



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

& ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ

ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

ΔΙΚΤΥΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ

ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ 5G

ΑΝΔΡΕΑΣ ΚΑΛΛΙΣΤΡΟΣ

A.M 1054351

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΜΠΟΥΡΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2021

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	I
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ.....	III
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΟΧΗ ΤΟΥ 5G.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: MILLIMETER WAVE.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΙΣ ΟΠΟΙΕΣ ΒΑΣΙΖΕΤΑΙ.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ 5G ΣΤΟ ΙΟΤ.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ 5G ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	30
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	31

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution

HSPA: High Speed Packet Access

LTE: Long term Evolution

IoT: Internet of Things

mmWave: Millimeter wave

mMTC: massive Machine Type Communication

URLLC: Ultra Reliable Low Latency Communication

eMBB: enhanced Mobile Broadband

D2D: Device-to-device

MN: Moving Networks

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένας από τους κλάδους με την ταχύτερη και μεγαλύτερη εξέλιξη στην εποχή μας είναι αυτός της τεχνολογίας. Τα τελευταία χρόνια ο ραγδαίος ρυθμός της τεχνολογικής ανάπτυξης, όσον αφορά τις τεχνολογικές ανακαλύψεις, την αύξηση της υπολογιστικής ισχύς και γενικότερα της εξέλιξη και βελτίωση της τεχνολογίας, όχι μόνο δεν επιβραδύνει αλλά συνεχίζει να αυξάνεται με ρυθμούς πρωτοφανείς στην ανθρώπινη ιστορία. Τα δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών είναι ένας από τους τομείς που παρουσιάζει αυτήν την προαναφερθείσα ταχεία ανάπτυξη. Η παρούσα εργασία θα παρουσιάσει το πιο σύγχρονο και τελευταίο βήμα σε αυτόν τον τομέα που είναι η αρχιτεκτονική δικτύου 5^{ης} γενιάς αλλιώς γνωστή και ως 5G. Θα μελετήσουμε τα θετικά και τα αρνητικά του, τις διαφορετικές μορφές του στην σημερινή εποχή αλλά και στις τεχνολογίες τις οποίες χρησιμοποιεί τόσο αυτό όσο και οι προηγούμενες γενιές του. Επιπλέον, θα ασχοληθούμε με εφαρμογές που βασίζονται πάνω στο 5G και τις δυνατότητες που θα προσφέρουν στον κόσμο. Τέλος θα σχολιάσουμε τις διαφορετικές απόψεις σχετικά με το 5G και πιθανές μελλοντικές εφαρμογές του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Για να αναλύσουμε τον 5G θα πρέπει πρώτα να εξετάσουμε και να καταλάβουμε την αρχή της τεχνολογίας αυτής που είναι η πρώτη γενιά δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών γνωστή και ως **1G**. Το 1G είναι μια τεχνολογία που πρωτοεμφανίστηκε στο Τόκυο το 1979, από την εταιρία Nippon Telegraph όπως περιγράφεται στο[4]. Μέχρι το 1984 το 1G ήταν διαθέσιμο σε όλη την Ιαπωνία. Παράλληλα το 1983 το 1G έγινε δεκτό από τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής αλλά και σε πολλές άλλες χώρες τα χρόνια που ακολούθησαν. Το 1G χρησιμοποιούσε μόνο αναλογικά σήματα (κάτι που το διαφοροποιεί από όλες τις υπόλοιπες γενιές) και υποστήριζε μόνο τηλεφωνικές επικοινωνίες. Παρόλη την πολύ γρήγορη εξάπλωση του παγκοσμίως το 1G, τα προβλήματά του ήταν πολύ σοβαρά. Αρχικά, η ποιότητα της μετάδοσης δεν ήταν καθόλου καλή, η μπαταρία εξαντλούταν πολύ γρήγορα, απαιτούσε πολύ μεγάλο μέγεθος κινητού (καθώς στο κινητό υπήρχε και πολύ μεγάλη κεραία), δεν ήταν καθόλου ασφαλές και γενικότερα και ήταν καθόλου αξιόπιστο. Οι κλήσεις σταματούσαν ξαφνικά, η εμβέλεια δεν ήταν ικανοποιητική και δεν υπήρχε συμβατότητα μεταξύ διαφορετικών συστημάτων.

Drawbacks Of 1G

- Poor battery
- Poor voice quality
- Large in size
- No security
- Frequency call drop



Πηγή: [\[9\]](#)

Η τιμή ενός κινητού έφτανε τα 3.995\$ (το οποίο ισοδυναμεί με \$9.660 με τα σημερινά δεδομένα). Παρόλα τα αρνητικά του δικτύου, ο αριθμός των χρηστών έφτασε τους 20 εκατομμύρια χρήστες ανά τον κόσμο, αριθμός πάρα πολύ μεγάλος για την εποχή. Ο ιδιαίτερα αυξημένος αριθμός των χρηστών ήταν η πρώτη αξιοσημείωτη επιτυχία αυτής της τεχνολογίας σύμφωνα με το [5] και αποτέλεσε τον κύριο λόγο για την δημιουργία της δεύτερης γενιάς.

Η δεύτερη γενιά δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών, γνωστή και ως **2G**, παρουσιάστηκε πρώτη φορά το 1991 στην Φινλανδία από την εταιρία GSM όπως περιγράφεται [3]. Για πρώτη φορά οι κλήσεις μπορούσαν να κωδικοποιηθούν και χρησιμοποιούσαν ψηφιακό αντί για αναλογικό σήμα. Οι βασικές βελτιώσεις που έγιναν ήταν στην αξιοπιστία και στην ασφάλεια. Μερικές από τις πιο γνωστές λειτουργίες που εμφανίστηκαν (που χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα) είναι τα SMS και τα MMS. Οι ταχύτητες μετάδοσης στην αρχή ήταν γύρω στα 9.6 kbit/s ενώ προς το τέλος

της γενιάς πλησίασαν τα 500 kbit/s (με ειδικές συνδέσεις Enhanced Data Rates for GSM Evolution γνωστή και ως EDGE). Μια από τις πιο γνωστές συσκευές που χρησιμοποιούσαν τα δίκτυα δεύτερης γενιάς ήταν το πρώτο Iphone (γνωστό και ως Iphone 2G) το οποίο είχε πρόσβαση και στο διαδίκτυο. Τα αρνητικά του 2G όπως αναφέρονται στο [5] ήταν:

- Απαιτούσε πολύ ισχυρά ψηφιακά σήματα και απουσία καλής κάλυψης οδηγούσε σε μείωση της αξιοπιστίας.
- Τα συστήματα δεν ήταν ικανά να διαχειριστούν περίπλοκα δεδομένα όπως βίντεο.
- Κατά διάρκεια της χρήσης του 2G, οι απαιτήσεις του χρήστη έγιναν ακόμη πιο περίπλοκες για να μπορεί το 2G να τις ικανοποιήσει

Για τους παραπάνω λόγους αναπτύχθηκε η τρίτη γενιά δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών, γνωστή και ως **3G**. Το 3G πρωτοεμφανίστηκε το 1998 αλλά ήρθε στο προσκήνιο το 2000-2001. Σε αυτή την γενιά τα κινητά τηλέφωνα έγιναν ευρέως γνωστά σε όλο τον κόσμο. Το 3G βελτίωσε το βασικό πλεονέκτημα της προηγούμενης γενιάς αυξάνοντας το bandwidth των στατικών συσκευών σε 2Mbps και 384Kbps για τις κινητές συσκευές. Η μέγιστη θεωρητική ταχύτητα ήταν 21,6 Mbps. Η τεχνολογία του 3G βασίστηκε στις τεχνολογίες EDGE (σύμφωνα με το [3]) που όπως προαναφέραμε αρχίσαν να χρησιμοποιούνται στο τέλος της προηγούμενης γενιάς. Πλέον το 3G υποστήριζε την αναπαραγωγή πολυμέσων όπως αναφέρεται στο [4]. Τα δεδομένα έσπαγαν σε πολύ μικρά πακέτα και στην συνέχεια στέλνονταν στον προορισμό τους, σε αντίθεση με τα δίκτυα 2ης γενιάς τα οποία έκαναν

κυκλωματομεταγωγή (circuit switching). Αυτό ήταν επαναστατικό για την εποχή καθώς μέχρι τότε οι χρήστες χρεώνονταν ανάλογα με την ώρα που χρησιμοποιούσαν το διαδίκτυο, ενώ πλέον χρεώνονται ανάλογα με τα δεδομένα που «ξοδεύουν». Κατά την διάρκεια της γενιάς αυτής εμφανίστηκαν τα HSPA (High Speed Packet Access) τα οποία αύξησαν την ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων σε 14Mbps. Τα αρνητικά του δικτύου 3ης γενιάς όπως αναφέρονται στο [5] ήταν τα παρακάτω:

- Αρκετά περίπλοκη αρχιτεκτονική
- Απαιτούσε συμβατές σε 3G συσκευές
- Το κόστος για την αναβάθμιση σε συσκευή 3G ήταν αρκετά υψηλό
- Η κατανάλωση ισχύος ήταν ανεβασμένη



Πηγή: [\[10\]](#)

Το δίκτυο 4ης γενιάς, γνωστό και ως **4G**, συνήρξε για λίγο καιρό με το 3G. Πολύ σύντομα όμως το 3G κατέστη ανίκανο να

ανταποκριθεί στις αυξανόμενες ανάγκες του σύγχρονου ανθρώπου. Η περίοδος 2008-2010 ήταν η μεταβατική περίοδος κατά την οποία 4G άρχισε να εμφανίζεται και να γίνεται όλο και πιο γνωστό στον ευρύ κόσμο. Η πρώτη του εμφάνιση έγινε στην Στοκχόλμη της Σουηδίας το 2009. Σε αντίθεση με την μετάβαση από το 2G σε 3G που απαιτούσε απλά αλλαγή κάρτας SIM, για την μετάβαση σε δίκτυα 4G ήταν απαραίτητη η χρήση συσκευής που υποστηρίζει 4G. Αυτό επιβράδυνε αρκετά την μετάβαση της πλειοψηφίας των χρηστών στην καινούρια γενιά. Η ποιότητα που παρείχε βελτίωσε την εμπειρία του χρήστη με την προθήκη πιο προχωρημένων υπηρεσιών στον χώρο της διασκέδασης όπως υπηρεσίες βιντεοπαιχνιδιών, mobile TV, Video conferencing, και πολλές ακόμα, οι οποίες απαιτούν μεγαλύτερες ταχύτητες. Για την καλύτερη περιγραφή της 4G τεχνολογίας είναι αρκετά γνωστό το ακρωνύμιο MAGIC το οποίο αναφέρεται στο [5]:

- M – Mobile multimedia
- A – Anytime Anywhere.
- G – Global mobility support
- I – Integrated wireless solution
- C – Customized Personal Service

Το δίκτυο 4G LTE (Long term Evolution) ήταν ένας ολοκληρωτικός ανασχεδιασμός και απλοποίηση του δικτύου 3G με αποτέλεσμα την μείωση της καθυστέρησης (latency), αύξηση της απόδοσης και της ταχύτητας του δικτύου. Το μέγιστο θεωρητικό bandwidth είναι στα 200Mbps. Μέχρι σήμερα το 4G είναι το βασικό δίκτυο που χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο και από την πλειοψηφία των χρηστών.

Τα αρνητικά της 4ης γενιάς όπως αναφέρονται στο [5] είναι τα εξής:

- Τα 4G LTE δίκτυα απαιτούν πολύ περίπλοκο hardware
- Στην τεχνολογία 4G χρησιμοποιούνται πολλές κεραίες και πομποί με αποτέλεσμα να εξαντλούν πολύ γρήγορα την μπαταρία των συσκευών
- Σε περιοχές που δεν υπάρχει κάλυψη 4G οι χρήστες υποβαθμίζονται στην χρήση 3G ενώ πληρώνουν το κόστος τους 4G
- Αυξημένη κατανάλωση δεδομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΕΠΟΧΗ ΤΟΥ 5G



Πηγή: [\[11\]](#)

Η πέμπτη γενιά δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών, γνωστή και ως 5G, έρχεται σιγά σιγά για να αντικαταστήσει τα δίκτυα 4ης γενιάς, προσφέροντας μεγαλύτερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, πολύ χαμηλότερη καθυστέρηση (latency), ασφάλεια και χαμηλότερα κόστη. Η τεχνολογία 5G δεν απευθύνεται τόσο πολύ στους καθημερινούς χρήστες καθώς τα δίκτυα 4G είναι μέχρι τώρα αρκετά ικανοποιητικά στην διεκπεραίωση των βασικών αναγκών των χρηστών. Αντίθετα, ο βασικός λόγος για την ραγδαία ανάπτυξη του είναι το Internet of Things (IoT) για το οποίο θα μιλήσουμε πιο μετά. Σύμφωνα με έρευνες το 5G αναμένεται να έχει περισσότερους από 1,7 δισεκατομμύρια χρήστες. Όπως και οι προκάτοχοι του το 5G είναι ένα δίκτυο κινητών τηλεπικοινωνιών στο οποίο όλες οι

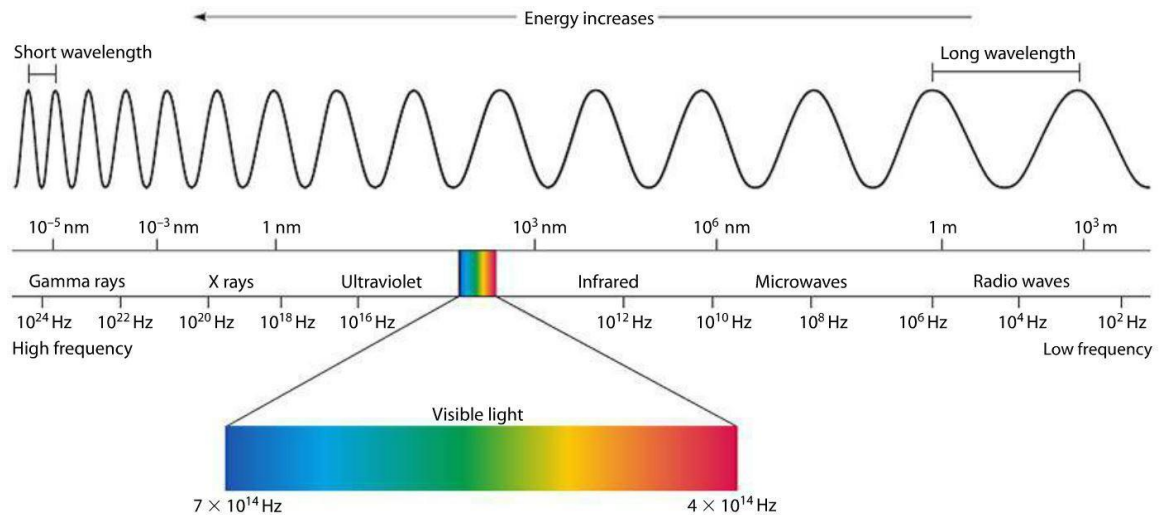
περιοχές διαχωρίζονται σε μικρότερες περιοχές που ονομάζονται cells. Όλες οι ασύρματες 5G συσκευές σε ένα cell είναι συνδεδεμένες στο τηλεφωνικό δίκτυο και στο ίντερνετ μέσω των ραδιοκυμάτων που εκπέμπονται από την τοπική κεραία. Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων φτάνει μέχρι και τα 10Gbit/s. Σε αντιστοιχία με τα δίκτυα 4ης γενιάς, για την χρήση των 5G δικτύων απαιτούνται ειδικές συσκευές που να υποστηρίζουν τα δίκτυα 5ης γενιάς.

Τα 5G είναι ψηφιακά δίκτυα κινητών τηλεπικοινωνιών όπου οι περιοχές που καλύπτονται από τους παρόχους χωρίζονται τις γεωγραφικές περιοχές, όπως αναφέραμε και πριν, σε cells. Τα αναλογικά σήματα που αναπαριστούν τον ήχο και τις εικόνες γίνονται ψηφιακά μέσω ενός μετατροπέα (analog-to-digital) και εκπέμπεται σαν ακολουθία από bits. Όλες οι ασύρματες συσκευές σε ένα cell επικοινωνούν με ραδιοκύματα με την τοπική κεραία και με έναν αυτοματοποιημένο πομποδέκτη χαμηλής ισχύος (πομπός και δέκτης) στο κελί, μέσω καναλιών συχνότητας που εκχωρούνται από τον πομποδέκτη από μια ομάδα συχνοτήτων που επαναχρησιμοποιούνται σε άλλα κελιά. Οι τοπικές κεραίες επικοινωνούν με το τηλεφωνικό δίκτυο και το ίντερνετ μέσω οπτικής ίνας υψηλού εύρους ζώνης.

Για την ολοκληρωτική μετάβαση στο 5G, εκτός από τις συσκευές πρέπει να αλλάξουν και οι κεραίες μετάδοσης. Η αυξημένη συχνότητα στην οποία εκπέμπουν οι 5G κεραίες προσφέρουν πολλά θετικά, όπως μεγαλύτερη ταχύτητα, χωρητικότητα κ.λπ. αλλά έχουν και μερικά αρνητικά. Οι κεραίες μεταδίδουν το σήμα σε πολύ συγκεκριμένη κατεύθυνση και όχι

όπως οι κεραίες προηγούμενης γενιάς που εκπέμπουν το σήμα προς όλες τις κατευθύνσεις. Η αυξημένη συχνότητα του σήματος, του δίνει την ιδιότητα να μην μπορεί να περάσει εύκολα μέσα από αντικείμενα, με αποτέλεσμα να απαιτείται ανεμπόδιστη και άμεση οπτική γωνία της συσκευής με της κεραίας για να μπορεί να μεταδοθεί το σήμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απαιτούνται πολύ περισσότερες κεραίες για την πλήρη κάλυψη μιας περιοχής. Για αυτό τον λόγο μια πολύ καλή σύνδεση 5G μπορεί πολύ εύκολα να υποβαθμιστεί σε 4G με την μετακίνηση της συσκευής μόλις μερικά μέτρα. Για την καλύτερη κατανόηση των παραπάνω θα παρουσιαστεί στο επόμενο κεφάλαιο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα που χρησιμοποιείται στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ



Πηγή: [12]

Καθώς μελετούμε το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, παρατηρούμε ότι όσο πηγαίνουμε σε μεγαλύτερες συχνότητες αυξάνεται η ενέργεια αλλά μειώνεται και το πλάτος του κύματος. Για την καλύτερη κατανόηση το πεδίο συχνοτήτων που χρησιμοποιούταν στα FM radio ήταν 88-108MHz με αποτέλεσμα να μεταδίδεται σε πάρα πολύ μεγάλες αποστάσεις, με πολύ χαμηλή ποιότητα όμως καθώς η ενέργεια που μπορεί να αποσταλεί είναι πολύ μικρή όπως αναφέρεται στο [6]. Παρακάτω παρατίθενται οι συχνότητες στις οποίες μετέδιδαν όλες οι προηγούμενες γενιές δικτύων κινητών τηλεπικοινωνιών:

Γενιά Δικτύου	Πεδίο συχνοτήτων
1G	284-894 MHz
2G	800-1900 MHz
3G	800-2100 MHz
4G	600MHz-2,5GHz
5G	450 MHz-52.600GHz

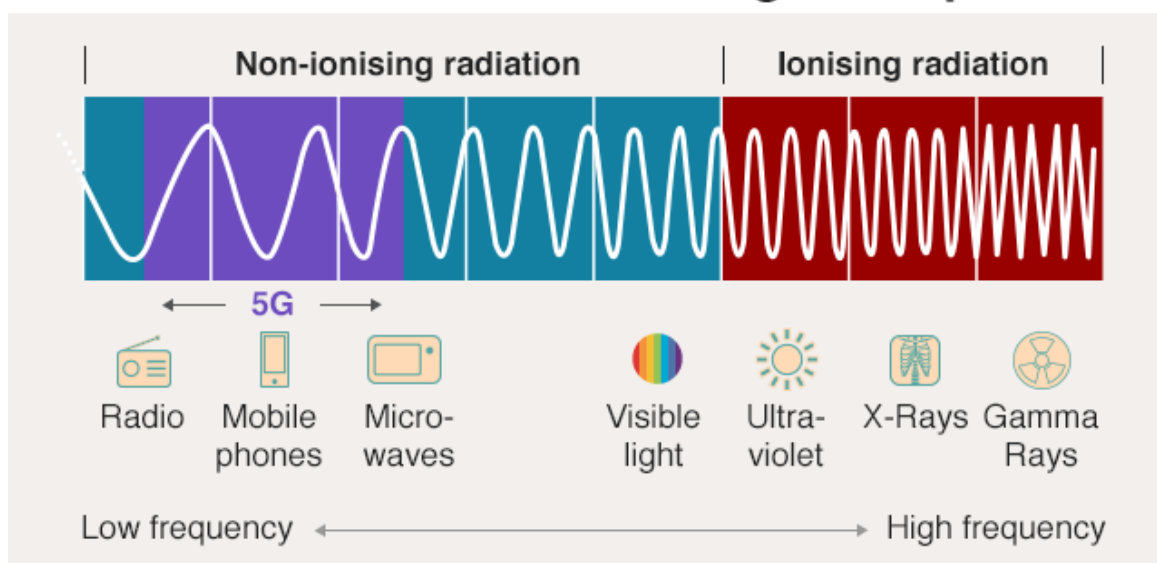
Όπως παρατηρούμε από τον παραπάνω πίνακα το εύρος συχνοτήτων στο 5G είναι πολύ μεγάλο. Το 5G, βάση του [2], το διαχωρίζουμε στις 3 παρακάτω κατηγορίες:

Low band 5G: Το χαμηλής συχνότητας 5G χρησιμοποιεί στην ουσία το φάσμα που ήδη χρησιμοποιείται στην 4η γενιά δηλαδή στα 600-700MHz. παρόλα αυτά πετυχαίνει καλύτερες ταχύτητες (30-250Mbps) από ότι το 4G καθώς χρησιμοποιεί πιο εξελιγμένες τεχνολογίες. Το πιο μεγάλο πλεονέκτημά του είναι ότι οι κεραιές καλύπτουν αρκετά μεγάλες αποστάσεις. Αυτό το φάσμα θα είναι το πιο συνηθισμένο και θα χρησιμοποιείται από την πλειοψηφία των χρηστών 5G στο μέλλον.

Mid band 5G: Το μεσαίας συχνότητας 5G καλύπτει το φάσμα 2,5-3,5GHz ενώ οι κεραιές έχουν εμβέλεια μερικά χιλιόμετρα. Οι ταχύτητες που πιάνει είναι από 100 μέχρι 900Mbps. Το εύρος των κεραιών είναι εμφανώς μικρότερο και πιθανώς θα υποστηρίζεται μόνο σε μεγάλες πόλεις.

High band 5G: Το οποίο είναι ευρέως γνωστό και ως millimeter wave και εκπέμπει στις συχνότητες 24-39GHz. Οι κεραιές έχουν πάρα πολύ μικρή εμβέλεια, λίγο παραπάνω από 1 χιλιόμετρο και απαιτεί άμεση οπτική γωνία της κεραιάς με την συσκευή. Αυτό την καθιστά πολύ δύσκολη στην χρήση καθώς για μια μεγάλη πόλη θα απαιτούνται αρκετές τέτοιες κεραιές ανά οικοδομικά τετράγωνα, οι οποίες όντας στρατηγικά τοποθετημένες θα καλύπτουν όσο μεγαλύτερο χώρο γίνεται. Στο εύρος αυτό οι ταχύτητες φτάνουν τα 1-3Gbps δεδομένων όμως των παραπάνω περιορισμών.

Where 5G fits in the electromagnetic spectrum



Source: SCAMP/Imperial College London/EBU

BBC

Πηγή: [\[13\]](#)

Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι στην πραγματικότητα θα χρησιμοποιούμε ένα συνδυασμό όλων των παραπάνω φασμάτων ανάλογα με το μέρος που βρισκόμαστε. Όπως αναλύθηκε και παραπάνω το low band θα χρησιμοποιείται πιο συχνά λόγω της αυξημένης εμβέλειας, ενώ το Mid και High bands θα χρησιμοποιούνται πολύ πιο σπάνιο, μέσα σε πόλεις και πυκνό κατοικημένες περιοχές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: MILLIMETER WAVE

Όταν αναφερόμαστε στο 5G, δεν είναι δυνατόν να μην επικεντρωθούμε στο πιο εντυπωσιακό κομμάτι αυτής της τεχνολογίας που δεν είναι άλλο από το high band 5G, όπως περιγράφεται στο [8]. Τα επίγεια ασύρματα συστήματα έχουν περιορίσει σε μεγάλο βαθμό τη λειτουργία τους στο σχετικά λεπτό εύρος συχνοτήτων μικροκυμάτων που εκτείνεται από μερικές εκατοντάδες MHz έως μερικά GHz και αντιστοιχεί σε μήκη κύματος που κυμαίνονται από μερικά εκατοστά έως περίπου ένα μέτρο. Μέχρι τώρα όμως, αυτή η φασματική μπάντα - συχνά αποκαλούμενη «παραθαλάσσιο φάσμα», έχει σχεδόν απασχοληθεί πλήρως, ιδίως σε περιόδους αιχμής και σε αγορές αιχμής. Ανεξάρτητα από την αποτελεσματικότητα της συμπύκνωσης και της εκφόρτωσης, απαιτείται πολύ περισσότερο εύρος ζώνης. Παρόλο που η κατανομή εύρους ζώνης μπορεί να γίνει πολύ πιο αποτελεσματική με τον εκσυγχρονισμό των κανονιστικών διαδικασιών και των διαδικασιών κατανομής, για να τεθούν σε λειτουργία μεγάλα διαστήματα του νέου εύρους ζώνης, υπάρχει μόνο μια λύση, να ανέβει η συχνότητα. Ευτυχώς, υπάρχουν τεράστιες ποσότητες σχετικά αδρανούς φάσματος στο εύρος mmWave 30–300 GHz, όπου τα μήκη κύματος είναι 1–10 mm (για αυτό τον λόγο καλείται και mmWave).

Ο κύριος λόγος για τον οποίο το φάσμα mmWave βρίσκεται σε αδράνεια είναι ότι, μέχρι πρόσφατα, είχε κριθεί ακατάλληλο για κινητές τηλεπικοινωνίες λόγω μάλλον των εχθρικών ιδιοτήτων διάδοσης, όπως η ισχυρή παθολογία, η απορρόφηση από την ατμόσφαιρα και από την βροχή, η χαμηλή διάθλαση γύρω από εμπόδια και διείσδυση μέσω αντικειμένων και κυρίως λόγω του ισχυρού θορύβου φάσης και του υπερβολικού κόστους εξοπλισμού. Επομένως, η κυρίαρχη αντίληψη ήταν ότι τέτοιες συχνότητες, και ιδίως η μεγάλη ζώνη των 60 GHz, ήταν κατάλληλες κυρίως για μετάδοση πολύ μικρού εύρους. Έτσι, η εστίαση ήταν στο WiFi (με το πρότυπο WiGiG στη ζώνη 60-GHz) και στο σταθερό ασύρματο στα 28, 38, 71–76 και 81–86 GHz. Ωστόσο, οι ημιαγωγοί ωριμάζουν, το κόστος τους και η κατανάλωση ισχύος μειώνονται γρήγορα, σε μεγάλο βαθμό χάρη στην πρόοδο του προαναφερθέντος προτύπου μικρής εμβέλειας, και τα άλλα εμπόδια που σχετίζονται με τη διάδοση θεωρούνται πλέον όλο και πιο εύκολα στην αντιμετώπιση δεδομένου του χρόνου και της εστιασμένης προσπάθειας [8].

Pathloss (το σήμα να μην φτάσει στον δέκτη):

Εάν το ηλεκτρικό μέγεθος των κεραιών (δηλαδή το μέγεθός τους, που μετράται από το μήκος κύματος $\lambda = c / f_c$ όπου το f_c είναι η συχνότητα φορέα) διατηρείται σταθερό, καθώς η συχνότητα αυξάνει τη συρρίκνωση των κεραιών και τις πραγματικές κλίμακες ανοίγματος τους με $\lambda^2 / 4\pi$. Στη συνέχεια, η απώλεια διαδρομής ελεύθερου χώρου μεταξύ κεραίας εκπομπής και λήψης αυξάνεται με

f_{c2} . Έτσι, η αύξηση του f_c κατά μια τάξη μεγέθους, για παράδειγμα από 3 έως 30 GHz, προσθέτει απώλεια ισχύος 20 dB ανεξάρτητα από την απόσταση μετάδοσης-λήψης. Ωστόσο, εάν το άνοιγμα της κεραίας στο ένα άκρο του συνδέσμου διατηρείται σταθερό καθώς αυξάνεται η συχνότητα, τότε η απώλεια διαδρομής ελεύθερου χώρου παραμένει αμετάβλητη. Περαιτέρω, εάν και τα ανοίγματα κεραίας μετάδοσης και λήψης διατηρούνται σταθερά, τότε η απώλεια διαδρομής ελεύθερου χώρου μειώνεται στην πραγματικότητα με f_{c2} : ένα κέρδος ισχύος που θα βοηθούσε στην αντιμετώπιση του υψηλότερου δαπέδου θορύβου που σχετίζεται με ευρύτερα εύρη ζώνης σήματος.

Αν και η διατήρηση του ηλεκτρικού μεγέθους των κεραιών είναι επιθυμητή για πολλούς λόγους, το να διατηρήσουμε ταυτόχρονα το άνοιγμα, είναι δυνατό με την χρήση συστοιχιών, οι οποίες συσσωρεύουν τα μεμονωμένα ανοίγματα της κεραίας. Καθώς οι κεραίες συρρικνώνονται στην συχνότητα, αρκετά περισσότερες πρέπει να προστεθούν στην ίδια περιοχή. Η κύρια πρόκληση είναι στον συγχρονισμό αυτών των κεραιών έτσι ώστε να κατευθύνουν ή / και να συλλέγουν ενέργεια συλλογικά. Αυτή η πρόκληση γίνεται ακόμη πιο δύσκολη όταν το κανάλι αλλάζει γρήγορα, για παράδειγμα λόγω της κινητικότητας (του οποίου η επίδραση σε σχέση με τη μετατόπιση Doppler αυξάνεται γραμμικά με τη συχνότητα) ή λόγω γρήγορων αλλαγών στον φυσικό προσανατολισμό των συσκευών.

Blocking:

Τα MmWaves εμφανίζουν μειωμένη περίθλαση και πιο διαδεδομένη διάδοση από τα αντίστοιχα μικροκυμάτων, και ως εκ τούτου είναι πολύ πιο ευαίσθητα σε αποφράξεις (δηλαδή εμπόδια). Αυτό οδηγεί σε σχεδόν διτροπικό (bimodal) κανάλι ανάλογα με την παρουσία ή την απουσία άμεσης οπτικής γωνίας. Σύμφωνα με πρόσφατες μετρήσεις, καθώς η απόσταση μετάδοσης-λήψης αυξάνεται η απώλεια διαδρομής πλησιάζει στην κενού χώρου των 20 dB / dec από διάδοση με οπτική γωνία, αλλά μειώνεται στα 40 dB / dec συν μια επιπλέον απώλεια αποκλεισμού 15-40 dB. Λόγω της ευαισθησίας στα μπλοκαρίσματα, μια σύνδεση μπορεί γρήγορα να μεταβεί από χρήσιμη σε άχρηστη και σε αντίθεση με το fade μικρής κλίμακας, τα εμπόδια μεγάλης κλίμακας δεν μπορούν να παρακαμφθούν με τυπικά αντίμετρα μικρής κλίμακας. Τα νέα μοντέλα καναλιών που καταγράφουν αυτά τα χαρακτηριστικά είναι πολύ απαραίτητα και για αυτό τον λόγο είναι τώρα υπο ανάπτυξη.

Απορρόφηση από την ατμόσφαιρα και από την βροχή:

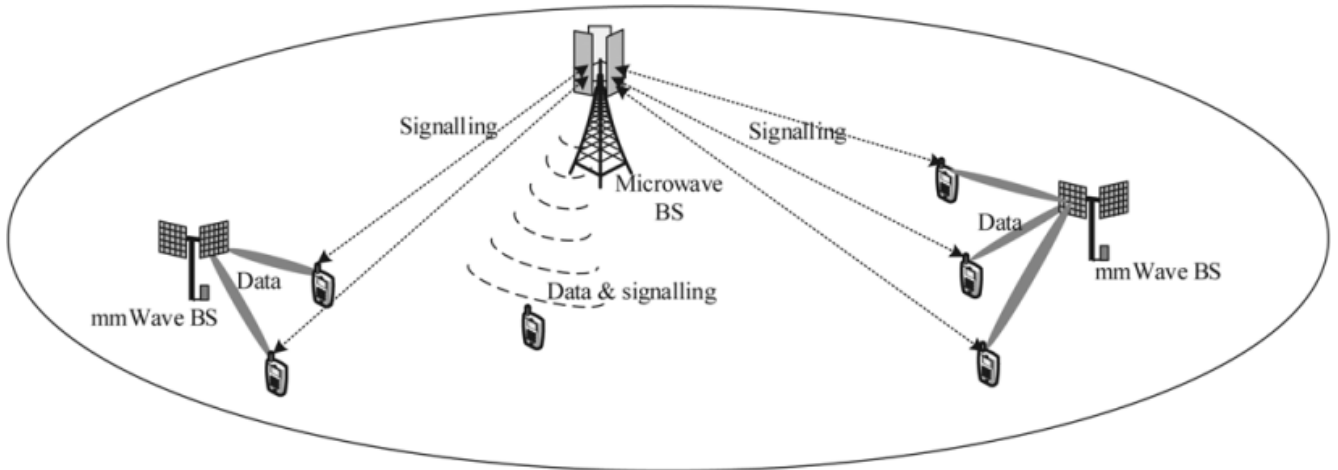
Η απορρόφηση από την ατμόσφαιρα και από την βροχή είναι αισθητή, και ειδικά η απορρόφηση από το οξυγόνο που είναι 15 dB / km εντός της ζώνης των 60 GHz (και είναι ο κύριος λόγος που αυτή η ζώνη είναι μέχρι σήμερα αχρησιμοποίητη), αλλά δεν παίζει

ιδιαίτερο ρόλο για τις αστικές κυψελοειδείς αναπτύξεις που προβλέπονται σήμερα, όπου οι αποστάσεις BS ενδέχεται να είναι της τάξης των 200 m. Στην πραγματικότητα, μια τέτοια απορρόφηση είναι ευεργετική αφού εξασθενεί περαιτέρω τις παρεμβολές από πιο απομακρυσμένες BS, αυξάνοντας αποτελεσματικά την απομόνωση κάθε cell.

Το βασικό συμπέρασμα είναι ότι οι απώλειες διάδοσης για συχνότητες mmWave ξεπερνιούνται εύκολα, αλλά απαιτούν μεγάλες συστοιχίες κεραιών για να κατευθύνουν την ενέργεια της δέσμης και να τη συλλέγουν συλλογικά. Ενώ είναι πρακτικά εφικτό, η έννοια της επικοινωνίας στενής δέσμης είναι νέα για τις κυψελοειδείς επικοινωνίες και δημιουργεί ιδιαίτερες δυσκολίες.

Αξιοποίηση του ήδη υπάρχοντος 4G δικτύου:

Η ταυτόχρονη χρήση των μικροκυμάτων και των συχνοτήτων mmWave θα μπορούσε να συμβάλει σημαντικά στην υπερνίκηση ορισμένων από τα παραπάνω εμπόδια. Μια ενδιαφέρουσα πρόταση από αυτή την άποψη είναι η έννοια των **phantom cells** όπου οι συχνότητες mmWave θα χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση δεδομένων ωφέλιμου φορτίου από μικρές κυψέλες BS ενώ το επίπεδο ελέγχου θα λειτουργούσε σε συχνότητες μικροκυμάτων από μακρο BS (όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα).



Πηγή: [\[14\]](#)

Αυτό θα εξασφάλιζε σταθερές και αξιόπιστες συνδέσεις ελέγχου, με βάση τις οποίες θα μπορούσαν να οργανωθούν γρήγορες μεταδόσεις δεδομένων σε συνδέσεις mmWave μικρής εμβέλειας. Οι σποραδικές διακοπές αυτών των συνδέσεων mmWave θα ήταν τότε πολύ λιγότερο επιβλαβής, καθώς οι σύνδεσμοι ελέγχου θα παρέμεναν στη θέση τους και θα μπορούσαν να ανακτηθούν χαμένα δεδομένα μέσω αναμετάδοσης.

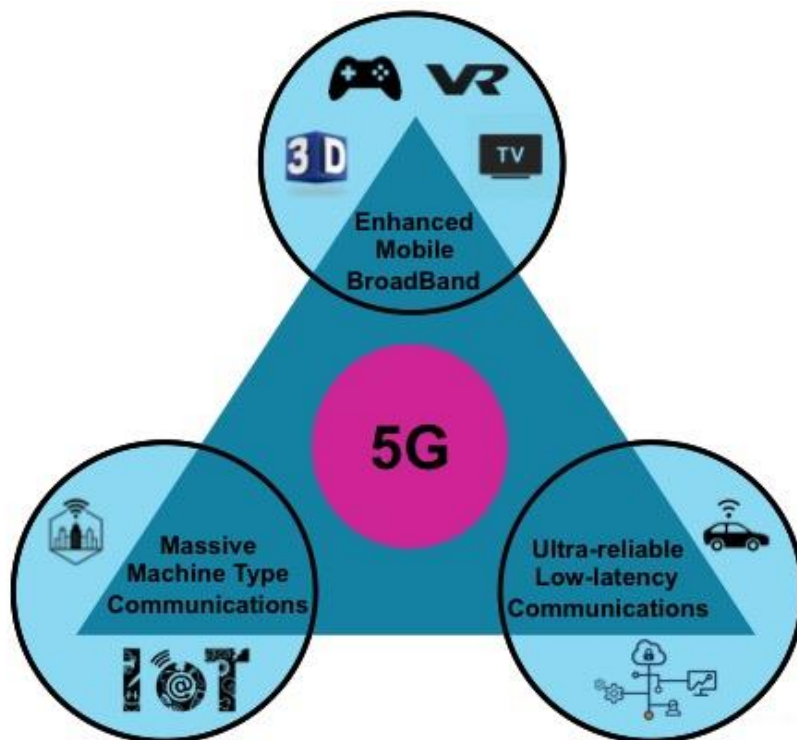
Large Arrays, Narrow Beams

Η κατασκευή ενός ασύρματου συστήματος από narrow και εστιασμένα beams είναι εξαιρετικά ασήμαντη και αλλάζει πολλές παραδοσιακές πτυχές του σχεδιασμού του ασύρματου συστήματος. Οι ακτίνες MmWave είναι πολύ κατευθυντικές, σχεδόν σαν φακοί, οι οποίοι αλλάζουν εντελώς τη συμπεριφορά παρεμβολών καθώς και την ευαισθησία σε ακανόνιστα beams. Η παρεμβολή υιοθετεί μια συμπεριφορά on / off όπου οι περισσότερες ακτίνες δεν παρεμβαίνουν, αλλά έντονες παρεμβολές συμβαίνουν κατά

διαστήματα. Συνολικά, οι παρεμβολές γίνεται να εμποδιστούν και οι σύνδεσμοι mmWave ενδέχεται συχνά να είναι περιορισμένοι λόγω θορύβου, κάτι που αποτελεί σημαντικός λόγος για επιστροφή στο 4G. Πράγματι, ακόμη και η έννοια του cell είναι πιθανό να είναι πολύ διαφορετική σε ένα σύστημα mmWave, καθώς, αντί για απόσταση, το μπλοκάρισμα είναι συχνά το πρώτο αποτέλεσμα επί της λαμβανόμενης ισχύος σήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΙΣ ΟΠΟΙΕΣ ΒΑΣΙΖΕΤΑΙ ΤΟ 5G

Το 5G, σύμφωνα με το [7] ουσιαστικά δεν είναι μια τεχνολογία αλλά 3 διαφορετικές όπου κάθε μια ικανοποιεί διαφορετικές ανάγκες.



Πηγή: [15]

mMTC

Το mMTC, γνωστό και ως massive Machine Type Communication ή αλλιώς το ενεργειακά αποδοτικό 5G. Ο βασικός του σκοπός είναι να μεταδίδει τακτικά και αποδοτικά μικρά πακέτα δεδομένων από και προς συσκευές που απαιτούν ευρείας περιοχής κάλυψη και μεγάλη διάρκεια μπαταρίας. Με την αυξημένη απόδοση συνοδεύεται και η μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου με αποτέλεσμα να μπορεί να υποστηρίξει ένα τεράστιο αριθμό συσκευών. Είναι ιδανικό για εφαρμογές όπως έξυπνοι μετρητές, εφαρμογές εντοπισμού, συστήματα παρακολούθησης τα οποία δεν εξαρτώνται τόσο από την ταχύτητα ή την καθυστέρηση αλλά από την αποδοτική χρήση ισχύος έτσι ώστε να πετυχαίνουν χαμηλή κατανάλωση και μεγάλο χρόνο ζωής της μπαταρίας. Μια τεχνολογία που περιλαμβάνεται στο mMTC είναι το Narrowband IoT το οποίο αφορά τις μικρής εμβέλειας συσκευές IoT και προσφέρει:

- Πολύ καλή κάλυψη σε εσωτερικούς χώρους
- Υποστήριξη πολλών ταυτόχρονων συνδέσεων
- Ενεργειακή αποδοτικότητα
- Χαμηλή κατανάλωση ισχύος
- Βελτιστοποιημένη αρχιτεκτονική δικτύου

Μια ακόμα τεχνολογία που σχετίζεται με το mMTC είναι η LTE-M η οποία σε αντίθεση με το Narrowband IoT βασίζεται στην εξασφάλιση γρήγορων ταχυτήτων και χαμηλότερης καθυστέρησης και χρησιμοποιείται σε συστήματα συναγερμών, ανιχνευτές περιουσιακών στοιχείων, έξυπνους μετρητές, ελεγκτές έξυπνης πόλης, wearable συσκευές, βιομηχανικούς αισθητήρες κ.α.

URLLC

Η Ultra Reliable Low Latency Communication τεχνολογία είναι μια καινούρια κατηγορία επικοινωνίας υψηλής επίδοσης η οποία εστιάζει στην υψηλότερη δυνατή αξιοπιστία ενώ προσφέρει χρόνο καθυστέρησης μικρότερο και του 1ms. Είναι ιδανικό για εφαρμογές πρώτων βοηθειών, υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης, αυτόνομα αυτοκίνητα ακόμη και drones ή άλλα περίπλοκα ρομπότ.

eMBB

Η τεχνολογία enhanced Mobile Broadband, γνωστή και ως υψηλής ταχύτητας 5G, παρέχει εξαιρετικά γρήγορες ταχύτητες, υψηλή χωρητικότητας συστήματα και καλύτερη φασματική απόδοση για εφαρμογές όχι μόνο στον καταναλωτικό χώρο, όπως στα έξυπνα κινητά, στην επαυξημένη και εικονική πραγματικότητα αλλά και για βιομηχανικούς δρομολογητές που απαιτούν όσο τον δυνατόν καλύτερη σύνδεση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ 5G ΣΤΟ ΙΟΤ

Όπως προαναφέραμε η βασική χρήση του 5G τα επόμενα χρόνια θα είναι σχετική με τις συσκευές του Internet of Things. Ποια είναι όμως τα οφέλη του 5G σε τέτοιες συσκευές.

1. Υψηλότερη απόδοση φάσματος
2. 100 φορές γρηγορότερο από την προηγούμενη γενιά
3. 25 φορές χαμηλότερη καθυστέρηση ανταπόκρισης (latency)
4. Η ικανότητα υποστήριξης ενός τεράστιου πλήθους μηνυμάτων επικοινωνίας μεταξύ των ΙοΤ συσκευών. Υπολογίζεται ότι μπορεί να συνδέσει περίπου 1 εκατομμύριο συσκευές ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο το οποίο είναι χίλιες φορές καλύτερο από το τρέχον δίκτυο
5. Μειώνει την κατανάλωση ισχύος κατά 90% εξασφαλίζοντας 10 χρόνια διάρκειας ζωής της μπαταρίας για συσκευές ΙοΤ.
6. Υποστηρίζει πολλαπλά λογικά δίκτυα με ανεξάρτητες λειτουργίες οι οποίες όμως έχουν κοινόχρηστη φυσική δομή.

Οι παραπάνω ωφέλειες θα αναβαθμίσουν τις δυνατότητες των ΙοΤ συσκευών. Η εκτεταμένη συλλογή δεδομένων πραγματικού χρόνου, η αυξημένη ευελιξία, ο χαμηλός χρόνος καθυστέρησης και η αξιοπιστία που απαιτούνται για τον αυτοματισμό της παραγωγής στις βιομηχανίες, στον αυτόνομο έλεγχο οχημάτων και σε πολλές άλλες εφαρμογές είναι δυνατές μόνο με ένα εξαιρετικά αξιόπιστο 5G δίκτυο.

Αρχικά, υπολογίζεται ότι ο όγκος κινητής και ασύρματης κίνησης πρόκειται να αυξηθεί δραματικά μέσα στην επόμενη δεκαετία το οποίο οδηγεί στο συμπέρασμα πως όλοι θα πρέπει να έχουν την δυνατότητα να μοιράζονται δεδομένα παντού και πάντα. Με την γρήγορη αύξηση του αριθμού των συνδεδεμένων συσκευών, εμφανίζονται ορισμένες προκλήσεις που θα χρειαστεί να αντιμετωπιστούν. Αυτό θα γίνει με την αύξηση της χωρητικότητας των δικτύων, τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, το κόστος καθώς και την καλύτερη δυνατότητα κλιμάκωσης (scalability) για τον αυξημένο αριθμό των συνδεδεμένων συσκευών. Αν μέσα στον αριθμό των συσκευών υπολογίσουμε και τον αριθμό των IoT συσκευών γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι πολλά προβλήματα θα αναδυθούν.

- **Device-to-device (D2D)** επικοινωνίες (από συσκευή σε συσκευή) είναι μια τεχνική στην οποία η επικοινωνία είναι βασισμένη στην συσκευή και όχι στην δομή του δικτύου. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να εξοικονομήσουμε στην χωρητικότητα του δικτύου 5G το οποίο θα προσφέρει γρηγορότερα και πιο αξιόπιστα δίκτυα.
- **Moving networks(MN)**. Η τεχνολογία αυτή αναφέρεται σε έναν κινούμενο κόμβο του δικτύου με προηγμένες δυνατότητες ή πολλούς που μαζεύονται και δημιουργούν ένα κινητό δίκτυο που μπορεί να επικοινωνήσει με το περιβάλλον του.

- **Ultra-dense networks** είναι δίκτυα με πολύ πυκνότερο ποσό πόρων από ότι τα τρέχοντα δίκτυα και τα οποία έχουν ως στόχο την αύξηση της απόδοσης ισχύος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ 5G ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

Κατά την διάρκεια των τελευταίων χρόνων ανάπτυξης του 5G έχουν εκφραστεί αρκετές ανησυχίες σχετικά με την επίπτωση που θα έχει στην υγεία των ανθρώπων η εγκατάσταση τόσο πολλών κεραιών 5G σε όλες τις πυκνό κατοικημένες περιοχές του κόσμου. Παρόλα αυτά με επιστημονική συναίνεση έχει αποδειχθεί ότι το 5G είναι απολύτως ασφαλές. Η έλλειψη επαρκής ενημέρωσης σχετικά με την τεχνολογία του 5G προκάλεσε πολλές θεωρίες συνωμοσίας οι οποίες υποστήριζαν ότι έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.



Πηγή: [\[16\]](#)

Εντατικοποίηση των παραπάνω θεωριών έχει γίνει και λόγω παραπληροφόρησης στα μέσα μαζικής ενημέρωσης στα οποία υποστηρίχθηκε πως οι τεχνολογίες του 5G σχετίζονται άμεσα με επιβλαβείς επιπτώσεις στην υγεία, όπως ο καρκίνος του εγκεφάλου, η στειρότητα, ο αυτισμός, οι καρδιακοί όγκοι και η νόσος του Αλτσχάιμερ. Όλοι αυτοί οι ισχυρισμοί στερούνται από επιστημονικής υποστήριξης και διαψεύστηκαν πολύ σύντομα από όλους του επιστήμονες. Συνεπώς, η κατασκευή της υποδομής των δικτύων 5G έχει αρχίσει παγκοσμίως με πρωτοπόρα την Ιαπωνία και την Αμερική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία έγινε αναλυτική ιστορική αναδρομή των τεχνολογιών των δικτύων κινητής τηλεπικοινωνίας. Παρουσιάστηκαν τα θετικά και τα αρνητικά όλων των προηγούμενων γενιών και παρουσιάστηκε έτσι ο λόγος ύπαρξης της τεχνολογίας κινητών τηλεπικοινωνιών 5^{ης} γενιάς. Αναφέρθηκαν πολλές από τις τεχνολογίες στις οποίες βασίζεται, τις συχνότητες που χρησιμοποιεί αλλά και το τι μπορεί να προσφέρει στους χρήστες του. Επιπλέον περιγράφηκαν τα διαφορετικά ήδη του 5G, τα low, mid και high band και αναλύθηκαν μερικές εφαρμογές του 5G στο ΙοΤ. Τέλος, διαπιστώθηκε η ασφάλεια της τεχνολογίας και η ομοφωνία των επιστημόνων για την χρήση της χωρίς καμία ανησυχία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

URLs:

- [1] <https://en.wikipedia.org/wiki/5G>
- [2] <https://venturebeat.com/2019/12/10/the-definitive-guide-to-5g-low-mid-and-high-band-speeds/>
- [3] <https://www.ufinet.com/the-evolution-of-wireless-telecommunication-from-1g-to-5g/>
- [4] <https://www.brainbridge.be/news/from-1g-to-5g-a-brief-history-of-the-evolution-of-mobile-standards>
- [5] <https://www.subex.com/blog/a-rewind-of-the-evolution-from-1g-to-5g/>
- [6] <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/what-frequency-spectrum-will-5g-technology-use-and-how-does-this-compare-to-4g#:~:text=The%205G%20frequency%20band%20plans,GHz%20to%2086%20GHz%20range.>
- [7] <https://www.diameterouting.com/blogs/WhyNetworkSlicingwillleadto5Greadiness>
- [8] J. G. Andrews et al., "What Will 5G Be?," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 32, no. 6, pp. 1065-1082, June 2014, doi: 10.1109/JSAC.2014.2328098.

Εικόνες:

- [9] <https://pt.slideshare.net/gokilabharathi/1g-vs-2g-vs-3/17>
- [10] <https://vestnikkavkaza.net/news/3G-connection-works-in-Crimea.html>

- [11] <https://www.uih.co.th/en/knowledge/5g>
- [12] https://www.miniphysics.com/electromagnetic-spectrum_25.html
- [13] <https://www.bbc.com/news/world-europe-48616174>
- [14] https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6824752?casa_token=3cCuQy-gVoRAAAAAA:53Le2JMOjU1KEYTQ_J308XYfhPZGAFs-qSQW7bubzCl_IWY4RsB4_DWzbCzut_8OZeFHNRRt-g
- [15] <https://www.diameterrouting.com/blogs/WhyNetworkSlicingwilleadto5Greadiness>
- [16] <https://www.qualcomm.com/news/onq/2017/10/30/previewing-5gs-effect-health-care-industry>