση για τη σύνδεση των πύργων χρησιμοποιείται και από της δυο γενιές. (14)



Εικόνα 13: Κινητό τηλέφωνο

2.3 Δεύτερη γενιά ασύρματης κυψελικής τεχνολογίας.

Παρόλο που τα αναλογικά κυψελικά συστήματα ήταν επιτυχής, πάντα υπάρχει χώρος για βελτίωση όσο αναφορά την απόδοσή τους. Έτσι φτάνουμε στην δεύτερη γενιά κυψελικών συστημάτων (*Second Generation, συστήματα 2G*) με κύριο χαρακτηριστικό την ψηφιοποίηση των δεδομένων. Αυτό πραγματοποιείται με τη μεταφορά των σημάτων φωνής μέσω ενός μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και τη χρήση της δυαδικής ακολουθίας που προκύπτει για τη διαμόρφωση ενός φέροντος ραδιοκύματος. (14) (16)

Στα αναλογικά συστήματα κάθε κανάλι συχνοτήτων δεσμεύεται σε έναν χρήστη, αυτό σημαίνει ότι ανεξάρτητα αν το χρησιμοποιεί ή όχι, ανήκει σε αυτόν. Στα ψηφιακά αντιθέτως με την χρήση χρονικών σχισμών τα κανάλια μοιράζονται σε περισσότερους χρήστες. (14) (16)

Η ψηφιοποίηση της πληροφορίας είναι εύκολη να κρυπτογραφηθεί με αποτέλεσμα να διασφαλίζεται το ιδιωτικό απόρρητο και η ασφάλεια. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η ανθεκτικότητα στις παρεμβολές και στο θόρυβο λόγω τεχνικών ανίχνευσης που μπορούν να εφαρμοστούν πάνω στο σύστημα και να διορθωθούν πιθανόν λάθη. Σήμερα τα συστήματα δεύτερης γενιάς χρησιμοποιούνται για την υπηρεσία σύντομων μηνυμάτων (SMS) και επίσης για την αναγνώριση κλήσεων. (14) (16)

2.3.1 GSM.

Η πιο γνώστη τεχνολογία κυψελικής κινητής τηλεφωνίας της δεύτερης γενιάς είναι το πρότυπο GSM (*Groupe Speciale Mobile*). Στις αρχές του 1980 ξεκίνησε η ανάπτυξη του στην Ευρώπη και είχε ως στόχο καθορίσει ένα πανευρωπαϊκό πρότυπο. (17)

Εκείνη την εποχή υπήρχαν πολλά αναλογικά κυψελικά συστήματα αλλά με ένα κύριο μειονέκτημα, δεν ήταν όλα συμβατά μεταξύ τους και έτσι το κάθε δίκτυο περιοριζόταν μέσα σε εθνικά όρια. Αυτό λύθηκε με το GSM το 1992. (17)



Εικόνα 14: GSM

Το GSM παρείχε χαμηλό κόστος τερματικών και υπηρεσιών, μια αποδοτική χρήση φάσματος, συμβατότητα με το ψηφιακό δίκτυο ενοποιημένων υπηρεσιών (ISDN), καλή ποιότητα τηλεφωνικών κλήσεων και την δυνατότητα φορητών τερματικών. Το GSM έχει ως κύρια λειτουργία την φωνητική τηλεφωνία αλλά παρέχει υπηρεσίες και για την μεταφορά δεδομένων, προώθηση κλήσεων, φραγή εισερχόμενων και εξερχόμενων κλήσεων, αναγνώριση κλήσεων, αναμονή κλήσης και συνομιλία μεταξύ παραπάνω από δυο ατόμων. (17)

Το κινητό τερματικό είναι μια κάρτα γνωστή σε όλους μας ως SIM, η οποία προσφέρει την δυνατότητα σε κάθε χρήστη να είναι ανεξάρτητος από το κάθε τερματικό. Λόγο του ότι ο αριθμός κλήσης του χρήστη αποθηκεύεται στην κάρτα με αποτέλεσμα να χρησιμοποιεί τις ίδιες υπηρεσίες και μέσω κάποιου άλλου τερματικού. (17)

2.3.2 GPRS.

Το General Packet Radio Service (*GPRS*) είναι πρότυπο της 2,5 γενιάς και χρησιμοποιεί μεταγωγή πακέτων με αποτέλεσμα να είναι κατάλληλο για υπηρεσίες όπως email, fax και asymmetric web browsing όπου τα δεδομένα που κατεβάζει ο χρήστης είναι περισσότερα σε σχέση με αυτά που ανεβάζει.



Εικόνα 15: GPRS

Η υπηρεσία γενικών πακέτων ραδιοσυχνοτήτων (*GPRS*) υπόσχεται ρυθμούς δεδομένων από 56 έως 114 Kbps και συνεχή σύνδεση στο Internet για χρήστες κινητών τηλεφώνων και υπολογιστών. Οι υψηλότερες ταχύτητες δεδομένων επιτρέπουν στους χρήστες να συμμετέχουν σε τηλεδιασκέψεις και να αλληλοεπιδρούν με τοποθεσίες Web πολυμέσων και παρόμοιες εφαρμογές χρησιμοποιώντας κινητές φορητές συσκευές καθώς και φορητούς υπολογιστές. Το *GPRS* βασίζεται στην επικοινωνία του Global System for Mobile (*GSM*) και συμπληρώνει τις υπάρχουσες υπηρεσίες, όπως οι συνδέσεις κυψελοειδούς τηλεφωνικής γραμμής και η υπηρεσία Short Message Service (*SMS*). (18) (19)

Θεωρητικά, οι υπηρεσίες που βασίζονται σε πακέτα *GPRS* κοστίζουν στους χρήστες λιγότερο από τις υπηρεσίες μεταγωγής κυκλώματος, δεδομένου ότι τα κανάλια επικοινωνίας χρησιμοποιούνται σε μια βάση κοινής χρήσης, ως πακέτα χρειάζονται, αντί να είναι αφιερωμένα σε έναν μόνο χρήστη κάθε φορά. Επίσης, είναι ευκολότερο να διατίθενται εφαρμογές σε χρήστες κινητής τηλεφωνίας, επειδή ο ταχύτερος ρυθμός δεδομένων σημαίνει ότι δεν απαιτείται πλέον το μεσαίο λογισμικό που απαιτείται σήμερα για την προσαρμογή των εφαρμογών στην πιο αργή ταχύτητα των ασύρματων συστημάτων. (18) (19)

Καθώς το *GPRS* έχει γίνει ευρύτερα διαθέσιμο, μαζί με άλλες υπηρεσίες 2.5G και 3G, οι χρήστες κινητών εικονικών ιδιωτικών δικτύων

(VPN) έχουν πρόσβαση στο ιδιωτικό δίκτυο συνεχώς μέσω ασύρματης σύνδεσης και όχι μέσω ριζωμένης σύνδεσης μέσω τηλεφώνου. (18) (19)

Το GPRS συμπληρώνει επίσης το Bluetooth, ένα πρότυπο για την αντικατάσταση των ενσύρματων συνδέσεων μεταξύ συσκευών με ασύρματες συνδέσεις ραδιοφώνου. Εκτός από το πρωτόκολλο Internet (IP), το GPRS υποστηρίζει το X.25, ένα πρωτόκολλο που βασίζεται σε πακέτα και χρησιμοποιείται κυρίως στην Ευρώπη. Το GPRS είναι ένα εξελικτικό βήμα προς το Enhanced Data GSM Environment (EDGE) και την Universal Mobile Telephone Service (UMTS). (18) (19)

Κάποια από τα βασικά πλεονεκτήματα του προτύπου είναι ότι δεν εξαρτάται πολύ από τα μέρη εκείνα των δικτύων που λειτουργούν μέσω μεταγωγή κυκλώματος, καθώς και ότι όταν υπάρχουν δεδομένα για μετάδοση τότε μόνο δεσμεύει πόρους του δικτύου για την μεταφορά τους. Το πρότυπο GPRS μπορεί να υποστηρίξει περισσότερους χρήστε, λόγω του τρόπου με τον οποίο δεσμεύεται το κανάλι από τον κινητό χρηστή. (18) (19)

2.3.3 EDGE.

Το πρότυπο EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) το οποίο θεωρείτε η αναβαθμίσιμη του προτύπου GSM, με αναβαθμισμένο το λογισμικό και το υλικό. Με την τεχνολογία EDGE αυτό που συμβαίνει είναι ότι αυξάνετε ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων στα ήδη υπάρχοντα φυσικά κανάλια του GSM, χρησιμοποιώντας διαφορετική μέθοδο διαμόρφωσης του σήματος. Η υλοποίηση του προτύπου EDGE είναι σχετικά απλή, δεν χρειάζεται να γίνουν νέες εγκατάστασης ή να δοθούν καινούριες άδειες λειτουργίας. Το μόνο που χρειάζεται είναι ένα πομποδέκτης EDGE (*EDGE transceiver*) σε κάθε κελί και κάποιες αναβαθμίσεις στο λογισμικό. (20)

Ο πομποδέκτης χειρίζεται την κυκλοφορία



ρόλος του είναι να κλασική GSM

κανονικά και να εναλλάσσει στην λειτουργία EDGE όταν χρειαστεί. Κάτι άλλο που θα χρειαστεί αναβάθμιση είναι οι κινητές συσκευές έτσι ώστε να μπορούν να είναι συμβατά με την καινούρια τεχνολογία. (20)

Υπήρχαν ορισμένα βασικά στοιχεία στην εξέλιξη από το GSM ή το GPRS στο EDGE. Η τεχνολογία EDGE απαιτεί την προσθήκη πολλών νέων στοιχείων στο σύστημα:

Χρήση διαμόρφωσης 8PSK: Προκειμένου να επιτευχθούν οι υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων εντός του EDGE, η μορφή διαμόρφωσης άλλαξε από GMSK σε 8PSK. Αυτό παρείχε ένα σημαντικό πλεονέκτημα στο να είναι σε θέση να μεταφέρει 3 bits ανά σύμβολο, αυξάνοντας έτσι το μέγιστο ρυθμό δεδομένων. Αυτή η αναβάθμιση απαιτούσε αλλαγή στο σταθμό βάσης. Μερικές φορές απαιτούνται αναβαθμίσεις υλικού, παρόλο που ήταν συχνά απλώς μια αλλαγή λογισμικού. (21)

Σταθμός βάσης: Εκτός από την αναβάθμιση για να ενσωματωθεί η δυνατότητα διαμόρφωσης 8PSK, απαιτήθηκαν και άλλες μικρές αλλαγές στο σταθμό βάσης. Αυτά ήταν συνήθως σχετικά μικρά και θα μπορούσαν συχνά να πραγματοποιηθούν με αναβαθμίσεις λογισμικού. (21)

Αναβάθμιση σε αρχιτεκτονική δικτύου: Το EDGE παρείχε τη δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων μέσω IP. Ως αποτέλεσμα, απαιτούνται πρόσθετα στοιχεία δικτύου. Αυτά ήταν τα ίδια με αυτά που απαιτούνται για το GPRS και αργότερα για το UMTS. Με αυτό τον τρόπο η εισαγωγή της

τεχνολογίας EDGE αποτελεί μέρος της συνολικής πορείας μετάβασης από το GSM στο UMTS. (21)

Οι δύο κύριοι πρόσθετοι κόμβοι που απαιτούνται για το δίκτυο ήταν το GGSN (*Gateway GPRS Service Node*) και SGSN (*Serving GPRS Service Node*). Το GGSN συνδέεται σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων όπως το Διαδίκτυο και άλλα δίκτυα GPRS. Ο SGSN παρείχε τη σύνδεση πακετομεταφοράς σε κινητούς σταθμούς. (21)

Κινητοί σταθμοί: Ήταν απαραίτητο να έχετε ένα ακουστικό GSM EDGE συμβατό με EDGE. Δεδομένου ότι δεν ήταν δυνατό να αναβαθμιστούν τα ακουστικά, αυτό σήμαινε ότι ο χρήστης έπρεπε να αγοράσει ένα νέο ακουστικό EDGE. (21)

Παρά τον αριθμό των αλλαγών που πρέπει να γίνουν, το κόστος της αναβάθμισης για τη μετάβαση στην κυψελοειδή τεχνολογία EDGE ήταν συνήθως σχετικά μικρό. Τα στοιχεία του δικτύου που απαιτούνται για το GPRS ενδέχεται να έχουν ήδη τεθεί σε ισχύ και συνεπώς δεν χρειάζονται για την αναβάθμιση του EGE. (21)

2.4 Τρίτη γενιά ασύρματης κυψελικής τεχνολογίας (3G)

Η ανάγκη για επικοινωνία ήταν δυνατή και η χρήση της τηλεπικοινωνίας ήταν καθημερινό φαινόμενο, με την ένταξη των δικτύων 3^{ης} γενιάς, όπου έφεραν περισσότερες καινοτόμες υπηρεσίες, όπως περιήγηση στο διαδίκτυο, πρόσβαση στο ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, να κατεβάσει κάποιος μουσική στην συσκευή του και άλλες υπηρεσίες με την χρήση του κινητού τηλεφώνου. Βασικός στόχος της τρίτης γενιάς ήταν η παροχή υπηρεσιών πάντα και παντού. (13) (22)

Κάποια από τα σημαντικά χαρακτηριστικά τα γενιάς είναι υποστήριξη ασύμμετρης και συμμετρικής κυκλοφορίας, υπηρεσίες μεταγωγής πακέτων και μεταγωγής κυκλώματος, υποστήριξη παράλληλης εκτέλεσης εφαρμογών στο ίδιο τερματικό, συμβατότητα με συστήματα δεύτερης γενιάς. Το 3G παρέχει ευρυζωνική κυψελοειδή πρόσβαση φτάνοντας ταχύτητες έως

και 2Mbps, με αποτέλεσμα να προσφέρουν κινητές υπηρεσίες πολυμέσων.
(13) (22)

2.4.1 Υπηρεσίες τρίτης γενιάς.

Οι υπηρεσίες που προσφέρονται από την 3^η γενιά κατηγοριοποιούνται σε υπηρεσίες μηνυμάτων, μεταγωγική υπηρεσία μεταφοράς δεδομένων, πολυμέσα μέσου και υψηλού επιπέδου, αλληλεπιδραστικά πολυμέσα υψηλού επιπέδου, φωνή και ήχος. Οι παροχές υπηρεσιών των 3G πραγματοποιούνταν με βάση την αρχή του συστήματος συντεταγμένων με ενσύρματο, επίγειο ασύρματο ή δορυφορικό μέσο ανάλογα με την περίπτωση. Παρόλα αυτά ο χρήστης δεν ήταν γνώστης ποια από όλες αυτές της υπηρεσίες μπορεί χρησιμοποιούσε σε καταστάσεις. (13)

2.4.2 IMT-2000

Το IMT-2000 ήταν το παγκόσμιο σύνολο προτύπων για την τρίτη γενιά κινητής επικοινωνίας(3G). Αποτέλεσε το πέρας της δεύτερης γενιάς και είχε καθιερωθεί ως πρότυπο για προηγμένες τότε υπηρεσίες και να ξεπεράσει τα όρια της απόδοσης των τηλεφώνων τα οποία ήταν βασισμένα σε συστήματα δεύτερης γενιάς τηλεπικοινωνίας. (23)

Τα αρχικά του IMT-2000 σημαίνουν International Mobile Telecommunications (*Παγκόσμιες κινητές τηλεπικοινωνίες*) και το 2000 έδειχνε την φιλοδοξία της παγκόσμιας ένωσης τηλεπικοινωνιών (*ITU*) στον να πραγματοποιήσουν αυτό το έργο μέχρι το έτος 2000 με συχνότητα 2000 Mhz, πράγμα που τελικά άργησε και καθιερώθηκε μερικά χρόνια μετά το 2000. Το IMT-2000 αποτέλεσε μια πρωτοποριακή τεχνολογία για εκείνη την εποχή και αποτελούταν από ένα σύνολο χαρακτηριστικών που έπρεπε να τηρούνται.
(23)



Μερικά από τα χαρακτηριστικά αυτά ήταν:

- Η παγκόσμια κάλυψη, για να επιτευχθεί αυτό έπρεπε να γίνει ενσωμάτωση δορυφορικών και επίγειων συστημάτων.
- Μεγάλο φάσμα τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών όπως η φωνή, τα πολυμέσα και το διαδίκτυο
- Χρήση σε όλα τα περιβάλλοντα, δηλαδή, ασύρματο, κυψελιδικό, δορυφορικό και τοπικό.
- Συχνότητες που αγγίζουν τα 2Mbps, 144 kbps για ελεύθερη κινητικότητα, 384 kbps για περιορισμένη κινητικότητα και 2Mbps για εσωτερικό περιβάλλον γραφείου.
- Υψηλή απόδοση φάσματος

Για να επιτευχθούν τα παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι μέθοδοι πρόσβασης καναλιού στις τεχνολογίες της κινητής επικοινωνίας. Κάποιες από αυτές ήταν το cdma, cdmaone, cdma-2000 και w-cdma. (23)

2.4.2.1 CDMA

Ο όρος CDMA (*Πολλαπλή Πρόσβαση με Κώδικα*) αναφέρεται στα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στις ασύρματες επικοινωνίες δεύτερης και τρίτης γενιάς. Το CDMA είναι μια μορφή πολυπλεξίας, η οποία επιτρέπει σε πολλά σήματα να καταλαμβάνουν ένα μοναδικό κανάλι μετάδοσης, έχοντας ως αποτέλεσμα να βελτιστοποιείται η χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. (24)

Η τεχνολογία χρησιμοποιείται σε κυψελωτά τηλεφωνικά συστήματα εξαιρετικά υψηλής συχνότητας (*UHF*) στις ζώνες 800 MHz και 1.9 GHz. Το CDMA μετατρέπει αναλογικό σήμα σε ψηφιακό (ADC) σε συνδυασμό με την

τεχνολογία εξάπλωσης φάσματος. Αρχικά ο ήχος ψηφιοποιείται σε δυαδικά στοιχεία, έπειτα σύμφωνα με ένα ορισμένο πρότυπο η συχνότητα του μεταδιδόμενου σήματος μεταβάλλεται έτσι ώστε να μπορεί να παρεμποδίζεται μόνο από ένα δέκτη του οποίου η απόκριση συχνότητας προγραμματίζεται με τον ίδιο κωδικό, έτσι ακολουθεί ακριβώς μαζί με τη συχνότητα του πομπού.

Υπάρχουν τρισεκατομμύρια πιθανών κωδικών ακολουθίας συχνότητας, οι οποίες ενισχύουν την ιδιωτικότητα, καθιστώντας την κλωνοποίηση εξαιρετικά δύσκολη. (24)

2.4.2.2 CDMA ONE

Το CDMA One, επίσης γραμμένο cdmaOne, αναφέρεται στο αρχικό πρωτόκολλο ασύρματης διασύνδεσης ITU IS-95 (CDMA) που πρωτοτυποποιήθηκε το 1993. Θεωρείται δεύτερη γενιά κινητής ασύρματης τεχνολογίας (2G). (25)

Σήμερα, υπάρχουν δύο εκδόσεις του IS-95, που ονομάζονται IS-95A και IS-95B. Το πρωτόκολλο IS-95A χρησιμοποιεί φορέα 1,25 MHz, λειτουργεί σε ζώνες ραδιοσυχνοτήτων 800 MHz ή 1,9 GHz και υποστηρίζει ταχύτητες δεδομένων μέχρι 14,4 Kbps. Το IS-95B μπορεί να υποστηρίξει ταχύτητες δεδομένων έως και 115 kbps, συνδυάζοντας έως οκτώ κανάλια. (25)

2.4.2.3 CDMA2000

Το CDMA2000, επίσης γνωστό ως IMT-CDMA Multi-Carrier ή 1xRTT, είναι έκδοση πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση κώδικα (CDMA) του προτύπου IMT-2000 που αναπτύχθηκε από την Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU). Το πρότυπο CDMA2000 είναι ασύρματη τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς (3-G). (26)

Το πρώτο παγκόσμιο εμπορικό σύστημα 3G ξεκίνησε από την SK Telecom (Νότια Κορέα) τον Οκτώβριο του 2000, χρησιμοποιώντας το CDMA2000 1X. Το CDMA2000 μπορεί να υποστηρίξει κινητές επικοινωνίες δεδομένων σε ταχύτητες που κυμαίνονται από 144 Kbps έως 2 Mbps. (26)

Οι εκδόσεις έχουν αναπτυχθεί από την **Ericsson** και την **Qualcomm**. Από τον Μάρτιο του 2006, το CDMA Development Group αναφέρει περισσότερους από 250.300.000 συνδρομητές παγκοσμίως. Αυτό το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί πρόσβαση CDMA για την αποστολή φωνής και δεδομένων και σημάτων μεταξύ κινητών τηλεφώνων και πύργου κυψέλης (εικόνα 20). (26)



Το CDMA2000 ανήκει στην οικογένεια ράδιο πρόσβασης των εναέριων διεπαφών, ανταποκρίνονται στην ομάδα εναρμόνισης χειριστών για την προώθηση και τη διευκόλυνση της σύγκλισης των δικτύων τρίτης γενιάς. Είναι μια λύση δικτύου για μεταφορά δεδομένων και φωνής με υψηλή ταχύτητα και χαμηλό κόστος, εύκολο στην ανάπτυξη υπηρεσιών υψηλής απόδοσης. (27) (28)

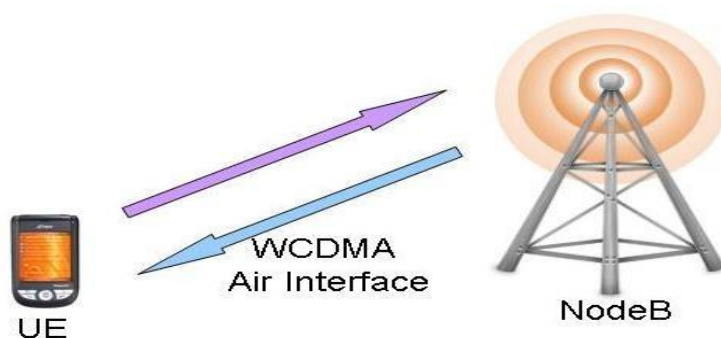
Μπορεί να υποστηρίξει την μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων και φωνής. Το CDMA2000 αντί να περιορίζετε στην δομή ενός στενού καναλιού, απλώνει το σήμα σε 1,25 MHz φάσμα και ταυτόχρονα μεταδίδει με έναν μοναδικό τρόπο, μέσω ενός RF φορέα, κωδικοποιημένο και κρυπτογραφημένο σήμα. Λόγο της αποτελεσματικής χρήσης του φάσματος για την παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών του CDMA, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σταθερές υπηρεσίες φωνής και δεδομένων. (27) (28)

Σε ένα σύστημα με αρκετούς χρήστες το CDMA προσφέρει σε κάθε χρήστη ευελιξία παροχής μεταβαλλόμενων ρυθμών εκπομπής δεδομένων. Ο ρυθμός διαμόρφωσης και το τοπικό εύρος διαμόρφωσης στενής ζώνης μπορεί να αυξηθεί από κάθε χρήστη του συστήματος, χωρίς να έχει επίπτωση στους υπόλοιπους χρήστες κατά τη διεύρυνση του. Είναι συγχρονισμένο με τον καθολικό συντονισμένο χρόνο (UCT). Ο συγχρονισμός σταθμών βάσεων πραγματοποιείται μέσω διάφορων τεχνικών

συμπεριλαμβανομένου του αυτοσυγχρονισμού, της εκπομπής ηχητικού σήματος, ή μέσω των δορυφορικών συστημάτων. . (27) (28)

2.4.2.2 WCDMA

Το W-CDMA (Πολλαπλή Πρόσβαση Κώδικα-Διαίρεση Ευρείας Ζώνης), ένα πρότυπο ITU που προέρχεται από την Πολλαπλή Πρόσβαση Κώδικα (CDMA), είναι επίσημα γνωστό ως άμεση εξάπλωση IMT-2000. Το W-CDMA είναι μια κινητή ασύρματη τεχνολογία τρίτης γενιάς (3G) που υπόσχεται πολύ υψηλότερες ταχύτητες δεδομένων σε κινητές και φορητές ασύρματες συσκευές απ' ό,τι συνήθως προσφέρεται στη σημερινή αγορά. (29)



Εικόνα 35: WCDMA

Το W-CDMA μπορεί να υποστηρίξει κινητές / φορητές επικοινωνίες φωνής, εικόνων, δεδομένων και βίντεο έως και 2 Mbps (τοπική πρόσβαση) ή 384 Kbps (πρόσβαση ευρείας περιοχής). Τα σήματα εισόδου ψηφιοποιούνται και μεταδίδονται σε κωδικοποιημένη λειτουργία φάσματος διασποράς σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Χρησιμοποιείται φορέας πλάτους 5 MHz, σε σύγκριση με φορέα πλάτους 200 KHz για στενής ζώνης CDMA. (29)

Το πρότυπο είναι ασύγχρονο και χρησιμεύει στην λειτουργία των κυβελικών δικτύων. Λόγο της πολυπλοκότητας της εφαρμογής WCDMA θα είναι μια τεχνική πρόκληση. Η πολυπλοκότητα των συστημάτων WCDMA μπορεί παρατηρηθεί από διάφορες μεριές, από την πολυπλοκότητα του κάθε ενός αλγορίθμου, την πολυπλοκότητα του συνολικού συστήματος και την

υπολογιστική πολυπλοκότητα ενός δέκτη. Οι προσομοιώσεις επιπέδου διασύνδεσης είναι πάνω από δέκα φορές πιο έντονες από τις προσομοιώσεις δεύτερης γενιάς. Πολύ χρήστες μπορούν ταυτόχρονα να μεταδίδουν δεδομένα με διαφορετικές ταχύτητες και τα ποσοστά δεδομένων μπορούν να διαφέρουν ακόμη και με το χρόνο. (30)

Ένα κύριο θετικό του WCDMA είναι ο τρόπος που χρησιμοποιεί το φάσμα με αποτέλεσμα να υπάρχει αύξηση της χωρητικότητας, αυτό προσφέρει στο ασύρματο δίκτυο την ικανότητα να χειρίζεται υψηλότερη πυκνότητα κλήσεων με χαμηλότερο κόστος. Είναι ικανό να υλοποιήσει όλες τις απαιτήσεις που περιγράφονται από την ITU, η υψηλής ποιότητας ηχητικές και τηλεοπτικές υπηρεσίες αποστέλλουν αποτελεσματικά μεγάλο όγκο στοιχείων. Η δομή του WCDMA είναι τελείως καινούρια δομή καναλιών για όλα τα υπάρχον στρώματα που βασίζονται στη τεχνολογία όπως οι πολλαπλές υπηρεσίες. (30)

Κάποιες από τις ομοιότητες μεταξύ cdma2000 και WCDMA είναι ότι έχουν και οι δυο τις βασικές έννοιες σχεδίου IS- 95 το οποίο ανήκει στην οικογένεια τεχνολογιών CDMA. Έχουν συνεπή μπροσινή και αντίστροφη σύνδεση, χρησιμοποιούν ως βασική γραμμή συνελκτικούς κώδικες, επιτυγχάνουν υψηλότερα ποσοστά στοιχείων μέσω μεταβλητού παράγοντα διαβίβασης. (30)

Οι τρόποι λειτουργίας στο WCDMA είναι δύο το **TDD**(Time division duplex) και το **FDD**(Frequency division duplex). (30)

- **To TDD** είναι μια διαδικασία που επιτρέπει την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ δύο συσκευών με την κατανομή του χρόνου. Όταν χρησιμοποιείτε TDD, για ένα μικρό χρονικό διάστημα μια συσκευή A μεταδίδει και μια συσκευή B ακούει. Αφού πραγματοποιηθεί η μετάδοση, ο ρόλος των συσκευών αντιστρέφεται έτσι ώστε η συσκευή A να γίνει δέκτης και η συσκευή B να μετατραπεί σε πομπό. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται, με αποτέλεσμα τα δεδομένα να εμφανίζονται ταυτόχρονα και στις δύο κατευθύνσεις.

- **Το σύστημα WCDMA FDD** είναι κατάλληλο για εσωτερικούς χώρους και συστήματα δεδομένων ευρείας ζώνης. Το FDD είναι ένα κανάλι επικοινωνίας που επιτρέπει τη μετάδοση πληροφοριών δύο κατευθύνσεων μέσω ξεχωριστών ζωνών. Το WCDMA (FDD) καταφέρει την ταυτόχρονη αμφίδρομη επικοινωνία συνδυάζοντας δύο ραδιοφωνικά κανάλια 5 MHz. Η FDD εκχωρεί τον πομπό και το δέκτη σε διαφορετικά κανάλια επικοινωνίας. Μία συχνότητα χρησιμοποιείται για επικοινωνία προς μία κατεύθυνση και η άλλη συχνότητα επικοινωνεί προς την αντίθετη κατεύθυνση.

2.4.3 Άλμα προς το 4G

Μετά από βελτιώσεις που πραγματοποιήθηκαν στο UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) δημιουργήθηκε το HSPA (*High-Speed Packet Access*) και το HSDPA (*High-speed Downlink Packet Access*), τα οποία καθορίστηκαν από το 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*). Το HSPA και το HSDPA, αποκαλούνται επίσης και ως 3.5G, τα οποία επιτρέπουν δίκτυα βασισμένα στο UMTS να έχουν υψηλότερες ταχύτητες ακόμα και χωρητικότητα. (31) (32) (33)

Το HSPA είναι κατάλληλο για περιήγηση στο διαδίκτυο μέσω κινητού, για λήψης και για VoIP (*Voice over Internet Protocol*) δηλαδή να μπορεί ο χρήστης να πραγματοποιεί φωνητικές κλήσεις μέσω μια ευρυζωνική σύνδεση στο διαδίκτυο αντί για μια κανονική (ή αναλογική) τηλεφωνική γραμμή. Επίσης έχει βασικό ρόλο στην παροχή δυνατοτήτων κινητής ευρυζωνικότητας σε ασύρματους μεταφορείς. Καθώς οι περισσότεροι χρήστες μετακινούνται από τα κινητά τηλέφωνα χαμηλού επιπέδου σε πιο προηγμένα smartphones, οι ασύρματοι χειριστές δεν επικεντρώνονται πλέον μόνο στις υπηρεσίες κλήσεων και κειμένου. Επομένως προσφέρουν σχέδια δεδομένων που διαθέτουν ευρύ φάσμα υπηρεσιών πολυμέσων, καθιστώντας το HSPA πιο ουσιαστικό και χρήσιμο. (31) (32) (33)

Αργότερα ήρθε το HSPA+ όπου είναι η κορυφή του βουνού με τεχνολογία 3G. Μια εκρηκτική έκδοση 3G με ταχύτητες συγκρίσιμες με τα νεότερα δίκτυα LTE (τα οποία θα τα αναλύσουμε στο επόμενο κεφάλαιο) αλλά έχει διαφορετική εναέρια διεπαφή. Το HSPA + διαθέτει βελτιωμένη κεραία πολλαπλών εισόδων πολλαπλών εισόδων (MIMO) και δίκτυο ασύρματης πρόσβασης (RAN), που το καθιστά 11 φορές γρηγορότερο από την προηγούμενη τεχνολογία HSPA. (31) (32) (33)



Εικόνα 19: HSPA

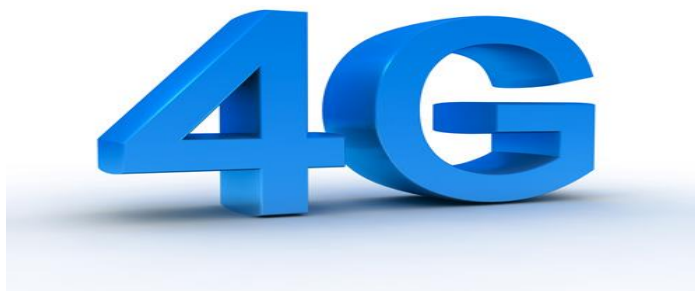
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Εισαγωγή στο 4G

Το σύστημα 4G σχεδιάστηκε αρχικά από την Υπηρεσία Προηγμένων Ερευνητικών Προγραμμάτων Άμυνας (DARPA), όπου επέλεξε την κατανομημένη αρχιτεκτονική και το πρωτοποριακό πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP) και πίστευε σε πρώιμο στάδιο της δικτύωσης peer-to-peer, δηλαδή κάθε κινητή συσκευή θα ήταν τόσο πομποδέκτης όσο και δρομολογητής για άλλες συσκευές στο δίκτυο, εξαλείφοντας την αδυναμία των ακτίνων-και-πλήμνης των κυψελοειδών συστημάτων 2G και 3G. (34)

Από το σύστημα 2.5G GPRS, τα κυψελοειδή συστήματα έχουν παράσχει δύο υποδομές: κόμβους μεταγωγής πακέτων για υπηρεσίες

δεδομένων και κόμβους μεταγωγής κυκλώματος για φωνητικές κλήσεις. Στα συστήματα 4G, η υποδομή μεταγωγής κυκλωμάτων εγκαταλείπεται και παρέχεται μόνο ένα δίκτυο μεταγωγής πακέτων, ενώ τα συστήματα 2.5G και 3G απαιτούν τόσο κόμβους δικτύου όσο και πακέτα μεταγωγής κυκλωμάτων, δηλαδή δυο υποδομές παράλληλα. Αυτό σημαίνει τι σε 4G, οι παραδοσιακές φωνητικές κλήσεις αντικαθίστανται από IP τηλεφωνία. (34)



Εικόνα 20: 4G

3.1.1 Ανάγκη για 4G

Οι τεχνολογίες που χαρακτηρίζουν την τέταρτη γενιά είναι η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU), η οποία εξέδωσε ένα δελτίου τύπου τον Οκτώβριο του 2010, δηλώνοντας ότι τα LTE-Advanced (Long Term Evolution) και WiMAX2 πληρούν τις προϋποθέσεις για 4G. Τα θέματα που αναφέρθηκαν ήταν η κινητικότητα και η διακίνηση. (35) (36)

Στην τέταρτη γενιά έχουμε σαφέστερες φωνητικές κλήσεις και μπορεί να πραγματοποιηθεί μεγαλύτερη μεταφορά δεδομένων. Επιτρέπει την χρήση δεδομένων για την περιήγηση στο διαδίκτυο, καθώς και την ικανότητα ο χρήστης να μπορεί να παίξει online παιχνίδια κ.α. Η πρόσβαση στο διαδίκτυο με χρήση υψηλής ταχύτητας. E-mail ή γενική περιήγηση στο web είναι διαθέσιμη. Υπηρεσίες αλληλεπιδραστικών υπηρεσιών εντάσεως δεδομένων,

υπηρεσίες όπως το να φορτωθεί αμέσως η δορυφορική χαρτογράφηση μέσω διαδικτύου. (35) (36) (37)

Οι συνδρομητές 4G πολλαπλών χρηστών τηλεδιάσκεψης μπορούν να δουν και να μιλήσουν σε περισσότερα από ένα άτομα. Οι υπηρεσίες που βασίζονται σε τοποθεσίες, δίνουν την δυνατότητα στο χρήστη να δει ανά πάσα στιγμή την πρόγνωση του καιρού ή της συνθήκες κυκλοφορίας στους δρόμους σε πραγματικό χρόνο. Να επιτρέπει στον χρήστη να βρίσκει και να βλέπει κοντινές επιχειρήσεις ή φίλους ενώ επικοινωνεί μαζί τους. Εξέλιξη της αρχιτεκτονικής κυψελοειδούς δικτύου για να ταιριάζει σε υψηλά επίπεδα κινητικότητας και δεδομένων με μεταγωγή πακέτων. Ανάπτυξη τις τεχνολογίες IMT-2000 CDMA για αποτελεσματικότερη χρήση του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων. (35) (36) (37)

3.1.2 4G έναντι 3G

Οι νέες γενιές συνήθως φέρνουν νέες βασικές τεχνολογίες, μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου για περισσότερα δεδομένα ανά χρήστη και δυνατότητες καλύτερης ποιότητας φωνής. Οι νεότερες γενιές τηλεφώνων έχουν σχεδιαστεί για να είναι συμβατές με παλιότερες γενιές, έτσι ένα τηλέφωνο 4G μπορεί να επικοινωνεί μέσω δικτύου 3G ή ακόμα και 2G. Οι ταχύτητες στην τέταρτη γενιά βελτιώθηκαν αρκετά οπότε οι μέσες ταχύτητες θα είναι διπλάσιες από αυτές που ισχύουν. Οι ταχύτητες αποστολής δεδομένων διπλασιάζονται, αυτό πραγματοποιείται λόγω ότι έχουμε επαρκή τμήματα φάσματος. (38)

Αν ένας χρήστης χρησιμοποιεί το κινητό του τηλέφωνο για φωνητικές κλήσης, δεν χρειάζεται τα δεδομένα 4G. Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομεί χρήματα και επίσης εξοικονομεί διάρκεια ζωής της μπαταρίας του κινητού του τηλεφώνου, επιλέγοντας μια συσκευή χωρίς το δίκτυο υψηλής ταχύτητας. Υπάρχουν περιοχές που δεν έχουν κάλυψη 4G, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει πλεονέκτημα σε ένα τηλέφωνο τέταρτης γενιάς. Στην πραγματικότητα θα υπάρχει πρόβλημα με την μπαταρία αγοράζοντας ένα LTE τηλέφωνο και αν δεν απενεργοποιηθεί το 4G LTE καθώς μια αναζήτηση από το ραδιόφωνο για ανύπαρκτο σήμα θα αποβάλει γρήγορα της μπαταρία. (38) (39)

Μερικές διακριτές διαφορές μεταξύ των δυο γενεών είναι (40) :

- **Συχνότητα ζώνης:** Υπάρχει μια διακύμανση στη ζώνη συχνοτήτων μεταξύ 3G και 4G ασύρματου Internet. Όταν το 3G παρέχει οπουδήποτε από 1,8GHz έως 2,5GHz, μια σύνδεση 4G υποστηρίζει ένα εύρος που ξεκινά από 2GHz και επεκτείνεται σε 8GHz.
- **Μεταφορά δεδομένων:** Υπάρχει μεγάλη διαφορά στον ρυθμό δεδομένων μεταξύ 3G και 4G, γεγονός που εξηγεί γιατί το 4G είναι ιδανικό για εφαρμογές επόμενης γενιάς. Το 3G παρέχει έως και 2 Mbps (megabytes ανά δευτερόλεπτο), όπου το 4G μπορεί να υποστηρίξει έως και 20 Mbps και μερικές φορές περισσότερο.
- **Προκαθορισμένη διόρθωση σφαλμάτων:** Το FEC αναφέρεται στην κωδικοποίηση καναλιών, η οποία είναι μια μορφή ελέγχου σφαλμάτων για τη μετάδοση δεδομένων. Το ασύρματο Internet 3G προσφέρει στρόβιλο-κώδικες που είναι ένας αποδοτικός αποκωδικοποιητής για τον υπολογισμό σημάτων από πολλαπλές διαδρομές. Το 4G προσφέρει κωδικοποιημένους κωδικούς οι οποίοι αποτελούν μια πιο προηγμένη μορφή διόρθωσης σφαλμάτων για μετάδοση δεδομένων υψηλής ταχύτητας.
- **Εναλλαγή:** Το 3G χρησιμοποιεί συνδυασμό διακοπών κυκλώματος και πακέτων, όπου η 4G προσφέρει αποκλειστικά μεταγωγή πακέτων. Με την εναλλαγή πακέτων, ο δρομολογητής καθορίζει τη διαδρομή για κάθε πακέτο, δίνοντάς του εντολή να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε κομμάτι που είναι διαθέσιμο για να φτάσει στον προορισμό. Αυτό είναι πολύ πιο γρήγορο από την εναλλαγή κυκλώματος που βασίζεται σε μία διαδρομή, ενώ αποκλείει όλες τις άλλες δυνατότητες.

3.1.3 Στόχοι της τέταρτης γενιάς.

Στόχοι της τέταρτης γενιάς είναι η ικανότητα να χειρίζεται ένα πολύ υψηλό επίπεδο κυκλοφορίας πολυμέσων. Η Προηγμένη διαχείριση της

κινητικότητας (περιλαμβάνει τη διαχείριση θέσης και τη διαχείριση των χειραγωγών). Διαφοροποιημένη υποστήριξη ραδιοφωνικής πρόσβασης (αφορά υποστήριξη για χαρακτηριστικά όπως διάφορα επίπεδα QoS και ταχύτητες μετάδοσης, χωρητικότητα ανερχόμενης ζεύξης και κατερχόμενης ζεύξης). (37)

Υποστήριξη για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών δηλαδή η δομή υποστήριξης για ασύρματες υπηρεσίες ASP (Application Service Providers), οι οποίοι είναι εξωτερικοί παροχής υπηρεσιών υψηλού επιπέδου παρόμοιων με τις ASP στο ενσύρματο διαδίκτυο σήμερα. Ομοιογενής εξυπηρέτηση δηλαδή η παράδοση των δεδομένων πρέπει να είναι ομαλή και να μην επηρεάζεται από τυχόν μεταβάσεις στην κατάσταση του χρήστη, όπως αδιάλειπτο διαδίκτυο ,τερματικό και περιεχόμενο. (37)

3.2 Αρχιτεκτονική

Η αρχιτεκτονική της τέταρτης γενιάς μοιάζει με την αρχιτεκτονική της τρίτης γενιάς αλλά υπάρχουν μερικές σημαντικές αλλαγές. Η δυνατότητα μεταγωγής στο κύκλωμα 4G είναι περιττή με αποτέλεσμα να αφαιρεθεί. Το MSC (Mobile Switching Center) για την εξυπηρέτηση φωνητικής κίνησης χρησιμοποιούσε ένα παλαιού τύπου 2G το οποίο απορρίπτεται και όλη η κίνηση φωνής αντιμετωπίζεται ως πακέτο δεδομένων στο σταθμό βάσης. (37)

Η προς τα πίσω συμβατότητα (backward compatibility) διατηρείται με την κατάτμηση των δεδομένων φωνής σε πακέτα, η δρομολόγηση τους πραγματοποιείται μέσω της ραχοκοκαλιάς IP κάνοντας χρήση της τεχνολογίας VOIP (Voice Over IP). Μια πύλη VOIP χρησιμοποιείται για τη σύνδεση με το Δημόσιο Τηλεφωνικό Δίκτυο Μεταγωγής (PSTN) ή Ψηφιακό Δίκτυο Ολοκληρωμένων Υπηρεσιών (ISDN). (37)

Μια άλλη σημαντική πρόοδος που κάνει η 4G είναι η ενσωμάτωση των ασύρματων LAN στο συνολικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Η κατάσταση θα είναι παρόμοια με αυτή σήμερα με τα ενσύρματα δίκτυα LAN - η γραμμή

μεταξύ ενσύρματου WAN και ενσύρματου LAN έχει θολώσει με τη χρήση των ίδιων τεχνολογιών και στα δύο (π.χ. ATM). Παρομοίως, αναπτύσσονται νέα πρότυπα διεπαφής για ασύρματα δίκτυα υψηλής ταχύτητας σε συνδυασμό με αυτά για το κυψελοειδές δίκτυο 4G, το οποίο επιτρέπει στα ασύρματα δίκτυα LAN να διασυνδεθούν με τη ραχοκοκαλιά IP 4G απλά μέσω ενσωματωμένων δρομολογητών με ασύρματη πρόσβαση. (37)

3.2.1 Σχεδιασμός

Η δημιουργία σύνδεσης 4G εξαρτάται από δύο πράγματα. Ένα δίκτυο που μπορεί να υποστηρίξει τις απαραίτητες ταχύτητες και μια συσκευή που μπορεί να συνδεθεί με αυτό το δίκτυο και να κατεβάσει πληροφορίες σε αρκετά υψηλή ταχύτητα. Ακριβώς επειδή ένα τηλέφωνο έχει συνδεσιμότητα 4G LTE μέσα, δεν σημαίνει ότι μπορείτε να πάρετε τις ταχύτητες που θέλετε, με τον ίδιο τρόπο που αγοράζοντας ένα αυτοκίνητο που μπορεί να οδηγήσει 200 mph δεν σημαίνει ότι μπορείτε να πάτε αυτό γρήγορα σε ένα 55-mph αυτοκινητόδρομο. (41)

3.2.2 IMT Advanced

Το Advanced International Mobile Telecommunications (IMT-Advanced) είναι ένα πρότυπο αλλά και σύστημα που δημιουργήθηκε από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU), με σκοπό τη δημιουργία, λειτουργία και διαχείριση κινητών δικτύων επόμενης γενιάς και επικοινωνιών μέσω διαδικτύου. Προσφέρει υπηρεσίες δεδομένων κινητού και ενσωματώνεται σε μεγάλο βαθμό. Οι δυνατότητες του IMT που υπερβαίνουν τις δυνατότητες του IMT-2000. Τα προηγμένα συστήματα IMT υποστηρίζουν εφαρμογές χαμηλής έως υψηλής κινητικότητας και ευρύ φάσμα ρυθμών δεδομένων σύμφωνα με τις απαιτήσεις χρηστών και υπηρεσιών σε περιβάλλον πολλαπλών χρηστών. (42)

Η IMT Advanced διαθέτει επίσης δυνατότητες για εφαρμογές πολυμέσων υψηλής ποιότητας σε ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών και πλατφορμών, παρέχοντας σημαντική βελτίωση στις επιδόσεις και την ποιότητα των υπηρεσιών (42) (43)



Εικόνα 21: Λογότυπο IMT

Προτείνει τη λειτουργία ενός ολόκληρου δικτύου επικοινωνίας το οποίο βασίζεται σε IP με μηχανισμό δικτύου μεταγωγής πακέτων. Παρέχει υποστήριξη για όλα τα κινητά, σταθερά, παγκόσμια δια λειτουργικότητα για πρόσβαση σε μικροκύματα (Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMAX) και άλλους μεγάλους τύπους δικτύου. (42) (43)

Το IMT-Advanced στοχεύει στην παροχή δυνατότητας σύνδεσης υψηλής ταχύτητας σε σταθερούς η κινούμενους χρήστες με ταχύτητες από 100 Mbits έως και 1 Gbps αντίστοιχα. Παρέχει επίσης παγκόσμια υποστήριξη, συνδεσιμότητα και υπηρεσίες προαγωγής για κινητές συσκευές και χρήστες, αδιάλειπτη παροχή υψηλής ποιότητας εφαρμογών πολυμέσων. (42) (43)

3.3 Τεχνολογίες τέταρτης γενιάς επικοινωνίας

Το 4G αφορά μόνο τη σύγκλιση. Σύγκλιση ενσύρματων και ασύρματων δικτύων, ασύρματες τεχνολογίες όπως GSM, ασύρματο LAN και Bluetooth καθώς και υπολογιστές, ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης, τεχνολογία επικοινωνιών και πολλά άλλα. Το 4G είναι ένα κινητό πολυμέσα, οπουδήποτε κι αν βρίσκετε ο χρήστης, παγκόσμια υποστήριξη κινητικότητας, ολοκληρωμένη ασύρματη λύση και προσαρμοσμένο σύστημα δικτύου προσωπικών υπηρεσιών. (44)

3.3.1 LTE

Το LTE (Long-Term Evolution) είναι πρότυπο για την ασύρματη επικοινωνία υψηλής ταχύτητας για συσκευές και τερματικά δεδομένων, βασίζεται στις τεχνολογίες GSM / EDGE και UMTS / HSPA. Χρησιμοποιώντας μια διαφορετική διεπαφή ραδιοφώνου και σε με συνδυασμό τις βελτιώσεις του κεντρικού δικτύου καταφέρνει την αύξηση της χωρητικότητας και της ταχύτητας. Το πρότυπο αυτό είναι η αναβάθμιση για φορείς με δίκτυα GSM / UMTS και δίκτυα CDMA2000. (45)



Εικόνα 22: Λογότυπο LTE

Το LTE, στις τρέχουσες προδιαγραφές του, επιτρέπει στους μεταφορείς να το αναπτύξουν σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων εύρους ζώνης. Στην ουσία, ένα μπλοκ εύρους ζώνης είναι πόσο χώρο διαθέτει ένας φορέας σε ένα δίκτυο. Μια μεγάλη διαφορά σε σχέση με άλλες τεχνολογίες της τέταρτης γενιάς είναι οι ταχύτητες φόρτωσης. Η διαδικασία για το ανέβασμα φωτογραφιών ή βίντεο με το LTE είναι πολύ καλύτερες από του HSPA. (44) (45)

3.3.1.1 Η αρχιτεκτονική του LTE

Η αρχιτεκτονική αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία όπου εν συνέχεια τα αναλύουμε ένα-ένα.

- Τον εξοπλισμό του χρήστη (User Equipment)
- Το Εξελιγμένο δίκτυο ραδιοεπικοινωνίας επίγειας UMTS (E-UTRAN)
- Ο εξελιγμένος πυρήνας πακέτων (EPC)

Ο εξελεγμένος πυρήνας πακέτων επικοινωνεί με δίκτυα πακέτων δεδομένων στον έξω κόσμο, όπως τα ιδιωτικά εταιρικά δίκτυα, το διαδίκτυο ή το υποσύστημα πολυμέσων IP. (46)

Εξοπλισμός του χρήστη

Η εσωτερική αρχιτεκτονική του εξοπλισμού χρήστη για την LTE τεχνολογία είναι παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται από τα UMTS και GSM, το οποίο στην πραγματικότητα είναι ένας Κινητός Εξοπλισμός (Mobile Equipment) και αποτελείται από τις παρακάτω σημαντικές ενότητες (46) :

- Κινητό τερματικό (Mobile Termination) : χειρίζονται τις λειτουργίες επικοινωνίας.
- Εξοπλισμός τερματικού (Terminal Equipment) : Τερματίζει ροές δεδομένων.
- Παγκόσμια κάρτα ολοκληρωμένου κυκλώματος (Universal Integrated Circuit Card) : Γνωστή σε όλους κάρτα SIM για εξοπλισμό LTE. Εκτελεί την εφαρμογή Universal Subscriber Identity Module (USIM). Μια USIM όπως και η κάρτα SIM 3G αποθηκεύει δεδομένα για τον χρήστη, τα οποία είναι παρόμοια με την κάρτα της τρίτης γενιάς.

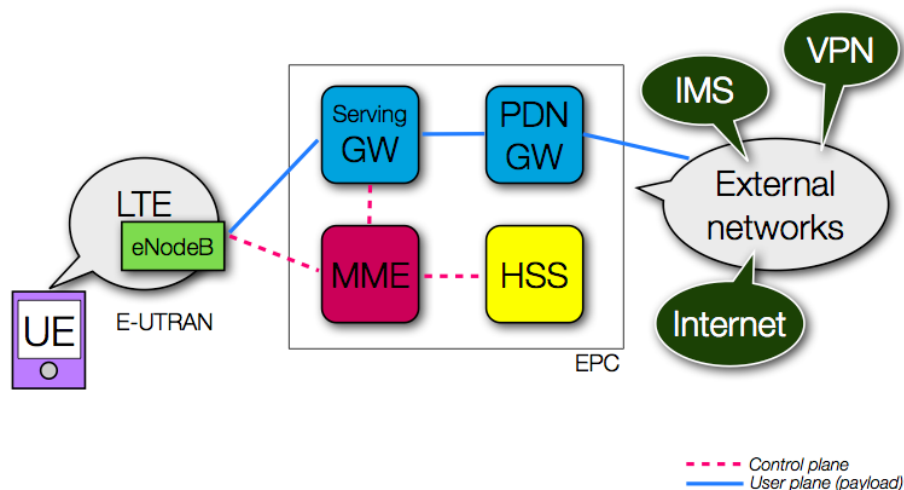
Το Εξελεγμένο δίκτυο ραδιοεπικοινωνίας επίγειας UMTS (E-UTRAN)

Το E-UTRAN χειρίζεται τις ραδιοεπικοινωνίες μεταξύ του κινητού και του εξελεγμένου πυρήνα πακέτων και αποτελείται από ένα εξάρτημα, τους εξελεγμένους σταθμούς βάσης, που ονομάζονται eNodeB ή eNB. Κάθε eNB είναι ένας σταθμός βάσης που ελέγχει τα κινητά τηλέφωνα σε ένα ή περισσότερα κελιά. Ο σταθμός βάσης που επικοινωνεί με κινητό είναι γνωστός ως το eNB υπηρεσίας. (46)

Το LTE επικοινωνεί με έναν μόνο σταθμό βάσης και ένα κελί κάθε φορά και υπάρχουν δύο βασικές λειτουργίες που υποστηρίζονται από το eNB (46):

- Το eNB ελέγχει τη λειτουργία χαμηλού επιπέδου όλων των κινητών του τηλεφώνων, αποστέλλοντάς τους μηνύματα σηματοδότησης όπως εντολές παράδοσης.
- Το eNB αποστέλλει και λαμβάνει ραδιοφωνικές μεταδόσεις σε όλα τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιώντας τις λειτουργίες αναλογικής και ψηφιακής επεξεργασίας σημάτων της εναέριας διεπαφής LTE.

Ο εξελιγμένος πυρήνας πακέτων (EPC)



Εικόνα 23: Αρχιτεκτονική του EPC

Στην εικόνα 25 απεικονίζεται η αρχιτεκτονική του EPC για την οποία παρακάτω υπάρχει μια μικρή περιγραφή του κάθε στοιχείου που υπάρχουν στην εικόνα. (46)

- ✚ Το στοιχείο Συνδρομητή κεντρικού υπολογιστή (Home Subscriber Server , HSS) μεταφέρθηκε από το UMTS και το GSM και είναι μια κεντρική βάση δεδομένων που περιέχει δεδομένα για όλους τους χρήστες δικτύου. (46)
- ✚ Η πύλη δικτύου πακέτων δεδομένων (Packet Data Network , PDN) (Gateway , P-GW) επικοινωνεί με τον εξωτερικό κόσμο. (46)

- ✚ Η οντότητα διαχείρισης κινητικότητας (mobility management entity , MME) ελέγχει τη λειτουργία υψηλού επιπέδου του κινητού τηλεφώνου μέσω μηνυμάτων σηματοδότησης και κεντρικού διακομιστή συνδρομητών (HSS). (46)
- ✚ Η λειτουργία των Κανόνων Ελέγχου Πολιτικής και Φόρτισης (PCRF) είναι ένα στοιχείο το οποίο δεν φαίνεται στην εικόνα, αλλά ευθύνεται για τη λήψη αποφάσεων ελέγχου πολιτικής καθώς και για τον έλεγχο των λειτουργιών χρέωσης που βασίζονται στη ροή στη λειτουργία επιβολής ελέγχου πολιτικής (Policy Control Enforcement Function , PCEF), που βρίσκεται στο P-GW. (46)

3.3.1.2 Ασφάλεια

Βασικά στοιχεία ασφάλειας LTE είναι ότι κατά την ανάπτυξη των στοιχείων ασφάλειας LTE υπήρχαν αρκετές βασικές απαιτήσεις που λαμβάνονταν υπόψη (47):

- Η ασφάλεια LTE έπρεπε να παρέχει τουλάχιστον το ίδιο επίπεδο ασφάλειας που παρέχεται από τις υπηρεσίες 3G.
- Τα μέτρα ασφαλείας LTE δεν πρέπει να επηρεάζουν την ευκολία των χρηστών.
- Τα μέτρα ασφάλειας LTE που λαμβάνονται θα πρέπει να παρέχουν άμυνα από επιθέσεις από το Διαδίκτυο.
- Οι λειτουργίες ασφαλείας που παρέχει η LTE δεν πρέπει να επηρεάζουν τη μετάβαση από τις υπάρχουσες υπηρεσίες 3G σε LTE.
- Θα πρέπει να εξακολουθεί να χρησιμοποιείται η USIM που χρησιμοποιείται σήμερα για υπηρεσίες 3G.

Προκειμένου να διασφαλιστούν οι απαιτήσεις αυτές για την ασφάλεια LTE, ήταν απαραίτητο να προστεθούν περαιτέρω μέτρα σε όλους τους τομείς του συστήματος από το UE έως το κεντρικό δίκτυο. (47)

Οι κύριες αλλαγές που απαιτούνται για την εφαρμογή του απαιτούμενου επιπέδου ασφαλείας LTE συνοψίζονται παρακάτω (47):

- Έχει εισαχθεί ένα νέο σύστημα ιεραρχικού κλειδιού στο οποίο τα κλειδιά μπορούν να αλλάζουν για διαφορετικούς σκοπούς.
- Οι λειτουργίες ασφάλειας LTE για το Non-Access Stratum (NAS) και το Stratum Access (AS) έχουν διαχωριστεί. Οι λειτουργίες NAS είναι εκείνες οι λειτουργίες για τις οποίες η επεξεργασία πραγματοποιείται μεταξύ του κεντρικού δικτύου και του κινητού τερματικού ή του UE. Οι λειτουργίες AS περιλαμβάνουν τις επικοινωνίες μεταξύ της άκρης του δικτύου, δηλαδή του εξελισσόμενου κόμβου B, του eNB και του UE.
- Η έννοια της μελλοντικής ασφάλειας έχει εισαχθεί για την ασφάλεια LTE.
- Λειτουργίες ασφάλειας LTE έχουν εισαχθεί μεταξύ του υπάρχοντος δικτύου 3G και του δικτύου LTE.

Ένα από τα βασικά στοιχεία της ασφάλειας GSM, UMTS και τώρα LTE ήταν η έννοια της υπομονάδας ταυτότητας συνδρομητή, SIM. Αυτή η κάρτα μεταφέρει την ταυτότητα του συνδρομητή με κρυπτογραφημένο τρόπο και αυτό θα μπορούσε να επιτρέψει στον συνδρομητή να διατηρήσει την ταυτότητά του κατά τη μεταφορά ή την αναβάθμιση των τηλεφώνων. (47)

Με τη μορφή μετάβασης από 2G - GSM σε 3G - UMTS, η ιδέα της SIM αναβαθμίστηκε και χρησιμοποιήθηκε μια USIM - Μονάδα Ταυτότητας Συνδρομητή UMTS. Αυτό έδωσε περισσότερη λειτουργικότητα, είχε μεγαλύτερη μνήμη κλπ. Για το LTE, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο το USIM - οι παλαιότερες κάρτες SIM δεν είναι συμβατές και δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν. (47)

3.3.1.3 Επικοινωνία D2D σε LTE-Advanced.

Το 3GPP Rel.12 του προτύπου LTE-Advanced καθορίζει μια γενική ιδέα των υπηρεσιών που βασίζονται στην εγγύτητα (*proximity-based services*, *ProSe*) που επιτρέπει σε φυσικά κλειστές συσκευές να ανακαλύψουν τον εαυτό τους και να επικοινωνήσουν μέσω απευθείας συνδέσεων. Το ProSe προορίζεται για επικοινωνία δημόσιας ασφάλειας καθώς και εμπορικές

εφαρμογές, αν και η έμφαση στην Rel. είναι μόνο για τη δημόσια ασφάλεια. Η ανακάλυψη D2D και η επικοινωνία D2D ορίζονται ως υποστήριξη για ProSe.

(47)

Ένα πολύ απλοποιημένο μοντέλο επικοινωνίας D2D που βασίζεται στην αρχιτεκτονική αναφοράς ProSe (περίπτωση μη περιαγωγής). Το BS ή το eNB, όπως ονομάζεται στο 3GPP, συνδεδεμένο με τον Evolved Packet Core (EPC), μπορεί να επικοινωνήσει με έναν εξοπλισμό χρήστη (User Equipment, UE) που χρησιμοποιεί απευθείας επικοινωνία μέσω κυψέλης. Επιπρόσθετα, οι UE μπορούν να επικοινωνούν μέσω απευθείας συνδέσεων D2D. (47)

Όσον αφορά τη δομή του καναλιού, η άμεση σύνδεση μεταξύ δύο UEs ονομάζεται πλάγια όψη η οποία μπορεί να λειτουργήσει με αμφίδρομη διαίρεση συχνότητας ή διπλό διαχωρισμό χρόνου. Οι UE για την τροφοδοσία τους αρχικά συγχρονίζονται με το eNB ή άλλους UEs. Για το σκοπό αυτό, πολλά σήματα συγχρονισμού ορίζονται στο 3GPP Rel. διάφορες εφαρμογές ProSe (APPs) μπορούν να εγκατασταθούν σε UE και μπορούν να ανταλλάξουν δεδομένα με τα APP ProSe σε έναν απομακρυσμένο διακομιστή ProSe APP. (47)

Όταν ένα UE θέλει να επικοινωνήσει με τον εαυτό του, η ProSe APP ζητά κωδικούς έκφρασης του ίδιου και από το διακομιστή. Εναλλακτικά, ένα UE μπορεί να αποκτήσει τους κωδικούς έκφρασης από τη συνάρτηση εγγύτητας στο eNB. Μετά την ανάκτηση των κωδικών έκφρασης, το UE ξεκινά τη διαδικασία ανακάλυψης ανακοινώνοντας τον δικό του κωδικό έκφρασης ή ερωτώντας εάν υπάρχει ο στόχος UE (αναγνωρισμένος από τον ανακτημένο κωδικό έκφρασης). Μετά την ανακάλυψη της συσκευής, οι UE μπορούν να επικοινωνούν απευθείας. (47)

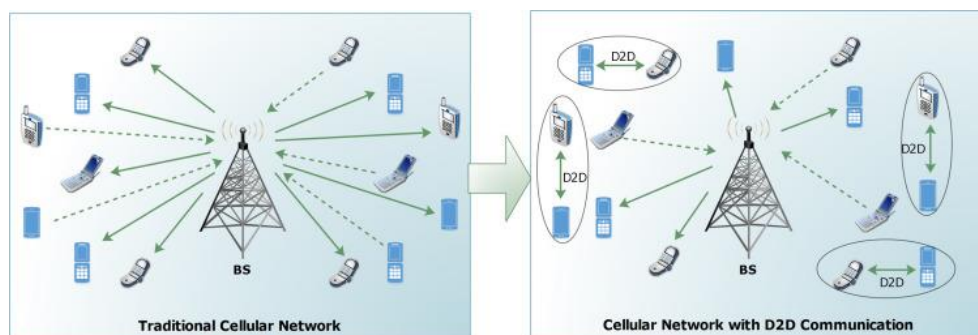
Όσον αφορά τη εναέρια διεπαφή για το σήμα D2D και τη μετάδοση δεδομένων, οι πόροι κατανέμονται είτε από το eNB είτε από τους UEs τυχαία από μια προκαθορισμένη ομάδα πόρων. Η επικοινωνία D2D λαμβάνει χώρα με τη χρήση επικοινωνίας ανοιχτού βρόχου στο επίπεδο, δηλαδή ένας δέκτης D2D δεν αποστέλλει κανένα σχόλιο (συμπεριλαμβανομένων των

πληροφοριών κατάστασης καναλιών και επιβεβαιώσεων) σε έναν πομπό D2D . (47)

3.3.1.3.1 Αρχιτεκτονική D2D

Όσον αφορά τη χρήση του ραδιοφάσματος, η επικοινωνία D2D κατατάσσεται κυρίως σε δύο τύπους. Αυτοί είναι inband και outband.

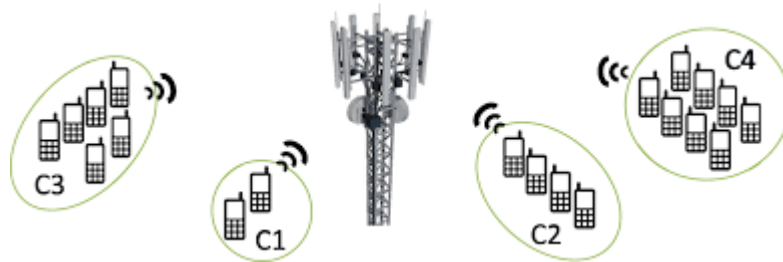
- **Επικοινωνία Inband D2D**, η κυψελοειδής επικοινωνία και η επικοινωνία D2D χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα που έχει χορηγηθεί στον κυτταρικό χειριστή. Το αδειοδοτημένο φάσμα μπορεί είτε να χωριστεί σε τμήματα που δεν αλληλεπικαλύπτονται για D2D και κυψελοειδή επικοινωνία αντίστοιχα (overlay) ή μπορεί να μην διαιρούνται σε όλα (underlay). Το σύστημα overlay είναι ευκολότερο να εφαρμοστεί, αλλά το underlay οδηγεί σε ευκαιριακές και συνεπώς πιο αποτελεσματική χρήση του ραδιοφάσματος και μεγαλύτερο κέρδος για τους φορείς εκμετάλλευσης. (48)



Εικόνα 24: Inband D2D

- **Επικοινωνία Outband D2D**, η επικοινωνία D2D χρησιμοποιεί μη εξουσιοδοτημένο φάσμα όπου δεν υπάρχει κυτταρική επικοινωνία. Βοηθά στην εξάλειψη της παρεμβολής μεταξύ D2D και κυψελοειδών χρηστών, αν και εξακολουθούν να υπάρχουν παρεμβολές από άλλες ηλεκτρονικές συσκευές (όπως Bluetooth και WiFi) που λειτουργούν σε αυτή τη μπάντα. Στην πραγματικότητα, οι χειριστές μπορούν να ελέγχουν τις παρεμβολές όταν χρησιμοποιούν αδειοδοτημένο φάσμα, αλλά αυτό είναι ανέφικτο για το σύστημα εξωτερικών ζωνών. Η

τεχνολογία outband χωρίζεται περαιτέρω σε ελεγχόμενους και αυτόνομους τύπους. Στην πρώτη, η ραδιοφωνική διεπαφή για την επικοινωνία D2D ελέγχεται από το κυψελοειδές δίκτυο, ενώ στο τελευταίο το κυψελοειδές δίκτυο ελέγχει μόνο την κυψελοειδή επικοινωνία που αφήνει τον έλεγχο της επικοινωνίας D2D στους χρήστες. (48)



Εικόνα 25: Outband D2D

3.3.2 UMB To Ultra

Mobile Broadband (UMB), το οποίο παρέχει ένα πρότυπο για φορητές συσκευές και εφαρμογές νέας γενιάς και γι 'αυτό αναφέρεται επίσης ως τεχνολογία ασύρματου Internet 4G. Αυτός ο τύπος ασύρματου Internet 4G χρησιμοποιεί υψηλό εύρος ζώνης και χαμηλή καθυστέρηση μέσω δικτύου TCP / IP που παρέχει προηγμένες υπηρεσίες με σκοπό τη ροή βίντεο και το online gaming για τεχνολογία κινητών συσκευών. Είναι επίσης μια σύνδεση βασισμένη σε πακέτα που μεταφέρει και φωνητικές και διαδικτυακές μεταδόσεις. . (48)



Εικόνα 26: Λογότυπο UMB

Το UMB διαθέτει την ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA) ως μέθοδο αεροπορικής προσπέλασης, η οποία είναι μια τεράστια βελτίωση σε σχέση με την προγενέστερη τεχνολογία CDMA. Δεν απαιτεί πλέον μια συσκευή να είναι στη γραμμή οπτικής επαφής για να παρέχει συνδεσιμότητα, διευρύνοντας έτσι το ασύρματο σύστημα πρόσβασης. Το OFDMA είναι ανθεκτικό στις παρεμβολές, όπως το CDMA, αλλά είναι πιο ανθεκτικό και αποτελεσματικό. (48)

Το 2008, η UMB ακυρώθηκε επειδή οι χορηγοί της ευνοούσαν το Long Term Evolution (LTE), ένα έργο 3GPP. Το LTE είναι ο διάδοχος των τεχνολογιών δικτύων του Παγκόσμιου Συστήματος για τις Κινητές Επικοινωνίες (GSM). Το 3GPP πρόσθεσε την υποστήριξη άλλων τεχνολογιών στο LTE και με αυτές οι εξελίξεις έχουν καταστήσει την UMB περιττή τεχνολογία, ενώ η LTE έχει καθιερωθεί ως η καθολική διαδρομή αναβάθμισης για όλα τα ασύρματα δίκτυα. (49)

3.3.3 WIMAX

Παγκόσμια δια λειτουργικότητα για πρόσβαση μικροκυμάτων (Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMAX) αποτελεί πρότυπο τεχνολογίας για ασύρματη δικτύωση μεγάλης εμβέλειας, τόσο για κινητές όσο και για σταθερές συνδέσεις. Ενώ είχε θεωρηθεί κάποτε ως ηγετική μορφή επικοινωνίας μέσω διαδικτύου, είναι μια εναλλακτική λύση για το καλώδιο και το DSL. (50)

Οι τεχνολογίες Wi-Fi ή των ασύρματων σημάτων hotspot δεν μπορούν να αντικαταστούν επειδή το κόστος του WiMAX είναι πολύ μεγαλύτερο. Απ' την άλλη μπορεί να είναι φθηνότερη η υλοποίηση του WiMAX αντί του τυποποιημένου ενσύρματου υλικού όπως το DSL. Η παγκόσμια βιομηχανία τηλεπικοινωνιών επέλεξε να επενδύσει πλήρως σε άλλες οδούς όπως η LTE, αφήνοντας την μελλοντική βιωσιμότητα των εν λόγω υπηρεσιών WiMAX στο διαδίκτυο. (50)

Ο εξοπλισμός του WiMAX έχει δυο βασικές μορφές. Η πρώτη είναι οι σταθμοί βάσης που έχουν εγκατασταθεί από τους παρόχους υπηρεσιών για την ανάπτυξη της τεχνολογίας σε μια περιοχή κάλυψης. Η δεύτερη είναι οι δέκτες, εγκατεστημένους σε πελάτες . (50)

Το WiMAX αναπτύσσεται από μια κοινοπραξία μεταξύ βιομηχανιών, εποπτευόμενη από μια ομάδα που ονομάζεται Φόρουμ WiMAX, ο σκοπός της ομάδας είναι να πιστοποιεί τον εξοπλισμό WiMAX για να διασφαλίσει ότι πληροί τις τεχνικές προδιαγραφές. Η τεχνολογία της βασίζεται στο πρότυπο ευρυζωνικών επικοινωνιών IEEE 802.16. Το WiMAX έχει μερικά μεγάλα οφέλη όσον αφορά την κινητικότητα, αλλά ακριβώς εκεί βρίσκονται οι περιορισμοί του. (50)



Εικόνα 27: WiMAX

Πλεονεκτήματα WiMAX

Το WiMAX είναι δημοφιλές λόγω του χαμηλού κόστους και της ευελιξίας του. Μπορεί να εγκατασταθεί γρηγορότερα από άλλες τεχνολογίες Διαδικτύου, επειδή μπορεί να χρησιμοποιεί μικρότερους πύργους και λιγότερη καλωδίωση, υποστηρίζοντας ακόμη και την κάλυψη μη οριζόντιας όρασης (NLoS) σε ολόκληρη την πόλη ή τη χώρα . (50)

Το WiMAX δεν είναι μόνο για σταθερές συνδέσεις, όπως και στο σπίτι. Ένας χρήστης μπορεί επίσης να εγγραφεί σε μια υπηρεσία WiMAX για τις κινητές συσκευές, αφού τα USB dongles, οι φορητοί υπολογιστές και τα τηλέφωνα μπορούν να έχουν ενσωματωμένη την τεχνολογία. Εκτός από την

πρόσβαση στο διαδίκτυο, το WiMAX μπορεί να παρέχει δυνατότητες μεταφοράς φωνής και βίντεο, καθώς και τηλεφωνική πρόσβαση. (50)

Δεδομένου ότι οι πομποί WiMax μπορούν να εκτείνονται σε απόσταση πολλών μιλίων με ταχύτητες δεδομένων που φθάνουν μέχρι 30-40 megabit ανά δευτερόλεπτο (Mbps) (1 Gbps για σταθερούς σταθμούς), είναι εύκολο να δούμε τα πλεονεκτήματά του, ειδικά σε περιοχές όπου το ενσύρματο internet είναι αδύνατο ή πολύ δαπανηρή για την εφαρμογή. (50)

Το WiMAX υποστηρίζει πολλά μοντέλα χρήσης δικτύου κάποια από αυτά είναι (50):

- Ένα μέσο για τη μεταφορά δεδομένων μέσω ενός δικτύου παροχέα υπηρεσιών διαδικτύου, που συνήθως ονομάζεται backhaul.
- Μια μορφή σταθερής ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης στο διαδίκτυο, που αντικαθιστά υπηρεσία δορυφορικής διαδικτύου.
- Μια μορφή κινητής πρόσβασης στο διαδίκτυο που ανταγωνίζεται άμεσα την τεχνολογία LTE.
- Η πρόσβαση στο Διαδίκτυο για χρήστες σε εξαιρετικά απομακρυσμένες περιοχές, όπου το καλώδιο τοποθέτησης θα ήταν πολύ ακριβό.

Μειονεκτήματα του WiMAX

Επειδή το WiMAX είναι ασύρματο από τη φύση του, όσο πιο μακριά γίνεται από την πηγή που λαμβάνει ο πελάτης, τόσο πιο αργή γίνεται η σύνδεσή του. Αυτό σημαίνει ότι ενώ ένας χρήστης μπορεί να τραβήξει 30 Mbps σε μια θέση, η απομάκρυνση από την περιοχή κυττάρων μπορεί να μειώσει αυτή την ταχύτητα σε 1 Mbps . Παρόμοια με όταν αρκετές συσκευές απορροφούν το εύρος ζώνης όταν είναι συνδεδεμένοι σε ένα μόνο δρομολογητή, πολλοί χρήστες σε έναν τομέα ραδιοσυχνότητων WiMAX θα μειώσουν την απόδοση για τους άλλους. (50)

Το Wi-Fi είναι πολύ πιο δημοφιλές από το WiMAX, έτσι ώστε περισσότερες συσκευές να διαθέτουν ενσωματωμένες δυνατότητες Wi-Fi από αυτές που χρησιμοποιούν το WiMAX. Ωστόσο, οι περισσότερες εφαρμογές WiMAX περιλαμβάνουν υλικό που επιτρέπει σε ολόκληρο νοικοκυριό, για παράδειγμα, να χρησιμοποιεί την υπηρεσία μέσω Wi-Fi, όπως ακριβώς ένας ασύρματος δρομολογητής παρέχει διαδίκτυο για πολλαπλές συσκευές. (50)

3.4 Υπηρεσίες και πολυμέσα

3.4.1 Κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην τέταρτη γενιά.

Worldwide Interoperability for Microwave Access, OFDM (Ορθογώνια Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας): Το OFDM αυξάνει το εύρος ζώνης διαιρώντας ένα ραδιοσήμα που φέρει δεδομένα σε μικρότερα σύνολα σημάτων και διαμορφώνοντας το καθένα σε διαφορετικούς υποφόρους. Η ταυτόχρονη μετάδοσή τους σε διαφορετικές συχνότητες. Οι υποφορείς είναι διατεταγμένοι ορθογώνια και έτσι μεγάλοι αριθμοί μπορούν να συσκευάζονται στενά μαζί με ελάχιστες παρεμβολές. Για να διατηρηθεί ορθογώνια ανάμεσα στα αγκάθια, προστίθεται ένα κυκλικό πρόθεμα, το μήκος του οποίου είναι μεγαλύτερο από την αναμενόμενη καθυστέρηση. Με σωστή κωδικοποίηση και παρεμβολή σε όλες τις συχνότητες. Η πολλαπλή διαδρομή γίνεται πλεονέκτημα συστήματος OFDM που αποδίδει ποικιλία συχνότητας. Το OFDM μπορεί να υλοποιηθεί αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας γρήγορους μετασχηματισμούς Fourier (FFT) στον πομπό και τον δέκτη. (44)

Multiple Input-Multiple Output , MIMO (πολλαπλή είσοδος - πολλαπλή έξοδος): Το MIMO είναι τεχνική χωρικής διαφοροποίησης που αυξάνει την κάλυψη ή την χωρητικότητα δεδομένων είτε μεταδίδοντας τα ίδια δεδομένα σε διαφορετικές κεραίες. Μια ευρυζωνική ασύρματη κινητή υπηρεσία 4G υψηλής απόδοσης απαιτεί τη χρήση πολλαπλών κεραιών τόσο στο σταθμό βάσης όσο και στο τέλος του συνδρομητή. Οι πολλαπλές

τεχνολογίες κεραίας επιτρέπουν υψηλές χωρητικότητες κατάλληλες για υπηρεσίες διαδικτύου και πολυμέσων και επίσης αυξάνουν δραματικά την εμβέλεια και την αξιοπιστία. Οι πολλαπλές κεραίες στον πομπό και τον δέκτη παρέχουν ποικιλία σε ένα περιβάλλον εξασθένησης. Χρησιμοποιώντας πολλαπλές κεραίες, δημιουργούνται πολλαπλά χωρικά κανάλια, καθιστώντας απίθανο όλα τα κανάλια να εξασθενίσουν ταυτόχρονα. Με το MIMO, η απόκριση καναλιού γίνεται μήτρα. Επειδή κάθε φορέας στενής ζώνης μπορεί να εξισωθεί ανεξάρτητα, αποφεύγεται η πολυπλοκότητα του διαστήματος και χρόνου του ισοσταθμιστή. (44)

Adaptive Modulation and Coding, AMC (Προσαρμοσμένη διαμόρφωση και κωδικοποίηση): Η αρχή του AMC είναι να αλλάξει η μορφή διαμόρφωσης και κωδικοποίησης (μορφή μεταφοράς) σύμφωνα με τις στιγμιαίες μεταβολές στις συνθήκες του καναλιού. Το AMC επεκτείνει την ικανότητα του συστήματος να προσαρμόζεται στις καλές συνθήκες του καναλιού. Οι συνθήκες του καναλιού θα πρέπει να εκτιμώνται με βάση την ανατροφοδότηση από τον δέκτη. Το AMC επιτρέπει την ανάθεση διαφορετικών ρυθμών δεδομένων σε διαφορετικούς χρήστες, ανάλογα με τις συνθήκες του καναλιού τους. Δεδομένου ότι οι συνθήκες του καναλιού ποικίλλουν με την πάροδο του χρόνου, ο δέκτης συλλέγει ένα σύνολο στατιστικών καναλιών, όπως διαμόρφωση και κωδικοποίηση, εύρος ζώνης σήματος, ισχύ σήματος, περίοδο εκπαίδευσης και αυτόματο έλεγχο κέρδους, τα οποία χρησιμοποιούνται τόσο από τον πομπό όσο και από τον δέκτη για τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων του συστήματος. (44)

Open Broadband Wireless Core (Ανοιχτό ευρυζωνικό ασύρματο πυρήνα): Η ανοιχτή ασύρματη πλατφόρμα απαιτεί επεξεργασία ευρείας ζώνης και υψηλής απόδοσης για ευρυζωνικές ασύρματες εφαρμογές. Η υψηλότερη πυκνότητα καναλιών βιομηχανίας (συγκέντρωση εκατομμυρίων λειτουργιών ανά δευτερόλεπτο [MOPS]) σε επεξεργασία σήματος ευέλικτου σταθμού πομποδέκτη BTS architectures. Λύσεις τερματικού που επιτυγχάνουν την υψηλότερη υπολογιστική απόδοση για εφαρμογή με υψηλή ευελιξία, ισχυρή και πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική λογισμικού που χρησιμοποιεί την έννοια προγραμματισμού εικονικής μηχανής. (44)

3.4.2 Εφαρμογές της τέταρτη γενιά.

Για να επιτευχθούν οι στόχοι της πραγματικής ευρυζωνικής υπηρεσίας, τα συστήματα πρέπει να κάνουν το άλμα σε ένα δίκτυο τέταρτης γενιάς (4G). Αυτό είναι όπου η παγκόσμια ασύρματη επικοινωνία (GWC) εισέρχεται στο φράγμα και έχει πρόσβαση σε αυτό. Το GWC θα παρέχει υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας, υψηλής χωρητικότητας και χαμηλού κόστους ανά bit και υπηρεσίες βασισμένες σε IP: οπτικές ίνες, ασύρματο σύστημα σύνδεσης που λειτουργεί σε εύρος συχνοτήτων που ξεπερνά όλες τις άλλες εταιρείες τηλεπικοινωνιών στον πλανήτη Γη. (44)

Η 4G αποτελείται από μια ιεραρχία των τρόπων ποιότητας / εύρους ζώνης, που οργανώνονται κάπως έτσι (44):

- Εικόνες χαμηλής έως μέσης ανάλυσης, μέτριες ταχύτητες δεδομένων.
- Υψηλής ποιότητας ήχος, εικόνες καλής ποιότητας σε μικρές οθόνες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με WiMax, καλωδιακή, δορυφορική και DSL σε υποστηρικτικούς ρόλους.
- Ευρεία κάλυψη με εικόνες υψηλής ποιότητας HDTV, , με εκατοντάδες ρυθμών δεδομένων. Αναμετάδοση HDTV, ψηφιακό καλώδιο, δορυφορική και επόμενη γενιά του WiMax / WiBro υποστηρίζουν αυτό το επίπεδο ποιότητας.
- Τοπική διανομή εικόνων υψηλής ποιότητας HDTV, με εκατοντάδες ρυθμών δεδομένων.

Μερικές από τις άλλες εφαρμογές 4G έχουν ως εξής (44):

- Εικονική Παρουσία (Virtual Presence) : Αυτό σημαίνει ότι το 4G παρέχει υπηρεσίες χρήστη ανά πάσα στιγμή, ακόμα και αν ο χρήστης είναι εκτός χώρου.

- Εικονική πλοήγηση (Virtual Navigation) : 4G παρέχει στους χρήστες εικονική πλοήγηση μέσω της οποίας ένας χρήστης μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση σε μια βάση δεδομένων ενός δρόμου, κτλ.
- Τηλεϊατρική και Εκπαίδευση (Tele-Medicine and Education) : Το 4G θα υποστηρίξει την απομακρυσμένη παρακολούθηση της υγείας των ασθενών. Για άτομα που ενδιαφέρονται για τη δια βίου εκπαίδευση. Το 4G προσφέρει μια καλή ευκαιρία.
- Εφαρμογές γεωγραφικής επεξεργασίας (Tele-geoprocessing applications) : Πρόκειται για ένα συνδυασμό Geographical Information System, GIS (Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα) και Global Positioning System, GPS (Global Positioning System) στο οποίο ένας χρήστης μπορεί να πάρει την τοποθεσία με την ερώτηση.

3.4.3 Χαρακτηριστικά της τέταρτη γενιά.

- **Προηγμένη ασφάλεια (Advanced Security)** : Ένα πράγμα για τις περισσότερες μορφές τεχνολογίας ευρυζωνικού διαδικτύου, παρά την μεγάλη ταχύτητά τους, είναι η αδυναμία ασφαλείας τους.



Εικόνα 28: Advanced Security

Πολλοί από αυτούς διαθέτουν ένα ή δύο χαρακτηριστικά που τα καθιστούν ιδιαίτερα ευάλωτα και παρόλο που η τεχνολογία 4G στο Διαδίκτυο είναι τέλεια όταν πρόκειται για την ασφάλεια, έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτει την αδυναμία άλλων τεχνολογιών.

(44)

- **Ευρυζωνικές υπηρεσίες (Broadband Services)** : Η ευρυζωνικότητα αποτελεί τη βάση για τη διευκόλυνση της επικοινωνίας πολυμέσων, συμπεριλαμβανομένης της τηλεοπτικής υπηρεσίας, η οποία απαιτεί τη μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων. Φυσικά καλεί την πτυχή της σύγκλισης των μέσων ενημέρωσης, η οποία βασίζεται στη μεταφορά πακέτων, υποστηρίζοντας την ενσωμάτωση διαφόρων μέσων με διαφορετικές ιδιότητες.



Εικόνα 29: Broadband Services

Η αυξανόμενη θέση των ευρυζωνικών υπηρεσιών όπως τα ασύμμετρα ψηφιακά συνδρομητικά κανάλια (ADSL) και τα συστήματα πρόσβασης οπτικών ινών και γραφεία ή τοπικά δίκτυα LAN, αναμένεται να οδηγήσουν σε ζήτηση παρόμοιων υπηρεσιών στο περιβάλλον κινητής επικοινωνίας. (44)

- **Συγκεντρωτικές υπηρεσίες (Converged Services)** : Η ιδέα της σύγκλισης σημαίνει ότι η δημιουργία της ατμόσφαιρας που μπορεί τελικά να προσφέρει απρόσκοπτη και υψηλής αξιοπιστίας και ποιότητας ευρυζωνική υπηρεσία κινητών επικοινωνιών και πανταχού παρούσα εξυπηρέτηση μέσω ενσύρματων και ασύρματων δικτύων σύγκλισης χωρίς το πρόβλημα του χώρου και τον επίγειο περιορισμό μέσω πανταχού παρούσης συνδεσιμότητα. Τα κινητά συστήματα 4G χαρακτηρίζονται κυρίως από ένα οριζόντιο μοντέλο επικοινωνίας, όπου τέτοιες διαφορετικές τεχνολογίες πρόσβασης όπως τα κυψελοειδή ασύρματα, συστήματα τύπου ασύρματου LAN, η ασύρματη συνδεσιμότητα μικρής εμβέλειας και τα ενσύρματα συστήματα, θα συνδυαστούν σε μια κοινή πλατφόρμα για να αλληλοσυμπληρώνονται

με τον καλύτερο δυνατό τρόπο για διαφορετικές απαιτήσεις υπηρεσίας και περιβάλλοντα ραδιοφώνου. (44)

- **Ευκινησία (Reliability):** Το πιο σημαντικό για την τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας 4G είναι το πόσο αξιόπιστο είναι και το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες.



Εικόνα 30: Reliability

Μπορεί να είναι πραγματικά απογοητευτικό να θίγεις την ευρυζωνική σύνδεση στο διαδίκτυο μόνο για να αρχίσεις να αντιμετωπίζεις προβλήματα σε δύσκολες καιρικές συνθήκες. Η τεχνολογία 4G αντιμετωπίζει όλα αυτά και δεν θα επηρεαστεί με οποιονδήποτε τρόπο από τον καιρό. (44)

3.5 Επόμενη στάση 5G

Η 5G υπόσχεται να βελτιώσει ακόμη περισσότερο την ποιότητα της υπηρεσίας, εξασφαλίζοντας στους χρήστες κάποιες σταθερές υπηρεσίες σε όλη την περιοχή κάλυψης για παράδειγμα και βοηθώντας τα δίκτυα να αντιμετωπίσουν τα συνδεδεμένα αντικείμενα. Με την επανάσταση του IoT (Internet of Things), Διαδίκτυο των πραγμάτων, ο αριθμός των συνδεδεμένων αντικειμένων τα επόμενα χρόνια θα αυξηθεί ραγδαία, όπως και ο αριθμός των αισθητήρων. (44)

Κάθε αντικείμενο δεν απαιτεί απαραίτητως υψηλές ροές, αλλά θα χρειαστεί υψηλά επίπεδα ενεργειακής αυτονομίας: ο αισθητήρας πρέπει να μπορεί να λειτουργήσει για αρκετά χρόνια στις μπαταρίες. Επιπλέον, το 5G θα είναι κρίσιμο στην τεχνολογία που απαιτεί ταχεία ανταλλαγή πληροφοριών. Πρόκειται για ένα σημαντικό τεχνολογικό τούβλο για την ανάπτυξη συστημάτων ασφάλειας επί του σκάφους, για παράδειγμα για να καταστεί πραγματικότητα το αυτόνομο αυτοκίνητο. (44)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Χαρακτηριστικά πέμπτης γενιάς

Η 5η γενιά ασύρματης δικτύωσης (5G) είναι μια αρχιτεκτονική ασύρματης δικτύωσης που βασίζεται στο πρότυπο ασύρματης δικτύωσης 802.11ac IEEE, η οποία στοχεύει στην αύξηση των ταχυτήτων επικοινωνίας δεδομένων έως και τρεις φορές σε σύγκριση με τον προηγούμενο 4G (IEEE 802.11n). Ενσωματώνει τις τροποποιήσεις αρχιτεκτονικής που συνιστώνται από το IEEE 802.11ac και λειτουργεί σε λειτουργία συχνότητας 5 GHz. (51)



Εικόνα 31: 5G

Μέχρι τώρα, νέες γενιές κυψελοειδούς τεχνολογίας, όπως το 3G ή το 4G, σχεδιάστηκαν για καλύτερη φασματική απόδοση και καλύτερη εμπειρία φωνής ή δεδομένων. Το 3G ήταν UMTS, το 4G είναι LTE (Advanced) αλλά ποια εναέρια τεχνολογία διασύνδεσης, το λεγόμενο νέο ραδιόφωνο, τελικά θα αναπτυχθεί για 5G; 5G, φαίνεται μέχρι τώρα, είναι η ανάπτυξη πολλαπλών τεχνολογιών που θα συγκλίνουν για να εξυπηρετήσουν διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης. (52)

Ένας βασικός στόχος για το 5G θα είναι η παροχή βελτιωμένης ευρυζωνικής ευρυζωνικότητας, η οποία επιτρέπει εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων για streaming βίντεο 4K + και λήψη πολύ μεγάλων αρχείων κάθε φορά και οπουδήποτε, σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, δίνοντας την εντύπωση απεριόριστου εύρους ζώνης. (52)

Όπως και σε άλλα κυψελοειδή δίκτυα, τα δίκτυα 5G χρησιμοποιούν ένα σύστημα κυτταρικών ισότοπων που χωρίζουν την επικράτειά τους σε τομείς και στέλνουν κωδικοποιημένα δεδομένα μέσω ραδιοκυμάτων. Κάθε κυψέλη πρέπει να συνδεθεί σε μια ραχοκοκαλιά του δικτύου, είτε μέσω μιας ενσύρματης είτε ασύρματης σύνδεσης backhaul. Τα δίκτυα 5G θα χρησιμοποιούν έναν τύπο κωδικοποίησης που ονομάζεται OFDM, ο οποίος είναι παρόμοιος με την κωδικοποίηση που χρησιμοποιεί η 4G LTE. Η εναέρια διεπαφή θα σχεδιαστεί για πολύ χαμηλότερη καθυστέρηση και μεγαλύτερη ευελιξία από την LTE. (52)

Το πρότυπο θα λειτουργήσει σε όλη τη διαδρομή από χαμηλές συχνότητες σε υψηλές, αλλά παίρνει το μεγαλύτερο όφελος πάνω από 4G σε υψηλότερες συχνότητες. Το 5G μπορεί επίσης να μεταδίδει δεδομένα σχετικά με τις μη εξουσιοδοτημένες συχνότητες που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος για το Wi-Fi, χωρίς να υπάρχει σύγκρουση με τα υπάρχοντα δίκτυα Wi-Fi. Αυτό είναι παρόμοιο με μια τεχνολογία που όλοι οι μεταφορείς εκτός από την Sprint ξεκινούν επί του παρόντος, που ονομάζεται LAA. (52)

Τα δίκτυα 5G είναι πολύ πιθανότερο να είναι δίκτυα μικρών κυψελών, ακόμη και κάτω από το μέγεθος των δρομολογητών οικίας, από ότι οι τεράστιοι πύργοι που ακτινοβολούν μεγάλες αποστάσεις. Ορισμένα από αυτά οφείλονται στη φύση των χρησιμοποιούμενων συχνοτήτων, αλλά πολλά από αυτά είναι η επέκταση της χωρητικότητας του δικτύου. Όσο περισσότερα κελιά υπάρχουν, τόσο περισσότερα δεδομένα μπορούν να εισέλθουν στο δίκτυο. (52)

4.1.1 Ταχύτητα

Ο στόχος είναι να υπάρχουν πολύ υψηλότερες διαθέσιμες ταχύτητες και πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα ανά τομέα, με πολύ χαμηλότερη καθυστέρηση από την 4G. Οι εμπλεκόμενοι οργανισμοί τυποποίησης επιδιώκουν ταχύτητες 20 Gbps και λανθάνοντα χρόνο 1 ms, οπότε αρχίζουν να γίνονται πολύ ενδιαφέροντα πράγματα. (52)

Η ασύρματη τεχνολογία 5ης γενιάς σχεδιάστηκε κατά κύριο λόγο για να επιτρέψει ανώτερη ταχύτητα επικοινωνίας δεδομένων μεταξύ ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN), να φτάσει ταχύτητες μέχρι 1,5 GBps και να καλύψει απόσταση 90 μέτρων - τρεις φορές μεγαλύτερη από 802.11n. Η μεγάλη περιοχή κάλυψης για το 5G καθίσταται δυνατή μέσω μιας τεχνικής που ονομάζεται beamforming, στην οποία οι ασύρματες δρομολογητές αγνοούν τις αναποτελεσματικές διαδρομές και παραμελούν σκόπιμα την καταγραφή τους στον πίνακα δρομολόγησης. (51)

4.1.2 Δυνατότητες

Το 5G φέρνει στο τραπέζι τρεις νέες πτυχές: μεγαλύτερη ταχύτητα (για μετακίνηση περισσότερων δεδομένων), χαμηλότερη καθυστέρηση (για μεγαλύτερη απόκριση) και δυνατότητα σύνδεσης πολλών συσκευών ταυτόχρονα (για αισθητήρες και έξυπνες συσκευές). (52)

Τα δίκτυα πέμπτης γενιάς πρέπει να είναι πολύ πιο έξυπνα από τα προηγούμενα συστήματα, καθώς ζυγίζουν πολλά περισσότερα, μικρότερα κύτταρα που μπορούν να αλλάξουν το μέγεθος και το σχήμα τους. Ωστόσο, ακόμη και με τα υπάρχοντα μακροσκοπικά κύτταρα, η Qualcomm μια εταιρεία τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού, αναφέρει ότι η 5G θα μπορέσει να αυξήσει την παραγωγική ικανότητα κατά τέσσερις φορές σε σχέση με τα τρέχοντα συστήματα, αξιοποιώντας ευρύτερο εύρος ζώνης και προηγμένες τεχνολογίες κεραίας. (52)

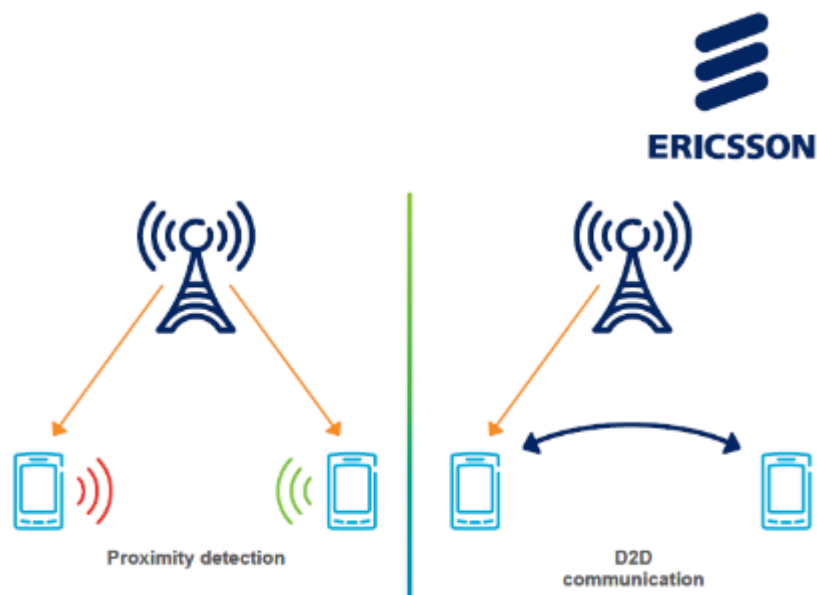
Μια άλλη πτυχή του 5G είναι ότι θα συνδέσει πολλές άλλες συσκευές. Αυτή τη στιγμή, οι μονάδες 4G είναι δαπανηρές, καταναλώνουν ενέργεια και απαιτούν πολύπλοκα σχέδια εξυπηρέτησης, τόσο μεγάλο μέρος του Διαδικτύου των Πράξεων έχει κολλήσει με Wi-Fi και άλλες οικιακές τεχνολογίες για τους καταναλωτές ή 2G για επιχειρήσεις. Τα δίκτυα 5G δέχονται μικρές, φθηνές, χαμηλής ισχύος συσκευές, έτσι ώστε να συνδέουν πολλά μικρότερα αντικείμενα και διαφορετικά είδη αισθητήρων περιβάλλοντος στο διαδίκτυο. (52)

4.2 Τεχνολογίες

4.2.1 Device to Device

Το κυψελοειδές δίκτυο είναι πλέον παλιά ηλικίας τεσσάρων γενεών. Η ανάγκη για γρήγορη ανταλλαγή δεδομένων πλούσια σε πολυμέσα μαζί με υψηλής ποιότητας φωνητικές κλήσεις ήταν το κύριο κίνητρο της συνεχής εξέλιξης στον τομέα της τηλεπικοινωνίας. Καθώς δημιουργούνται νεότερες και πιο απαιτητικές εφαρμογές και η βάση των συνδρομητών αυξάνεται εκθετικά, υπάρχει ανάγκη για περισσότερες καινοτόμες τεχνικές για την αύξηση των ρυθμών δεδομένων και τη μείωση της καθυστέρησης. Η επικοινωνία D2D είναι ένα νέο υπόδειγμα στα κυψελοειδή δίκτυα. (53)

Το Device to Device (D2D) αναγνωρίζεται ως ένα από τα τεχνολογικά στοιχεία της εξελισσόμενης αρχιτεκτονικής 5G. Υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την εφαρμογή των αρχών D2D στις υπηρεσίες δημόσιας ασφάλειας και εγγύτητας. (54)



Εικόνα 32: D2D επικοινωνία

Επιτρέπει στους χρήστες να βρίσκονται σε άμεση γειννίαση να επικοινωνούν χρησιμοποιώντας μια άμεση σύνδεση παρά να μεταφέρουν το ράδιο-σήμα τους σε όλη τη διαδρομή μέσω του σταθμού βάσης (BS) ή του δικτύου πυρήνα. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματά του είναι η εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση στην επικοινωνία λόγω της μικρότερης διαδρομής μετάβασης σήματος, εικόνα 34. (53)

Για την ενεργοποίηση της επικοινωνίας D2D μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες ασύρματες τεχνολογίες μικρής εμβέλειας όπως Bluetooth, WiFi Direct και LTE Direct (που ορίζονται από το 3GPP). Διαφέρουν κυρίως στις ταχύτητες δεδομένων, την απόσταση μεταξύ συσκευών-καταστημάτων, μηχανισμών εντοπισμού συσκευών και τυπικών εφαρμογών. (53)

Για παράδειγμα, το Bluetooth υποστηρίζει μέγιστο ρυθμό δεδομένων Mbps και εύρος κοντά στο m, το WiFi Direct επιτρέπει ταχύτητα Mbps και εύρος m, ενώ το LTE Direct παρέχει ταχύτητες μέχρι 13,5 Mbps και εύρος m. Η συνδεσιμότητα D2D θα κάνει τους χειριστές πιο ευέλικτους όσον αφορά την εκφόρτωση της κυκλοφορίας από το κεντρικό δίκτυο, την αύξηση της φασματικής απόδοσης και τη μείωση της ενέργειας και του κόστους ανά bit. (53)

Η επικοινωνία συσκευής προς συσκευή (D2D) αναφέρεται σε μια ραδιοφωνική τεχνολογία που επιτρέπει στις συσκευές να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους, δηλαδή χωρίς δρομολόγηση των διαδρομών δεδομένων μέσω υποδομής δικτύου. (55)

Τα πιθανά σενάρια εφαρμογής περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων υπηρεσίες βασισμένες στην εγγύτητα, όπου οι συσκευές εντοπίζουν την εγγύτητά τους και στη συνέχεια ενεργοποιούν διάφορες υπηρεσίες (όπως κοινωνικές εφαρμογές που προκαλούνται από την εγγύτητα του χρήστη, διαφημίσεις, τοπική ανταλλαγή πληροφοριών, έξυπνη επικοινωνία μεταξύ οχημάτων κλπ.). (55)

Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν υποστήριξη δημόσιας ασφάλειας, όπου οι συσκευές παρέχουν τουλάχιστον τοπική συνδεσιμότητα ακόμη και σε περίπτωση βλάβης της ραδιοφωνικής υποδομής. (55)

4.2.1.1 Επικοινωνία D2D και δίκτυα 5G

Το προσεχές δίκτυο 5G αναμένεται να υποστηρίξει συνολικά ποσοστά δεδομένων, (δηλαδή συνολική ποσότητα δεδομένων που μπορεί να εξυπηρετήσει το δίκτυο, μετρούμενη σε bits / sec / περιοχή) φορές εκείνου του τρέχοντος δικτύου 4G. Η φασματική απόδοση (αριθμός bits που μεταδίδονται ανά Hz) και η ενεργειακή απόδοση (αριθμός bits ανά Joule) θα πρέπει να είναι φορές υψηλότερη από εκείνη του δικτύου 4G, οι ταχύτητες δεδομένων για τους χρήστες κινητών θα πρέπει να είναι multi-Gbps και καθυστέρηση από άκρη σε άκρη. (55)

Το δίκτυο 5G θα περιέχει ουσιαστικά μια ομπρέλα τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένου του ετερογενή δικτύου (HetNet) (δηλαδή, χρήση των διαφόρων τεχνολογιών πρόσβασης ραδιοφώνου, πολλαπλές τεχνικές backhaul και μια ιεραρχία κυττάρων-μακρο, pico, femto), μαζική MIMO BS για να εξυπηρετούν πολλούς χρήστες ταυτόχρονα), γνωστικός ραδιοφωνικός σταθμός (CRN) (όπου δευτερεύοντες χρήστες χρησιμοποιούν ευκαιριακά το φάσμα των κύριων χρηστών), φάσμα χιλιοστών (mmWave) (λειτουργεί πάνω από 30-300 GHz συχνότητα) και επικοινωνία D2D. Το τελευταίο έχει θεμελιώδη σημασία σε 5G παρά τις προκλήσεις της εφαρμογής. (55)

Το φάσμα mmWave στο 5G μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχηματισμό δεσμών D2D μικρής εμβέλειας μεταξύ UEs. Δεδομένου ότι το mmWave υποφέρει από χαμηλές παρεμβολές πολλών χρηστών, πολλοί σύνδεσμοι mmWave D2D μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα, βελτιώνοντας έτσι την χωρητικότητα του δικτύου. Οι δευτερεύοντες χρήστες

σε ένα CRN μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν επικοινωνία D2D για να αποφεύγουν παρεμβολές σε πρωτεύοντες χρήστες. (55)

Η επικοινωνία D2D συμπληρώνει τα HetNets και τα μαζικά MIM-enabled BSs για τη βελτίωση της φασματικής απόδοσης και των ρυθμών μετάδοσης δεδομένων. Επιπλέον, οι κεραίες MIMO που είναι ενσωματωμένες σε UEs θα αυξήσουν την ανθεκτικότητα του θορύβου και την χωρητικότητα του συστήματος εκμεταλλευόμενοι την ποικιλομορφία και τα πολλαπλάσια κέρδη. Τα ρελέ (relays) που βασίζονται σε D2D με συσκευές με δυνατότητα MIMO μπορούν επίσης να ενισχύσουν σημαντικά την χωρητικότητα του συστήματος. (55)

4.2.1 Συχνότητες

Μεγαλύτερες σειρές φάσματος είναι ζωτικής σημασίας για να διευκολυνθεί η μαζική αύξηση της χρήσης δεδομένων από άτομα και συσκευές που καταναλώνουν περισσότερα δεδομένα από ποτέ. Για το 5G για την τροφοδοσία αυτών των συσκευών και των αισθητήρων στο εγγύς μέλλον, θα χρειαστεί πολύ περισσότερη αναπνευστική αίθουσα για να αποκτήσουν το απαιτούμενο εύρος ζώνης. (56)

Το ασύρματο φάσμα είναι το οξυγόνο που κρατά το δίκτυο ζωντανό, και περισσότερο φάσμα θα επιτρέψει στο 5G να αποδώσει το πλήρες δυναμικό του. Ενώ το 5G θα είναι πολύ πιο αποδοτικό από τις προηγούμενες τεχνολογίες δικτύων, η ιστορία και η φυσική δημιουργούν διάφορες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν γύρω ή για να επιτευχθεί η υπόσχεση της "ασύρματης ίνας". (56)

Υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης διαφορετικών συχνοτήτων. Ένας από τους πιο θεμελιώδεις νόμους της φυσικής, καθώς σχετίζεται με το ασύρματο, είναι ότι οι χαμηλότερες συχνότητες ταξιδεύουν μακρύτερα και διεισδύουν κτίρια βαθύτερα (ή διαδίδουν καλύτερα) από τις υψηλότερες συχνότητες. (56)

Το 5 GHz, ένα μη εξουσιοδοτημένο εύρος που χρησιμοποιείται συνήθως για WiFi (και δεδομένου ότι δεν έχει άδεια χρήσης, οτιδήποτε άλλο θέλει να μεταδώσει σε αυτό το εύρος όπως Bluetooth Low Energy), είναι πιο πιθανό να απορροφηθεί από στερεά αντικείμενα, αλλά υπάρχει πολύ περισσότερο εύρος ζώνης 500 MHz συνολικά) διαθέσιμα προς χρήση. αν και μοιράζονται. Επίσης, δεν διαδίδεται πολύ καλά, επομένως χρησιμοποιείται γενικά για μικρές σειρές. Αυτός είναι ένας λόγος για τον οποίο απαιτούνται πολλαπλά σημεία πρόσβασης WiFi για να καλύψουν ακόμη και μικρά κτίρια. (56)

Τα κύματα χιλιοστομέτρων υψηλής συχνότητας θα αυξήσουν σημαντικά την ασύρματη χωρητικότητα και τις ταχύτητες για τα μελλοντικά δίκτυα 5G. Το φάσμα χιλιοστομετρικών κυμάτων υψηλών συχνοτήτων είναι διαθέσιμο για χρήση, έτσι μπορούν να αποδοθούν ευρείες ζώνες. Το φάσμα των χιλιοστομετρικών κυμάτων θεωρείται γενικά η ζώνη φάσματος μεταξύ 6 GHz και 100 GHz, ενώ οι δοκιμές 5G διεξάγονται σε διάφορες ζώνες εντός αυτής της περιοχής. (56)

Οι βασικές τεχνολογίες περιλαμβάνουν: Ζώνες κύματος χιλιοστών (26, 28, 38 και 60 GHz) είναι 5G και προσφέρουν απόδοση έως και 20 gigabits ανά δευτερόλεπτο. Το MIMO (Πολλαπλή έξοδος πολλαπλών εισόδων - 64-256 κεραιές) προσφέρει απόδοση έως και δέκα φορές τα τρέχοντα δίκτυα 4G. Τα "χαμηλής ζώνης 5G" και "Mid-band 5G" χρησιμοποιούν συχνότητες από 600 MHz έως 6 GHz, 4,2 GHz. (56)

Έχει αναφερθεί η ταχύτητα 5 Gbps σε ένα δοκιμαστικό δίκτυο δοκιμών πέμπτης γενιάς. Το σημείο αναφοράς προέκυψε από την εταιρία Ericsson, η οποία ανέφερε στην ιστοσελίδα της ότι επιτυγχάνει ταχύτητα 5 Gbps σε ζωντανή δοκιμή πρότυπου 5G, χρησιμοποιώντας μια καινοτόμο νέα ιδέα ραδιοεπικοινωνίας σε συνδυασμό με προηγμένη τεχνολογία πολλαπλών εισόδων πολλαπλών εισόδων (MIMO) με ευρύτερο εύρος ζώνης, υψηλότερες συχνότητες και μικρότερα χρονικά διαστήματα μετάδοσης. (56)

Όσον αφορά τη συχνότητα, το δίκτυο δοκιμών 5G χρησιμοποίησε ζώνη συχνοτήτων 15 GHz, η οποία είναι υψηλότερη και μικρότερη από τις τρέχουσες κυτταρικές συχνότητες 3G / 4G που ξεπερνούν τα 2,6 GHz, δηλαδή 2600 MHz LTE Band 7. Η επιλογή μικρής εμβέλειας θα επέτρεπε την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας κατάλληλης για πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, όπου πολλοί σταθμοί βάσης θα μπορούσαν να αναπτυχθούν για να προσφέρουν εξαιρετικά γρήγορες ταχύτητες σε μια μικρή περιοχή. (56)

4.2.2 EDGE Computing

Με τα τρέχοντα δίκτυα 4G να φτάνουν στα απόλυτα όρια τους και με τον αριθμό των συνδεδεμένων συσκευών που θα φθάσουν τα 100 δισεκατομμύρια μέχρι το 2025, η πέμπτη γενιά θα πρέπει να διαχειρίζεται την ηλεκτρονική κίνηση πολύ πιο έξυπνα. Το MEC θα είναι το κλειδί για αυτό. (57)

Το κύριο πλεονέκτημα της μετατόπισης και της εξάπλωσης του φορτίου του cloud computing με το MEC είναι η μείωση της συμφόρησης στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Εκτός από τη διαχείριση του φορτίου δεδομένων, η MEC θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο μειώνοντας την καθυστέρηση χρόνου για δίκτυα 5G. Τα επίπεδα Wi-Fi απόκρισης (1ms, που είναι 30 έως 50 φορές πιο ευαίσθητα από 4G) αποτελούν σημαντικό μέρος του πακέτου 5G. (57)

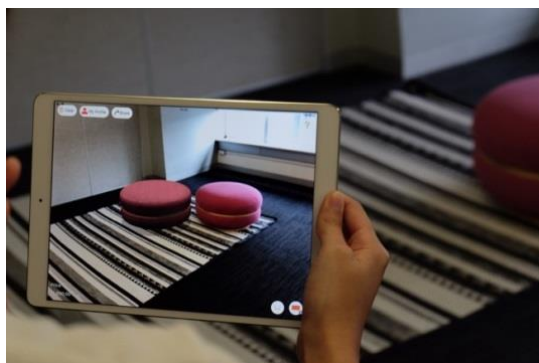
Ένας σημαντικός λόγος για τον οποίο ζούμε ήδη σε έναν κόσμο cloud computing είναι ότι μειώνει την πίεση στις έξυπνες συσκευές όσον αφορά τη δύναμη επεξεργασίας, την αποθήκευση και τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Μεγάλο μέρος της βαριάς ανύψωσης με αυτές τις δημοφιλείς υπηρεσίες γίνεται από τους διακομιστές και όχι από τις συσκευές του χρήστη. (57)

4.2.2.1 Πρακτικές χρήσεις MEC

Οι υπηρεσίες Augmented Reality (AR) μπορούν να επωφεληθούν από μια διάταξη MEC επειδή θα είναι σε θέση να παρέχουν ταχεία και υψηλής

τοπικής ανατροφοδότησης για να τροποποιήσουν μια ζωντανή αναπαράσταση του κόσμου. Για παράδειγμα ένα μουσείο ή μια εφαρμογή γκαλερί τέχνης που μπορεί να αναμεταδίδει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σε ένα έκθεμα, καθώς ο χρήστης τοποθετεί το τηλέφωνό του σε αυτό.

(57)



Εικόνα 33: Augmented Reality

Streaming βίντεο θα λειτουργούν πολύ πιο αποτελεσματικά σε περιβάλλον MEC, επειδή η υπηρεσία θα είναι σε θέση να διαπιστώσει το ακριβές περιβάλλον τοπικού δικτύου για τον τελικό χρήστη και να ρυθμίσει ανάλογα την ποιότητα. (57)

Με πολύ μεγαλύτερη κλίμακα, η συνδεδεμένη και αυτοματοποιημένη αγορά αυτοκινήτων θα ωφεληθεί σε μεγάλο βαθμό από την Edge computing. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων θα επωφεληθεί μαζικά από την MEC. Από τη φύση τους, οι μικρές συνδεδεμένες συσκευές που θα γεφυρωθούν γύρω από τα σπίτια και τις πόλεις μας θα απαιτήσουν οποιαδήποτε υπολογιστικά καθήκοντα να γίνουν στο cloud. Η προσέγγιση αυτή θα είναι καλύτερη για την αξιοπιστία, την ταχύτητα και την αποτελεσματικότητα της λειτουργίας τους. (57)

Δεδομένου ότι η MEC είναι μια τεχνολογία δικτύου που συνδέεται με κινητούς σταθμούς βάσης και βασίζεται σε εικονικοποίηση, δεν θα απαιτεί την πρόσβαση σε οποιαδήποτε νέα τεχνολογία καταναλωτών. Η υλοποίησή του θα πρέπει να είναι απρόσκοπτη και αόρατη και όπως δείχνει η προαναφερθείσα δοκιμή, τα οφέλη θα βιώσουν ακόμη και όσοι από εμάς έχουν τρέχοντα ή παλαιότερα smartphones. (57)

Φυσικά, για να έχει πρόσβαση ένας χρήστης στο πλήρες εύρος των πλεονεκτημάτων της 5G, στην αυξημένη ταχύτητα και την χωρητικότητα της υψηλότερης κατανομής φάσματος, θα χρειαστεί τελικά ένα νέο τηλέφωνο με μόντεμ 5G-ready. (57)

4.2.3 Τεχνολογικές απαιτήσεις

Σε αντίθεση με τις τρέχουσες υπηρεσίες Διαδικτύου που κάνουν την ανταλλαγή απόδοσης να αξιοποιήσει το καλύτερο από τις τρέχουσες ασύρματες τεχνολογίες (3G, 4G, WiFi, Bluetooth, κ.λπ.), τα δίκτυα πέμπτης γενιάς θα σχεδιαστούν έτσι ώστε να επιτύχουν το επίπεδο απόδοσης που απαιτείται για μαζική IoT (Internet of Things). Θα επιτρέψει σε έναν αντιληπτό πλήρως πανταχού παρόν συνδεδεμένο κόσμο. Η τεχνολογία της πέμπτης γενιάς καθοδηγείται από οκτώ απαιτήσεις προδιαγραφών. (58)

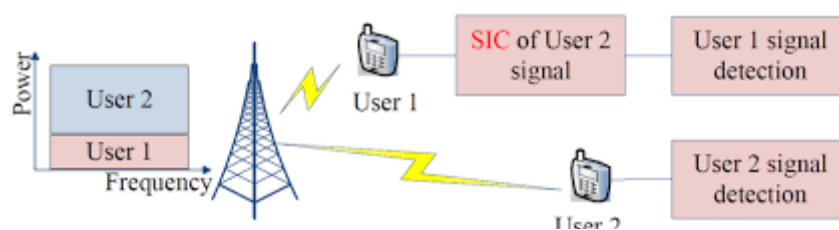
- Μέγιστη ταχύτητα δεδομένων 10Gbps -> 10 έως 100x βελτίωση σε σχέση με τα δίκτυα 4G και 4.5G.
- Μικρή καθυστέρηση 1 millisecond .
- Επί 1000 στο εύρος ζώνης ανά μονάδα επιφάνειας.
- Έως 100x αριθμός συνδεδεμένων συσκευών ανά μονάδα επιφάνειας (σε σύγκριση με 4G LTE).
- 99,999% διαθεσιμότητα.
- Κάλυψη 100%.
- 90% μείωση στη χρήση ενέργειας δικτύου.
- Έως 10 χρόνια ζωής μπαταρίας για συσκευές χαμηλής κατανάλωσης IoT.

Εταιρείες τηλεπικοινωνιών θέλουν αρχικά να χρησιμοποιήσουν την πέμπτη γενιά ως οικιακή υπηρεσία διαδικτύου και όλοι οι άλλοι επικεντρώνονται περισσότερο στα ταχύτερα smartphones. Αυτές οι χρήσεις είναι πακέτα πινάκων, μόνο για να φτιαχτούν τα δίκτυα, ώστε να μπορούν να αναπτυχθούν στο μέλλον οι πιο ενδιαφέρουσες εφαρμογές. (58)

4.2.5 NOMA

Τα συστήματα μη-ορθογώνιας πολλαπλής πρόσβασης (Non-Orthogonal Multiple Access , NOMA) έλαβαν σημαντική προσοχή για τα κυψελοειδή δίκτυα 5ης γενιάς. Ο πρωταρχικός λόγος για την υιοθέτηση του NOMA στο 5G οφείλεται στην ικανότητά του να εξυπηρετεί πολλούς χρήστες χρησιμοποιώντας τους ίδιους πόρους χρόνου και συχνότητας. (59)

Υπάρχουν δύο κύριες τεχνικές NOMA: τομέας ισχύος (power domain) και τομέας κώδικα (code domain). Η μη ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση, που χρησιμοποιεί τον τομέα ισχύος για να διαχωρίζει τα σήματα μεταξύ τους. Το NOMA δίνει μια νέα διάσταση στην οποία τα σήματα μπορούν να διαχωριστούν και να τους δοθεί πρόσβαση σε σταθμό βάσης. (59)



Εικόνα 34: NOMA

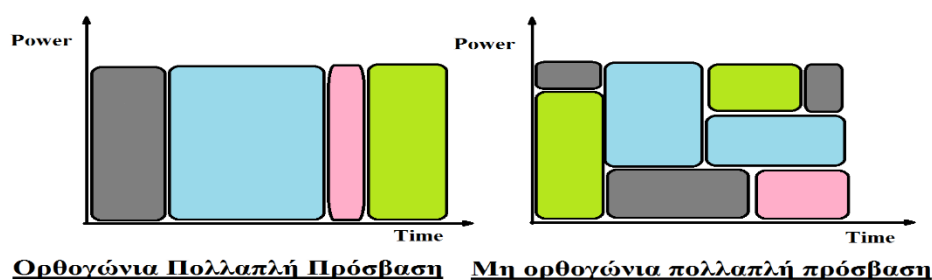
Ο NOMA εκμεταλλεύεται την κωδικοποίηση υπέρθεσης στο πομπό και την διαδοχική ακύρωση παρεμβολών (Successive Interference Cancellation, SIC) στον δέκτη, πολλαπλασιάζοντας έτσι τους χρήστες στην περιοχή ισχύος. Όπως δείχνει η εικόνα 36, ο σταθμός βάσης (BS) στέλνει τα υπερκείμενα σήματα σε δύο χρήστες, όπου ο Χρήστης 1 έχει υψηλότερο κέρδος καναλιού από τον Χρήστη 2. (59)

Στο NOMA, ο χρήστης με υψηλότερο κέρδος καναλιού και ο χρήστης με χαμηλότερο κέρδος καναλιού είναι συνήθως που αναφέρεται ως ισχυρός χρήστης και ασθενής χρήστης, αντίστοιχα. Ο ισχυρός χρήστης πρώτα αφαιρεί το σήμα του ασθενούς χρήστη μέσω του SIC και στη συνέχεια αποκωδικοποιεί το δικό του σήμα. ο ασθενής χρήστης θεωρεί το σήμα του ισχυρού χρήστη ως θόρυβο και ανιχνεύει απευθείας το δικό του σήμα. Με

χειρότερη απολαβή καναλιού και περισσότερες παρεμβολές, ο αδύναμος χρήστης έχει ανατεθεί περισσότερη δύναμη στο NOMA για να εξασφαλίσει δίκαιη συμπεριφορά. (59)

Οι Ενεργοποιητές OMA παρέχουν δια λειτουργικότητα στο Επίπεδο Υπηρεσίας (Layer 7) σε διάφορες συσκευές, γεωγραφικές περιοχές, παροχής υπηρεσιών, φορείς εκμετάλλευσης και δίκτυα που διευκολύνουν τη δια λειτουργικότητα των εφαρμογών που προκύπτουν. (59)

Η διαφορά μεταξύ της ορθογωνικής πολλαπλής πρόσβασης (OMA) και της μη ορθογώνιας πολλαπλής πρόσβασης (NOMA), είναι ο πόρος που διατίθεται σε διαφορετικούς χρήστες, εικόνα 37. (59)



Εικόνα 35: NOMA vs OMA

Το NOMA ανέδειξε τις δυνατότητες δίκτυα κυψελωτών δικτύων 5G και απέδειξε ότι υπερέχει του OMA όσον αφορά την ικανότητα και τη δικαιοσύνη του χρήστη. Οι ερευνητές σε όλο τον κόσμο έχουν αρχίσει να διερευνούν πώς να μετασχηματίζουν την έννοια NOMA στην επόμενη γενιά τεχνικής ράδιο πρόσβασης. (59)

Οι περισσότερες πρώτες εργασίες στο NOMA επικεντρώθηκαν στην μονή είσοδο και μονή έξοδο (single-input single-output ,SISO), στην οποία η κατανομή της ισχύος και η δικαιοσύνη των χρηστών αποτελούν τις κύριες ανησυχίες. (59)

Η κατανομή της ισχύος στη NOMA δεν αποσκοπεί μόνο στη μεγιστοποίηση του ποσού, αλλά θεωρεί το συνολικό ύψος του ποσού και τη

δικαιοσύνη των χρηστών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η NOMA θα αναθέσει όλη την ισχύ στον ισχυρό χρήστη εάν ο στόχος είναι να μεγιστοποιήσει το ποσοστό του ποσού και συνεπώς δεν προσφέρει κέρδος έναντι του OMA. (59)

Προτείνεται ένα δυναμικό σύστημα κατανομής ισχύος, το οποίο εγγυάται ότι οι επιμέρους ρυθμοί τόσο για τους ισχυρούς όσο και για τους αδύναμους χρήστες της NOMA είναι υψηλότεροι από τους αντίστοιχους στο OMA. (59)

Από την άποψη της δικαιοσύνης των χρηστών, θεωρείται η πιθανότητα μέγιστης ταχύτητας δεδομένων και ελάχιστης πιθανότητας διακοπής, αντίστοιχα. Αν και τα διαμορφωμένα προβλήματα είναι μη-κυρτά και αλγόριθμοι πολυωνύμου χαμηλής πολυπλοκότητας, παρέχουν τη βέλτιστη λύση που αναπτύσσονται και στις δύο περιπτώσεις. (59)

Η απόδοση του NOMA μπορεί να ενισχυθεί περαιτέρω συνδυάζοντάς την με την τεχνολογία πολλαπλών εισόδων πολλαπλών εξόδων (MIMO). Στο MIMO-NOMA, οι χρήστες είναι ζευγαρωμένοι σε ομάδες και το NOMA εφαρμόζεται μόνο μεταξύ των χρηστών του ίδιου συμπλέγματος. Είναι μη τετριμμένο να αποκτηθεί το βέλτιστο ζεύγος χρηστών, καθώς χρειάζεται μια εξαντλητική αναζήτηση. (59)

Επιπλέον, με βάση τη συσχέτιση του καναλιού και τη διαφορά κέρδους, προτείνεται ένας άπληστος αλγόριθμος αντιστοίχισης χρηστών για την επίτευξη σχεδόν βέλτιστης απόδοσης. Μόλις οι χρήστες συνδεθούν σε συστοιχίες, ένας κοινός φορέας προκωδικοποίησης (precoding vector) μοιράζεται από τους χρήστες στο ίδιο σύμπλεγμα το οποίο μετατρέπει το κανάλι MIMO σε πολλαπλά παράλληλα κανάλια SISO. (59)

Ως αποτέλεσμα, η ανωτερότητα του NOMA έναντι του OMA παραμένει. Ένα γενικό πλαίσιο MIMO-NOMA εξαλείφει την παρεμβολή μεταξύ συστοιχιών υιοθετώντας ανίχνευση με ακρίβεια μηδενικής ακρίβειας και ευθυγράμμιση σήματος. Αυτό το έργο υποθέτει τέλει στιγμιαίες

πληροφορίες κατάστασης καναλιών (channel state information , CSI), οι οποίες μπορεί να είναι πρακτικές για τα σενάρια MIMO. (59)

4.2.5.1 Οφέλη του NOMA

Το NOMA κυριαρχεί στη συμβατική ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση (OMA) σε διάφορες πτυχές, όπως (59):

- Επιτυγχάνει ανώτερη φασματική απόδοση εξυπηρετώντας πολλαπλούς χρήστες ταυτόχρονα και με τον ίδιο πόρο συχνότητας και μετριάζοντας τις παρεμβολές μέσω της SIC.
- Αυξάνει τον αριθμό των ταυτόχρονα εξυπηρετημένων χρηστών με αποτέλεσμα, μπορεί να υποστηρίξει μαζική συνδεσιμότητα.
- Λόγω της ταυτόχρονης φύσης μετάδοσης, ο χρήστης δεν χρειάζεται να περάσει από μια προγραμματισμένη χρονική θυρίδα για να μεταδώσει τις πληροφορίες του και, ως εκ τούτου, βιώνει χαμηλότερη καθυστέρηση.
- Η NOMA μπορεί να διατηρήσει δίκαιη και ευμετάβλητη ποιότητα υπηρεσιών με ευέλικτο έλεγχο ισχύος μεταξύ ισχυρών και αδύναμων χρηστών. Ειδικότερα, καθώς η περισσότερη ισχύς κατανέμεται σε έναν ασθενή χρήστη, η NOMA προσφέρει υψηλότερη απόδοση κυψελών και βελτιώνει έτσι την εμπειρία των χρηστών.

4.2.5.2 Περιορισμοί του NOMA

Πρέπει να αντιμετωπιστούν διάφοροι περιορισμοί και ζητήματα εφαρμογής για να αξιοποιηθούν τα πλήρη πλεονεκτήματα του NOMA, όπως: (59)

- Κάθε χρήστης πρέπει να αποκωδικοποιήσει τις πληροφορίες όλων των άλλων χρηστών με χειρότερα κέρδη καναλιού (που ανήκουν στο ίδιο σύμπλεγμα) πριν αποκωδικοποιήσει τις δικές του πληροφορίες, με αποτέλεσμα την επιπρόσθετη πολυπλοκότητα του δέκτη και την κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με τον OMA.
- Όταν εμφανιστεί ένα σφάλμα στην SIC σε ένα χρήστη, η επακόλουθη αποκωδικοποίηση όλων των πληροφοριών άλλων χρηστών πιθανόν να πραγματοποιηθεί λανθασμένα. Αυτό συνεπάγεται ότι ο αριθμός των χρηστών σε κάθε σύμπλεγμα διατηρείται σχετικά χαμηλός ώστε να μειωθεί η επίδραση της διάδοσης σφάλματος.
- Για να αποκτηθούν τα ισχυρισμένα οφέλη της πολυπλεξίας τομέα ισχύος, απαιτείται σημαντική διαφορά κέρδους μεταξύ των ισχυρών και αδύναμων χρηστών. Αυτό διαισθητικά περιορίζει τον αποτελεσματικό αριθμό ζευγών χρηστών, ο οποίος με τη σειρά του μειώνει το κέρδος του ρυθμού αύξησης του NOMA.
- Κάθε χρήστης πρέπει να στείλει πίσω τις πληροφορίες κέρδους του καναλιού στο BS, και NOMA είναι εκ φύσεως ευαίσθητο στην αβεβαιότητα της μέτρηση αυτού του κέρδους.

Είναι αξιοσημείωτο ότι μια κύρια ερευνητική πρόκληση είναι να ξεπεραστούν οι περιορισμοί του NOMA που αναφέρθηκαν. Επιπλέον, πρέπει να αντιμετωπιστούν αρκετά ζητήματα. (59)

Πρώτον, καθώς η πυκνότητα των BS και των καταναλωτικών συσκευών αυξάνεται, το πρόβλημα παρεμβολής μεταξύ κυψελών (inter-cell interference, ICI) μπορεί να γίνει σοβαρό σε δίκτυα πολλαπλών κυψελών. Το ζήτημα του μετριασμού των παρεμβολών μπορεί να είναι ακόμη δυσκολότερο

για τα ετερογενή δίκτυα. Ως εκ τούτου, ο καθορισμός τεχνικών που συνδυάζουν χρήσιμες προσεγγίσεις ακύρωσης παρεμβολών και διαχείρισης με τη NOMA έχει αξιοσημείωτη σημασία. (59)

Δεύτερον, η ενσωμάτωση της συνάθροισης φορέα (Carrier Aggregation, CA) με το σύστημα που βασίζεται σε NOMA μπορεί να αυξήσει περαιτέρω τα ποσοστά δεδομένων των στοχοθετημένων χρηστών. Ωστόσο, ο τύπος CA που ενδείκνυται για λύσεις NOMA δεν έχει καθοριστεί ακόμη. (59)

Τρίτον, η ανάπτυξη αλγορίθμων κατανομής πόρων χαμηλής πολυπλοκότητας είναι σημαντική, καθώς παίζουν κεντρικό ρόλο στη βελτιστοποίηση της απόδοσης NOMA.[54]

Τέταρτον, η ενσωμάτωση του NOMA με άλλες τεχνολογίες που επιτρέπουν την παραγωγή 5G, δηλαδή το μαζικό MIMO και το mmWave, είναι σημαντικό και χρειάζονται περισσότερες προσπάθειες για να εξερευνηθούν λύσεις NOMA κατάλληλες για μαζικά δίκτυα MIMO και mmWave. (59)

Τέλος, ο τρόπος υλοποίησης της ασφάλειας φυσικής στρώσης για το NOMA είναι μια ενδιαφέρουσα ερευνητική κατεύθυνση. (59)

4.3 5G και πολυμέσα

4.3.1 Αυξημένη και Εικονική Πραγματικότητα

Τόσο η Αυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality, AR) όσο και η Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality, VR) κινούνται με γρήγορο ρυθμό, από την τάση στην καταναλωτική αγορά έως την αλλαγή του τρόπου που ζούμε, έχουν επηρεάσει πραγματικά κάθε πτυχή της ζωής μας! Ωστόσο, ο αγώνας για να απελευθερωθεί το πλήρες δυναμικό τους συνεχίζεται. (60)

Ο κύριος λόγος πίσω από αυτό είναι και οι δύο αυτές τεχνολογίες χρειάζονται καλύτερη συνδεσιμότητα για να εκτελέσουν με διακοπτόμενο τρόπο. Ως εκ τούτου, οι εμπειρογνώμονες έχουν μεταφέρει ότι για να

βεβαιωθείτε ότι αυτές οι τεχνολογίες είναι αποδεκτές σε όλο τον κόσμο, χρειαζόμαστε τεχνολογία 5G. (60)

Η μεγαλύτερη αλλαγή 5G μπορεί να φέρει είναι σε εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα. Καθώς τα τηλέφωνα μετατρέπονται σε συσκευές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ακουστικά VR, η πολύ χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση και οι σταθερές ταχύτητες του 5G προσφέρουν έναν κόσμο που θα επεκταθεί στο διαδίκτυο, εάν και όταν το θέλει ο χρήστης. Οι μικρές πτυχές κυττάρων του 5G μπορούν επίσης να βοηθήσουν στην κάλυψη εντός κτιρίου, καθώς ενθαρρύνει κάθε οικιακό δρομολογητή να γίνει κυψέλη. (60)

Άλλοι λόγοι που θα χρησιμεύει η πέμπτη γενιά όσο αφορά το AR και VR αναφέρονται παρακάτω. (60)

1. Μειωμένη καθυστέρηση. Το 5G δεν θα έχει μόνο ταχύτερη ταχύτητα αλλά και χαμηλότερο ρυθμό καθυστέρησης. Η ταχύτητα και η καθυστέρηση είναι αντιστρόφως ανάλογες μεταξύ τους και συνεπώς με την αύξηση της καθυστέρησης της ταχύτητας θα μειωθεί με τον ίδιο ρυθμό. Με μειωμένη χρονική υστέρηση, τα AR και VR θα μπορούσαν να βελτιωθούν σημαντικά. Επίσης, η τηλεϊατρική, η εικονική εκπαίδευση θα βελτιωθεί επίσης δραστικά.
2. Αυξημένη κυκλοφοριακή ικανότητα. Γνωρίζουμε όλοι ότι η επεξεργασία των AR και VR μια πληθώρα δεδομένων προς επεξεργασία. Για τους ανθρώπους που εργάζονται τοπικά δεν θα αντιμετωπίσει ποτέ κάποιο πρόβλημα, αλλά αν κάποιος επιχειρήσει να μεταφέρει δεδομένα από απόσταση, τότε τα τρέχοντα συστήματα, συμπεριλαμβανομένων των 4G, δεν είναι αποτελεσματικά. Αντιθέτως η υλοποίηση αυτού του στόχου με την εφαρμογή 5G δεν θα είναι πλέον ανησυχητική, καθώς θα βελτιώσει και την ικανότητα διαχείρισης της κυκλοφορίας.

3. Το μεγαλύτερο εύρος ζώνης ισοδυναμεί με την καλύτερη εμπειρία. Ένα πράγμα είναι βέβαιο, με μεγαλύτερο εύρος ζώνης ο κάθε χρήστης μπορεί να απολαύσει μεγαλύτερη ταχύτητα. Παρόλο που η 5G χρειάζεται ευρύτερο εύρος ζώνης, οι ανεπτυγμένες χώρες θα μπορέσουν να επωφεληθούν από αυτό πολύ πριν από τις αναπτυσσόμενες. Αν μιλάμε για αυτό από την άποψη των AR και VR, τότε ευρύτερο εύρος ζώνης σημαίνει ευκολία στη μεταφορά δεδομένων. Αυτό θα συμβάλει και πάλι στη βελτίωση της εμπειρίας μας με την AR και την VR.



Εικόνα 36: VR VS AR

4.3.2 Αυτοδύναμα αυτοκίνητα

Το αυτοκατευθυμένο αυτοκίνητο δεν είναι πλέον φουτουριστικό φανταστικό. Καταναλωτές ήδη να αγοράσουν οχήματα. Αυτή η αυτόνομη επανάσταση θα προωθήσει τον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας και θα διαταράξει τεράστιες διακυμάνσεις της οικονομίας, βελτιώνοντας ριζικά την ενεργειακή απόδοση και αλλάζοντας τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι προσεγγίζουν τις μεταφορές σε όλο τον κόσμο. (61)

Οι νεκρές ζώνες με κάλυψη 5G θα μπορούσαν να περιορίσουν τα αυτοκίνητα αυτοκίνησης σε πυκνά, αστικά κέντρα πληθυσμού τα επόμενα χρόνια. Αυτό το σενάριο θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα για τα αυτόνομα οχήματα που βασίζονται στη συνδεσιμότητα 5G, ιδιαίτερα καθώς τα αυτοκίνητα γίνονται πιο προσιτά στους καταναλωτές. Ωστόσο, οι τηλεπικοινωνίες θα μπορούσαν πραγματικά να επωφεληθούν από μια σειρά

από ευκαιρίες εσόδων παρέχοντας σύνδεση 5G σε περισσότερες αγροτικές περιοχές, γεγονός που πιθανώς θα τους ωθήσει να επεκτείνουν την κάλυψη αυτών των χώρων τελικά. (61)

Καθώς οι φορείς κινητής τηλεφωνίας αρχίζουν να εισάγουν τεχνολογία πέμπτης γενιάς στα δίκτυά τους, θα επικεντρωθούν σε αστικές περιοχές. Η τεχνολογία 5G αναμένεται να βελτιώσει σημαντικά τη χωρητικότητα και τις ταχύτητες δεδομένων των ασύρματων δικτύων ασύρματων δικτύων, επιτρέποντας στους παρόχους δικτύου να προσφέρουν πολύ ισχυρότερες συνδέσεις στο διαδίκτυο με συσκευές. Αυτό θα επιτρέψει σε αυτούς τους παρόχους δικτύων να ανταποκριθούν στην αυξανόμενη ζήτηση για υπηρεσίες υψηλής έντασης δεδομένων, όπως η ροή βίντεο, σε αστικές περιοχές. (61)

Οι μεγαλύτερες δυνατότητες δικτύωσης της 5G αναμένεται επίσης να διαδραματίσουν κεντρικό ρόλο στον πολλαπλασιασμό των αυτοδύναμων αυτοκινήτων, τα οποία θα παράγουν τα ίδια τεράστια ποσά δεδομένων και θα καταστούν επίσης πλατφόρμες για την κατανάλωση ψηφιακών βίντεο και άλλων υπηρεσιών πολυμέσων συνεχούς ροής. (61)

Οι τηλεπικοινωνίες θα έχουν ελάχιστα κίνητρα, όμως, να παρέχουν ακριβή και γρήγορη κάλυψη 5G στις αγροτικές περιοχές, καθιστώντας τους δύσκολο να προσεγγιστούν για αυτό-οδηγούμενα αυτοκίνητα που βασίζονται στη συνδεσιμότητα 5G. Σε αυτό το σενάριο, οι νεκρές ζώνες κάλυψης θα καταστήσουν αυτό-οδηγούμενα αυτοκίνητα που βασίζονται στη συνδεσιμότητα 5G ανίκανα για διαπολιτισμικά ταξίδια. (61)

Παρόλο που αυτό δεν θα επηρέαζε τα αστικά προγράμματα, θα μπορούσε να γίνει ένα ζήτημα όταν το κόστος αυτών των αυτοκινήτων φτάνει αρκετά χαμηλά ώστε οι καταναλωτές να αγοράσουν τα δικά τους αυτόνομα οχήματα. Οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τα δίκτυα αυτά για να προσφέρουν μια μεγάλη ποικιλία υπηρεσιών σε αυτοκινητοβιομηχανίες, συμπεριλαμβανομένων υπηρεσιών streaming media για τους επιβάτες στο αυτοκίνητο, ενημερώσεις πλοήγησης και καιρού, καθώς

και υπηρεσίες ασφάλειας του κυβερνοχώρου για την παρακολούθηση των οχημάτων για εισβολές. (61)

Για να καταστούν πολύτιμες οι υπηρεσίες αυτές, οι τηλεπικοινωνίες θα πρέπει να εξασφαλίσουν ότι μπορούν να παρέχουν αξιόπιστες συνδέσεις κατά μήκος των περισσότερων αυτοκινητοδρόμων και πολλών αγροτικών περιοχών, γεγονός που θα ωθήσει τους διαχειριστές δικτύων να επεκτείνουν σταδιακά τα δίκτυα 5G για να τα καλύψουν. (61)

Τα αυτόνομα αυτοκίνητα και άλλοι νέοι τύποι συνδεδεμένων συσκευών IoT αναμένεται να είναι σημαντικοί οδηγοί εσόδων για τα δίκτυα 5G και η προσφορά αυτών των τύπων υπηρεσιών θα είναι κρίσιμη για τις τηλεπικοινωνίες ώστε να μεγιστοποιήσουν αυτή την ευκαιρία. Αυτό δεν θα τους εμπόδιζε να αφήσουν μερικές νεκρές ζώνες, τα αυτοκίνητα θα μπορούσαν να πέσουν πίσω στο GPS για σκοπούς πλοήγησης σε αυτές τις περιπτώσεις, ή να κατεβάσουν τμήματα χαρτών μπροστά από το χρόνο, καθώς και μέσα ενημέρωσης για τους επιβάτες να απολαύσουν ενώ είναι εκτός εμβέλειας. (61)

Οι πιο σημαντικές λειτουργίες επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων αυτόματων αυτοκινήτων, συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης των δεδομένων από τους αισθητήρες τους σχετικά με τα εμπόδια στο περιβάλλον τους, θα πραγματοποιηθούν στα υπολογιστικά συστήματα του αυτοκινήτου και συνεπώς δεν θα βασίζονται σε δικτυακές συνδέσεις ούτως ή άλλως. Ως εκ τούτου, είναι εξαιρετικά απίθανο ότι οι νεκρές ζώνες σε κάλυψη 5G θα παρεμποδίσουν σημαντικά την υιοθέτηση αυτόματων αυτοκινήτων. (61)

Οι τυπικές λειτουργίες που είναι διαθέσιμες σήμερα είναι οι εφαρμογές smartphone (για όλα, από το ξεκλείδωμα και την εκκίνηση του αυτοκινήτου από απόσταση, την εξεύρεση αυτοκινήτου ή χώρου στάθμευσης και τον έλεγχο της στάθμης μπαταρίας ενός ηλεκτρικού αυτοκινήτου), πλοήγηση, πληροφορίες κυκλοφορίας, χαρακτηριστικά θυρωρού, χειριστήρια κινητήρα και
διαγνωστικά.
(61)

4.3.2.1 Ασφάλεια

Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό από τη λίστα των συνδεδεμένων δικτυακών αγορών αυτοκινήτων είναι η ασφάλεια. Ευτυχώς, ενώ οι λεπτομέρειες είναι λογικά αραιές, αυτό το θέμα δεν είναι πλέον ταμπού στο CES. Τόσο η Cisco όσο και η Samsung έφεραν την πρωτοποριακή ασφάλεια των δεδομένων ως πυλώνα ανταλλαγής μηνυμάτων στα νέα δίκτυα αυτοκινήτων και υπάρχει μια μικρή αλλά αυξανόμενη ποικιλία προμηθευτών που πωλούν λύσεις ασφάλειας δεδομένων ειδικά σχεδιασμένες για αυτοκίνητα του αύριο, συμπεριλαμβανομένου του Thales e-Security, που δεν συμμετείχαν στην CES και ατρόμητα συστήματα ελέγχου, τα οποία παρακολούθησαν την παράσταση και ειδικεύονται στον έλεγχο QA για προηγμένες πλατφόρμες αυτοκινητοβιομηχανιών, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων ασφαλείας. (62)

Το VTT Τεχνικό Κέντρο Ερευνών της Φινλανδίας (VTT) επιχειρεί να αυξήσει την ασφάλεια των χρηστών του οδικού δικτύου μέσω νέων λύσεων και υπηρεσιών που επιτρέπονται από την τεχνολογία 5G. Οι νέες λύσεις ασφάλειας που αναπτύσσει η VTT σε συνεργασία με άλλες επιχειρήσεις σχετίζονται με τις οδικές υπηρεσίες οδοστρώματος, τη συντήρηση δρόμων, την αυτοματοποιημένη οδήγηση και τη δια μεταφορά οχημάτων σε πραγματικό χρόνο 3D προβολών. (63)

"Η ταχύτητα του δικτύου 5G επιτρέπει τη μετάδοση μεγάλων προβολών 3D μεταξύ οχημάτων. Ως αποτέλεσμα, οι αποστάσεις επικοινωνίας των παρατηρήσεων αυτοκινήτων μπορούν να αυξηθούν και τα δεδομένα μπορούν να ληφθούν από περιοχές που οι αισθητήρες του αυτοκινήτου δεν καλύπτουν και δεν είναι κατά την άποψή του ", δήλωσε η Tiia Ojanperä, ηγέτης του έργου 5G-Safe στο VTT. (63)

Οι νέες λύσεις οδικού δικτύου και ο τοπικός καιρός και οι υπηρεσίες οδικής ασφάλειας επιτρέπουν τη στήριξη των οδηγών, των οδικών φορέων και των συστημάτων ελέγχου αυτοματοποιημένων οχημάτων. Δεν απαιτούν καμία ενέργεια από τους αυτοκινητιστές κατά την οδήγηση τα δεδομένα θα

συγκεντρωθούν και οι προειδοποιήσεις θα σταλούν στους χρήστες αυτόματα.
(63)

4.4 Τέταρτη και πέμπτη γενιά

4.4.1 Δυνατότητες της 5G όπου δεν προσφέρει το 4G

Δεδομένων των έντονων διαφορών ως προς τον τρόπο με τον οποίο εκτελούν, είναι σαφές ότι το 5G ανοίγει ένα νέο δρόμο για το μέλλον για τις κινητές συσκευές και την επικοινωνία. (64)

Το 5G επιτρέπει ακόμα στον χρήστη να στέλνει μηνύματα κειμένου, να πραγματοποιεί τηλεφωνικές κλήσεις, να περιηγείται στο διαδίκτυο και να κάνει streaming βίντεο. Στην πραγματικότητα, αυτά που κάνει ο χρήστης επί του παρόντος στο τηλέφωνό του, σε σχέση με το διαδίκτυο, θα βελτιωθούν μόνο.
(64)

Οι ιστοσελίδες θα φορτωθούν γρηγορότερα, τα βίντεο που έχουν ξεκινήσει αυτόματα, θα φορτωθούν ακόμα πιο γρήγορα, τα online παιχνίδια για πολλούς παίκτες θα σταματήσουν, θα δείτε ένα ομαλό και ρεαλιστικό βίντεο όταν χρησιμοποιείτε το Skype ή το FaceTime κ.λπ (64)

Το 5G στο σπίτι θα επιτρέψει στον χρήστη να συνδέει το smartphone, τον ασύρματο θερμοστάτη, την κονσόλα παιχνιδιών, στις έξυπνες πόρτες, τα ακουστικά εικονικής πραγματικότητας, τις ασύρματες κάμερες ασφαλείας, τα tablet και τον φορητό υπολογιστή στον ίδιο δρομολογητή, χωρίς να ανησυχεί ο χρήστης ότι θα σταματήσουν να λειτουργούν όταν είναι όλα ταυτόχρονα.
(64)

Τα οχήματα που λαμβάνουν δεδομένα GPS και άλλες οδηγίες που τους βοηθούν να πλοηγηθούν στο δρόμο, όπως ενημερώσεις λογισμικού ή ειδοποιήσεις κυκλοφορίας και άλλα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, απαιτούν γρήγορο internet για να είναι πάντα στην κορυφή. Δεδομένου ότι η 5G μπορεί να μεταφέρει δεδομένα πολύ ταχύτερα από τα δίκτυα 4G, δεν είναι εκτός του πεδίου της δυνατότητας να περιμένουμε να δούμε περισσότερες

ακατέργαστες, μη συμπιεσμένες μεταφορές δεδομένων. Αυτό που κάνει τελικά είναι να επιτρέψει ακόμα πιο γρήγορη πρόσβαση στις πληροφορίες, αφού δεν χρειάζεται να είναι ασυμπίεστη πριν χρησιμοποιηθούν. (64)

Το 5G είναι πολύ γρηγορότερο από 4G. Το εύρος ζώνης αναφέρεται στην ποσότητα των δεδομένων που μπορούν να μεταφερθούν (uploaded ή downloaded) μέσω ενός δικτύου σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Αυτό σημαίνει ότι υπό ιδανικές συνθήκες, όταν υπάρχουν πολύ λίγες, αν υπάρχουν άλλες συσκευές ή παρεμβολές, επηρεάζουν την ταχύτητα, μια συσκευή θα μπορούσε θεωρητικά να βιώσει τις γνωστές ως μέγιστες ταχύτητες. (64)

Το 5G έχει μέγιστη ταχύτητα λήψης 20 Gb / s ενώ η 4G είναι μόλις 1 Gb / s. Αυτοί οι αριθμοί αναφέρονται σε συσκευές που δεν κινούνται, όπως σε μια εγκατάσταση σταθερής ασύρματης πρόσβασης (Fixed Wireless Access, FWA) όπου υπάρχει άμεση ασύρματη σύνδεση μεταξύ του πύργου και της συσκευής του χρήστη. Οι ταχύτητες ποικίλλουν μόλις ο χρήστης αρχίσει να κινείται, όπως σε ένα αυτοκίνητο ή τρένο. (64)

4.4.2 Διαφορές στην λειτουργικότητα ανάμεσα στο 5G και 4G

Ένας νέος τύπος δικτύου κινητής τηλεφωνίας δεν θα ήταν καινούργιος αν δεν ήταν κατά κάποιον τρόπο ουσιαστικά διαφορετικό από τα υπάρχοντα. Μια θεμελιώδης διαφορά είναι ότι η πέμπτη γενιά κάνει χρήση μοναδικών ραδιοσυχνοτήτων για την επίτευξη πραγμάτων όπου η τέταρτη γενιά δεν μπόρεσε να κάνει. (64)

Το ραδιοφάσμα χωρίζεται σε ζώνες, το καθένα με μοναδικά χαρακτηριστικά καθώς ανεβαίνετε σε υψηλότερες συχνότητες. Τα δίκτυα 4G χρησιμοποιούν συχνότητες κάτω των 6 GHz, αλλά το 5G πιθανότατα θα χρησιμοποιεί εξαιρετικά υψηλές συχνότητες στην περιοχή των 30 GHz έως 300 GHz. (64)

Αυτές οι υψηλές συχνότητες είναι εξαιρετικές για πολλούς λόγους, ένα από τα σημαντικότερα είναι ότι υποστηρίζουν μια τεράστια χωρητικότητα για ταχείες πληροφορίες. Είναι λιγότερο γεμάτοι με υπάρχοντα κυψελοειδή δεδομένα και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον για την αύξηση των απαιτήσεων σχετικά με το εύρος ζώνης, είναι επίσης πολύ κατευθυντικά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν δίπλα σε άλλα ασύρματα σήματα χωρίς να προκαλούν παρεμβολές. (64)

Αυτό είναι πολύ διαφορετικό από τους πύργους των 4G που πυροδοτούν τα δεδομένα σε όλες τις κατευθύνσεις, ενδεχομένως σπαταλώντας τόσο ενέργεια όσο και ισχύ για να εκπέμπουν ραδιοκύματα σε τοποθεσίες που δεν ζητούν ακόμη πρόσβαση στο διαδίκτυο. (64)

Το 5G χρησιμοποιεί επίσης βραχύτερα μήκη κύματος, πράγμα που σημαίνει ότι οι κεραιές μπορούν να είναι πολύ μικρότερες από τις υπάρχουσες κεραιές ενώ παράλληλα παρέχουν ακριβή κατευθυντικό έλεγχο. Δεδομένου ότι ένας σταθμός βάσης μπορεί να χρησιμοποιήσει ακόμη πιο κατευθυντικές κεραιές, σημαίνει ότι η 5G θα υποστηρίξει πάνω από 1.000 συσκευές ανά μέτρο από ό, τι υποστηρίζεται από το 4G. (64)

Αυτό σημαίνει ότι όλα τα δίκτυα 5G θα μπορούν να μεταδίδουν εξαιρετικά γρήγορα δεδομένα σε πολύ περισσότερους χρήστες, με μεγάλη ακρίβεια και μικρή καθυστέρηση. (64)

Για αυτούς τους λόγους που μπορούμε να περιμένουμε πολλές στρατηγικά τοποθετημένες κεραιές για να υποστηρίξουν 5G, είτε πραγματικά μικρές σε κάθε δωμάτιο ή κτίριο που το χρειάζονται είτε μεγάλες τοποθετημένες σε όλη την πόλη. Θα υπάρχουν επίσης πολλοί επαναλαμβανόμενοι σταθμοί για να ωθήσουν τα ραδιοκύματα όσο είναι δυνατόν για να παρέχουν υποστήριξη 5G μεγάλης εμβέλειας. (64)

Μια άλλη διαφορά μεταξύ των 5G και 4G είναι ότι τα δίκτυα 5G θα κατανοήσουν ευκολότερα τον τύπο των δεδομένων που ζητούνται και θα μπορούν να αλλάξουν σε κατάσταση χαμηλότερης ισχύος όταν δεν χρησιμοποιούνται ή όταν παρέχουν χαμηλές τιμές σε συγκεκριμένες

συσκευές, λειτουργία υψηλότερης ισχύος για πράγματα όπως η ροή βίντεο υψηλής ευκρίνειας. (64)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 RAN και C-RAN

Ένα δίκτυο ασύρματης πρόσβασης (Radio Access Network, RAN) είναι μια τεχνολογία που συνδέει μεμονωμένες συσκευές με άλλα μέρη ενός δικτύου μέσω ασύρματων συνδέσεων. Αποτελεί μείζον μέρος των σύγχρονων τηλεπικοινωνιών, ενώ οι συνδέσεις δικτύου 3G και 4G για κινητά τηλέφωνα αποτελούν παραδείγματα δικτύων ραδιοεπικοινωνίας. (64)

Η ιδέα, που πρωτοστάτησε πριν από δεκαετίες, είναι ότι ένα ακουστικό ή άλλο στοιχείο μπορεί να συνδεθεί ασύρματα με την ραχοκοκαλιά(backbone) ή με το βασικό δίκτυο(core network) που μεταδίδει μέσω του συστήματος PSTN ή κάποια άλλη υποδομή. Το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης λαμβάνει το σήμα από και προς το ασύρματο τελικό σημείο, ώστε να μπορεί να ταξιδεύει με άλλη κίνηση μέσω δικτύων που έχουν κατασκευαστεί με συλλογικό και σκόπιμο σκοπό. (64)

Το RAN αντιπροσωπεύει το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης, τον εξοπλισμό που συνδέεται με κυψελοειδείς κεραιές, επεξεργάζεται το σήμα και το στέλνει στο κεντρικό δίκτυο. Καθώς η ζήτηση για συνδεσιμότητα έχει εξαντληθεί, οι φορείς εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας έχουν αναζητήσει τρόπους ελαχιστοποίησης του αποτυπώματος και του κόστους του

εξοπλισμού τους. Αυτό έχει οδηγήσει στη μετάβαση στη συγκέντρωση τμημάτων του RAN. (65)

Το C-RAN είναι ένα από τα πιο ακατανόητα ακρωνύμια στο ασύρματο, όπως χρησιμοποιείται για να περιγράψει δύο διαφορετικές, αλλά σχετικές αρχιτεκτονικές. Το C-RAN μπορεί να περιγράψει cloud-RAN ή centralized-RAN. (65)

Ένας ραδιοφωνικός σταθμός βάσης μπορεί να διαχωριστεί λειτουργικά σε (65):

1. Μονάδα βασικής ζώνης (Baseband Processing Unit, BBU), μερικές φορές επίσης αναφέρεται ως ψηφιακή μονάδα, η οποία παράγει και επεξεργάζεται ένα ψηφιακό σήμα RF βασικής ζώνης.
2. Η απομακρυσμένη ραδιοφωνική κεραία (*remote radio head, RRH*), γνωστή και ως απομακρυσμένη ράδιο-μονάδα (*remote radio unit, RRU*), η οποία δημιουργεί το αναλογικό σήμα μετάδοσης ραδιοσυχνοτήτων από το σήμα της βασικής ζώνης και παράγει αντίστοιχα την κεραία, ψηφιοποιεί το σήμα λήψης RF.

Εν συντομία, το BBU διαθέτει τη λειτουργία "ψηφιακού" και το RRH διαθέτει το ανάλογο.

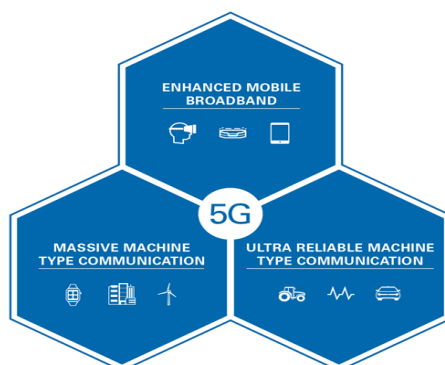
Συγκεκριμένα, η μονάδα επεξεργασίας βασικής ζώνης (BBU) είναι το τμήμα του RAN, ώστε οι μεταφορείς να μετακινούνται σε μια κεντρική θέση από την οποία μπορούν να εξυπηρετηθούν πολλές απομακρυσμένες ραδιοφωνικές κεφαλές. Μέχρι στιγμής, οι μεταφορείς δεν επιθυμούσαν να μοιράζονται εξοπλισμό επεξεργασίας, αλλά ένας μεταφορέας μπορεί να χρησιμοποιεί τον ίδιο εξοπλισμό ή χώρο εξοπλισμού για να εξυπηρετεί πρρ περισσότερο από ένα σετ απομακρυσμένων ραδιοφωνικών κεφαλών. (65)

Η οπτική ίνα συνήθως χρησιμοποιείται για τη σύνδεση των BBU σε απομακρυσμένες ραδιοφωνικές κεφαλές και αυτή η σύνδεση αναφέρεται συχνά ως "fronthaul". Σε ορισμένες αρχιτεκτονικές, οι BBU συνδέονται και μπορούν να μοιράζονται πληροφορίες, ενώ σε άλλες βρίσκονται απλά στο ίδιο κτίριο. Η συστέγαση των BBUs γίνεται όλο και πιο δημοφιλής για τους φορείς που αναπτύσσουν συστήματα διανεμημένης κεραίας. (65)

5.1.1 eMBB

Η πέμπτη γενιά έχει τρεις βασικές περιπτώσεις χρήσης:

- βελτιωμένη ευρυζωνικότητα κινητής τηλεφωνίας (enhanced mobile broadband, eMBB)
- μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής (massive machine type communications, mMTC)
- εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες χαμηλής καθυστέρησης (ultra-reliable low latency communications, URLLC).



Εικόνα 37: 5G

Υπάρχουν σημαντικοί βασικοί δείκτες επιδόσεων (key performance indicators, KPI) με προτεραιότητες σε θέματα, όπως αυξημένη χωρητικότητα δικτύου και υψηλότερο ρυθμό δεδομένων για το eMBB, πυκνότητα σύνδεσης και ενεργειακή απόδοση για mMTC, υψηλή αξιοπιστία και χαμηλή καθυστέρηση για το URLLC. (66)

Το 5G θα απαιτήσει μια τεράστια αύξηση στον αριθμό των σταθμών βάσης δεδομένου ότι το τμήμα eMBB της 5G (ταχύτερη ταχύτητα) θα

χρησιμοποιεί φάσμα πολύ υψηλότερης συχνότητας. Αυτή η διαδικασία, γενικά αναφέρεται ως πυκνότητα, δημιουργεί μια πρόκληση κλίμακας. Στην παραδοσιακή RAN αρχιτεκτονική, κάθε τοποθεσία κυτάρων απαιτεί το δικό της αποκλειστικό BBU και RHH, μαζί με τη σχετική ισχύ, τη δροσιά και τη λειτουργικότητα δρομολόγησης. (66)

Η τεράστια αύξηση των σταθμών βάσης θα προκαλέσει σημαντικές ανησυχίες κεφαλαίου και επιχειρησιακού κόστους, οι οποίες θα περιορίζαν σημαντικά τον αριθμό (και τις τοποθεσίες) των σταθμών βάσης που θα μπορούσαν να αναπτυχθούν. Χωρίς ταχεία και μαζική ανάπτυξη, οι ραγδαίοι σταθμοί βάσης υψηλής συχνότητας 5G δεν θα είναι ικανοί να καλύψουν τις εξαιρετικές αυξήσεις της ζήτησης όγκου δεδομένων, ποικιλομορφίας υπηρεσιών και σχετικής προσδοκίας απόδοσης. (66)

5.1.2 CPRI

Η αποδόμηση των σταθμών βάσης για τον διαχωρισμό των RRU και BBU δημιουργεί την ανάγκη για ένα δίκτυο μεταφορών fronthaul ικανό να μεταφέρει τα δείγματα κεραίας χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα CPRI (κοινό δημόσιο ραδιοφωνικό περιβάλλον) ή πρωτόκολλα OBSAI (αρχιτεκτονική ανοικτού σταθμού βάσης). (67)

Το CPRI είναι σήμερα το πιο δημοφιλές πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται μεταξύ ενός RRH και ενός BBU για τη μεταφορά ψηφιακών σημάτων και η αναδυόμενη συναίνεση είναι ότι η τρέχουσα ημι-ιδιόκτητη CPRI δεν είναι αρκετά αποτελεσματική και δεν κλιμακώνεται σε 5G απαιτήσεις. (67)

Το CPRI ορίζει ένα απλό σύγχρονο πρωτόκολλο για να χαρτογραφήσει δεδομένα χρήστη τα οποία θα διαμορφωθούν και θα μεταδοθούν από μια ραδιοφωνική μονάδα. Αυτή η απλότητα επιτρέπει σχέδια οικονομικού και μικρού μεγέθους, καθώς και επιτρέπει το συντονισμό σταθμών βάσης με χαρακτηριστικά όπως το CoMP(Coordinated Multipoint). Ωστόσο, η απλότητα έρχεται και με ένα κόστος. (67)

Με τις απαιτήσεις υψηλού εύρους ζώνης για το CPRI και την αυξανόμενη ανάπτυξη MIMO υψηλότερης τάξης και υψηλότερες υπηρεσίες φασματικού εύρους ζώνης από την CA (carrier aggregation), οι τιμές γραμμής CPRI (που σήμερα περιορίζονται σε 24 Gbps) δεν θα είναι σε θέση να αυξήσουν την κλίμακα. (67)

Η CPRI απαιτεί επίσης αυστηρούς προϋπολογισμούς καθυστέρησης που οδηγούν σε περιορισμούς στις τεχνολογίες απόστασης και μεταφοράς που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συγκέντρωση και την εναλλαγή. Αυτός ο περιορισμός θα ήταν ένα τεράστιο μπουκάλι στην ανάπτυξη της τεχνολογίας 5G. Μια άλλη ανησυχία σχετίζεται με την υιοθέτηση της κλίμακας MIMO. Το CPRI απαιτεί έναν ειδικό σύνδεσμο για κάθε κεραία. Αυτός ο μηχανισμός καθίσταται προβληματικός καθώς οι τηλεπικοινωνίες επενδύουν στην τεχνολογία MIMO για να αυξήσουν τα ποσοστά δεδομένων για ραδιόφωνα 4G και 5G. (67)

Για να βελτιωθεί η ευελιξία ανάπτυξης και η αποδοτικότητα της λειτουργίας, έχει δημιουργηθεί μια νέα αρχιτεκτονική κινητής τηλεφωνίας C-RAN και έτσι το fronthaul γίνεται το επίκεντρο του μέλλοντος της 5G. (67)

5.2 5G και C-RAN

Το CRAN μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (total cost of ownership , TCO) και μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του δικτύου. Είναι ιδιαίτερα ευεργετικό σε σενάρια δικτύου με χαμηλή καθυστέρηση. Η κεντρική αρχιτεκτονική cloud RAN παρέχει επίσης το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτεί ανακατασκευή του δικτύου μεταφορών. (68)

Άλλα πλεονεκτήματα του CRAN είναι η δυνατότητα συγκέντρωσης πόρων, επαναχρησιμοποίησης υποδομών, απλοποίησης των λειτουργιών και διαχείρισης δικτύων, υποστήριξης πολλαπλών τεχνολογιών, μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας και μείωσης του καπνού και της πίεσης. Το δίκτυο γίνεται επίσης πιο ετερογενές και αυτο-οργανωτικό. Μόλις εφαρμοστεί, το

CRAN θα φέρει και άλλα οφέλη, όπως ευκολότερη και ταχύτερη ανάπτυξη δικτύων και αυξημένη ευελιξία του δικτύου. (68)

Η αρχιτεκτονική CRAN επιτρέπει στους φορείς εκμετάλλευσης να εκτελούν συγχρόνως λειτουργίες RAN μαζί με άλλες λειτουργίες δικτύου σε ένα περιβάλλον κέντρου δεδομένων, παρέχοντάς τους τη δυνατότητα να προσφέρουν πιο γρήγορα νέες υπηρεσίες μέσω του ευρυζωνικού δικτύου κινητής τηλεφωνίας. (68)

5.3 BACKHAUL

Ο όρος Mobile Backhaul αναφέρεται στους συνδέσμους δικτύου μεταξύ των ραδιοφωνικών σταθμών βάσης και του ελεγκτή δικτύου/πύλης για όλες τις γενιές κινητών τεχνολογιών. Η backhaul 2G βασίζεται σε τεχνολογίες πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου, ιδιαίτερα στη σύγχρονη ψηφιακή ιεραρχία (Synchronous Digital Hierarchy, SDH) και την ψηφιακή ιεραρχική ψηφιοποίηση (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH). Ενώ η backhaul 3G επιτυγχάνεται με την τεχνολογία ATM κατάλληλη για την εναλλαγή κυκλώματος που υιοθετήθηκε στο UMTS. (69)

Οι υπηρεσίες που παρέχονται από τις τεχνολογίες HSPA και LTE αναπτύσσονται σε πλατφόρμες μεταφοράς πακέτων χρησιμοποιώντας Ethernet, MPLS και IP. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ευρυζωνικές υπηρεσίες βασίζονται στην τεχνολογία πακέτων, η οποία παρέχει μια λύση για την αντιμετώπιση των ζητημάτων κόστους και κλιμάκωσης. (69)

Η χρήση προηγμένων χαρακτηριστικών ραδιοσυχνοτήτων για το LTE-A, όπως συντονισμός ραδιοσυχνοτήτων, MIMO υψηλότερης τάξης και μεγαλύτερα εύρη ζώνης ραδιοφάσματος, θα αυξήσει την κυκλοφορία backhaul. Και η ανάπτυξη του 5G θα φέρει σίγουρα περαιτέρω κίνηση ανά σύνδεση. (69)

Εκτός από την ανάπτυξη σημείων backhaul από σημείο σε σημείο, οι φορείς εκμετάλλευσης εκμεταλλεύονται τα σταθερά τους δίκτυα που αναπτύχθηκαν αρχικά για οικιακούς πελάτες για την ανάπτυξη κινητού

σταθμού βάσης, δηλαδή τα δίκτυα xDSL που αναφέρονται στο 1.3.1.1 και τα δίκτυα FTTx. (69)

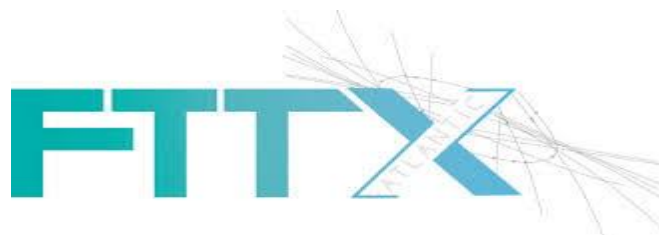
5.3.1 xDSL

Λίγα ακόμα πράγματα για το xDSL. Η ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (Digital Subscriber Line, DSL) αναπτύχθηκε σε μεγάλο βαθμό για το σκοπό αυτό, ειδικά το ασύμμετρο DSL (Asymmetric DSL, ADSL) και το DSL πολύ υψηλής ταχύτητας (Very-high-bit-rate DLS, VDSL). Η δημοτικότητά τους οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι επωφελούνται από το πολύ διαδεδομένο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο μεταγωγής (Public Switched Telephone Network, PSTN). Ως εκ τούτου, εξοικονομείται τεράστιο ποσό επένδυσης με αυτόν τον τρόπο προς όφελος των φορέων εκμετάλλευσης. (69)

Η απόδοση ADSL μπορεί να μειωθεί ανάλογα με την ποιότητα της γραμμής. Συνήθως, ο πιο σημαντικός παράγοντας στην ποιότητα της γραμμής είναι η απόσταση από το έλεγχο πρόσβασης πολυμέσων ψηφιακής συνδρομητικής γραμμής (Digital Subscriber Line Access Multiplexer , DSLAM) στον εξοπλισμό του πελάτη. Το ADSL υποστηρίζει μόνο μικρές αποστάσεις, συνήθως λιγότερο από 5 χιλιόμετρα. Εάν απαιτείται μεγαλύτερη εμβέλεια, ο ρυθμός δεδομένων πρέπει να θυσιάζεται. (69)

5.3.2 FTTx

Λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη για όλο και μεγαλύτερο περιεχόμενο στους σταθερούς πελάτες και επίσης την εξαιρετική αύξηση της κινητής τηλεφωνίας, η χρήση οπτικών ινών στα δίκτυα πρόσβασης έγινε αναπόφευκτη. (69)



Εικόνα 38 : FTTx

Η ανάπτυξη οπτικών ινών μπορεί να είναι πολύ δαπανηρή για τους χειριστές, ειδικά σε μη πυκνές περιοχές και περιοχές χαμηλής πυκνότητας. Έτσι, αναπτύχθηκαν πολλές αρχιτεκτονικές Fiber-To-The (FTTx) για να καταστεί δυνατή η ανάπτυξη οπτικών ινών σε διαφορετικά επίπεδα του δικτύου πρόσβασης. (69)

Οι μικρές αποστάσεις στα δίκτυα πρόσβασης δεν απαιτούν οπτική ενίσχυση, επομένως δεν υπάρχει ανάγκη για ενεργά στοιχεία σε αυτό το στρώμα. Παρέχοντας το χαμηλό κόστος του, το Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (Passive Optical Network, PON) ήταν καλό υποψήφιο για την αντικατάσταση του xDSL, εν μέρει δεδομένου ότι αποτελεί μια μαζική αγορά, δεδομένου ότι κάθε πελάτης θα μπορούσε να έχει μια σύνδεση υψηλής οπτικής ίνας στο σπίτι. (69)

Η πρώτη τεχνολογία PON ήταν το 1995 με το APON (PON με βάση τη λειτουργία ασύγχρονης μεταφοράς ATM). Το 1999, εμφανίστηκε η τεχνολογία BPON (Broadband PON), επιτρέποντας τη μετάδοση σε 622 Mbit / s upload και 122 Mbit / s download. Ωστόσο, μόνο το GPON, το πρώτο μέρος του προτύπου (G.984) που κυκλοφόρησε το 2003, έφτασε στην εμφάνιση των τεχνολογιών PON για τις μαζικές αγορές. (69)

Αυτή η τεχνολογία βασίζεται σε μια αρχιτεκτονική σημείου προς πολλαπλά σημεία όπου κάθε Μονάδα οπτικών δικτύων (Optical Network Unit, ONU), που συνδέεται με έναν πελάτη, λαμβάνει ολόκληρο το σήμα από την Οπτική Οριοθέτηση (Optical Line Termination , OLT). (69)

Επομένως, το GPON απαιτεί την ανταλλαγή πληροφοριών που λαμβάνει χώρα στον τομέα χρόνου ως εξής: (69)

- **Στο downstream**, ο οπτικός πομπός που βρίσκεται στο OLT μεταδίδει συνεχώς δεδομένα, των οποίων κάθε χρονική περιοχή προορίζεται για

διαφορετικό ONU. Αυτό ονομάζεται Πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (Time Division Multiplexing, TDM). Στη συνέχεια, το πρωτόκολλο GPON, κατά τη λήψη του συνόλου του σήματος που μεταδίδεται από την OLT, καθορίζει ποιο τμήμα του σήματος αντιστοιχεί στο ONU. [65]

- **Στο upstream**, το TDM δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί λαμβάνοντας υπόψη την αρχιτεκτονική GPON point-to-multipoint. Η λήψη στο OLT θα ήταν πράγματι ήσυχη, προκαλώντας ταυτόχρονα τη συνεχή μετάδοση δεδομένων από το σύνολο των ONUs. Κατά συνέπεια, η μετάδοση στο ONU λαμβάνει χώρα για μια σύντομη στιγμή (περίπου 10 μs) με μια περιοδικότητα 125 μs: αυτή γενικά ονομάζεται εκπομπή λειτουργίας έκρηξης. Ο ρόλος του OLT είναι να ενορχηστρώσει τις εκρήξεις του ONUs, έτσι ώστε να τις λαμβάνει διαδοχικά, παρά την πιθανή απόσταση διαφοράς μεταξύ του OLT και των διαφόρων ONUs. Αυτή αποκαλείται Access Access Multiplexing Access (TDMA).[65]

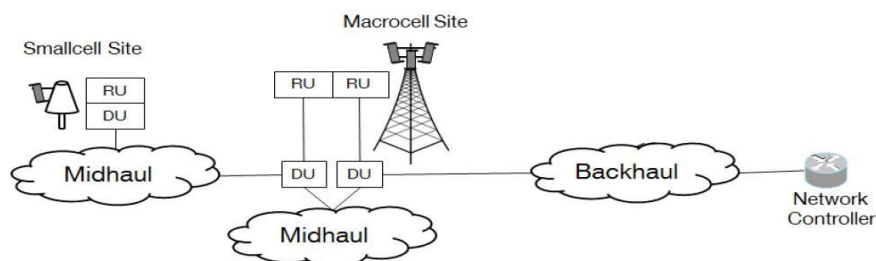
Η διαχείριση των ριπών από το OLT επιτυγχάνεται σύμφωνα με ορισμένους μηχανισμούς κατανομής εύρους ζώνης. Η ευκολότερη υλοποίηση είναι η κατανομή σταθερού εύρους ζώνης (Fixed Bandwidth Allocation - FBA), η οποία βασίζεται σε οριστική και εκ των προτέρων κατανομή εύρους ζώνης. Παρόλα αυτά, δεν επιτρέπει τη βελτιστοποιημένη χρήση του προσφερόμενου εύρους ζώνης, ειδικά όταν ορισμένοι πελάτες δεν χρησιμοποιούν ολόκληρο το εύρος ζώνης. (69)

Από την άλλη πλευρά, η κατανομή δυναμικού εύρους ζώνης (DBA) επιτρέπει την καλύτερη χρήση των πόρων PON, επιτρέποντας να επωφεληθούν από το αχρησιμοποίητο εύρος ζώνης από άλλους πελάτες και επίσης να αποδίδουν διαφορετικά προφίλ υπηρεσιών στην κίνηση που επιτρέπει μια καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών (Quality of Service, QoS). [65]

5.4 MIDHAUL

Ο όρος midhaul έχει οριστεί από το MEF(Metro Ethernet Forum) ως το δίκτυο Ethernet μεταφορέα μεταξύ των σταθμών βάσης ραδιοφωνικών

σταθμών (ειδικά όταν μια τοποθεσία είναι μια μικρή τοποθεσία κυττάρων). Το σενάριο αναφοράς MEF στην εικόνα 41 δείχνει ότι η midhaul θεωρείται ως επέκταση backhaul μεταξύ ενός μικρού σταθμού βάσης κυψελών και του βασικού σταθμού βάσης macrocell. (69)



Εικόνα 39: MEF

5.5 FRONTHAUL

Το Fronthaul είναι το αναδυόμενο τμήμα δικτύου μετά το διαχωρισμό του τμήματος επεξεργασίας σήματος από το τμήμα RF του ραδιοσταθμού βάσης που στοχεύει στη συγκέντρωση RAN. Ορίστηκε από το Metro Ethernet Forum MEF ως σύνδεση από το σταθμό βάσης ραδιοφώνου σε μια απομακρυσμένη ραδιο μονάδα. (70)

Ο όρος "fronthaul" χρησιμοποιείται για να περιγράψει το δίκτυο μεταφοράς στην αρχιτεκτονική C-RAN που μεταφέρει σήματα από RRU σε BBU, όπου τα BBUs συγκεντρώνονται σε μια ομάδα, καθώς οι κεντρικοί ελεγκτές βασικής ζώνης και οι RRU παραμένουν ως ανεξάρτητες ραδιοφωνικές κεφαλές εγκατεστημένες σε απομακρυσμένες περιοχές κυττάρων που βρίσκεται χιλιόμετρα μακριά από δεκάδες χιλιόμετρα μακριά, μέσω διασύνδεσης CPRI στην κορυφή του fronthaul. Η στοίβα BBU pool στο κεντρικό γραφείο επιτρέπει επίσης την εξισορρόπηση του φορτίου και το φάσμα σε διάφορες RRHs. Το χαρακτηριστικό εξισορρόπησης φορτίου θα ήταν κρίσιμο για την εκπλήρωση της προσδοκίας της 5G. (70)

Οι απαιτήσεις του Fronthaul θα αλλάξουν με την εμφάνιση του 5G κινητού δικτύου. 5G έχει ένα μέγιστο εύρος ζώνης και για να το παραδώσει θα χρησιμοποιεί φάσμα υψηλότερης συχνότητας από το LTE, στο εύρος μήκους κύματος χιλιοστών. Τα βραχύτερα μήκη κύματος επιτρέπουν μικρότερες

κεραίες, που με τη σειρά τους επιτρέπουν τη χρήση συστοιχιών κεραίας MIMO πολύ υψηλότερης τάξης. (70)

Ένα δεύτερο εύρος ζώνης θα αυξηθεί σε 5G μέσω της χρήσης ζωνών συχνοτήτων 100 GHz, έναντι 20 GHz σε LTE, επιτρέποντας σε ένα μόνο ραδιόφωνο να παράγει πέντε φορές περισσότερο εύρος ζώνης που πρέπει να μεταφέρεται στο κεντρικό δίκτυο από την περιοχή κυψέλης, οτιδήποτε άλλο θα είναι ίσο. (70)

Εν αναμονή της πιθανής τεράστιας αύξησης του εύρους ζώνης που θα χρειαζόταν για την υποστήριξη ραδιοφώνων 5G, οι κατασκευαστές κινητών συσκευών ενημέρωσαν την προδιαγραφή CPRI σε κάτι που ονομάζεται «eCPRI» (που δημοσιεύθηκε τον Αύγουστο του 2017). (70)

Ένα από τα βασικά στοιχεία του eCPRI είναι να μετακινήσει μέρος της επεξεργασίας σήματος PHY-layer από τη μονάδα βασικής ζώνης στην απομακρυσμένη ραδιοφωνική κεφαλίδα, η οποία μειώνει το εύρος ζώνης του fronthaul κατά 10 φορές, σε πολλές περιπτώσεις. Όταν προστεθούν όλοι οι διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν το εύρος ζώνης της fronthaul στο 5G (μερικοί οδηγούν, άλλοι το μειώνουν), το αναμενόμενο εύρος ζώνης κυμαίνεται από 14 έως 30 Gb / s, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της εφαρμογής του eCPRI, κ.λπ. (70)

Αντίθετα, παρόμοια διαμόρφωση δικτύου 5G χρησιμοποιώντας το παλαιότερο σχήμα CPRI, το οποίο βάζει όλη την επεξεργασία στρώματος PHY στη μονάδα βασικής ζώνης, θα απαιτούσε 236 Gb / s fronthaul bandwidth. Το συμπέρασμα είναι ότι ενώ μια περιοχή 5G κυτάρων θα παράγει ονομαστικά 160 Gb / s ή περισσότερο κυκλοφορίας, το πραγματικό εύρος ζώνης fronthaul που απαιτείται θα είναι 14-30 Gbps, λόγω της χρήσης του eCPRI. (70)

Συμπεράσματα

Εξετάζοντας την έρευνα που προηγήθηκε εύκολα παρατηρούμε ότι το μέλλον βρίσκεται στην κινητή επικοινωνία, όσο περνάνε τα χρόνια, κινητές συσκευές αντικαθιστούν τις σταθερές, και απαιτούν κινητή δικτύωση, κατά συνέπεια αντικαθιστώντας τα συστήματα σταθερής πρόσβαση. Τι χρειάστηκε όμως για να φτάσουμε το επίπεδο της κινητής δικτύωσης στο σημείο το οποίο βρίσκεται σήμερα; Το μόνο πράγμα που χρειάστηκε μια επαναστατική ιδέα να γίνει η αρχή, ένα άλμα το οποίο έδωσε ώθηση στην εξέλιξη της επικοινωνίας, παρατηρούμε ότι από την αρχή της, η κινητή επικοινωνία ακολούθησε μία γεωμετρική πρόοδο εξέλιξης. Από το σημείο που ο άνθρωπος για πρώτη φορά κράτησε κινητή συσκευή στα χεριά του πέρασε πολύ λίγος καιρός μέχρι να μετατρέψουμε τα τηλέφωνα αυτά σε μικρούς υπολογιστές οι οποίοι έχουν ανά πάσα στιγμή πρόσβαση στο παγκόσμιο δίκτυο αγγίζοντας ταχύτητες που κάποτε δεν μπορούσαμε ούτε να φανταστούμε.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Καρράς, Γιάννης.** *Slideshare*. [Online] Φεβρουάριος 14, 2016. [Cited: Άγουστος 6, 2018.] <https://www.slideshare.net/filipboy/ss-58254512>.
2. **Morris, Jason.** *nationalitpa*. [Online] [Cited: Σεπτέμβριος 2, 2018.] <http://www.nationalitpa.com/history-of-telephone>.
3. **copperalliance.** *copperalliance*. [Online] [Cited: Σεπτέμβριος 12, 2018.] <https://copperalliance.eu/about-copper/applications/telecommunications/>.
4. **fastmetrics.** *fastmetrics*. [Online] [Cited: Άγουστος 25, 2018.] <https://www.fastmetrics.com/blog/fiber-internet/how-fiber-optics-work/>.
5. **telcomhistory.** *telcomhistory*. [Online] [Cited: Άγουστος 22, 2018.] <http://www.telcomhistory.org/vm/sciencePhonesWork.shtml>.
6. **Κυρίσης, Άγγελος.** *pcsteps*. [Online] Μάρτιος 1, 2016. [Cited: Άγουστος 16, 2018.] <https://www.pcsteps.gr/18891-%CE%BA%CE%B1%CF%86%CE%B1%CE%BF-%CE%BF%CF%84%CE%B5-%CF%84%CE%B9-%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9-%CF%84%CE%B9-%CF%83%CE%B7%CE%BC%CE%B1%CE%AF%CE%BD%CE%B5%CE%B9/>.
7. **ofcconference.** [Online] The Optical Networking and Communication Conference & Exhibition. [Cited: Σεπτέμβριος 29, 2018.] <https://www.ofcconference.org/en-us/home/about/ofc-blog/2017/october-2017/mobile-fronthaul-in-the-5g-era/>.
8. **lyk-esp-kastor.kas.sch.** <http://lyk-esp-kastor.kas.sch.gr>. [Online] [Cited: Άγουστος 11, 2018.] <http://lyk-esp-kastor.kas.sch.gr/ekdiloseis0809/tilepikoinonies/phone.html>.
9. **techopedia.** *Networking. techopedia*. [Online] [Cited: Άγουστος 12, 2018.] <https://www.techopedia.com/definition/5370/integrated-services-digital-network-isdn>.
10. **Bradley, Mitchell.** *internet & networking. lifewire*. [Online] Σεπτέμβριος 6, 2018. [Cited: Σεπτέμβριος 24, 2018.] <https://www.lifewire.com/integrated-services-digital-network-817780>.
11. **Techopedia.** *Voip. Techopedia*. [Online] [Cited: Σεπτέμβριος 17, 2018.] <https://www.techopedia.com/definition/5406/voice-over-internet-protocol-voip>.
12. **Borth, David E.** *britannica*. [Online] [Cited: Σεπτέμβριος 6, 2018.] <https://www.britannica.com/technology/mobile-telephone#ref1079045>.
13. **Farley, Tom.** *Mobile telephone history*. [pdf] 2005.

14. **Fendelman, Adam. *lifewire***. [Online] Οκτώμβριος 2, 2018. [Cited: Οκτώμβριος 4, 2018.] <https://www.lifewire.com/1g-vs-2g-vs-2-5g-vs-3g-vs-4g-578681>.
15. **Vora, Lopa J. *semantic scholar***. [Online] Οκτώμβριος 2015. [Cited: Σεπτέμβριος 8, 2018.] <https://pdfs.semanticscholar.org/4dfd/40cc3a386573ee861c5329ab4c6711210819.pdf>.
16. **techopedia. *Wireless Networking. techopedia***. [Online] [Cited: Σεπτέμβριος 4, 2018.] <https://www.techopedia.com/definition/17373/second-generation-wireless-2g>.
17. —. **Networking. *techopedia***. [Online] [Cited: Σεπτέμβριος 6, 2018.] <https://www.techopedia.com/definition/5062/global-system-for-mobile-communications-gsm>.
18. —. **techopedia**. [Online] [Cited: Σεπτέμβριος 10, 2018.] <https://www.techopedia.com/definition/4473/general-packet-radio-service-gprs>.
19. **Rouse, Margaret. *searchmobilecomputing***. [Online] [Cited: Σεπτέμβριος 17, 2018.] <https://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/GPRS>.
20. **techopedia. *techopedia***. [Online] [Cited: Αυγουστος 3, 2018.] <https://www.techopedia.com/definition/5056/enhanced-data-gsm-environment-edge>.
21. **electronics-notes. *electronics-notes***. [Online] [Cited: Σεπτέμβριος 28, 2018.] <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/2g-gsm-edge/what-is-gsm-edge-evolution.php>.
22. **techopedia. *techopedia***. [Online] [Cited: Σεπτέμβριος 11, 2018.] <https://www.techopedia.com/definition/2918/third-generation-wireless-3g>.
23. **Shimoe, Toshio and Sano, Takamichi. *Network Architecture***. [pdf] 2002.
24. **Rouse, Margaret. *searchtelecom***. [Online] [Cited: Αυγουστού 24, 2018.] <https://searchtelecom.techtarget.com/definition/CDMA>.
25. —. **searchmobilecomputing**. [Online] [Cited: Αυγούστου 24, 2018.] <https://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/CDMA-One>.
26. —. **searchmobilecomputing**. [Online] [Cited: Αυγουστος 24, 2018.] <https://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/CDMA2000>.
27. **techopedia. *techopedia***. [Online] [Cited: Σεπτέμβριος 27, 2018.] <https://www.techopedia.com/definition/2929/code-division-multiple-access-2000-cdma-2000>.

- 28. Kumar, Vivek and Kumar, Rajesh. *slideshare*.** [Online] Αυγούστος 27, 2015. [Cited: Αυγούστος 26, 2018.] <https://www.slideshare.net/vivekkumar685/cdma2000-52129322>.
- 29. Rouse, Margaret. *searchmobilecomputing*.** [Online] [Cited: Σεπτέμβριος 4, 2018.] <https://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/W-CDMA>.
- 30. Techopedia . *Techopedia* .** [Online] [Cited: Σεπτέμβριος 10, 2018.] <https://www.techopedia.com/definition/24282/wideband-code-division-multiple-access-wcdma>.
- 31. techopedia. *techopedia*.** [Online] <https://www.techopedia.com/definition/2920/forth-generation-wireless-4g>.
- 32. —. *techopedia*.** [Online] <https://www.techopedia.com/definition/772/high-speed-packet-access-hspa>.
- 33. —. *techopedia*.** [Online] <https://www.techopedia.com/definition/28472/evolved-high-speed-packet-access-hspa>.
- 34. gtigroup. *History of 4G*.** [Online] Δεκέμβριος 25, 2013. <http://www.gtigroup.org/Special/4G/History/2013-12-25/1863.html>.
- 35. Reeves, Scott. *The history and evolution of 4G*.** [Online] Νοέμβριος 14, 2012. <https://www.techrepublic.com/blog/smartphones/the-history-and-evolution-of-4g/>.
- 36. Rogerson, James. *3g.co.uk*.** [Online] Αυγούστος 9, 2018. <https://3g.co.uk/guides/4g-what-is-4g-explained-in-simple-terms>.
- 37. Rakesh Kumar Singh; Ranjan Signh. *4G LTE Cellular Technology: Network Architecture and*.** Δεκέμβριος 2016.
- 38. ee.co.uk. *4G VS 3G: WHAT'S THE DIFFERENCE?*** [Online] https://ee.co.uk/articles/4g-vs-3g--what_s-the-difference-.
- 39. Segan, Sascha. *pcmag*.** [Online] Φεβρουάριος 10, 2015. <https://www.pcmag.com/article2/0,2817,2399984,00.asp>.
- 40. Schriber, Aeyne. *internet-access-guide*.** [Online] <http://internet-access-guide.com/lte-wimax-and-umb-the-relationship-to-4g-wireless-internet/>.
- 41. Hill, Simon. *digitaltrends*.** [Online] Ιουνίου 29, 2018. <https://www.digitaltrends.com/mobile/4g-vs-lte/>.
- 42. techopedia. *techopedia*.** [Online] <https://www.techopedia.com/definition/26874/international-mobile-telecommunications-advanced-imt-advanced>.

43. **itu. itu.** [Online] <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-adv/Pages/default.aspx>.
44. **Gulshan Ahuja; Sania Sethi; Amanjeet Kaur. 4G WIRELESS TECHNOLOGIES.** [Online] Φεβρουάριος 2015.
http://www.ijstm.com/images/short_pdf/1421855891_271.pdf.
45. **Klein, Matt. how-to-geek.** [Online] Οκτώβριος 7, 2016.
<https://www.howtogeek.com/273745/what-is-4g-lte/>.
46. **tutorials-point. tutorials-point.** [Online]
https://www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.htm.
47. **Poole, Ian. Radio-electronics.** [Online] <https://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/lte-security-authentication.php>.
48. **SCHRIBER, AEYNE. Internet Access Guide.** [Online] <http://internet-access-guide.com/lte-wimax-and-umb-the-relationship-to-4g-wireless-internet/>.
49. **techopedia. Ultra Mobile Broadband. techopedia.** [Online]
<https://www.techopedia.com/definition/29213/ultra-mobile-broadband-umb>.
50. **Mitchell, Bradley. lifewire.** [Online] Σεπτέμβριος 2, 2018.
<https://www.lifewire.com/wimax-wireless-networking-818321>.
51. **techopedia. Fifth Generation Wireless (5G). techopedia.** [Online]
<https://www.techopedia.com/definition/28325/fifth-generation-wireless-5g>.
52. **Segan, Sascha. what-is-5g. pcmag.** [Online] Οκτώβριος 2, 2018.
<https://www.pcmag.com/article/345387/what-is-5g>.
53. **Udit Narayana Kar; Debarshi Kuma Sanyal. device-to-device communication in cellular networks.** [Online]
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517301467>.
54. **Sabella, Roberto. Cyber physical systems. ericsson.** [Online] Οκτώβριος 2, 2018. <https://www.ericsson.com/research-blog/device-device-communications/>.
55. **Neira, Elena. comsoc.** [Online] <https://www.comsoc.org/blog/latest-update-5g-ieee-communications-society>.
56. **cio. 5G – A Few Frequency Facts. cio.** [Online]
<https://www.cio.com/article/3226451/networking/5g-a-few-frequency-facts.html>.
57. **JonMundy. edge-computing. 5g.co.uk.** [Online]
<https://5g.co.uk/guides/what-is-mobile-edge-computing/>.

58. **gemalto. gemalto.** [Online] <https://www.gemalto.com/mobile/inspired/5G>.

59. **Riazul Islam;Riazul Islam;Octavia A. Dobre. futurenetworks.ieee.** [Online] Ιούνιος 2017. <https://futurenetworks.ieee.org/tech-focus/june-2017/noma-in-5g-systems>.

60. **systweak. systweak.** [Online] Απρίλιος 28, 2018. <https://blogs.systweak.com/2018/04/augmented-reality-and-virtual-reality-need-5g-for-mass-acceptance-but-why/>.

61. **Camhi, Jonthan. businessinsider.** [Online] Δεκέμβριος 15, 2017. <https://www.businessinsider.com/how-5g-will-drive-the-adoption-of-self-driving-cars-2017-12>.

62. **Rist, Oliver. For Truly Connected Cars, We Need to Wait for 5G. pcmag.** [Online] Ιανουάριος 9, 2018. <https://www.pcmag.com/news/358436/for-truly-connected-cars-we-need-to-wait-for-5g>.

63. **5G technology brings greater vehicle safety. processonline.** [Online] Ιουλίου 2, 2018. <https://www.processonline.com.au/content/business/news/5g-technology-brings-greater-vehicle-safety-1139719743>.

64. **Fisher, Tim. How Are 4G and 5G Different? lifewire.** [Online] Σεπτέμβριος 12, 2018. <https://www.lifewire.com/5g-vs-4g-4156322>.

65. **techopedia. Radio Access Network (RAN). techopedia.** [Online] <https://www.techopedia.com/definition/9089/radio-access-network-ran>.

66. **Taranovich, Steve. What is 5G NR? edn.** [Online] Απρίλιος 25, 2017. <https://www.edn.com/5G/4458325/What-is-5G-NR->.

67. **Wang, Michel. 5G, C-RAN, and the Required Technology Breakthrough. medium.** [Online] <https://medium.com/@miccowang/5g-c-ran-and-the-required-technology-breakthrough-a1b2babf774>.

68. **sdxcentral. The Role of cRAN in 5G Networks. sdxcentral.** [Online] <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/cran/>.

69. Tayq, Zakaria. *Fronthaul integration and monitoring in 5G networks.* 2017.

70. Counting, Light. *The Optical Networking and Communication Conference & Exhibition.* San Diego Convention Center, : s.n., 2017.

71. **DeGrasse, Martha. rcrwireless.** [Online] Δεκέμβριος 22, 2015. <https://www.rcrwireless.com/20151222/featured/what-is-c-ran-tag4>.