



**Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
University of West Attica**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

ΤΙΤΛΟΣ:

**ΜΕΛΕΤΗ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΗΣ
ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ (ULTRA
RELIABLE LOW LATENCY COMMUNICATIONS – URLLC)**

Ονοματεπώνυμο φοιτητή: Σάρρα Μαρία

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Κωνσταντίνος Μαυρομμάτης

Αθήνα Ιούνιος, 2022

Τριμελής Επιτροπή Εξέτασης:

Κωνσταντίνος Μαυρομμάτης
Επιβλέπων Καθηγητής

Σταύρος Φατούρος
Αναπλ. Καθηγητής

Νικόλαος Μυριδάκης
Επικ. Καθηγητής

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η **Σάρρα Μαρία** του **Αναστάσιου**, με αριθμό μητρώου **151078** φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής **Μηχανικών** του Τμήματος **Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών**, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο/Η Δηλών/ούσα



Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους ανθρώπους
μου,
που με στήριξαν σε όλα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τεχνολογία 5G δημιουργεί νέες προκλήσεις, υπηρεσίες, εφαρμογές και χρήσεις στην ανθρώπινη δραστηριότητα.

Σκοπός της εργασίας ήταν η μελέτη και η περιγραφή των νέων τεχνολογιών που σχετίζονται με τα νέα δίκτυα επικοινωνιών και έχουν ως κύρια χαρακτηριστικά την εξαιρετική αξιοπιστία και την χαμηλή καθυστέρηση.

Τις θεμελιώδεις απαιτήσεις για τα δίκτυα 5G αποτελούν οι βελτιωμένες κινητές υπηρεσίες ευρυζωνικότητας, οι αξιόπιστες επικοινωνίες με χαμηλά επίπεδα καθυστέρησης και η δυνατότητα για μαζική επικοινωνία συσκευών. Η δομή και η αρχιτεκτονική των δικτύων 5G συμπορεύονται με την εξυπηρέτηση των εν λόγω απαιτήσεων.

Η URLLC αντικατοπτρίζει στην απαίτηση για επίτευξη του συνδυασμού μικρής καθυστέρησης και υψηλής αξιοπιστίας. Η χρήση μαζικών συστημάτων πολλαπλών κεραιών δημιουργεί μεγάλο αριθμό βαθμών ελευθερίας στη βάση των οποίων καθορίζονται και επεκτείνονται σημαντικές ιδιότητες της URLLC. Η ύπαρξη πολλαπλών διεπαφών χαρακτηρίζεται από έναν υψηλότερο βαθμό ποικιλομορφίας, η εκμετάλλευση του οποίου οδηγεί σε βελτιώσεις σε σχέση με τους παράγοντες της αξιοπιστίας και του λανθάνοντα χρόνου.

Προτείνεται ο συνδυασμός των πλεονεκτημάτων που χαρακτηρίζουν τις συνεκτικές προσεγγίσεις στα μοτίβα χαμηλής κινητικότητας με τις δυνατότητες των μη συνεκτικών προσεγγίσεων στα πεδία της υψηλής κινητικότητας έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα ισχυρό πλαίσιο για αξιόπιστες επικοινωνίες με χαμηλά επίπεδα καθυστέρησης, στη βάση των απαιτήσεων που καλείται να εξυπηρετήσει η URLLC.

Λέξεις – κλειδιά: 5G, τεχνολογίες, αρχιτεκτονική, υπηρεσίες, ασφάλεια, URLLC.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ε. Εισαγωγή.....	6
1. Γενική περιγραφή και τεχνολογία 5G	7
1.1. Το δίκτυο 5G	7
1.2. Θεμελιώδη στοιχεία – απαιτήσεις για το δίκτυο 5G	9
1.3. Τεχνολογίες 5G	12
1.3.1. Διπλή συνδεσιμότητα LTE – NR.....	12
1.3.2. Εικονικοποιημένη λειτουργία	13
1.3.3. Δίκτυο καθορισμένο από το λογισμικό	14
1.3.4. Πολλαπλή πρόσβαση στα άκρα του δικτύου.....	15
1.3.5. Συνάθροιση φορέων και χιλιοστό – μετρα κύματος.....	15
1.3.6. Συστήματα πολλαπλών εισόδων και εξόδων	16
2. Δομή και αρχιτεκτονική 5G.....	17
2.1. Δομή 5G.....	17
2.2. Αρχιτεκτονική 5G.....	20
2.2.1. Βασικά χαρακτηριστικά αρχιτεκτονικής 5G	20
2.2.2. Αρχιτεκτονική που βασίζεται στην υπηρεσία.....	21
2.2.3. Κοινός πυρήνας δικτύου.....	23
2.2.4. Τεμαχισμός δικτύου	24
2.2.5. Υποστήριξη εφαρμογών	27
3. Υπηρεσίες, χρήσεις και ασφάλεια 5G.....	30
3.1. Υπηρεσίες των δικτύων 5G	30
3.2. Χρήσεις των δικτύων 5G	35

3.2.1. Υγεία	36
3.2.2. Αυτοκινητοβιομηχανία	39
3.2.3. Ενέργεια.....	41
3.2.4. Βιομηχανία.....	43
3.2.5. Ενημέρωση και ψυχαγωγία	46
3.2.6. Παιδεία και εκπαίδευση	47
3.3. Ασφάλεια των δικτύων 5G	48
3.3.1. Διαχείριση ταυτότητας εργοστασιακών συσκευών 5G	48
3.3.2. Χρήση της δυνατότητας διαχείρισης ταυτότητας για bootstrapping access 5G	49
3.2.3. Πιστοποίηση συσκευών σε δίκτυα 5G.....	51
3.2.4. Διαχείριση κλειδιών ασφαλείας.....	52
4. URLLC	54
4.1. Αξιολόγηση.....	54
4.2. Οφέλη για την URLLC από την υιοθέτηση μαζικών συστημάτων πολλαπλών κεραιών	55
4.2.1. Θεωρητική προσέγγιση	55
4.2.2. Ποσοτική προσέγγιση.....	58
4.3. Πολυμορφία και πολύ – συνδεσιμότητα επαφών	61
4.3.1. Θεωρητική προσέγγιση	61
4.3.2. Ποσοτική προσέγγιση.....	63
4.4. URLLC σε massive MIMO	64
5. Συμπεράσματα.....	66
6. Βιβλιογραφία.....	68

E. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σύγχρονη εποχή χαρακτηρίζεται από την ισχυρή τεχνολογική εξέλιξη και ανάπτυξη, με τη διάχυση της πληροφορίας να είναι δυνατή χωρίς χρονικούς και χωρικούς περιορισμούς σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε μια τέτοια δομορφωθείσα κατάσταση, ενισχύεται συνεχώς η απαίτηση για αύξηση της χωρητικότητας των μέσων διάδοσης της πληροφορίας, για αύξηση του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων που τη συνθέτουν και εν γένει για ενίσχυση της ποιότητας των υπηρεσιών που σχετίζονται με αυτή.

Σε ένα τέτοιο πλαίσιο απαιτήσεων, η μελέτη νέων τεχνολογιών που υιοθετούνται για την υλοποίηση Εξαιρετικής Αξιοπιστίας και Χαμηλής Καθυστέρησης Επικοινωνιών (Ultra Reliable Low Latency Communications – URLLC) ενισχύεται συνεχώς. Το δίκτυο 5G αποτελεί την τελευταία γενιά όσον αφορά στα δίκτυα επικοινωνιών το οποίο χαρακτηρίζεται από τεχνολογίες και δυνατότητες που βοηθούν στην μεγαλύτερη ικανοποίηση των απαιτήσεων, αναγκών και επιθυμιών των χρηστών σε σχέση με την προηγούμενη κατάσταση.

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη και η περιγραφή των νέων τεχνολογιών που σχετίζονται με τα νέα δίκτυα επικοινωνιών και έχουν ως κύρια χαρακτηριστικά την εξαιρετική αξιοπιστία και την χαμηλή καθυστέρηση.

Για το σκοπό αυτό, η κύρια ανάλυση της εργασίας αποτελείται από τέσσερα επιμέρους κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο, λαμβάνει χώρα μια γενική περιγραφή του δικτύου 5G και προσεγγίζονται οι νέες τεχνολογίες που σχετίζονται με αυτό. Το δεύτερο κεφάλαιο αποτελεί μια περιγραφή της δομής και της αρχιτεκτονικής των δικτύων 5G. Το τρίτο κεφάλαιο, αποτελεί μια ανάλυση των υπηρεσιών, των χρήσεων και του παράγοντα της ασφάλειας στα δίκτυα 5G. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο, λαμβάνει χώρα μια προσέγγιση της URLLC σε σχέση με τους παράγοντες της αξιολόγησης, του οφέλους από την υιοθέτηση μαζικών συστημάτων πολλαπλών κεραιών, της πολυμορφίας και της πολύ – συνδεσιμότητας καθώς και με τα μαζικά συστήματα MIMO.

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ 5G

1.1. ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 5G

Τα ασύρματα συστήματα 5^{ης} γενιάς (5G) αποτελούν σήμερα τις πιο βελτιωμένες τεχνολογίες στο πεδίο των ασύρματων δικτύων. Η αύξηση της δυνατότητας για μαζική χρήση, η ενίσχυση των παραγόντων της ταχύτητας και της λειτουργικότητας και η ταυτόχρονη εξασφάλιση υψηλότερου επιπέδου ασφάλειας και αξιοπιστίας μέσω των συστημάτων 5G, αναμένεται να συμβάλλουν στην ανάπτυξη και περαιτέρω εξέλιξη πολλών κλάδων της αγοράς και γενικότερα της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Μέσω του δικτύου 5G επιτυγχάνεται [1]:

Εξατομίκευση της χρήσης:

Οι υψηλές ταχύτητες μεταφοράς πληροφοριών και δεδομένων που επιτυγχάνονται μέσω της χρήσης του εν λόγω τύπου δικτύου σε συνδυασμό με την ολοκληρωμένη γεωγραφική κάλυψη μέσω αυτού, παρέχουν στο χρήστη τη δυνατότητα για γρήγορη πρόσβαση σε έναν χώρο με ισχυρές αποθηκευτικές δυνατότητας πληροφοριών και δεδομένων. Αυτός ο χώρος προσφέρει στους χρήστες την ευελιξία να φιλτράτουν τις πληροφορίες και τα δεδομένα διαμορφώνοντας τις υπηρεσίες στη βάση των ιδιαίτερων προτιμήσεων, αναγκών και επιθυμιών τους. Σε μια τέτοια βάση, μπορούν να διαμορφώσουν τον τρόπο λειτουργίας των συσκευών τους ώστε να είναι δυνατή η παροχή της εκάστοτε υπηρεσίας με εξατομικευμένο τρόπο.

Ετερογένεια τερματικών και δικτύων:

Το δίκτυο 5G χαρακτηρίζεται από αυξημένη ετερογένεια όσον αφορά στα στοιχεία που απαρτίζουν τις επιμέρους δικτυακές εγκαταστάσεις του. Επίσης, διακρίνεται από ετερογένεια όσον αφορά στα τερματικά στη βάση των παραγόντων του μεγέθους, του όγκου, των στοιχείων προβολής, των επιπέδων κατανάλωσης ενέργειας κ.λ.π. Σε κάθε περίπτωση, το σύνολο των τερματικών

και δικτύων στο 5G συνεργάζονται για την παροχή κοινών υπηρεσιών ανέξαρτητα από τα επιμέρους χαρακτηριστικά και δυνατότητές τους.

Υψηλή απόδοση:

Το 5G παρέχει τη δυνατότητα για ασύρματη λήψη με ταχύτητες που ξεπερνούν το 1Gbps σε τοπικό δίκτυο (LAN) και τα 500 Mbps σε δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN). Τα συστήματα χιλιοστομετρικών κυμάτων έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε οι λήψεις αιχμής να προσεγγίζουν τα 20 gigabit, με το μέσο εύρος ζώνης να εκτιμάται στα 3,5 gigabits.

Διαλειτουργικότητα:

Οι προηγούμενες γενιές δικτύων και τα πρότυπα που χρησιμοποιούσαν περιορίζαν την κινητικότητα και τη διαλειτουργικότητα του χρήστη στα διάφορα δίκτυα. Τα συστήματα 5G δίνουν τη δυνατότητα για δραστηριοποίηση μέσω ενός ενιαίου παγκόσμιο προτύπου που διευκολύνει την κινητικότητα σε παγκόσμιο επίπεδο καθώς και το βαθμό φορητότητας των συσκευών.

Εν γένει, σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές δικτύων, μέσω των δυνατοτήτων 5G επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ευελιξία, υψηλότερη δυνατότητα συνδεσιμότητας για διαφορετικές τεχνολογίες, με κυριότερες τη νανοτεχνολογία (Nanotechnology), την τεχνολογία νέφους (CT / Cloud Technology) και το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT / Internet of Things) καθώς και ενισχυμένη ικανότητα για δικτύωση μεγαλύτερου αριθμού συσκευών χρηστών που έχουν διαφορετικές ανάγκες και απαιτήσεις. Όλα αυτά εκπληρώνονται στα πλαίσια μιας συνεχώς εξελισσόμενης προσπάθειας για την ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων μέσω των οποίων θα μεταδίδεται ακόμα μεγαλύτερος αριθμός δεδομένων στη μονάδα του χρόνου, μέσω ενός ταχύτερου δικτύου και πάντα με προσανατολισμό στην επίτευξη της βέλτιστης δυνατής ενεργειακής απόδοσης.

Στον επόμενο πίνακα αποτυπώνονται με περιεκτικό τρόπο οι ενισχυμένες δυνατότητες των δικτύων 5G σε σύγκριση με τις δυνατότητες των δικτύων προηγούμενης γενιάς.

Πίνακας 1.1. Συγκριτική αξιολόγηση ασύρματων τεχνολογιών [2].

Technology ⇨	1G	2G	3G	4G	5G
Feature ↓					
Start/ Deployment	1970 – 1980	1990 – 2004	2004-2010	Now	Soon (probably 2020)
Data Bandwidth	2kbps	64kbps	2Mbps	1 Gbps	Higher than 1Gbps
Technology	Analog Cellular Technology	Digital Cellular Technology	CDMA 2000 (1xRTT, EVDO) UMTS, EDGE	Wi-Max LTE Wi-Fi	WWWW(coming soon)
Service	Mobile Telephony (Voice)	Digital voice, SMS, Higher capacity packetized data	Integrated high quality audio, video and data	Dynamic Information access, Wearable devices	Dynamic Information access, Wearable devices with AI Capabilities
Multiplexing	FDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Switching	Circuit	Circuit, Packet	Packet	All Packet	All Packet
Core Network	PSTN	PSTN	Packet N/W	Internet	Internet

1.2. ΘΕΜΕΛΙΩΔΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 5G

Τα συστήματα 5G αποσκοπούν στην εκπλήρωση των συστάσεων – απαιτήσεων που προκύπτουν στη βάση του προτύπου International Mobile Telecommunications – 2020 (IMT – 2020) το οποίο συστάθηκε μέσω των κατευθύνσεων του Τομέα των Ραδιοεπικοινωνιών (ITU – R / International Telecommunication Union – Radiocommunication Sector) της Ένωσης Διεθνών Τηλεπικοινωνιών (ITU / International Telecommunication Union). Οι απαιτήσεις αφορούν σε τρία θεμελιώδη στοιχεία / επιδιώξεις [3]:

Βελτιωμένες κινητές υπηρεσίες ευρυζωνικότητας (eMBB / enhanced Mobile Broadband):

Το συγκεκριμένο στοιχείο σχετίζεται με παράγοντες που βελτιώνουν το επίπεδο εμπειρίας του χρήστη, όπως είναι η πρόσβαση σε περιεχόμενο υψηλής ευκρίνειας, η ευρεία κάλυψη και η ύπαρξη εκτεταμένων σημείων πρόσβασης για απρόσκοπτη χρήση καθώς και η υψηλή απόδοση.

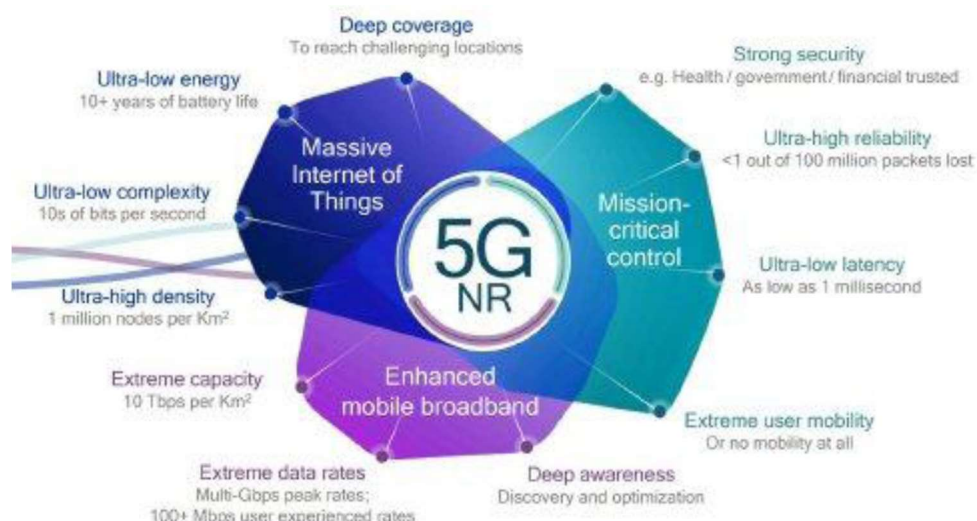
Αξιόπιστες επικοινωνίες με χαμηλά επίπεδα καθυστέρησης (URLLC / Ultra Reliable Low Latency Communications):

Η εν λόγω απαίτηση αφορά σε περιπτώσεις χρήσης στις οποίες απαιτείται υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, μικρή καθυστέρηση και αυξημένη διαθεσιμότητα.

Μαζική επικοινωνία συσκευών (mMTC / massive Machine Type Communications):

Σχετίζεται με τη δυνατότητα για σύνδεση μεγάλου αριθμού συσκευών στο δίκτυο και για μεγάλη κάλυψη, με σύστοιχη τη δυνατότητα για μετάδοση μικρού όγκου πληροφοριών και δεδομένων από μεγάλο αριθμό χρηστών.

Συγκεντρωτικά:



Σχήμα 1.1. Θεμελιώδη στοιχεία – απαιτήσεις 5G [4].

Οι ελάχιστες απαιτήσεις όσον αφορά στην τεχνική απόδοση για τα συστήματα 5G όπως αυτές απορρέουν από το πρότυπο IMT – 2020 είναι οι ακόλουθες:

Πίνακας 1.2. Ελάχιστες απαιτήσεις τεχνικής απόδοσης συστημάτων 5G [5].

Βασικός δείκτης απόδοσης	Περιπτώσεις Χρήσης	Απαιτήσεις
Μέγιστος ρυθμός δεδομένων	eMBB	Downlink peak data rate: 20 Gbit/s. Uplink peak data rate: 10 Gbit/s.
Μέγιστη φασματική απόδοση	eMBB	Downlink peak spectral efficiency: 30 bit/s/Hz. Uplink peak spectral efficiency: 15 bit/s/Hz.
Ρυθμός δεδομένων χρήστη	eMBB	Downlink user experienced data rate: 100 Mbit/s. Uplink user experienced data rate: 50 Mbit/s.
Φασματική απόδοση χρήστη	eMBB	Indoor hotspot: DL: 0.3 / UL: 0.21 Dense Urban: DL: 0.225 / UL: 0.15 Rural: DL: 0.12 / UL: 0.045 (all figures in bit/s/Hz)
Μέσος όρος φασματικής απόδοσης	eMBB	Indoor hotspot: DL: 9 / UL: 6.75 Dense Urban: DL: 7.8 / UL: 5.4 Rural: DL: 3.3 / UL: 1.6 (all figures in bit/s/Hz/TRxP)
Χωρητικότητα Περιοχής	eMBB	Downlink: 10 Mbit/s/m ² in the Indoor Hotspot – eMBB test environment.
Καθυστέρηση στο επίπεδο του χρήστη	eMBB,U RLLC	4 ms for eMBB 1 ms for URLLC
Καθυστέρηση στο πλάνο έλεγχου	eMBB,U RLLC	20 ms (10 ms encouraged)
Πυκνότητα συσκευών Ενεργειακή απόδοση	eMBB URLLC	1 000 000 devices per km ² a) Efficient data transmission in a loaded case: demonstrated by the average spectral efficiency b) Low energy consumption when there is no data: should support a high sleep ratio and long sleep duration
Αξιοπιστία	eMBB	1-10 ⁻⁵ success probability of transmitting a layer 2 PDU of 32 bytes within 1 ms in channel quality of coverage edge for Urban Macro-URLLC test environment, assuming small application data
Κινητικότητα	eMBB	Indoor hotspot: Stationary, Pedestrian* Dense Urban: Stationary, Pedestrian,
Διακοπή σύνδεσης	eMBB,U RLLC	0 ms

1.3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ 5G

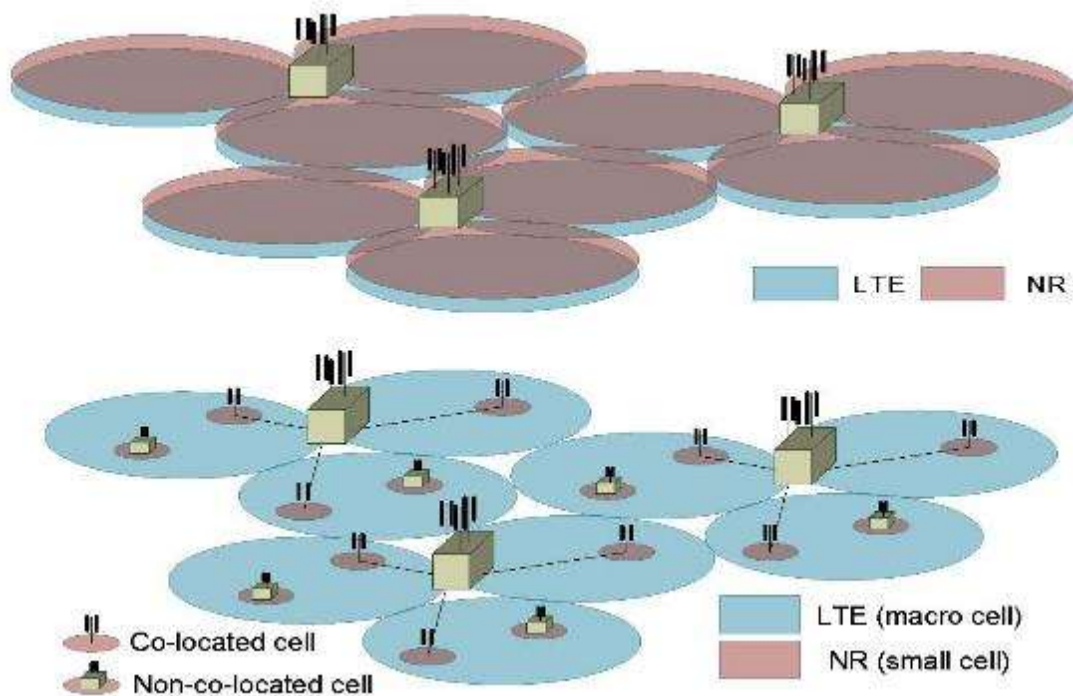
Στο παρόν χωρίο περιγράφονται οι βασικότερες τεχνολογίες που υιοθετούνται στα συστήματα 5G [1], [5], [6].

1.3.1. Διπλή συνδεσιμότητα LTE – NR

Η έννοια της διπλής συνδεσιμότητας έχει εισαχθεί ήδη στην πραγματικότητα των ασύρματων δικτύων μέσω του LTE, επιτρέποντας στις συσκευές των χρηστών να λαμβάνουν δεδομένα και πληροφορίες από πολλαπλά κελιά.

Στην περίπτωση του 5G, η διπλή συνδεσιμότητα αφορά στη σύνδεση μεταξύ LTE και 5G New Radio (NR) και φέρει την ονομασία διπλή συνδεσιμότητα (Dual Connectivity) LTE – NR.

Η δυνατότητα για διπλή συνδεσιμότητα σε μια περιοχή έχει ως προϋπόθεση την ύπαρξη κάλυψης LTE και NR σε αυτή. Στην επόμενη εικόνα, αποτυπώνονται τρεις διαφορετικές περιπτώσεις σε σχέση με αυτή την παράμετρο.



Σχήμα 1.2. Σενάρια κάλυψης LTE και NR [6].

Στην πρώτη περίπτωση (άνω εικόνα στο σχήμα), τα κύτταρα LTE και NR επικαλύπτονται και έχουν το ίδιο εύρος τοποθέτησης με αποτέλεσμα να παρέχουν και παρόμοια κάλυψη. Τόσο για την κάλυψη LTE όσο και για την κάλυψη NR χρησιμοποιούνται μακρο – κύτταρα.

Στη δεύτερη περίπτωση (κάτω εικόνα στο σχήμα), για την κάλυψη LTE χρησιμοποιούνται μακρο – κύτταρα ενώ για την κάλυψη NR μικρο – κύτταρα. Τα κύτταρα LTE και NR επικαλύπτονται και συνυπάρχουν όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, όμως τώρα το εύρος των κυττάρων NR είναι μικρότερο του εύρους των κυττάρων LTE και επομένως έχουμε διαφορετικό εύρος κάλυψης. Τα κύτταρα LTE και NR συνδέονται με κοινό κέντρο.

Στη τρίτη περίπτωση (κάτω εικόνα στο σχήμα), για την κάλυψη LTE χρησιμοποιούνται μακρο – κύτταρα ενώ για την κάλυψη NR μικρο – κύτταρα όπως και στην περίπτωση 2. Επίσης, καθ' όμοιο τρόπο, τα κύτταρα LTE και NR επικαλύπτονται και συνυπάρχουν και το εύρος των κυττάρων NR είναι μικρότερο του εύρους των κυττάρων LTE και επομένως έχουμε διαφορετικό εύρος κάλυψης. Τώρα όμως τα κύτταρα LTE και NR δε συνδέονται με κάποιο κοινό κέντρο.

Η τεχνολογία διπλής συνδεσιμότητας LTE – NR που υιοθετούν τα δίκτυα 5G υποστηρίζει το σύνολο των παραπάνω περιπτώσεων ανεξάρτητα αν τα κύτταρα LTE και NR συνδέονται με κάποιο κοινό κέντρο ή όχι.

Η διπλή συνδεσιμότητα αφορά στη δυνατότητα του χρήστη να είναι συνδεδεμένος ταυτόχρονα με τα κύτταρα LTE και τα κύτταρα NR και επομένως να λαμβάνει και να μεταδίδει πληροφορίες και δεδομένα από / σε καθένα από αυτά. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνεται αύξηση στην ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων και των πληροφοριών στο δίκτυο [1].

1.3.2. Εικονικοποιημένη λειτουργία δικτύου (NFV / Network Function Virtualization)

Οι λειτουργίες στους παραδοσιακούς τύπους δικτύων εκτελούνται μέσω της χρήσης δρομολογητών και διακοπών, στοιχεία που αποτελούν τις βασικές τεχνολογίες για τη μεταφορά πληροφοριών και δεδομένων με τη μορφή ψηφιακών πακέτων από τη μια άκρη του κόσμου στην άλλη. Αν και η χρήση

τους είναι ευρεία, τα παραδοσιακά δίκτυα IP αποτελούν πολύπλοκους τύπους δικτύων με σημαντικές δυσκολίες όσον αφορά στις διαδικασίες διαχωρισμού.

Η εικονικοποίηση των λειτουργιών του δικτύου χρησιμοποιεί τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες εικονικοποίησης προκειμένου να μπορέσει να εξομοιώσει λειτουργίες κόμβων των δικτύων σε δομικά συστατικά τα οποία μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους προκειμένου να παραχθούν υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών [5].

Οι πλατφόρμες που προκύπτουν μέσα από τις δράσεις εικονικοποίησης χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ευελιξία και επεκτασιμότητα σε σύγκριση με τα παραδοσιακά στοιχεία που συνθέταν τις παρελθοντικές γενιές δικτύων. Οι δικτυακές λειτουργίες μπορούν να λάβουν χώρα σε κάθε τύπο φυσικού υλικού και επομένως η φυσική θέση μπορεί να αλλάζει με δυναμικό τρόπο ανάλογα με τη ζήτηση και τις απαιτήσεις των υπηρεσιών σε σχέση με παράγοντες όπως η καθυστέρηση και ο ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας.

Αυτή η δυνατότητα ανοίγει νέους δρόμους ανάπτυξης και στο πεδίο των υπηρεσιών νέφους όπου στους δικτυακούς κόμβους λαμβάνει χώρα ο διαμοιρασμός αποθηκευτικών, δικτυακών και υπολογιστικών πόρων με δυναμικό τρόπο και ανεξάρτητα από τον παράγοντα της φυσικής θέσης [7].

1.3.3. Δίκτυο καθορισμένο από το λογισμικό (SDN / Software Defined Network)

Μια σημαντική τεχνολογική προσέγγιση που υιοθετείται στα δίκτυα 5G είναι αυτή που αφορά στον καθορισμό του δικτύου μέσω του λογισμικού (SDN / Software Defined Network) [8].

Μέσω μιας τέτοιας προσέγγισης, επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός του επιπέδου ελέγχου από το επίπεδο του χρήστη, καθώς και ενισχυμένη δυνατότητα προγραμματισμού, με άμεση επίδραση στη δυνατότητα για διαχωρισμό του δικτύου σε επιμέρους συστατικά εντός του ίδιου υλικού. Κάθε συστατικό μπορεί εν συνεχεία να χρησιμοποιηθεί για διαφορετικό παρεχόμενο τύπο υπηρεσίας.

Η υιοθέτηση της προσέγγισης του τεμαχισμού του δικτύου (NS / Network Slicing) δίνει τη δυνατότητα για ανάπτυξη πολλαπλών εικονικών δικτύων και κατηγοριών δικτυακών πόρων εντός του ίδιου φυσικού δικτύου. Κάθε μέρος μπορεί στη συνέχεια να βελτιστοποιηθεί στη βάση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών και απαιτήσεων της υπηρεσίας για την οποία προορίζεται να χρησιμοποιηθεί [9].

1.3.4. Πολλαπλή πρόσβαση στα άκρα του δικτύου (MEC / Multi – access Edge Computing)

Μέσω των συστημάτων MEC, η υπηρεσία μεταφέρεται στην άκρη του δικτύου και επομένως πλησιέστερα στο σημείο προσάρτησης της συσκευής του χρήστη. Οι εν λόγω δομές εμπεριέχουν τις εφαρμογές και μια υποδομή εικονικοποίησης η οποία περιλαμβάνει υπολογιστές, πόρους αποθήκευσης και δικτύου καθώς και τις απαιτούμενες για τις εφαρμογές λειτουργίες.

Το MEC βοηθά στην επίτευξη των απαιτήσεων που σχετίζονται με το 5G και συγκεκριμένα με τους παράγοντες της απόδοσης, της γρήγορης μεταφοράς δεδομένων και πληροφοριών και της αυτοματοποίησης των διαδικασιών. Μέσω της υιοθέτησης των συστημάτων MEC επιτυγχάνεται πολύ μικρή καθυστέρηση, υψηλό εύρος ζώνης και πρόσβαση σε δεδομένα και πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο [10].

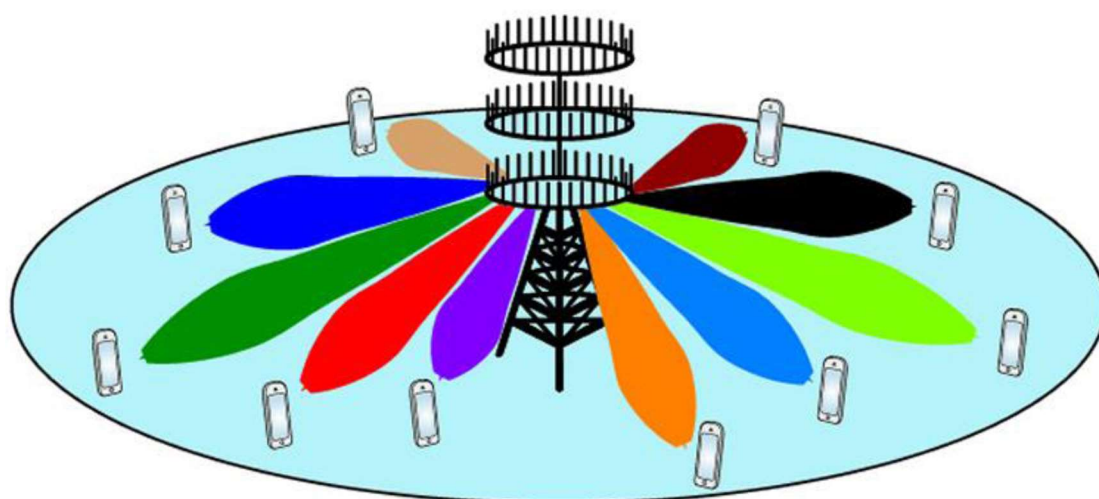
1.3.5. Συνάθροιση φορέων (CA / Carrier Aggregation) και χιλιοστό – μετρα κύματος (mmWave)

Ήδη από τη διαδικασία τυποποίησης της τεχνολογίας 4G, διαπιστώθηκε ότι προκειμένου να επιτευχθεί αύξηση του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και πληροφοριών θα πρέπει να αυξηθεί το εύρος ζώνης. Μέσω της λύσης της συνάθροισης φορέων που αναπτύχθηκε διαμέσου του 3GPP LTE, είναι δυνατός ο συνδυασμός πολλαπλών ζωνών σε διαφορετικές φασματικές περιοχές, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται ευρεία μετάδοση δεδομένων και πληροφοριών. Το υψηλό εύρος ζώνης στα επίπεδα του χιλιοστού εξασφαλίζει τη δυνατότητα για ενσωμάτωση των επικοινωνιών mmWave με άμεση επίπτωση στην ενίσχυση του ρυθμού μετάδοσης.

1.3.6. Συστήματα πολλαπλών εισόδων και εξόδων (MIMO / Multiple Input Multiple Output)

Η χρήση συστημάτων πολλαπλών εισόδων και πολλαπλών εξόδων δίνει τη δυνατότητα για αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου. Σε συνδυασμό με την επίτευξη μεγαλύτερου ρυθμού μετάδοσης δεδομένων στα δίκτυα 5G, εξυπηρετείται σημαντικά μεγαλύτερος αριθμός χρηστών στη μονάδα του χρόνου.

Όταν η ποσότητα των κεραιών στο σταθμό βάσης ανέρχεται σε μερικές εκατοντάδες τότε υιοθετείται ο όρος μαζικό MIMO. Μέσω αυτού εξασφαλίζονται τα οφέλη που προκύπτουν από ένα συμβατικό MIMO σε πολλαπλάσιο βαθμό.



Σχήμα 1.3. Σύστημα πολλαπλών εισόδων και εξόδων [11].

Η συνδυαστική χρήση μαζικών MIMO και mmWave οδηγεί σε ισχυρά οφέλη όσον αφορά στη μείωση των καθυστερήσεων στο χρόνο μετάδοσης δεδομένων και πληροφοριών. Το μεγάλο εύρος ζώνης που επιτυγχάνεται μέσω των mmWave και η ταυτόχρονη χρήση μαζικών MIMO συμβάλλουν σημαντικά στην επίτευξη των στόχων του 5G για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, μεγάλη χωρητικότητα και πολύ μικρή καθυστέρηση.

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

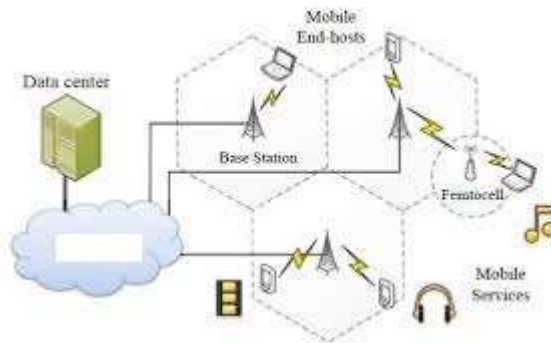
ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ 5G

2.1. ΔΟΜΗ 5G

Ο άνθρωπος περνά το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου του σε εσωτερικούς χώρους. Στις προηγούμενες γενιές δικτύων, η επικοινωνία είτε το άτομο βρισκόταν σε εσωτερικό είτε σε εξωτερικό χώρο απαιτούσε την ύπαρξη ενός εξωτερικού σταθμού βάσης. Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, προκειμένου οι εσωτερικοί χρήστες να επικοινωνήσουν με τον αντίστοιχο εξωτερικό σταθμό βάσης θα έπρεπε το σήμα να διαπερνά τα τοιχία των εσωτερικών χώρων με άμεση επίπτωση στην απόδοση, στην ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων και στην ενεργειακή αποδοτικότητα της ασύρματης επικοινωνίας.

Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, στα δίκτυα 5G, μέσω της δομής που υιοθετείται λαμβάνει χώρα ο διαχωρισμός των εσωτερικών και των εξωτερικών ρυθμίσεων. Όπως ήδη αποτυπώθηκε, στο εξωτερικό περιβάλλον, χρησιμοποιούνται μαζικά συστήματα MIMO με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια δομή που αποτελείται από συστοιχίες κεραιών οι οποίες βρίσκονται στους σταθμούς βάσης και σχηματίζουν μαζικούς συνδέσμους MIMO. Για την εξασφάλιση της βέλτιστης επικοινωνιακής δυνατότητας των εσωτερικών χρηστών, τοποθετούνται στα κτίρια σειρές κεραιών που επικοινωνούν με τους εξωτερικούς σταθμούς βάσης. Αυτές συνδέονται μέσω καλωδιακών εγκαταστάσεων με τις εσωτερικές δομές των κτιρίων έτσι ώστε να συνδέονται στο σύστημα επικοινωνίας οι εσωτερικοί χρήστες.

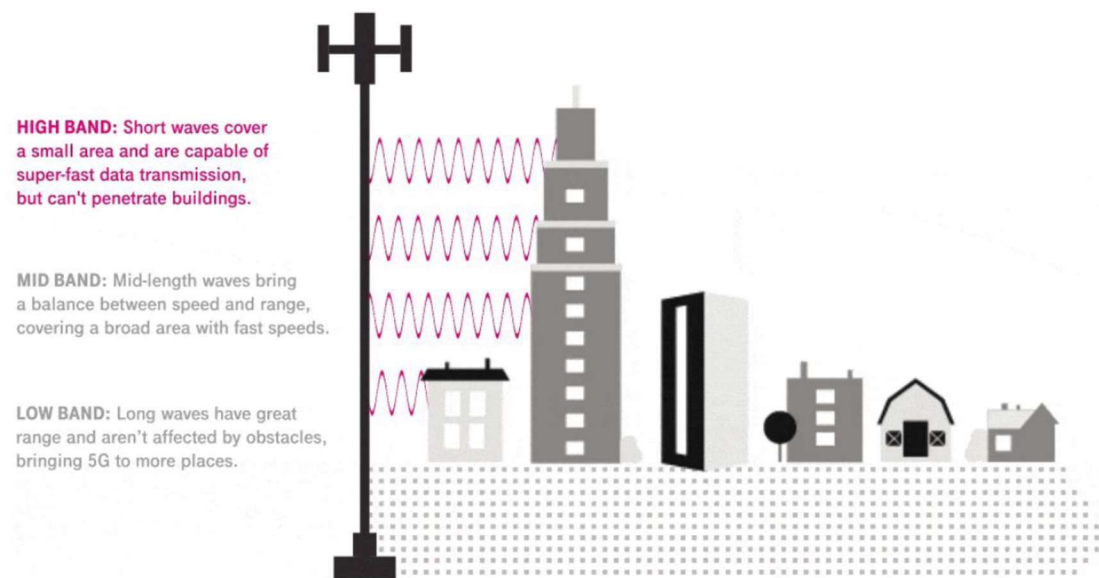
Η χρήση μικρο – κυττάρων και επικοινωνιών ορατού φωτός μπορεί να βελτιώσει περαιτέρω την επικοινωνία μικρής εμβέλειας εξασφαλίζοντας μεγαλύτερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων και πληροφοριών.



Σχήμα 2.1. Εσωτερική και εξωτερική διασύνδεση σε δίκτυα 5G [6].

Στις επόμενες εικόνες αποτυπώνεται η διαφορά όσον αφορά στις μπάντες συχνοτήτων για τη διάδοση των κυμάτων.

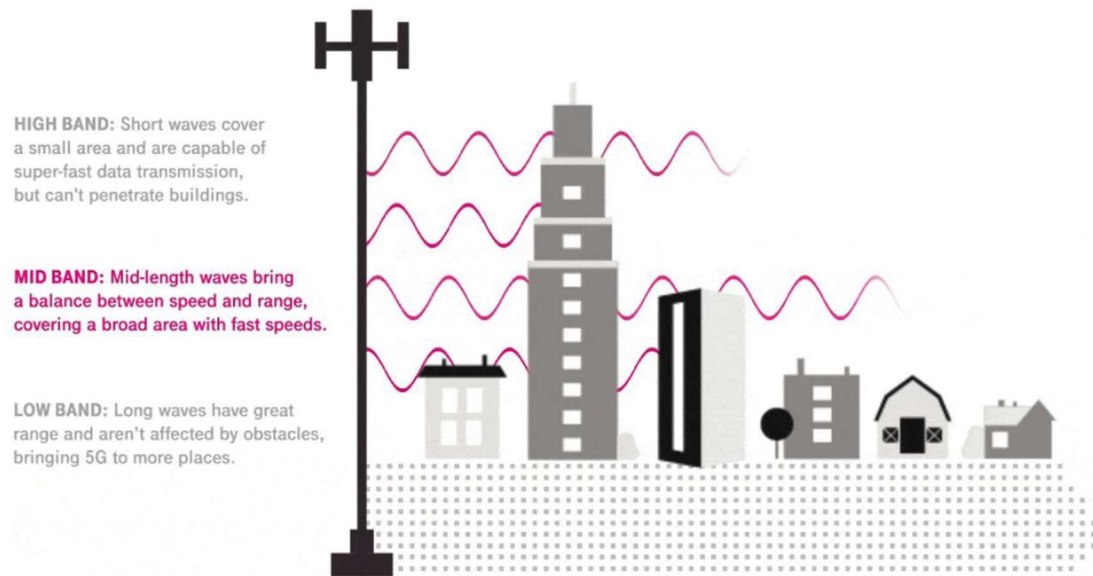
Οι mmWave συχνότητες χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερο εύρος ζώνης και χρησιμοποιούνται στα πυκνοκατοικημένα αστικά κέντρα με σκοπό τη μεταφορά μεγαλύτερου όγκου δεδομένων. Απαιτείται όμως οι κεραίες κυψελοειδούς τύπου να είναι σε κοντινή απόσταση ή μια με την άλλη, ενώ στην υψηλή αυτή ζώνη συχνοτήτων απαντάται αυξημένη δυσκολία διείσδυσης στα κτίρια.



Σχήμα 2.2. Διάδοση κυμάτων στη υψηλή μπάντα συχνοτήτων [12].

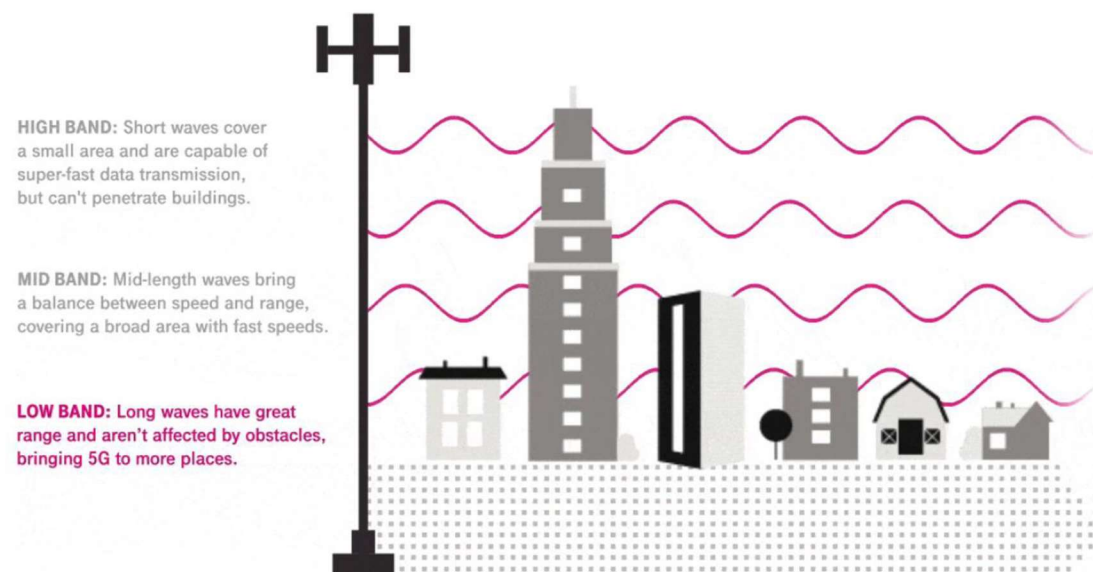
Η μεσαία ζώνη συχνοτήτων προσφέρει μεγαλύτερη ισορροπία μεταξύ των παραγόντων της ταχύτητας και της εμβέλειας. Σε σχέση με την υψηλή ζώνη

παρέχεται μεγαλύτερη κάλυψη, ενώ η επίδραση από την ύπαρξη κτιρίων είναι μικρότερη.



Σχήμα 2.3. Διάδοση κυμάτων στη μεσαία μπάντα συχνοτήτων [12].

Τέλος, στη χαμηλή ζώνη συχνοτήτων υπάρχει μεγαλύτερη δυνατότητα για μετάδοση του σήματος σε μεγαλύτερες αποστάσεις καθώς και μεγαλύτερη δυνατότητα υπερκερασμού εμποδίων. Το σήμα που παρέχεται είναι αξιόπιστο τόσο όσον αφορά εσωτερικά όσο και εξωτερικά περιβάλλοντα, υφίσταται όμως το μειονέκτημα της χαμηλής ταχύτητας μετάδοσης των δεδομένων.



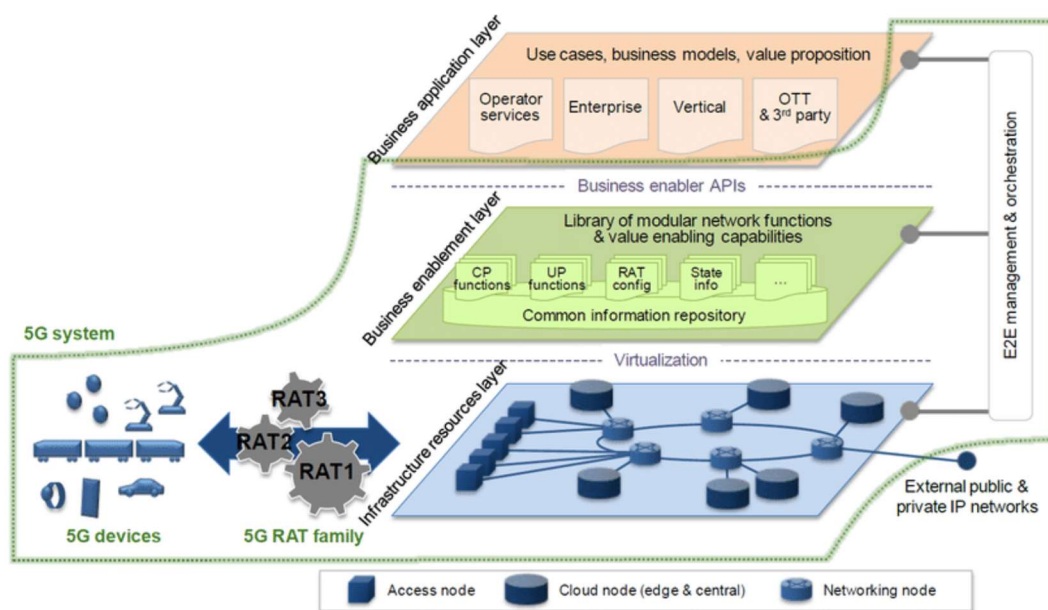
Σχήμα 2.4. Διάδοση κυμάτων στη χαμηλή μπάντα συχνοτήτων [12].

2.2. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ 5G

2.2.1. Βασικά χαρακτηριστικά αρχιτεκτονικής 5G

Μέσω ενός δικτύου 5G εξασφαλίζεται η διασύνδεση του συνόλου των στοιχείων που δρουν στον ψηφικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα εξασφαλίζεται η επικοινωνία μεταξύ ατόμων, μεταξύ ατόμων και μηχανών και μεταξύ μηχανών.

Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνεται η τυπική μορφή της αρχιτεκτονικής που χαρακτηρίζει ένα δίκτυο 5G.



Σχήμα 2.5. Τυπική αρχιτεκτονική δικτύου 5G [13].

Οι κόμβοι πρόσβασης (access nodes) αποτελούν τα σημεία εκκίνησης των συνδέσεων που οδηγούν στους χρήστες. Οι κόμβοι αυτοί εμπεριέχουν τον ενεργό εξοπλισμό μετάδοσης και μέσω αυτών λαμβάνει χώρα η διαχείριση της σύνδεσης και του τερματισμού αυτής.

Όσον αφορά στους κόμβους νέφους (cloud nodes), αυτοί λειτουργούν ως αποθηκευτικό μέσο στο οποίο μπορεί να αποθηκευτεί μεγάλος όγκος δεδομένων και πληροφοριών.

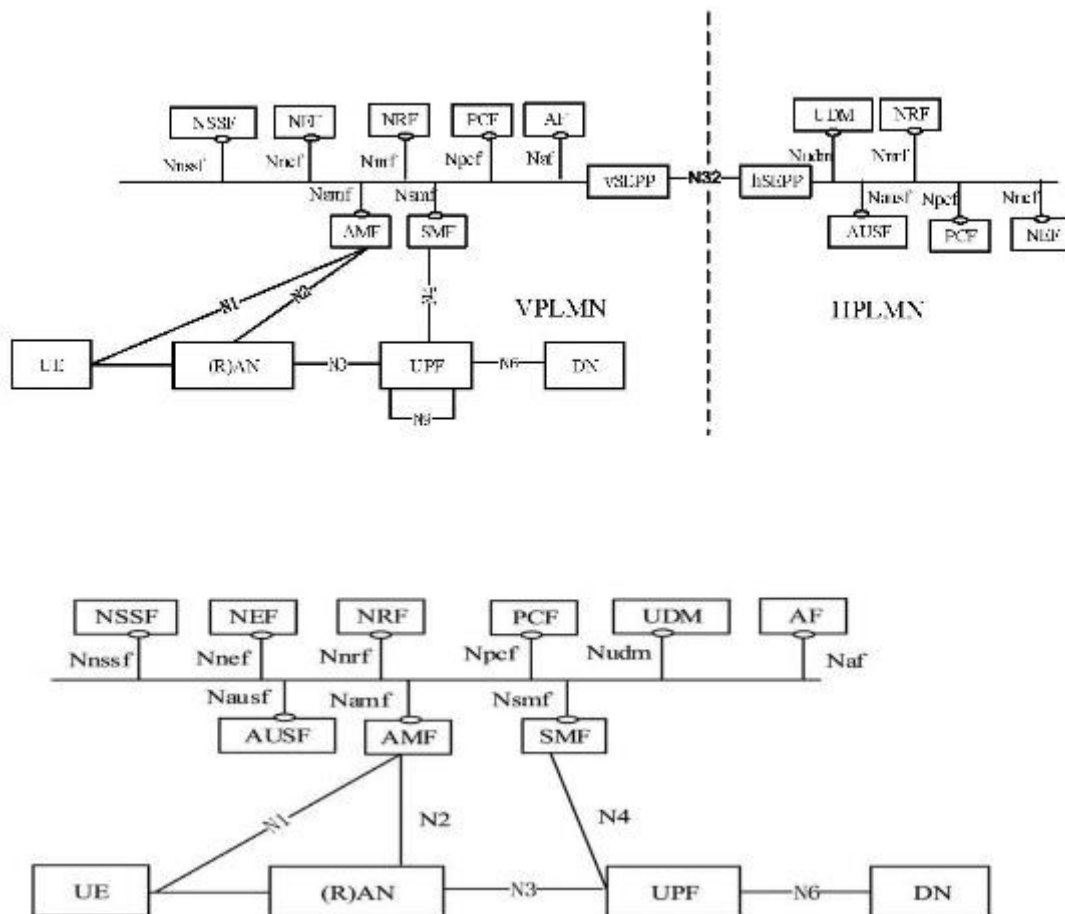
Τέλος, οι κόμβοι δικτύου (networking nodes), αποτελούν τους κόμβους που είναι υπεύθυνοι για την εξασφάλιση της σύνδεσης μεταξύ των κόμβων

πρόσβασης και των κόμβων νέφους. Επίσης, είναι υπεύθυνοι για την εξασφάλιση της σύνδεσης με το εξωτερικό δίκτυο.

2.2.2. Αρχιτεκτονική που βασίζεται στην υπηρεσία

Η αρχιτεκτονική συστήματος 3GPP 5G αποτελεί αρχιτεκτονική που βασίζεται στην υπηρεσία. Στο μεγαλύτερο βαθμό, τα στοιχεία που απαρτίζουν την αρχιτεκτονική αποτελούν μεμονωμένες λειτουργίες δικτύου οι οποίες συνδέονται σε ένα κοινό πλαίσιο με άλλες δικτυακές λειτουργίες, με αποτέλεσμα να καθίσταται εφικτή η παροχή μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας

Στην εικόνα που ακολουθεί, αποτυπώνεται ένας τύπος αρχιτεκτονικής ο οποίος βασίζεται στην υπηρεσία.



Σχήμα 2.6. Αρχιτεκτονική βασισμένη στην υπηρεσία [6].

Μέσω των δυνατοτήτων που απορρέουν από τις λειτουργίες του αποθετηρίου δικτύου NRF, κάθε λειτουργία δικτύου μπορεί να αναγνωρίσει τις υπηρεσίες που προσφέρονται από άλλες δικτυακές λειτουργίες.

Τα στοιχεία της αρχιτεκτονικής βασίζονται σε υπηρεσίες που αντανακλούν στις αρχές πάνω στις οποίες έγκειται η διαμόρφωσή τους, με αυτές να λογίζονται ως λειτουργίες του δικτύου. Οι λειτουργίες του πυρήνα CN διασυνδέονται με ενιαίο τρόπο με το υπόλοιπο σύστημα. Επιπρόσθετα, τα στοιχεία της αρχιτεκτονικής αντανακλούν στις απαιτούμενες αλληλεπιδράσεις τόσο μεταξύ των λειτουργιών του δικτύου στο επίπεδο του συστήματος όσο και μεταξύ των λειτουργιών του δικτύου και του δημοσίου δικτύου κινητής τηλεφωνίας (PLMN / Public Land Mobile Network).

Η συσκευή του χρήστη (UE) συνδέει το δίκτυο δεδομένων (DN / Data Network) στο δίκτυο που επισκέπτεται αυτός (VPLMN/ Visited Public Land Mobile Network). Το οικιακό δίκτυο (HPLMN / Home Public Land Mobile Network), το οποίο ενεργοποιείται μέσω πληροφοριών συνδρομής (UDM / Subscription Information), πραγματοποιεί την πιστοποίηση της ταυτότητας του συνδρομητή (AUSF / Subscriber Authentication) και στη συνέχεια ενεργοποιούνται οι ειδικές πολιτικές που αφορούν στον εξοπλισμό του χρήστη (PCF / Policy Control Function).

Για το δίκτυο VPLMN που επισκέπτεται ο χρήστης παρέχονται οι δυνατότητες για κατακερματισμό του δικτύου (NSSF / Network Slice Selection), για έλεγχο της προσβασιμότητας (NAC / Network Access Control), για διαχείριση της κινητικότητας (AMF / Access control and Mobility Function), για διαχείριση των δεδομένων των υπηρεσιών (SMF / Service Management Function) και για διαχείριση των λειτουργιών εφαρμογής (AF / Application Functions).

Κάθε δικτυακή λειτουργία αποθηκεύει μεμονωμένα το περιεχόμενό της μέσω της λειτουργίας αποθήκευσης δεδομένων (Data Storage Function / DSF). Η δυνατότητα για διαχείριση της κινητικότητας του χρήστη μέσω της σύστοιχης δυνατότητας για αλλαγή του κόμβου από τον οποίο εξυπηρετείται αυτός, καθιστά δυνατή τη μετάβαση από ένα δίκτυο πρόσβασης σε ένα άλλο.

Οι διαμεσολαβητές που σχετίζονται με την ασφάλεια (SEPP / Security Proxies), εξασφαλίζουν την προστασία όσον αφορά στις αλληλεπιδράσεις που λαμβάνουν χώρα μεταξύ των δημόσιων δίκτυων (Public Land Mobile Networks / PLMNs).

Στην περίπτωση του τοπικού σεναρίου που αποτυπώνεται στο Σχήμα 2.6, η συσκευή του χρήστη λαμβάνει τις υπηρεσίες που παρέχονται από ένα δημόσιο δίκτυο PLMN, εξ' ολοκλήρου από τον τομέα του εξυπηρετητή που είναι υπεύθυνος για την παροχή της υπηρεσίας.

2.2.3. Κοινός πυρήνας δικτύου

Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι που τέθηκαν για τα δίκτυα 5G, θα έπρεπε να υιοθετηθεί η προσέγγιση της ύπαρξης ενός πυρήνα στο γενικότερο δίκτυο (CN / Core Network) [14].

Ο πυρήνας αυτός μπορεί να λειτουργεί με διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης, όπως είναι το ασύρματο δίκτυο επόμενης γενιάς NG – RAN και το δίκτυο ασύρματης πρόσβασης WLAN. Η αρχιτεκτονική που υιοθετείται στο 5G επιτρέπει τη εξυπηρέτηση και των δύο εν λόγω δικτύων πρόσβασης μέσα από την ίδια λειτουργία πρόσβασης (AMF) και επομένως διευκολύνεται η κινητικότητα του χρήστη.

Η λειτουργία της πιστοποίησης, σε συνδυασμό με το ενιαίο πλαίσιο πιστοποίησης που υιοθετείται, επιτρέπει την προσαρμογή της διαδικασίας ελέγχου της ταυτότητας του χρήστη στις ειδικές απαιτήσεις του κάθε σεναρίου χρήσης.

Εν γένει, οι περισσότερες λειτουργίες του 5G, σε σχέση με τον πυρήνα του δικτύου, είναι κοινές για τα διάφορα δίκτυα πρόσβασης. Διαφοροποίηση παρατηρείται κυρίως όσον αφορά σε λειτουργίες που εξειδικεύονται περαιτέρω σε συγκεκριμένα δίκτυα πρόσβασης, όπως είναι αυτές που δίνουν προτεραιότητα στην ποιότητα (QoS / Quality of Service).

2.2.4. Τεμαχισμός δικτύου

Ο τεμαχισμός του δικτύου αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της αρχιτεκτονικής που διέπει το 5G [15].

Σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές, στο 5G, η έννοια του τεμαχισμού του δικτύου αποκτά μια ισχυρότερη δυναμική και σε αυτή εντάσσεται το σύνολο του δημόσιου κινητού δικτύου (PLMN).

Στα πλαίσια της προσέγγισης της αρχιτεκτονικής που χαρακτηρίζει το σύστημα 3GPP 5G, σε κάθε τεμάχιο δικτύου / φέτα, ενσωματώνονται όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά τα οποία είναι απαραίτητα για την πραγματοποίηση μιας συγκεκριμένης δικτυακής υπηρεσίας και επομένως για την εφαρμογή αυτής στις συσκευές των χρηστών.

Μια φέτα δικτύου αφορά στη δέσμη λειτουργιών και χαρακτηριστικών που ορίζονται μέσω του 3GPP και συνθέτουν συνολικά ένα ολοκληρωμένο δημόσιο κινητό δίκτυο που αποσκοπεί στην παροχή υπηρεσιών στους χρήστες μέσω των συσκευών τους και στη βάση του σεναρίου χρήσης που επιθυμούν κάθε φορά.

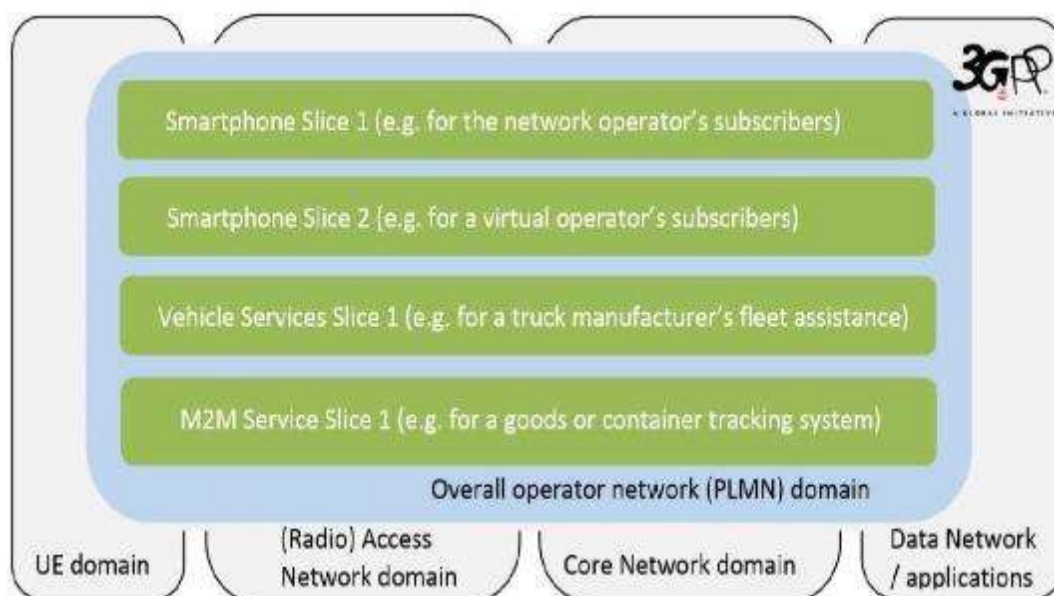
Ο τεμαχισμός του δικτύου επιτρέπει στο φορέα που το εκμεταλλεύεται να προχωρήσει στην ανάπτυξη πολλαπλών, ανεξάρτητων μεταξύ τους, δημόσιων κινητών δικτύων, το καθένα εκ των οποίων θα φέρει χαρακτηριστικά, στοιχεία και δυνατότητες για την εξυπηρέτηση ενός υποσυνόλου χρηστών.

Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνεται η θεωρητική προσέγγιση ενός δημόσιου κινητού δικτύου που περιλαμβάνει τέσσερις φέτες δικτύου.

Οι δύο φέτες του δικτύου που απαντώνται και προορίζονται για έξυπνα τηλέφωνα αποτελούν απόδειξη της δυνατότητας του φορέα εκμετάλλευσης να αναπτύσσει πολλαπλές φέτες δικτύου, οι οποίες φέρουν ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά και δυνατότητες και σχετίζονται με την παροχή ίδιων υπηρεσιών. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι εν λόγω φέτες μπορούν να κατανεμηθούν σε διαφορετικούς τομείς που χαρακτηρίζονται από διαφορετική χωρητικότητα και όγκο δεδομένων που κυκλοφορούν.

Οι άλλες δύο φέτες αποτελούν απόδειξη της δυνατότητας που υπάρχει για διαφοροποίηση μεταξύ των φετών του δικτύου όσον αφορά στα χαρακτηριστικά, στις δυνατότητες και στις υπηρεσίες για τις οποίες προορίζονται.

Για παράδειγμα, η φέτα του δικτύου που ανήκει στην κατηγορία Machine to Machine (M2M), μπορεί να είναι κατάλληλη για την εξοικονόμηση ενέργειας, σε καμία όμως περίπτωση δεν είναι ενδεδειγμένη για την περίπτωση εξυπηρέτησης έξυπνων συσκευών μιας και τα χαρακτηριστικά της αντανακλούν σε καθυστερήσεις που δεν είναι αποδεκτές στην τυπική, καθημερινή χρήση αυτών.



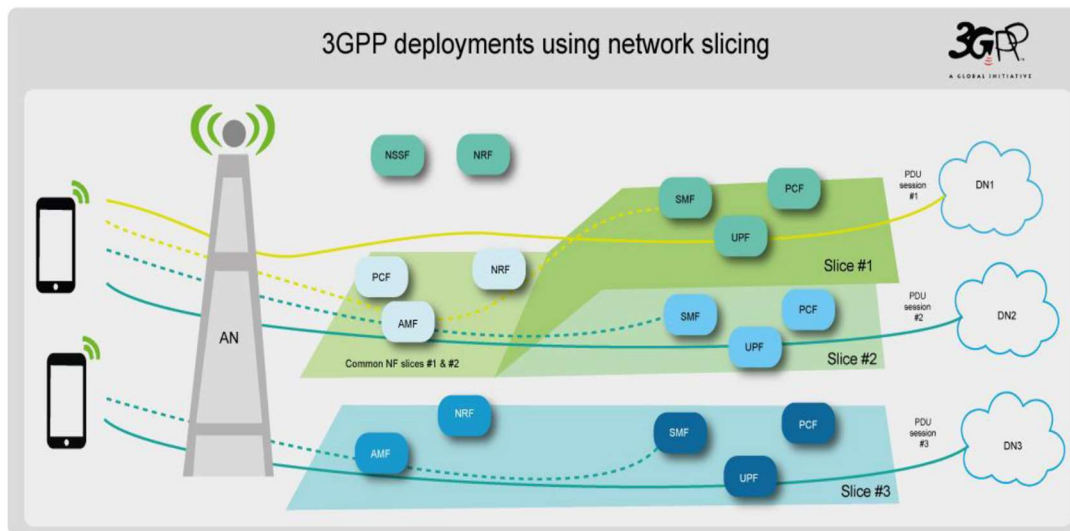
Σχήμα 2.7. Θεωρητική προσέγγιση ενός δημόσιου κινητού δικτύου που περιλαμβάνει τέσσερις φέτες [16].

Μέσω της δυνατότητας για τεμαχισμό του δικτύου προσφέρεται το πλεονέκτημα της ανάπτυξης φετών με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και λειτουργίες. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την εικονικοποίηση των υπηρεσιών, οδηγεί σε γρήγορη απόκριση στις ανάγκες και απαιτήσεις των χρηστών.

Προχωρώντας ένα βήμα πιο πέρα, δίνεται η δυνατότητα στο διαχειριστή του δικτύου να εφαρμόσει το σύνολο των δυνατοτήτων που του παρέχει η κάθε φέτα για την ανάπτυξη περαιτέρω εφαρμογών και πλατφορμών. Σε ένα τέτοιο

πλαίσιο, ενισχύεται ο βαθμός ευελιξίας όσον αφορά στον τρόπο κατανομής των διαθέσιμων πόρων σε σχέση με τις μεταβαλλόμενες προτεραιότητες και απαιτήσεις στην πορεία του χρόνου.

Στην επόμενη απεικόνιση αποτυπώνεται ο τρόπος που αναπτύσσεται ένα τεμαχισμένο δίκτυο σε πρακτικό επίπεδο.



Σχήμα 2.8. Τεμαχισμός δικτύου [16].

Οι λειτουργίες του δικτύου εξυπηρετούνται στο σύνολό τους από την φέτα 3.

Ένας χρήστης μπορεί να λαμβάνει υπηρεσίες μέσω περισσότερων από μια φέτες, τη φέτα 1 και τη φέτα 2. Σε αυτή την περίπτωση, απαντώνται κοινές λειτουργίες δικτύου για αυτές τις φέτες οι οποίες περιλαμβάνουν τη λειτουργία διαχείρισης της πρόσβασης και της κινητικότητας, τη λειτουργία του ελέγχου της εφαρμογής της πολιτικής του δικτύου και τη λειτουργία της αποθήκευσης των δεδομένων των υπηρεσιών.

Το ενιαίο κέντρο ελέγχου της πρόσβασης και της διαχείρισης της κινητικότητας, για κάθε χρήστη, είναι υπεύθυνο για όλες τις υπηρεσίες που αφορούν σε αυτόν. Οι υπηρεσίες του πλαισίου χρήσης και συγκεκριμένα οι υπηρεσίες δεδομένων που αφορούν στη χρήση, μπορούν να εξασφαλιστούν από το χρήστη μέσω πολλαπλών, ξεχωριστών φετών του δικτύου. Στο σχήμα αναφοράς, μέσω της φέτας 1 παρέχονται στο χρήστη υπηρεσίες δεδομένων

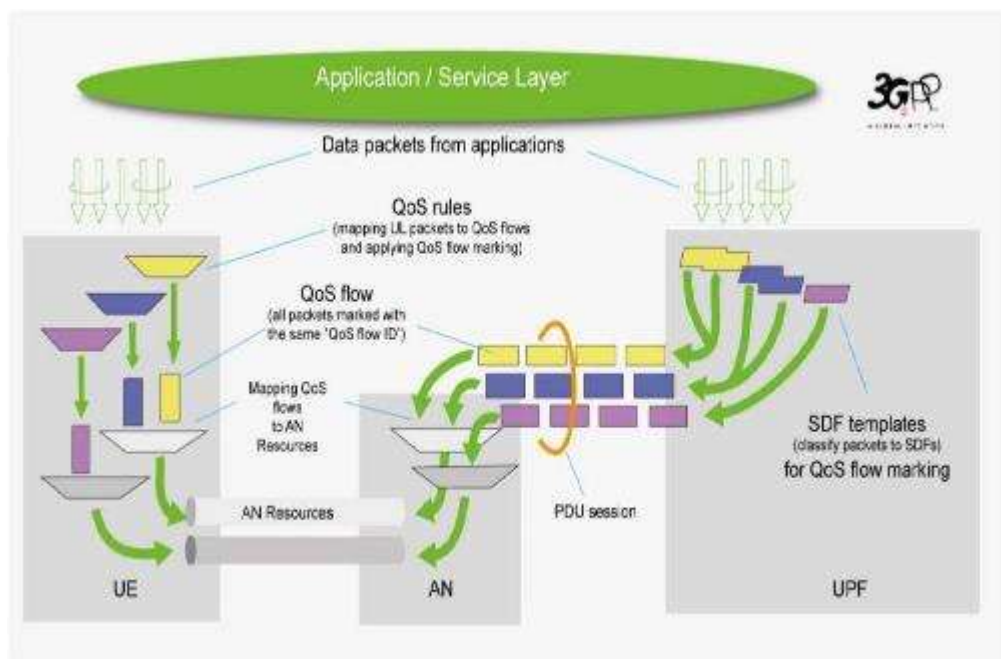
που σχετίζονται με το δίκτυο δεδομένων 1 και μέσω της φέτας 2 παρέχονται σε αυτόν υπηρεσίες δεδομένων που αφορούν στο δίκτυο δεδομένων 2.

Οι φέτες 1 και 2 και οι παρεχόμενες υπηρεσίες δεδομένων είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους με εξαίρεση την αλληλεπίδραση που οφείλεται στην ύπαρξη κοινής πρόσβασης και στον έλεγχο της κινητικότητας που ισχύουν για το σύνολο των υπηρεσιών που λαμβάνει ο χρήστης. Το γεγονός αυτό καθιστά πιο εύκολο την προσαρμογή κάθε στοιχείου σε απαιτήσεις υπηρεσιών με διαφορετικά δεδομένα ποιότητας ή διαφορετικά χαρακτηριστικά εφαρμογής.

2.2.5. Υποστήριξη εφαρμογών

Μια σημαντική παράμετρο της αρχιτεκτονικής 5G αποτελεί η ικανότητα μεγαλύτερης προσαρμογής και ευελιξίας των υπηρεσιών δεδομένων σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές.

Το νέο μοντέλο υπηρεσιών που υιοθετείται όσον αφορά στον παράγοντα της ποιότητας, επιτρέπει στις διαφορετικές υπηρεσίες δεδομένων να ανταποκρίνονται στις διαφορετικές απαιτήσεις εφαρμογής, με ταυτόχρονο τον προσανατολισμό στην πιο αποδοτική κατανομή των διαθέσιμων πόρων του δικτύου.

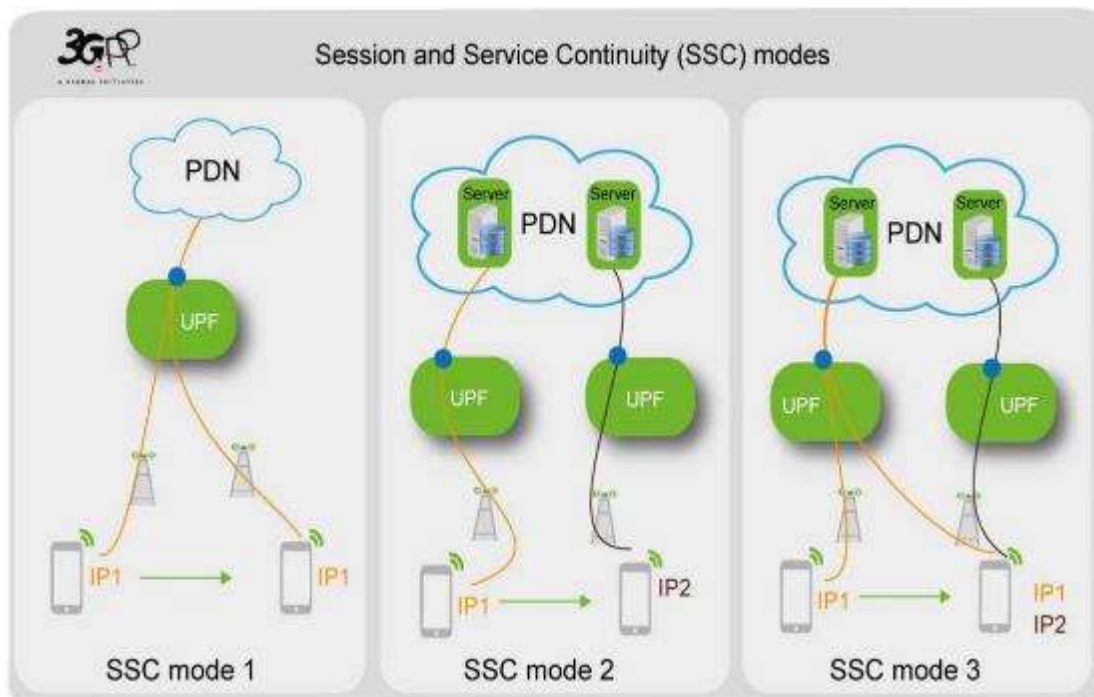


Σχήμα 2.9. Επίπεδο υπηρεσιών / εφαρμογών 5G [16].

Το νέο μοντέλο που υιοθετείται στα δίκτυα 5G έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικά δίκτυα πρόσβασης, συμπεριλαμβανομένων και σημείων σταθερής πρόσβασης. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η σήμανση των πακέτων των δεδομένων ενημερώνει τη λειτουργία της ποιότητας των υπηρεσιών, με τη σήμανση των πακέτων σε όλο το μήκος της πορείας τους στο δίκτυο να προσφέρει μεγαλύτερη λεπτομέρεια και ακρίβεια των πληροφοριών στο μοντέλο [5].

Η αυξημένη ευελιξία των λειτουργιών στο 5G επιτυγχάνεται μέσω της εξασφάλισης της συνέχειας των συνεδριών και των υπηρεσιών (SSC / Session and Service Continuity), μέσω της χρήσης ταξινομητών uplink καθώς και μέσω της ενσωμάτωσης στις δομές σημείων διακλάδωσης.

Στο ακόλουθο σχήμα αποτυπώνονται οι τρόποι εξασφάλισης της συνέχειας των συνεδριών και των υπηρεσιών κατά τη σύνδεση ενός χρήστη με το δίκτυο δεδομένων (DN / Data Network).



Σχήμα 2.10. Τρόποι εξασφάλισης της συνέχειας των συνεδριών και των υπηρεσιών κατά τη σύνδεση ενός χρήστη με το δίκτυο δεδομένων, στην περίπτωση του 5G [16].

Στην παραδοσιακή λειτουργία SSC mode 1, η άγκυρα IP παραμένει σταθερή έτσι ώστε να παρέχει συνεχή υποστήριξη εφαρμογών στο χρήστη καθ' όλη τη διάρκεια χρήσης του.

Στις νέες δυνατότητες που ενσωματώνει το 5G, επιτρέπεται η μετατόπιση της άγκυρας IP, μέσω της ύπαρξης δύο επιλογών.

Στην επιλογή break – before – break (SSC mode 2) κάθε φορά που χάνεται η σύνδεση, εκκινεί μια καινούργια συνεδρία.

Στην επιλογή make – before – break (SSC mode 3) δε λαμβάνει χώρα απώλεια σύνδεσης και επομένως εξασφαλίζεται η συνέχεια της υπηρεσίας

Η αρχιτεκτονική που υιοθετείται στο 5G επιτρέπει την καταλληλότερη κάθε φορά επιλογή.

Καθώς ο όγκος των δεδομένων που διακινούνται στα δίκτυα 5G αυξάνεται συνεχώς, είναι σημαντική η αποτελεσματικότερη δυνατή διαχείριση της διαδρομής του χρήστη. Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, είναι απαραίτητος ο συντονισμός των λειτουργιών εφαρμογής με το δίκτυο, προκειμένου να παρέχονται πληροφορίες που θα δίνουν τη δυνατότητα για βελτιστοποίηση της διαδρομής του χρήστη [17].

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

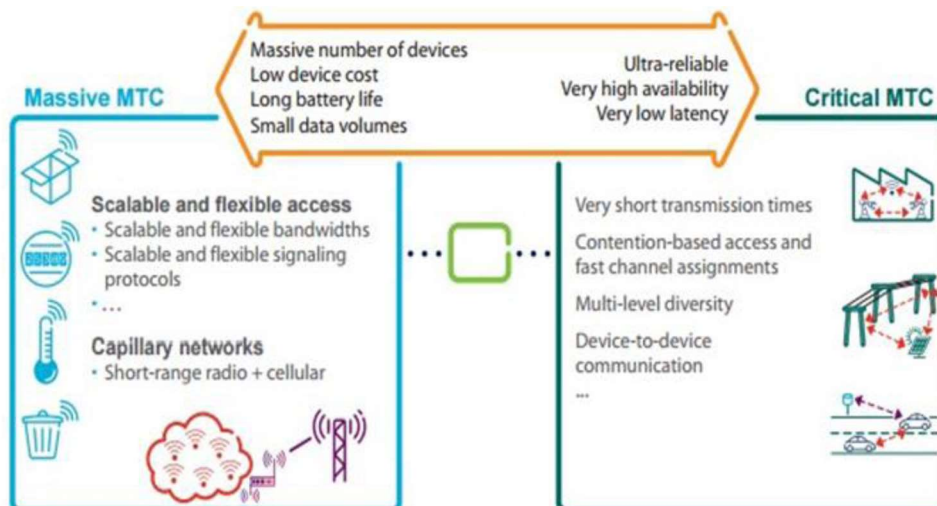
ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ, ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ 5G

3.1. ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 5G

Παγιωμένες εφαρμογές, όπως αυτές που σχετίζονται με την κινητή τηλεφωνία, αποσκοπούν στην εξασφάλιση αποδοτικών υπηρεσιών επικοινωνίας για τα άτομα.

Οι νέες εφαρμογές και υπηρεσίες που καλείται να εξυπηρετήσει το 5G, οι οποίες αποτελούν τη βάση για τη διαμόρφωση των απαιτήσεων και των δυνατοτήτων του, εμπεριέχουν την επικοινωνία μεταξύ μηχανών από άκρο σε άκρο (E2E / End to End). Ο συγκεκριμένος τύπος επικοινωνίας είναι γνωστός ως επικοινωνία τύπου μηχανής (MTC / Machine Type Communication). Η επικοινωνία MTC διαχωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες: στη μαζική MTC (mMTC / massive Machine Type Communication) και στην κρίσιμη MTC (cMTC / critical Machine Type Communication).

Στο επόμενο σχήμα, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά για κάθε μια από τις εν λόγω κατηγορίες επικοινωνίας.



Σχήμα 3.1. Μαζική και κρίσιμη επικοινωνία τύπου μηχανής [18].

Η μαζική MTC αφορά σε υπηρεσίες που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα συσκευών, με κύριες τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές.

Οι αισθητήρες διακρίνονται από εξαιρετικά χαμηλό κόστος και πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας έτσι ώστε να μπορούν να εξασφαλίζουν μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Σε μια τέτοια βάση, είναι λογικό, η ποσότητα των δεδομένων που παράγονται από κάθε αισθητήρα να είναι πολύ μικρή και επκμένως να μην υπάρχει η απαίτηση για χαμηλή καθυστέρηση.

Όσον αφορά στους ενεργοποιητές, αυτοί επίσης χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος, με την κατανάλωση ενέργειας από τη λειτουργία τους να κυμαίνεται από χαμηλά έως μέτρια επίπεδα.

Όσον αφορά στην κρίσιμη MTC, αυτή χρησιμοποιείται για την παροχή υπηρεσιών όπου υπάρχει απαίτηση για πολύ μικρούς χρόνους μετάδοσης των δεδομένων, για επικοινωνία τύπου D2D και για ποικιλομορφία σε πολλαπλά επίπεδα.

Χαρακτηριστικές εφαρμογές στις οποίες υιοθετείται η κρίσιμη MTC αποτελούν αυτές της κυκλοφοριακής ασφάλειας, του έλεγχου των υποδομών σε ζωτικής σημασίας πεδία της ανθρώπινης δραστηριότητας και της ασύρματης συνδεσιμότητας στον τομέα των βιομηχανικών διεργασιών.

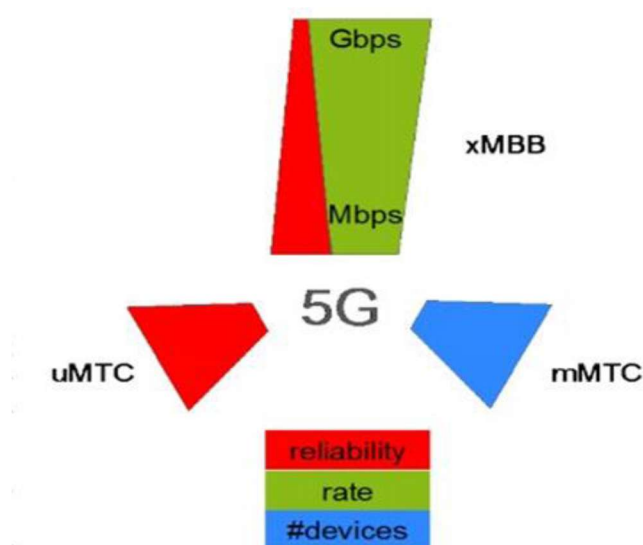
Τέτοιες εφαρμογές απαιτούν πολύ υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας και υψηλή διαθεσιμότητα όσον αφορά στον παράγοντα της ασύρματης συνδεσιμότητας. Επίσης, απαιτούν πολύ μικρή καθυστέρηση.

Σε αντίθεση με τη μαζική MTC, στην περίπτωση της κρίσιμης MTC, το χαμηλό κόστος της διάταξης και τα επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας δεν αποτελούν τόσο καίριους παράγοντες.

Βασική απαίτηση αποτελεί η ύπαρξη αυξημένου στιγμιαίου εύρους ζώνης. Σκοπός, να υπάρχει η δυνατότητα ανταπόκρισης στις απαιτήσεις όσον αφορά στην χωρητικότητα και στο χρόνο καθυστέρησης, λαμβάνοντας υπόψη και το γεγονός ότι ο μέσος όγκος δεδομένων και πληροφοριών που διακινούνται μεταξύ των συσκευών μπορεί να μην είναι ιδιαίτερα μεγάλος.

Στη βάση των δυνατοτήτων που απορρέουν από τη μαζική και την κρίσιμη MTC, αναδύονται τρεις γενικές υπηρεσίες για το 5G: το Mobile Broadband (xMBB), η ultra – reliable MTC (uMTC) και η massive MTC (mMTC).

Η υπηρεσία xMBB στοχεύει στην επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης, με την αξιοπιστία να ενισχύεται με τη μείωση του ρυθμού μετάδοσης. Η υπηρεσία uMTC αποσκοπεί στην επίτευξη πολύ υψηλών επιπέδων αξιοπιστίας. Όσον αφορά στην υπηρεσία mMTC, αυτή έχει ως προτεραιότητα την εξασφάλιση της δυνατότητας για σύνδεση μεγάλου αριθμού χρηστών στο δίκτυο μέσω των συσκευών τους.



Σχήμα 3.2. Οι τρεις γενικές υπηρεσίες 5G [19].

Η υπηρεσία xMBB δίνει τη δυνατότητα για υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων αλλά και για βελτιωμένη ποιότητα (QoS). Η διαδικασία βελτιστοποιείται μέσω της δυνατότητας για μεταβαλλόμενους ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων ανάλογα με τις ανάγκες, με ταυτόχρονη διασφάλιση της αξιοπιστίας.

Εφαρμογές όπως αυτές που απαιτούν διευρυμένη πραγματικότητα, δηλαδή σύνθεση εικονικής και φυσικής πραγματικότητας, και απομακρυσμένη παρουσία, απαιτούν υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων.

Η ποιότητα εξασφαλίζεται μέσω της δυνατότητας, ανάλογα με τις απαιτήσεις και τον αριθμό των χρηστών, για αυξομείωση της ταχύτητας

μετάδοσης των δεδομένων και επομένως για μεταβολή του χρόνου καθυστέρησης, με ταυτόχρονη αυξομείωση του επιπέδου αξιοπιστίας. Αυτό δεν πρέπει να ξεφεύγει από επαρκή και αποδεκτά επίπεδα, λαμβάνοντας υπόψη ότι τα δύο μεγέθη μεταβάλλονται με αντίθετο τρόπο, δηλαδή αύξηση του ρυθμού μετάδοσης οδηγεί σε μείωση του επιπέδου αξιοπιστίας.

Όπως αποτυπώνεται στο Σχήμα 3.2, για την υπηρεσία xMBB, οι ρυθμοί μετάδοσης κυμαίνονται από δεκάδες Mbps, όπου επιτυγχάνονται πολύ υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας, ως την τάξη των Gbps, όπου η αξιοπιστία πέφτει σε χαμηλότερα επίπεδα.

Η υπηρεσία uMTC, αποσκοπεί στην κάλυψη των απαιτήσεων εφαρμογών που είναι κρίσιμες και απαιτούν υψηλή αξιοπιστία. Τέτοιες είναι οι βιομηχανικές εφαρμογές, η εφαρμογή V2X κ.λ.π. Ενδεικτικά, όσον αφορά στην τελευταία, εκτός από αξιόπιστη επικοινωνία απαιτείται και γρήγορη εγκαθίδρυση αυτής. Το βασικό πλεονέκτημα της υπηρεσίας uMTC είναι η υψηλή αξιοπιστία, με τον αριθμό των συνδεδεμένων συσκευών να είναι σχετικά μικρός, με το ίδιο να ισχύει και για τις ταχύτητες μεταφοράς των δεδομένων.

Τέλος, η υπηρεσία mMTC παρέχει τη δυνατότητα για σύνδεση ενός μεγάλου αριθμού συσκευών, οι οποίες διακρίνονται από υψηλά επίπεδα εξοικονόμησης ενέργειας και κόστους. Η τοποθέτηση αισθητήτων και ενεργοποιητών είναι δυνατή σε περιοχές μεγάλου εύρους και επομένως μπορεί να εξασφαλιστεί η επιτήρηση και η μέτρηση των περιοχών που καλύπτει η υπηρεσία.

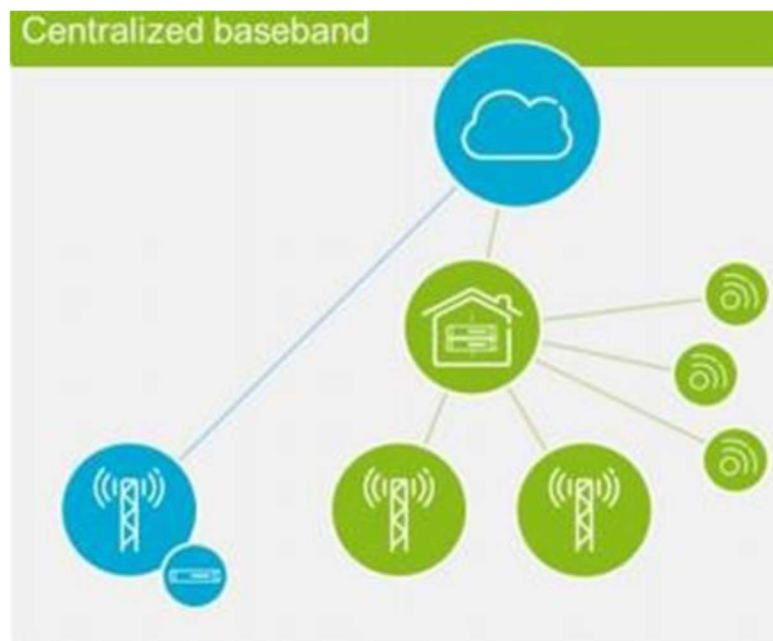
Οι απαιτήσεις των εν λόγω υπηρεσιών ποικίλλουν όσον αφορά στους ελάχιστους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων, στην απαιτούμενη κάλυψη, στο μέγεθος του πακέτου πληροφοριών κ.λ.π. Για την εκπλήρωσή τους, μοιράζονται δυναμικά οι διαθέσιμοι πόροι στη βάση των μεταβλητών του χρόνου και της συχνότητας, με σκοπό την αποτελεσματικότερη δυνατή χρήση του φάσματος.

Πίνακας 3.1. Γενικές υπηρεσίες 5G και ενεδειγμένες ζώνες συχνότητας [20].

	Bands < 6 GHz	Bands > 6 GHz	Exclusive Bands	Shared Bands	License-free Bands
xMBB	😊	😊	😊	😊	😊
mMTC	😊	😐	😊	😐	😐
uMTC	😊	😞	😊	😐	😞

Για την ενίσχυση των επιδόσεων σε hotspots, όπως είναι οι χώροι γραφείων, τα γήπεδα, οι πλατείες κ.λ.π. υιοθετείται όλο και περισσότερο η πρακτική της παροχής υπηρεσιών μέσω κεντροποιημένων βάσεων (baseband). Σε αυτές, το σύνολο της επεξεργασίας λαμβάνει χώρα σε μια κεντρική τοποθεσία μέσω της οποίας εξυπηρετούνται πολλαπλές ασύρματες θέσεις.

Οι συνδέσεις μεταξύ των κεντρικών μονάδων και των ασύρματων θέσεων λαμβάνουν χώρα με χρήση της κοινής δημόσιας ασύρματης διεπαφής (CPRI), που εξασφαλίζει χαμηλή καθυστέρηση και αυξημένο εύρος ζώνης πάνω από ήδη υφιστάμενες οπτικές ίνες.



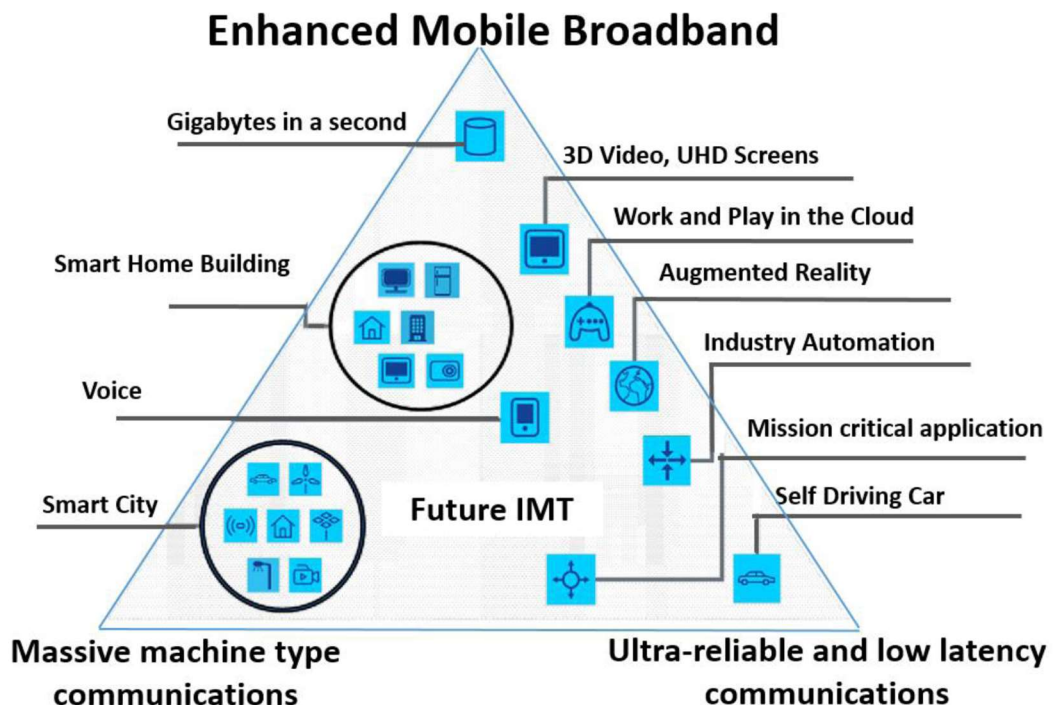
Σχήμα 3.3. Κεντροποιημένη βάση [19].

3.2. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 5G

Η γεωμετρική αύξηση της ζήτησης για ασύρματες ευρυζωνικές επικοινωνίες, η ενίσχυση των αναγκών για δίκτυα υψηλότερης δυναμικότητας και το διαδίκτυο των πραγμάτων το οποίο ενίσχυει την ανάγκη για μαζική σύνδεση, αποτελούν τους παράγοντες που συντείνουν στην εξέλιξη του 5G.

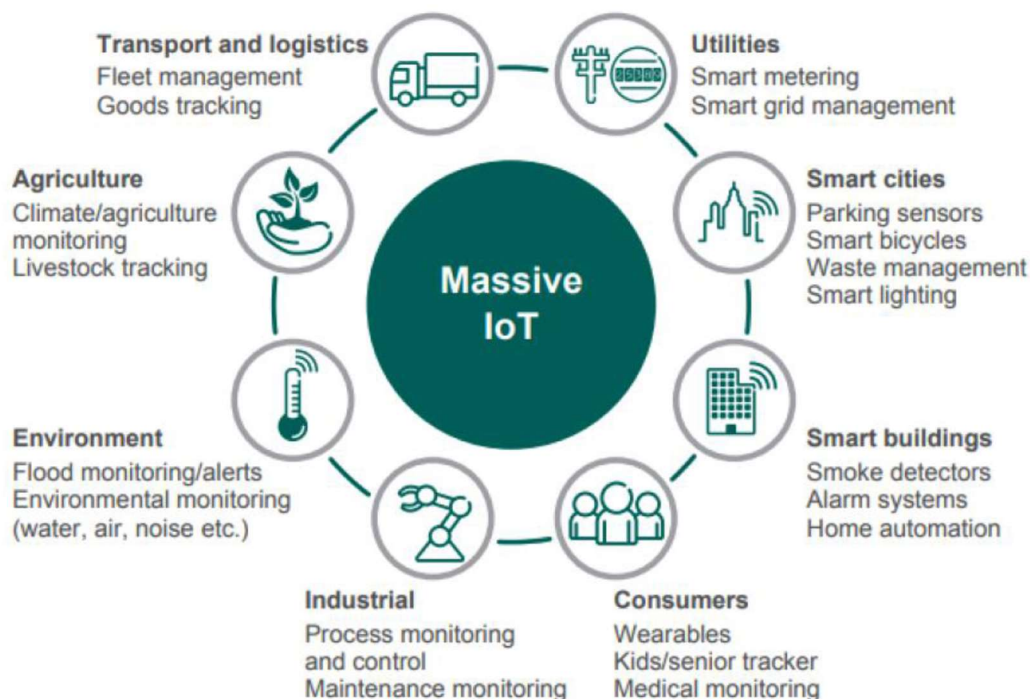
Η ενισχυμένη ευρυζωνικότητα οδηγεί σε δυνατότητες χρήσης που βελτιώνουν την εμπειρία του χρήστη, όπως είναι η πρόσβαση σε υπηρεσίες και περιεχόμενο υψηλής ευκρίνειας.

Το Enhanced Mobile Broadband αποτελεί τη βάση για την ανάπτυξη μιας σειράς χρήσεων σύμφωνα με το ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 3.4. Enhanced Mobile Broadband και χρήσεις 5G [21].

Το Μαζικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Massive IoT) ενισχύει τις δυνατότητες χρήσης σε ένα μεγάλο φάσμα βιομηχανικών κλάδων της ανθρώπινης δραστηριότητας συμπεριλαμβάνοντας αλληλεπιδράσεις τόσο μεταξύ ανθρώπου και μηχανής όσο και μεταξύ μηχανών.



Σχήμα 3.5. Massive IoT και χρήσεις 5G [22].

Τέλος, οι αξιόπιστες εφαρμογές με ταυτόχρονη χαμηλή καθυστέρηση που εξασφαλίζονται μέσω του 5G, ενισχύουν τις δυνατότητες σε πεδία όπως είναι αυτά του απομακρυσμένου έλεγχου στην βιομηχανική παραγωγή, της εξ' αποστάσεως ιατρικής, της ασφάλειας των μεταφορών κ.λ.π.

3.2.1. Υγεία

Τα δίκτυα 5G παρέχουν όλα εκείνα τα στοιχεία για την ανάπτυξη νέων καθώς και για τη βελτίωση ήδη υπάρχοντων χρήσεων στον τομέα της υγείας.

Εφαρμογές που σχετίζονται με την τηλεϊατρική και με τη ρομποτική ιατρική παρουσιάζουν ήδη και αναμένεται να παρουσιάσουν σημαντικότερη πρόοδο μελλοντικά με την εκτεταμένη εφαρμογή των δικτύων 5G. Επίσης, μέσω των δικτύων 5G ενισχύεται η χρήση φορητών συσκευών και υπηρεσιών νέφους που αναμένεται να αποτελέσουν δυναμικά πεδία εξέλιξης στον τομέα της ιατρικής ως αποτέλεσμα της ενσωμάτωσης στις δράσεις της των δικτύων 5G.

Παροντικά, η εφαρμογή της τηλεϊατρικής στο πεδίο της υγείας δίνει τη δυνατότητα για παροχή εξ' αποστάσεως υγειονομικής φροντίδας. Η δυναμική ενισχύση των δυνατοτήτων που απορρέουν από το 5G θα ενισχύσει σημαντικά τη δυνατότητα για παροχή απομακρυσμένης ιατρικής περίθαλψης, με σημαντική ωφέλεια κυρίως για την περίπτωση απομακρυσμένων από τα αστικά κέντρα περιοχών.

Προς αυτή την κατεύθυνση, θα συντελέσει η δυνατότητα για εκτεταμένη χρήση των ηλεκτρονικών ιατρικών φακέλων οι οποίοι θα αποθηκεύονται σε εκτεταμένα περιβάλλοντα νέφους, με το περιεχόμενό τους να μπορεί πλέον να περιλαμβάνει και ιατρικά δεδομένα υπό τη μορφή φωτογραφιών ή βίντεο, με προφανή την επίπτωση στην καλύτερη διάγνωση. Υιοθετώντας στην ανάλυσή μας και τον οικονομικό παράγοντα, η ενίσχυση των δυνατοτήτων της τηλεϊατρικής μέσω του 5G θα οδηγήσει και σε σημαντική μείωση του κόστους των παρεχόμενων υπηρεσιών [23].

Προχωρώντας, η χρήση φορητών συσκευών ελέγχου της υγείας (wearables) αναμένεται να ενισχυθεί σημαντικά μέσω των δικτύων 5G. Η χρήση αυτών των συσκευών επιτρέπει τον έλεγχο, την παρακολούθηση, την αξιολόγηση, τη διάγνωση και την παροχή συμβουλών θεραπείας, καθώς και την αποστολή έκτακτων προειδοποιήσεων, με το 5G να εξασφαλίζει την αποστολή αυτών χωρίς καθυστέρηση, με προφανή τα οφέλη για την άμεση αντιμετώπιση και βέλτιστη προσέγγιση έκτακτων περιστατικών που εμπεριέχουν αυξημένους κινδύνους για την υγεία των ασθενών.

Ένα σημαντικό ζήτημα που θα επιλυθεί στο πεδίο της υγείας μέσω της τεχνολογίας 5G είναι αυτό της δυνατότητας για συνολική και αποδοτική διαχείριση του συνόλου των συσκευών που συλλέγουν και μεταφέρουν δεδομένα υγείας μέσω εφαρμογών κινητών συσκευών. Οι δυνατότητες του 5G επιτρέπουν τη μεταφορά μεγαλύτερου όγκου δεδομένων, με μεγαλύτερη αξιοπιστία και με βελτιστοποιημένη χρήση των διαθέσιμων πόρων.

Μέσω της τεχνολογίας 5G θα ενισχυθεί σημαντικά η εξ' αποστάσεως υποστήριξη μεταξύ των επαγγελματιών της υγείας. Για παράδειγμα, χειρουργοί, θα μπορούν να χρησιμοποιούν εικονικά εργαλεία απομακρυσμένης αφής για την παροχή υποστήριξης σε ιατρικές επεμβάσεις, χωρίς να είναι παρόντες με

φυσική παρουσία. Με αυτό τον τρόπο θα ενισχυθεί η δυνατότητα, έμπειροι χειρουργοί, να βοηθούν εξ' αποστάσεως συναδέλφους τους σε εξειδικευμένες περιπτώσεις, με προφανή τα οφέλη όσον αφορά στην καλύτερη έκβαση της επέμβασης για τον ασθενή. Επιπρόσθετα, οι κάτοικοι απομακρυσμένων περιοχών που δεν υπάρχουν ιατρικές ειδικότητες, θα μπορούν να απολαμβάνουν την τεχνογνωσία πιο εξειδικευμένων επαγγελματιών της υγείας οι οποίοι εδρεύουν στα αστικά κέντρα.

Τέλος, η χρήση δικτύων 5G θα ενισχύσει τη δυνατότητα για καλύτερη και πιο αποδοτική διαχείριση των παγίων στοιχείων, των αναλωσίμων και του φαρμακευτικού υλικού των νοσοκομειακών μονάδων. Ένα σύνολο αισθητήρων, διασυνδεδεμένων μεταξύ τους, θα ανταλλάσσουν μικρής έκτασης δεδομένα και πληροφορίες για την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των στοιχείων μεγάλης αξίας, όπως είναι ο αξονικός τομογράφος κ.λ.π., καθώς και της πορείας και του τρόπου διανομής των αναλωσίμων και των φαρμάκων.



Σχήμα 3.6. 5G και υγεία [24].

3.2.2. Αυτοκινητοβιομηχανία

Το 5G ανοίγει νέους δρόμους στο πεδίο της αυτοκινητοβιομηχανίας. Η αυτοματοποιημένη οδήγηση, η οδική ασφάλεια, ο έλεγχος της κυκλοφορίας και η ψηφιοποίηση των μεταφορών αποτελούν πεδία που αναμένεται να εξελιχθούν σημαντικά μέσω της υιοθέτησης των δυνατοτήτων του 5G.

Με τη μεγαλύτερη διείσδυση του 5G, θα εμφανίζονται συνεχώς και νέες εφαρμογές ασφάλειας των μεταφορών με σκοπό τη μείωση των ατυχημάτων, την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας της κυκλοφορίας και την παροχή υποστήριξης όσον αφορά στην κινητικότητα των οχημάτων έκτακτης ανάγκης, όπως είναι τα οχήματα της πυροσβετικής υπηρεσίας και τα ασθενοφόρα.

Στις εν λόγω εφαρμογές, μέσω του 5G, δίνεται η δυνατότητα για εξασφάλιση της επικοινωνίας όχι μόνο ανάμεσα στα οχήματα ή ανάμεσα στα οχήματα και τις υποδομές αλλά και ανάμεσα στα οχήματα και τους πεζούς, τους ποδηλάτες κ.λ.π.



Σχήμα 3.7. 5G και διαχείριση της κυκλοφορίας [25].

Συνεταιριστικά Ευφυή Συστήματα Μεταφορών (C – ITS / (Cooperative Intelligent Transport Systems) μπορούν μέσω της τεχνολογίας 5G να ενσωματωθούν αποδοτικά στο πεδίο των μεταφορών και σε συνδυασμό με τη συνεχή ενίσχυση του βαθμού της αυτοματοποιημένης οδήγησης των οχημάτων να βελτιστοποιηθούν παράγοντες όπως είναι ο λόγος του χρόνου ταξιδιού προς την κατανάλωση καυσίμου, οι εκπομπές CO₂, η οδική ασφάλεια και η μείωση των ατυχημάτων [26].

Προχωρώντας στο πεδίο των συνεταιριστικών συστημάτων, μέσω της τεχνολογίας 5G, ενισχύεται η δυνατότητα για ενσωμάτωση συνεταιριστικών συστημάτων ενεργητικής ασφάλειας στα οχήματα μέσω των οποίων οι οδηγοί ειδοποιούνται έγκαιρα για καταστάσεις αυξημένης επικινδυνότητας. Η υιοθέτηση της αυτόματης πέδησης συμβάλλει στην αποφυγή σύγκρουσης, ενώ μέσω της δυνατότητας για ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των οχημάτων αποφεύγονται ή αμβλύνονται οι επιπτώσεις μια επικείμενης σύγκρουσης.

Τέλος, στο πεδίο της ψυχαγωγίας και της εμπειρίας ταξιδιού, η σύνδεση των οχημάτων με δίκτυα τεχνολογίας 5G που εξασφαλίζουν γρήγορη μεταφορά δεδομένων, σε συνδυασμό με την ψηφιοποίηση των ταμπλό των οχημάτων, εξασφαλίζει στους επιβάτες την απρόσκοπτη χρήση υπηρεσιών αναψυχής. Σε συνδυασμό με την ενίσχυση της αυτοματοποιημένης οδήγησης, η δυνατότητα αυτή αφορά και στον οδηγό. Φυσικά, η οδήγηση θα πρέπει πάντα να λαμβάνει χώρα υπό συνθήκες μέγιστης ασφάλειας.

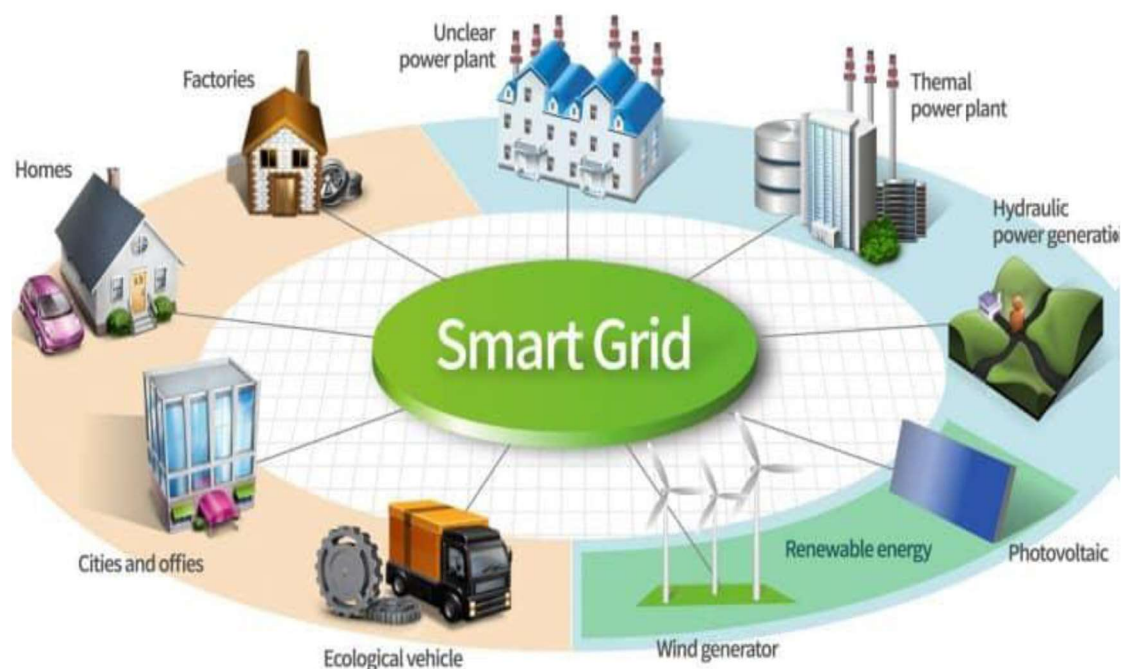


Σχήμα 3.8. 5G και οδηγικές δυνατότητες [27].

Η ψηφιοποίηση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και σε επίπεδο λειτουργιών. Στο πεδίο των μεταφορών και της εφοδιαστικής αλυσίδας, η ψηφιοποίηση των λειτουργιών, η οποία σχετίζεται με την ανταλλαγή εκτεταμένης πληροφορίας, σε συνδυασμό με τη συγκέντρωσή της σε περιβάλλοντα νέφους, οδηγεί στην άμεση και οπτικοποιημένη πληροφόρηση σε σχέση με παράγοντες όπως είναι η θέση των εμπορευμάτων και η κατάσταση των μεταφορικών οχημάτων, με άμεση επίδραση στη βελτιστοποίηση των διαδικασιών στην εφοδιαστική αλυσίδα. Η εφοδιαστική αλυσίδα αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα διαμόρφωσης του κόστους και επομένως της κερδοφορίας στις σύγχρονες επιχειρήσεις [28].

3.2.3. Ενέργεια

Η τεχνολογία 5G μπορεί να οδηγήσει σε ενίσχυση της δυνατότητας για συνολική αποδοτικότερη διαχείριση της ενέργειας στα διάφορα πεδία της ανθρώπινης δραστηριότητας μέσα από την ενίσχυση των δυνατοτήτων και των χαρακτηριστικών των έξυπνων δικτύων, σύμφωνα με το επόμενο σχήμα.



Σχήμα 3.9. 5G και διαχείριση της ενέργειας [29].

Σε ένα έξυπνο δίκτυο διασύνδεεται ένας εκτεταμένος αριθμός αισθητήρων. Ενσωματώνεται σε αυτό η ψηφιακή τεχνολογία για την εξασφάλιση της επικοινωνίας και για τη συγκέντρωση και μεταφορά της πληροφορίας. Μέσω της εν λόγω πληροφορίας είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων για τη συμπεριφορά τόσο των προμηθευτών όσο και των καταναλωτών με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη δυνατότητα για αποτελεσματικότερη, πιο αξιόπιστη, πιο οικονομική και πιο βιώσιμη παραγωγή και διάθεση ενέργειας [30].

Οι χρήσεις των δικτύων 5G που σχετίζονται με άμεσο τρόπο με το έξυπνο δίκτυο στο πεδίο της παραγωγής και διαχείρισης ενέργειας αφορούν στη διάγνωση, στη διακοπή λειτουργίας, στην τοπολογία και στη μετάδοση των μηνυμάτων [31].

Τα δίκτυα ανάγνωσης είναι απαραίτητα τόσο για τα σημερινά όσο και για τα μελλοντικά έξυπνα δίκτυα μιας και μέσω αυτών εξασφαλίζεται η γρήγορη ανίχνευση σφαλμάτων και επομένως η ταχύτερη δυνατή διακοπή λειτουργίας και αποκατάσταση της βλάβης. Η γρήγορη ανταπόκριση σε καταστάσεις σφάλματος στα έξυπνα δίκτυα απαιτεί γρήγορη επικοινωνία και αυξημένη αξιοπιστία, στοιχεία που εξασφαλίζονται μέσω του 5G.

Με τις δυνατότητες που απορρέουν από το 5G, η διακοπή της παραγωγής μπορεί να λαμβάνει χώρα άμεσα και με αυτόματο τρόπο, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η άσκοπη τροφοδοσία των μηχανημάτων με ενέργεια.

Επιπρόσθετα, η τεχνολογία 5G δίνει τη δυνατότητα για αναδιάρθρωση των δικτύων. Αυτό σημαίνει ότι σε περίπτωση βλάβης, η αναδιάρθρωση του δικτύου μπορεί να οδηγήσει στη γρηγορότερη αποκατάστασή της με τη μικρότερη διατάραξη στους χρήστες.

Μεσω του 5G είναι πλέον δυνατή και η απεξάρτηση από τις καλωδιώσεις μεταξύ των μονάδων ελέγχου, με την υιοθέτηση της δυνατότητας για μετάδοση μηνυμάτων ελέγχου με αξιόπιστο τρόπο μέσω των δομών 5G.

Εξαιτίας της τελευταίας δυνατότητας, αναμένεται η τοποθέτηση έξυπνων μετρητών στις οικίες για την αποστολή δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας χωρίς να απαιτείται η ανθρώπινη συμμετοχή. Με αυτό τον τρόπο, θα είναι δυνατή η πρόσβαση σε πληροφορία σε πραγματικό χρόνο με αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση των υποδομών και του τρόπου λειτουργίας των δικτύων μέσης και χαμηλής τάσης, ακόμα και στις πιο απομακρυσμένες περιοχές.

Τέλος, η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών οχημάτων στα συστήματα ενέργειας αποτελεί ένα άλλο πεδίο στο οποίο το 5G θα συνεισφέρει ισχυρά. Για τον προσδιορισμό των απαιτήσεων των ηλεκτρικών οχημάτων για φόρτιση είναι αναγκαία η επικοινωνία των σταθμών φόρτισης με αυτά. Οι δυνατότητες της τεχνολογίας 5G εξασφαλίζουν την αποδοτική και με ακρίβεια επικοινωνία μεταξύ αυτών των δύο στοιχείων με αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας φόρτισης.

Επίσης, φορτίσεις με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπου είναι εφικτό, θα μειώνουν τις εκπομπές CO₂, με τα δίκτυα 5G να παρέχουν την απαιτούμενη πληροφορία σε σχέση με την πηγή από την οποία προέρχεται η ενέργεια φόρτισης.

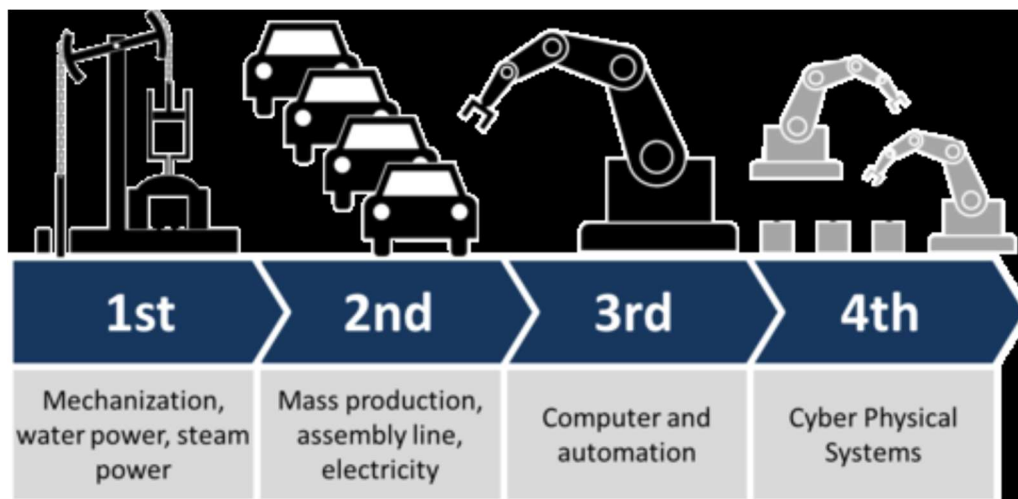
Εν γένει, τα δίκτυα 5G θα συνεισφέρουν στην πιο αξιόπιστη και με λιγότερη καθυστέρηση επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων στοιχείων στο σύστημα ενέργειας, Επίσης, θα συμβάλλουν στη διαμόρφωση μιας ευρείας γκάμας επιλογών για την παροχή πιο προηγμένων υπηρεσιών καθώς και στη βελτιστοποίηση του τρόπου λειτουργίας και του σχεδιασμού των ενεργειακών υποδομών.

3.2.4. Βιομηχανία

Η εισχώρηση των κινητών και ασύρματων επικοινωνιών αυξάνεται συνεχώς και αποκτά όλο και μεγαλύτερη σημαντικότητα στους διάφορους τομείς της βιομηχανίας.

Στις εφαρμογές της βιομηχανίας, η ασύρματη και κινητή επικοινωνία έγκειται σε ασύρματες συνδέσεις που εξασφαλίζουν χαμηλή καθυστέρηση και υψηλή αξιοπιστία.

Η βιομηχανική επανάσταση 4.0 (Industry 4.0) έχει ως βάση της το διαδίκτυο, μέσω του οποίου είναι δυνατή η επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων και μηχανημάτων (CPS / Cyber Physical Systems) σε μεγάλα δίκτυα, με το 5G να εξασφαλίζει την ομαλότητα, την αξιοπιστία και την ταχύτητα της επικοινωνίας σε αυτά τα δίκτυα.



Σχήμα 3.10. Βιομηχανική εξέλιξη με βάση τη διαθέσιμη τεχνολογία [32].

Τα δίκτυα 5G προσφέρουν στη βιομηχανία τη δυνατότητα για πολύ μικρή καθυστέρηση και πιθανότητα λάθους στις επικοινωνίες, σε ένα σύγχρονο περιβάλλον για τις παραγωγικές μονάδες ισχυρών απαιτήσεων και ανταγωνισμού όπου η βελτιστοποίηση του τρόπου λειτουργίας της παραγωγικής διαδικασίας επιδρά άμεσα στη βελτιστοποίηση του λόγου του κέρδους προς το κόστος. Η βελτιστοποίηση αυτού του λόγου αποτελεί τη βασικότερη επιδίωξη των στελεχών διοίκησης των σύγχρονων παραγωγικών μονάδων [33].

Ο βιομηχανικός αυτοματισμός, αντικείμενο του οποίου αποτελεί η αυτοματοποίηση των διεργασιών και διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στην παραγωγική αλυσίδα και στον έλεγχο της ποιότητας και της επεξεργασίας των υλικών, είναι άλλο ένα πεδίο της βιομηχανίας όπου η επίδραση του 5G έχει ήδη εκκινήσει και αναμένεται να ισχυροποιηθεί στο άμεσο μέλλον.

Σε ένα πιο συγκεκριμένο πλαίσιο, μέσω των τεχνολογιών 5G εξασφαλίζεται η δυνατότητα για συνδεσιμότητα των στοιχείων και υποδομών της παραγωγής με επιπρόσθετα στοιχεία της βιομηχανικής αλυσίδας, όπως

είναι οι προμηθευτές και η εφοδιαστική αλυσίδα, με τη σύνδεση να είναι απρόσκοπτη και την ανταλλαγή δεδομένων να είναι δυνατή σε πραγματικό χρόνο.

Τα δίκτυα 5G θα συμβάλουν στην αποδοτική και αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων στοιχείων στην αλυσίδα παραγωγής, με τα στοιχεία αυτά να μπορεί να είναι κατανεμημένα σε διάφορες περιοχές, ακόμα και σε πολύ απομακρυσμένες από τα κεντρικά σημεία της παραγωγής.

Προχωρώντας, με την καίρια συμβολή του 5G στην περαιτέρω εξέλιξη των συσκευών επαυξημένης πραγματικότητας (AR), αναμένεται η ενίσχυση των δυνατοτήτων για αποτελεσματικότερη εργασία των εξ' αποστάσεως ομάδων υποστήριξης. Αυτές οι ομάδες, ως γνωστόν παρέχουν υποστήριξη χωρίς φυσική παρουσία. Πλέον, θα μπορούν να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα προερχόμενα από έξυπνες συσκευές και εικόνα ακριβώς ίδια με αυτή που βλέπει ο εργαζόμενος που υποστηρίζεται, υψηλής ευκρίνειας και άμεσης ανταπόκρισης.

Η εφαρμογή της επαυξημένης πραγματικότητας στις παραγωγικές μονάδες θα διευκολύνει τις δράσεις της απομακρυσμένης συντήρησης και επισκευής του μηχανολογικού εξοπλισμού.

Στην περαιτέρω αύξηση της αποδοτικότητας στις γραμμές παραγωγής, μπορεί να συντελέσει η ενίσχυση της δυνατότητας για παρακολούθηση και αξιολόγηση σε πραγματικό χρόνο των επιμέρους στοιχείων που συμμετέχουν σε αυτές. Προς την ίδια κατεύθυνση, σημαντική είναι η συνεχής μέτρηση της ποιότητας των προϊόντων που παράγονται και η αξιολόγηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των χειριστών και των λοιπών εμπλεκόμενων στην παραγωγική διαδικασία.

Η νέα γενιά ρομπότ που δημιουργείται μέσω των δυνατοτήτων του 5G, τα λεγόμενα συνεργατικά ρομπότ, διαμέσου της εισαγωγής συσκευών ελέγχου και της λειτουργίας της επαυξημένης πραγματικότητας θα ενιχύσουν την αυτοματοποίηση στην παραγωγική διαδικασία, τις ικανότητες των χειριστών και των λοιπών εμπλεκόμενων σε αυτή και εν γένει την αποδοτικότητα και την ποιότητα της παραγωγής [34].

3.2.5. Ενημέρωση και ψυχαγωγία

Το έξυπνο γραφείο αποτελεί μια επιδίωξη που ενισχύεται μέσω των δυνατοτήτων που απορρέουν από την τεχνολογία 5G.

Ένας μεγάλος αριθμός χρηστών σε χώρους γραφείων μπορούν να είναι συνδεδεμένοι και να εκτελούν εφαρμογές για τις οποίες απαιτείται υψηλό εύρος ζώνης, υψηλός ρυθμός μεταφοράς δεδομένων, άμεση και ακριβής επεξεργασία αυξημένου όγκου αυτών και δυνατότητες για χρήση βίντεο κ.λ.π. απρόσκοπτα και με υψηλή ευκρίνεια

Η βασικότερη πρόκληση προς αυτή την κατεύθυνση αφορά στην απαίτηση για επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων και για την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης σε ένα περιβάλλον με ισχυρή πυκνότητα κυκλοφορίας [35].

Η συμβολή του 5G στην ψυχαγωγία είναι ήδη ορατή. Οι χρήστες επικοινωνούν μέσω απεικονίσεων 3D και υπάρχει ενισχυμένη δυνατότητα για μετάδοση, μέσω των εφαρμογών των κινητών συσκευών, γεγονότων που συγκεντρώνουν μαζικά μεγάλο όγκο πληθυσμού. Το 5G αντιμετωπίζει με επιτυχία το μεγάλο αριθμό συνδέσεων ταυτόχρονα, εξασφαλίζοντας την απαιτούμενη απόδοση.

Η ευελιξία του 5G δίνει τη δυνατότητα για εξασφάλιση ισορροπίας σε μια περιοχή, όπως για παράδειγμα σε αυτή που εδρεύει ένα στάδιο, όπου κατά τη διεξαγωγή γεγονότων δημιουργούνται πολύ ισχυρές απαιτήσεις ενώ κατά τις λοιπές χρονικές περιόδους η κίνηση κινείται σε μέσα επίπεδα.

Τέλος, στο πεδίο της ενημέρωσης, το βιντεοσκοπημένο περιεχόμενο της είδησης μπορεί πλέον να διοχετεύεται άμεσα σε περιβάλλοντα νέφους μέσω διασυνδεδεμένων καμερών και μικροφώνων σε δίκτυα 5G, με το περιεχόμενο αυτό να μπορεί να επεξεργαστεί από διάφορους χρήστες και σε διαφορετικές τοποθεσίες ταυτόχρονα. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να διαμορφωθεί και να πάρει διάφορες μορφές ανάλογα με τις απαιτήσεις ανά περίπτωση. Η αμεσότητα και η ταχύτητα της πρόσβασης στο περιεχόμενο, μειώνει σε σημαντικό βαθμό τα χρονοδιαγράμματα παραγωγής στα μέσα μαζικής ενημέρωσης.

3.2.6. Παιδεία και εκπαίδευση

Μέσω του 5G, αυξάνονται οι δυνατότητες για υιοθέτηση με αποδοτικό τρόπο και χωρίς προβλήματα της δράσης της τηλε – εκπαίδευσης [36].

Η απρόσκοπτη ροή βίντεο και η ενσωμάτωση της επαυξημένης και της εικονικής πραγματικότητας στις εκπαιδευτικές δράσεις αυξάνουν την αποτελεσματικότητα αυτών.

Το απαιτούμενο μεγάλο εύρος ζώνης και η ανάγκη για χαμηλές καθυστερήσεις εξασφαλίζονται μέσω της τεχνολογίας 5G.

Συγκεντρωτικά:

Πίνακας 3.2. Χρήσεις 5G [37].

Τομείς	Ανάγκες	Εφαρμογές	Απαιτήσεις 5G
Παιδεία	Τηλε-εκπαίδευση	Ροή βίντεο, επαυξημένη πραγματικότητα / εικονική πραγματικότητα	Μεγάλο εύρος ζώνης, χαμηλή καθυστέρηση
Βιομηχανία	Βιομηχανικός αυτοματισμός	Μαζικά δίκτυα IoT	Υψηλή πυκνότητα διασύνδεσης, εξαιρετική αξιοπιστία & χαμηλή κατανάλωση ενέργειας
Υγεία	Απομακρυσμένη διάγνωση και παρέμβαση Μακροπρόθεσμη παρακολούθηση	Ροή βίντεο, επαυξημένη πραγματικότητα / εικονική πραγματικότητα, ενσωματωμένες συσκευές, προηγμένη ρομποτική	Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας & καθυστέρηση, υψηλή απόδοση
Έξυπνα Δίκτυα	Ευφυής έλεγχος ζήτησης / προσφοράς, επικοινωνία Powerline	Αισθητήρες και δίκτυα IoT, εφοδιαστική αλυσίδα (logistics), παρακολούθηση βίντεο (drones)	Υψηλή αξιοπιστία, ευρεία κάλυψη του δικτύου, χαμηλή καθυστέρηση
Ψυχαγωγία	Εντυπωσιακά παιχνίδια και μέσα ενημέρωσης, Εμπειρία πολυμέσων ανάλυσης 4K & 8K	Ροή βίντεο, επαυξημένη πραγματικότητα / εικονική πραγματικότητα	Μεγάλο εύρος ζώνης, χαμηλή καθυστέρηση
Αυτοκινητοβιομηχανία	Αποφυγή σύγκρουση, ευφυής πλοήγηση και συστήματα μεταφοράς	Ευφυή συστήματα μεταφορών (Vehicle-to-vehicle (V2V) & Vehicle-to-infrastructure (V2I))	Μεγάλο εύρος ζώνης, χαμηλή καθυστέρηση (<5 ms) και υψηλή αξιοπιστία σύνδεσης (99,999%)
Έξυπνες πόλεις	Συνδεδεμένα προγράμματα & εφαρμογές σχετικά με τα μέσα μεταφορών, την υγειονομική περιθαλψη, την τηλε-εκπαίδευση και άλλες λειτουργίες	Μαζικά δίκτυα IoT, αυτοματισμός, υποδομή cloud & τεχνητή νοημοσύνη, έξυπνη διαχείριση νερού και αποβλήτων, έξυπνος έλεγχος φωτεινών σηματοδοτών, έξυπνα συστήματα στάθμευσης, παρακολούθηση ρύπανσης κ.λπ.	Μεγάλο εύρος ζώνης, υψηλή απόδοση, υψηλή πυκνότητα διασύνδεσης, χαμηλές καθυστερήσεις

3.3. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ 5G

Οι ισχυρές απαιτήσεις για τα δίκτυα 5G, προκειμένου αυτά να μπορούν να υποστηρίξουν νέες και ποικίλες λειτουργικές δράσεις, οδήγησαν στην ανάγκη για νέες μεθόδους ασφάλειας.

3.3.1. Διαχείριση ταυτότητας εργοστασιακών συσκευών 5G

Οι νέες προσπελάσεις ραδιοσυχνοτήτων 5G έχουν σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να προσφέρουν πλεονεκτήματα σε σχέση με τους παράγοντες του κόστους, της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών, της κινητικότητας κ.λ.π.

Για παράδειγμα, στο πεδίο της βιομηχανίας, οι αυτοματοποιημένες τεχνολογίες έχουν πρόσβαση σε ένα εργοστασιακό δίκτυο 5ης γενιάς και χρησιμοποιούν διαπιστευτήρια (AAA / Authentication, Authorization, Accounting) που διαχειρίζεται ένας εργοστασιακός ιδιοκτήτης (FO / Factory Owner), με την προϋπόθεση ότι ο φορέας του δικτύου (MNO / Mobile Network Operator) δίνει τη συγκατάθεσή του για μια τέτοια δράση.

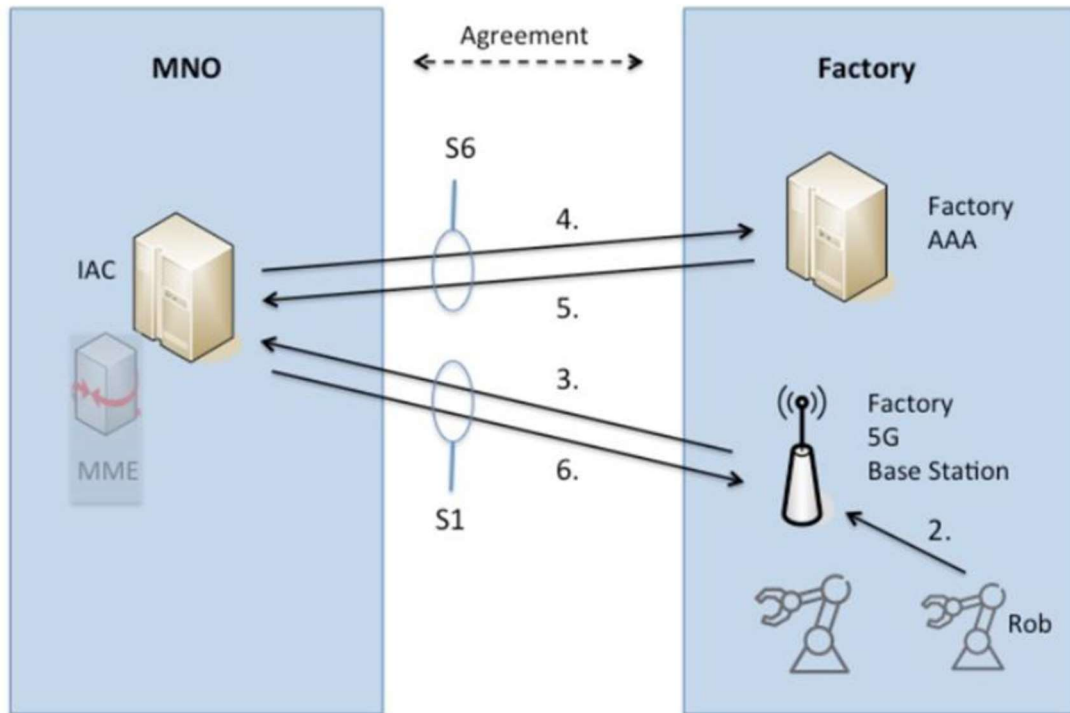
Ο FO εγκαθιστά σταθμούς βάσης 5G στο εργοστάσιο και βασίζεται στη λειτουργία του MNO για την παροχή υπηρεσιών, όπως είναι αυτές της συνδεσιμότητας IP και της κινητικότητας. Καλύπτονται συνολικά παράμετροι που αφορούν στις πολιτικές ασφάλειας και χρεώσης, καθώς και στα πιστοποιητικά διαμόρφωσης.

Το MNO φέρει έναν ειδικού τύπου διακομιστή (IAC / Infrastructure as Code) για σύνδεση με τον εργοστασιακό διακομιστή AAA για την εξυπηρέτηση των παραπάνω σκοπών.

Οι σταθμοί βάσης 5G αναπτύσσονται και ανήκουν στο εργοστάσιο, με αυτούς να χρησιμοποιούν φάσμα που διανέμεται στον MNO.

Ο FO και το MNO συμφωνούν για την πρόσβαση και σύνδεση με ασφαλή τρόπο των σταθμών βάσης του εργοστασίου στο δίκτυο πυρήνα MNO.

Το επόμενο σχήμα αποτελεί ένα παράδειγμα του εν λόγω τρόπου λειτουργίας.



Σχήμα 3.11. Ασφαλή δίκτυα 5G σε εργοστάσιο [38].

Η S1 αποτελεί μια υποτιθέμενη διεπαφή αναφοράς 3GPP ανάμεσα στο δίκτυο RAN και το CN. Η S1 εξασφαλίζεται μέσω των IPsec SA (SA / Security Associations) που έχουν αναπτυχθεί στη βάση των διαπιστευτηρίων που αποτελούν κομμάτι της συμφωνίας μεταξύ του FO και του MNO.

Η S6 αποτελεί μια υποτιθέμενη διεπαφή αναφοράς 3GPP ανάμεσα στο δίκτυο εξυπηρέτησης (MNO – IAC) και μια βάση δεδομένων και πληροφοριών συνδρομητή. Υιοθετείται ένας εξυπηρετητής τύπου AAA. Η διασύνδεση S6, όπως και προηγουμένως, εξασφαλίζεται μέσω των IPsec SA που αποτελούν κομμάτι της συμφωνίας μεταξύ του FO και του MNO.

3.3.2. Χρήση της δυνατότητας διαχείρισης ταυτότητας για bootstrapping access 5G

Μια επιχείρηση θέλει να εξασφαλίσει για τους εργαζομένους της δυνατότητα σύνδεσης 5G τόσο εντός όσο και εκτός γραφείου.

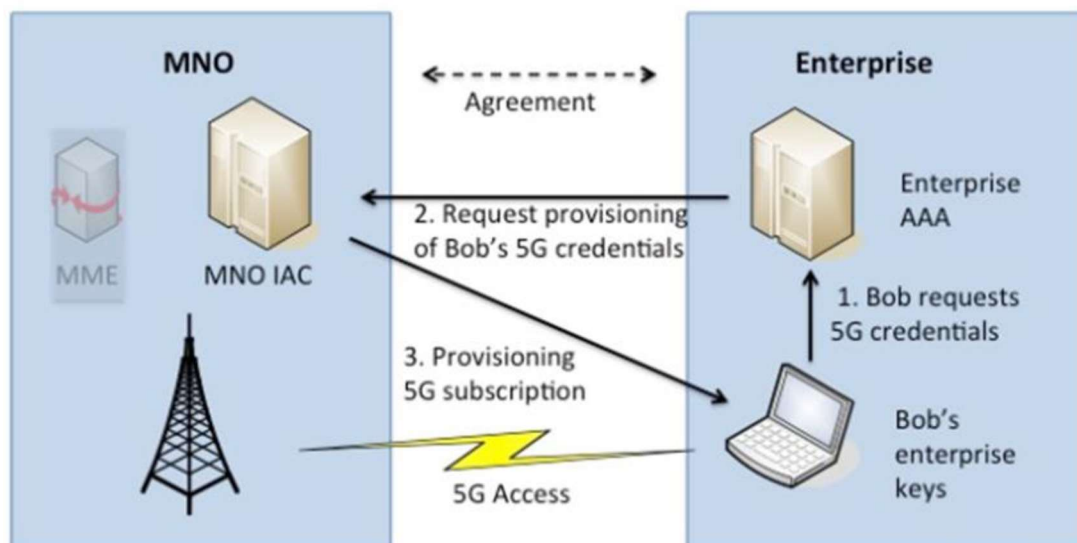
Και για τις δύο περιπτώσεις, η επιχείρηση θα πρέπει να διαχειριστεί τα διαπιστευτήρια του ανθρώπινου δυναμικού της τα οποία χρησιμοποιούνται για την έναρξη λειτουργιών και για συνδέσεις μέσω πιστοποίησης.

Οι επιχειρήσεις, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, δεν επιθυμούν να διαχειρίζονται έναν σέρβερ (HSS / Home Subscriber Server).

Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, η επιχείρηση προχωρά σε συμφωνία με τον MNO με σκοπό οι συσκευές των εργαζομένων να λαμβάνουν την απαραίτητη πιστοποίηση, με την επιχείρηση να έχει τη δυνατότητα επέκτασης της κάλυψης και της χωρητικότητας 5G, με επιπρόσθετη εγκατάσταση εσωτερικών σταθμών βάσης.

Για τη διαχείριση ταυτότητας για Bootstrapping Access 5G, απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί ο MNO να φέρει πιστοποιητικό του IAC για την κάλυψη των απαιτήσεων της βιομηχανίας και η επιχείρηση να διαθέτει δικό της AAA για τους εργαζομένους που απασχολεί.

Το MNO IAC παράγει τα διαπιστευτήρια μετά από αίτημα της επιχείρησης. Τα διαπιστευτήρια βρίσκονται σε καθεστώς προστασίας κατά τη μεταφορά μεταξύ του MNO IAC και της συσκευής του χρήστη.



Σχήμα 3.12. Ασφαλή δίκτυα 5G σε επιχείρηση [38].

3.3.3. Πιστοποίηση συσκευών σε δίκτυα 5G

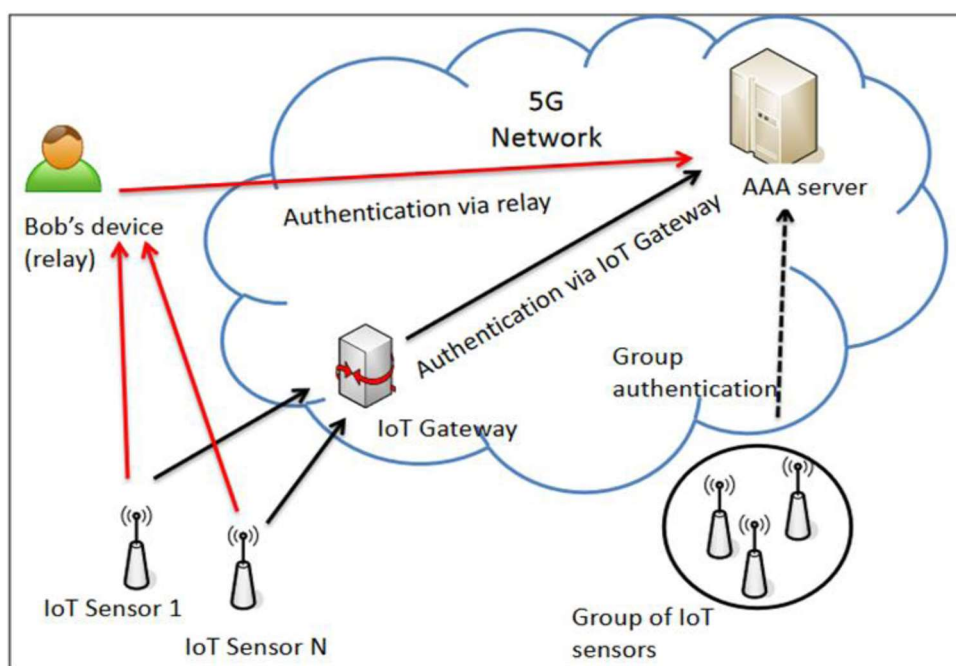
Σε ένα δίκτυο 5G, η πύλη IoT πιστοποιεί το διακομιστή ή η συσκευή του χρήστη πιστοποιείται στο διακομιστή AAA, με χρήση του πρωτοκόλλου USIM AKA.

Ο αισθητήρας IoT πιστοποιεί την πύλη IoT ή τις κινητές συσκευές με χρήση τεχνολογίας ειδικής ασύρματης πρόσβασης.

Οι αισθητήρες IoT, η συνδεδεμένη πύλη IoT και οι κινητές συσκευές υπάγονται στον ίδιο χρήστη / συνδρομητή.

Οι αισθητήρες IoT έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες διαδικτύου και μπορούν να στέλνουν και να λαμβάνουν δεδομένα και πληροφορίες, είτε μέσω της συσκευής του χρήστη είτε μέσω της πύλης IoT.

Είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση της ταυτότητας του χρήστη σε αιτήματα για παροχή υπηρεσιών.

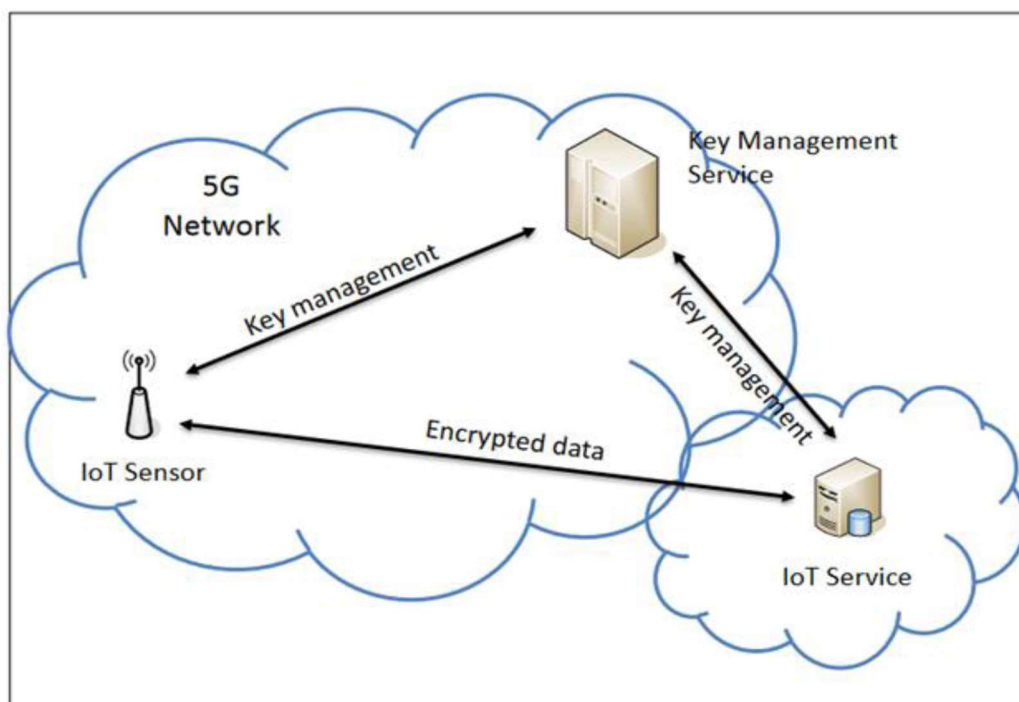


Σχήμα 3.13. Πιστοποίηση συσκευών σε δίκτυα 5G [38].

3.3.4. Διαχείριση κλειδιών ασφαλείας

Μια συσκευή IoT που έχει συνδεθεί σε ένα δίκτυο 5G, έχει εξασφαλίσει πιστοποίηση και μπορεί να αλληλεπιδρά με την υπηρεσία back – end IoT. Η επικοινωνία αυτή πρέπει να είναι ασφάλης, δηλαδή πιστοποιημένη και επικυρωμένη, από άκρο σε άκρο.

Η συνδεδεμένη συσκευή IoT κάνει χρήση μιας παρεχόμενης από το δίκτυο 5G υπηρεσίας διαχείρισης κλειδιών για την επίτευξη της επιθυμητής end to end ασφαλούς επικοινωνίας μεταξύ της συσκευής του χρήστη και της υπηρεσίας back – end IoT που βρίσκεται στο νέφος.



Σχήμα 3.14. Διαχείριση κλειδιών ασφαλείας σε δίκτυα 5G [38].

Η συσκευή IoT είναι αυτή που πραγματεύεται τα κλειδιά ασφαλείας για την κρυπτογράφηση πληροφοριών και δεδομένων, με χρήση της υπηρεσίας διαχείρισης κλειδιών που παρέχεται από το δίκτυο 5G.

Η συσκευή IoT προχωρά σε κρυπτογράφηση και έλεγχο των δεδομένων και των πληροφοριών που απαιτείται να διαβιβαστούν, και εν συνεχεία λαμβάνει χώρα εκκίνηση της αποστολής των δεδομένων και των πληροφοριών στο διακομιστή IoT.

Ο εξυπηρετητής IoT προχωρά στην αποκρυπτογράφηση και επαλήθευση των δεδομένων και κληροφοριών που λαμβάνονται, με χρήση των

κλειδιών που προκύπτουν μέσω της υπηρεσίας διαχείρισης κλειδιών ασφαλείας.

Εν γένει, μέσω της τεχνολογίας 5G, αναπτύσσονται νέες δυνατότητες και προοπτικές που επιτρέπουν στις επιχειρήσεις, στις παραγωγικές μονάδες και στους οργανισμούς που εκμεταλλεύονται τις κινητές επικοινωνίες να βελτιστοποιούν τις δράσεις τους και να παρέχουν ενισχυμένες και βελτιωμένες υπηρεσίες, χρήσεις, εφαρμογές και προϊόντα.

Είναι απαραίτητη η συνεχής και δυναμική προσπάθεια για την αντιμετώπιση των ζητημάτων ασφάλειας που ανακύπτουν στα δίκτυα 5G, έτσι ώστε η απολαβή της ωφέλειας από αυτά να γίνεται σε ένα ασφαλές πλαίσιο που εξασφαλίζει τόσο το χρήστη όσο και τα λοιπά εμπλεκόμενα μέρη, οργανισμούς και φορείς.

4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

URLLC

4.1. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Όπως απορρέει από την προηγούμενη ανάλυση, το 5G διέπεται από μια ευρεία γκάμα απαιτήσεων, με την επίτευξη του συνδυασμού μικρής καθυστέρησης και υψηλής αξιοπιστίας να αποτελεί το πιο απαιτητικό εγχείρημα.

Στο URLLC, για την ανάλυση της αποτελεσματικότητας σε σχέση με αυτή την απαίτηση, υιοθετείται η μεταβλητή της αξιοπιστίας σε συνδυασμό με τη μεταβλητή του λανθάνοντος χρόνου του χρήστη [5].

Ο λανθάνων χρόνος χρήστη (L) ισούται με το χρόνο που απαιτείται για την επιτυχή και πλήρη παράδοση ενός πακέτου δεδομένων επιπέδου εφαρμογής από το σημείο εισόδου του πρωτόκολλου στο σημείο εξόδου, μέσω της διεπαφής που απαντάται και στις δύο κατευθύνσεις UL και DL, με την απουσία περιορισμών λόγω ασυνεχούς λήψης όσον αφορά στις λήψεις των συσκευών ή των σταθμών βάσης.

Ο λανθάνοντας χρόνος του χρήστη (μετρούμενος συνήθως σε δευτερόλεπτα), εμπεριέχει τον λανθάνοντα χρόνο μετάδοσης, τον λανθάνοντα χρόνο επεξεργασίας, τον λανθάνοντα χρόνο αναμετάδοσης και τον λανθάνοντα χρόνο αναμονής και προγραμματισμού. Στην τελευταία συνιστώσα περιλαμβάνονται το αίτημα προγραμματισμού και η λήψη παραχώρησης εφόσον υπάρχουν.

Η αξιοπιστία (R) ορίζεται ως η πιθανότητα επιτυχούς μετάδοσης X bit εντός των ορίων του λανθάνοντος επιπέδου του χρήστη (L) και για συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας καναλιού. Ο χρόνος των δευτερολέπτων L αντιστοιχεί στον λανθάνοντα χρόνο του επιπέδου χρήστη και περιλαμβάνει τον λανθάνοντα χρόνο μετάδοσης, τον λανθάνοντα χρόνο επεξεργασίας, τον λανθάνοντα χρόνο αναμετάδοσης και τον λανθάνοντα χρόνο αναμονής/προγραμματισμού (συμπεριλαμβανομένου του αιτήματος προγραμματισμού και της λήψης παραχώρησης - εάν υπάρχει).

Ο παράγοντας CDF (Charging Data Function), αποτυπώνει την πιθανότητα ο λανθάνων χρόνος του χρήστη να μην ξεπερνά μια συγκεκριμένη

τιμή. Με δεδομένο ότι ο εν λόγω παράγοντας υπολογίζει την πιθανότητα ένα πακέτο να μεταβιβαστεί εντός των ορίων του λανθάνοντος χρόνου, αποτελεί σημαντικό δείκτη αξιοπιστίας.

4.2. ΟΦΕΛΗ ΓΙΑ ΤΗΝ URLLC ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΙΟΘΕΤΗΣΗ ΜΑΖΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΚΕΡΑΙΩΝ

4.2.1. Θεωρητική προσέγγιση

Σε ένα δίκτυο 5G, η πύλη IoT πιστοποιεί το διακομιστή ή η συσκευή του χρήστη.

Η ύπαρξη πολλαπλών κεραιών στους σταθμούς βάσης (BS / Base Station) ή στα τερματικά του ασύρματου δικτύου οδηγούν στην ανάπτυξη αποτελεσματικότερων μηχανισμών σε φυσικό επίπεδο που εξασφαλίζουν υψηλότερη αξιοπιστία και χαμηλότερους λανθάνοντες χρόνους.

Συνδυαστικά με το URLLC, αποδίδεται αυξημένη σημαντικότητα στην ύπαρξη μαζικών συστημάτων κεραιών στους σταθμούς βάσης και στα τερματικά σε ζώνες υψηλής συχνότητας.

Τα μαζικά συστήματα κεραιών είναι αναγκαία προκειμένου να επιτυγχάνεται η αύξηση του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων καθώς και η δυνατότητα για ενσωμάτωση μεγαλύτερου αριθμού χρηστών στο ευρυζωνικό δίκτυο, με αυτούς πλέον να έχουν τη δυνατότητα να πολλαπλασιάζονται ταυτόχρονα μέσα στο ίδιο εύρος ζώνης [5].

Τα μαζικά συστήματα κεραιών καθίστανται ταυτόχρονα κομβικά στοιχεία για άλλες παρεχόμενες από το 5G υπηρεσίες, όπως είναι οι μαζικές υπηρεσίες MTC.

Εξασφαλίζουν σημαντικά πλεονεκτήματα και οφέλη εξαιτίας της δυνατότητας που έχουν να δημιουργούν μεγάλο αριθμό βαθμών ελευθερίας (DoF / Degrees of Freedom) στη βάση των οποίων καθορίζονται και επεκτείνονται σημαντικές ιδιότητες της URLLC. Τα οφέλη αυτά είναι [1]:

- Η βελτιστοποίηση του λόγου του σήματος προς το θόρυβο (SNR / Signal to Noise Ratio), εξαιτίας του πολλαπλού κέρδους που προκύπτει μέσω της συστοιχίας.

- Η ακρίβεια όσον αφορά στην αντιστοίχιση της πληροφορίας, η οποία είναι ουσιαστικά ανεπηρέαστη από φαινόμενα εξασθένησης του σήματος. Αυτή η ικανότητα είναι μεγαλύτερη για λειτουργία σε χαμηλότερες συχνότητες και για περιβάλλοντα που χαρακτηρίζονται από αυξημένη σκέδαση.
- Η αυξημένη δυνατότητα για πολυπλεξία και χωρική διαίρεση. Στην περίπτωση ύπαρξης πολλαπλών χρηστών, η εκμετάλλευση των εν λόγω ιδιοτήτων μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερους λανθάνοντες χρόνους ως απόρροια των δυνατοτήτων των χρηστών για πολλαπλή πρόσβαση και για ταυτόχρονη ανταλλαγή δεδομένων.

Οι υψηλοί λόγοι σήματος προς θόρυβο και η ακρίβεια όσον αφορά στην αντιστοίχιση της πληροφορίας μειώνουν την απαίτηση για υιοθέτηση ισχυρών προγραμμάτων κωδικοποίησης. Απόρροια αυτού αποτελεί η επίτευξη υψηλής αξιοπιστίας όσον αφορά στα μικρά πακέτα δεδομένων, γεγονός που επιφέρει σημαντική ελάττωση των αναγκών για αναμετάδοση.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι η ενσωμάτωση και επεξεργασία πολλαπλών κεραιών με στόχο το διαχωρισμό των χρηστών, μπορεί να οδηγήσει σε επιπρόσθετη υπολογιστική καθυστέρηση.

Η απόκτηση των πληροφοριών κατάστασης καναλιού (CSI / Channel State Information) αποτελεί ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες όσον αφορά στην URLLC κατά την εκμετάλλευση της δυναμικής των πολλαπλών κεραιών.

Αυτό οφείλεται στο ότι η απόκτηση του εν λόγω τύπου πληροφοριών αποτελεί ένα βασικό στάδιο του πρωτοκόλλου στη μέθοδο MIMO, με αποτέλεσμα να επηρεάζει σημαντικά τόσο την αξιοπιστία όσο και το λανθάνοντα χρόνο.

Σε ένα τέτοιο πλαίσιο, σχεδιάζονται μέθοδοι και τεχνικές διαμόρφωσης δέσμης που βασίζονται κύρια στη δομή του καναλιού, δηλαδή λαμβάνουν υπόψη την κατεύθυνση της διαδρομής διάδοσης. Η αξιοποίηση της

πληροφορίας που σχετίζεται με εξασθένηση σήματος μικρής κλίμακας είναι μικρότερης έκτασης.

Η δομή του καναλιού ποικίλλει σε κλίμακα με αποτέλεσμα να υπάρχει αυξημένη ευελιξία σε σχέση με τον παράγοντα της κινητικότητας της συσκευής. Υιοθετείται η χρήση ενιαίων διανυσμάτων για την κατασκευή των απαιτούμενων πομποδεκτών πολλαπλών χρήσεων στον κανάλι ή στη δομή, με την τεχνική αυτή να είναι διαδεδομένη και να μην αποτελεί μια ακόμα καινοτομία του 5G.

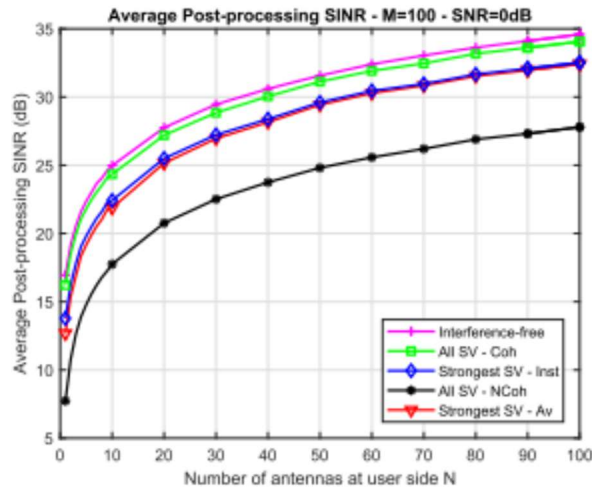
Οι βασικές αρχές που διέπουν το σχεδιασμό διαμόρφωσης δέσμης είναι οι ακόλουθες [39]:

- Οι ενδιάμεσες παρεμβολές κρίνεται αν πρέπει να αφαιρεθούν με βάση τα προκύπτοντα ενιαία διανύσματα του πίνακα συνδιακύμανσης των τερματικών που παρεμβάλλονται. Αυτά είναι που καθορίζουν το ποιος θα είναι ο υποχώρος του σήματός τους. Για να εξαιρεθούν οι παρεμβολές θα πρέπει το μεταδιδόμενο σήμα να προβληθεί από το space orthogonal προς τον υποχώρο του σήματος των παρεμβολών. Στην URLLC αυτό είναι πιο εύκολο να πραγματοποιηθεί αφού η λειτουργία αυτή δεν εξαρτάται σε κανένα σημείο της από την στιγμιαία CSI.
- Η εξάλειψη της ενδιάμεσης παρεμβολής είναι αρκετή ώστε η μετάδοση σήματος σε ένα τερματικό να μπορεί να εκμεταλλεύεται τα γνωστικά επίπεδα CSI του πομπού.

4.2.2. Ποσοτική προσέγγιση

Ο λόγος του σήματος σε σχέση με τις παρεμβολές συν το θόρυβο (SINR / Signal to Interface plus Noise Ratio) αποτελεί μια σημαντική ποσοτική μεταβλητή για την αξιολόγηση της σύνδεσης στα δίκτυα 5G.

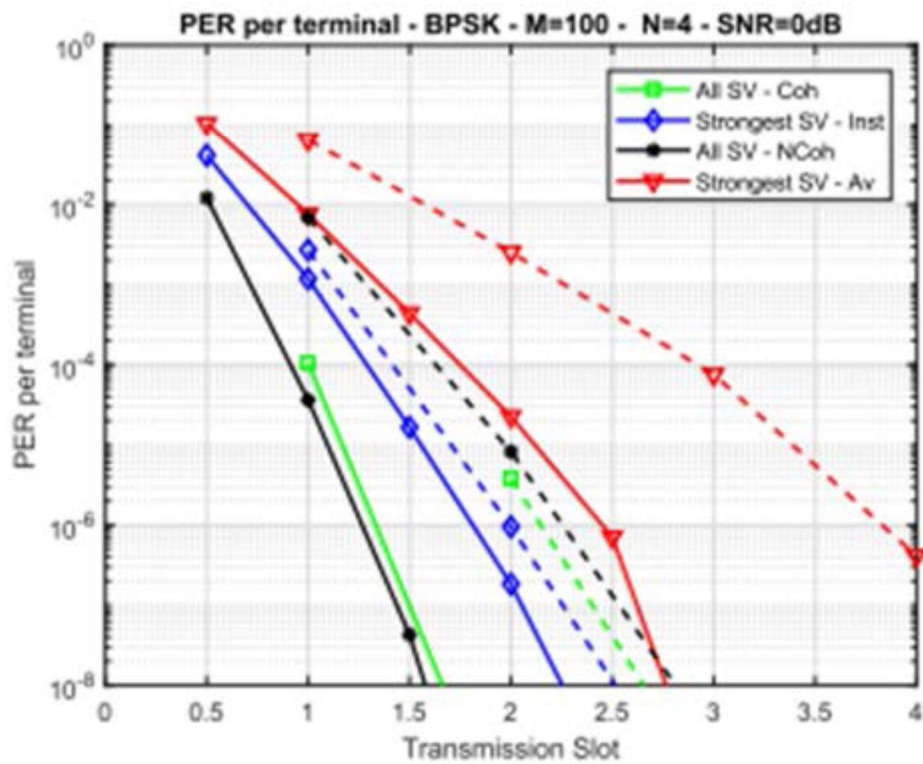
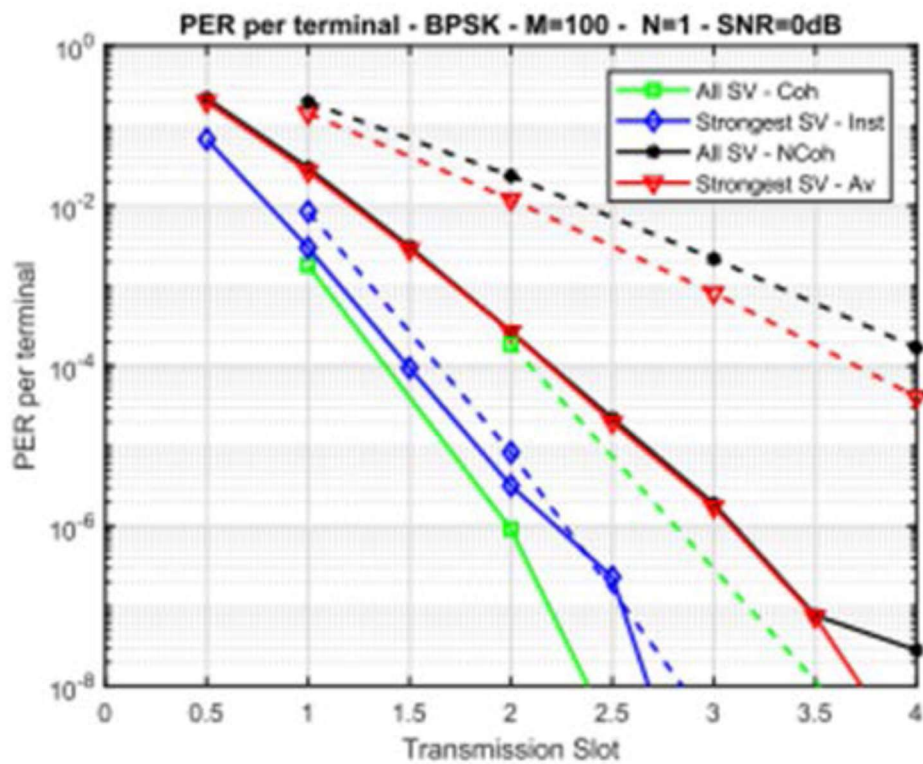
Οι Porovski et al. (2019) [40], μέσω μετρήσεων που πραγματοποίησαν, αποτύπωσαν διαγραμματικά το μέσο SINR συναρτήσει του αριθμού των κεραιών στην πλευρά του χρήστη. Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα για $M = 100$, όπου M ο αριθμός των κεραιών στο σημείο πρόσβασης.



Διάγραμμα 4.1. Μέσος SINR συναρτήσει του αριθμού των κεραιών στην πλευρά του χρήστη, $M = 100$ [40].

Παρατηρούμε ότι η καμπύλη κινείται σε υψηλότερα επίπεδα στην περίπτωση που δεν υπάρχει καμία παρεμβολή, ενώ κινείται σε χαμηλότερα επίπεδα στο σενάριο All SV – NCoh (μη συνεκτική στρατηγική).

Οι ίδιοι ερευνητές, απεικόνισαν το ποσοστό σφάλματος πακέτου (Packet Error Rate / PER) συναρτήσει τις υποδοχής μετάδοσης, για την περίπτωση όπου για κάθε χρήστη, αντιστοιχεί μία κεραία. Και σε αυτή την περίπτωση, οι μετρήσεις έλαβαν χώρα για $M = 100$, όπου M ο αριθμός των κεραιών στο σημείο πρόσβασης.



Διάγραμμα 4.2. Ποσοστό σφάλματος πακέτου συναρτήσει τις υποδοχής μετάδοσης [40].

Με τον όρο υποδοχή μετάδοσης, ορίζεται η διάρκεια τις αποστολής πακέτου – ωφέλιμο και γενικό φορτίο – μέσω τις υιοθέτησης του συνεκτικού τρόπου μετάδοσης. Με τη χρήση μη συνεκτικής προσέγγισης στη μετάδοση είναι εφικτή η αποστολή δύο πακέτων εντός μιας υποδοχής μετάδοσης.

Οι ερευνητές λαμβάνουν υπόψη και αναπαριστούν διαγραμματικά και την περίπτωση ύπαρξης πολυπλεγμένων χρηστών τόσο στο χώρο (συμπαγείς γραμμές) όσο και στο χρόνο (διακεκομμένες γραμμές).

Το ποσοστό σφάλματος του πακέτου σχετίζεται με τις διαφορετικές δομές και χαρακτηριστικά των πομποδεκτών.

Η ομαλοποίηση του εύρους ζώνης λαμβάνει χώρα με τέτοιον ώστε ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων καναλιών να αντανakλά άμεσα στην καθυστέρηση.

Οι ερευνητές κατέληξαν στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η γενική τάση είναι να παρατηρείται βελτίωση της απόδοσης με αύξηση του επιπέδο εκμετάλλευσης του καναλιού στον πομπό.
- Στην περίπτωση που τα τερματικά είναι εξοπλισμένα με πολλαπλές κεραίες, ενισχύεται η αξιοπιστία του σήματος μέσω της εξαγωγής πληροφοριών και δεδομένων από τα λαμβανόμενα στοιχεία του σήματος που μεταφέρονται μέσω πολλαπλών καναλιών που χαρακτηρίζονται από εξασθενημένο σήμα. Σε μια τέτοια βάση, είναι πιο ωφέλιμη η μετάδοση του σήματος με μη συνεκτικό τρόπο και κατά μήκος κάθε μεμονωμένου φορέα. Η με συνεκτικό τρόπο επεξεργασία της λήψης του σήματος από πολλαπλές κεραίες επιτρέπει τη βελτίωση της αξιοπιστίας και αντισταθμίζει το μειονέκτημα αυτό του μη συνεκτικού τρόπου μετάδοσης.
- Η χωρική πολυπλεξία δε θεωρείται πάντα ευνοϊκή. Το αν θα είναι ή όχι, εξαρτάται από το επίπεδο CSI που αξιοποιείται στον πομπό.

4.3. ΠΟΛΥΜΟΡΦΙΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥ – ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΕΠΑΦΩΝ

4.3.1. Θεωρητική προσέγγιση

Οι κινητές συσκευές σήμερα φέρουν συνεχώς και περισσότερες διεπαφές, με τα δίκτυα 5G να καλούνται συνεχώς να εξελίσσονται και να αναπτύσσονται μαζί με άλλες διεπαφές.

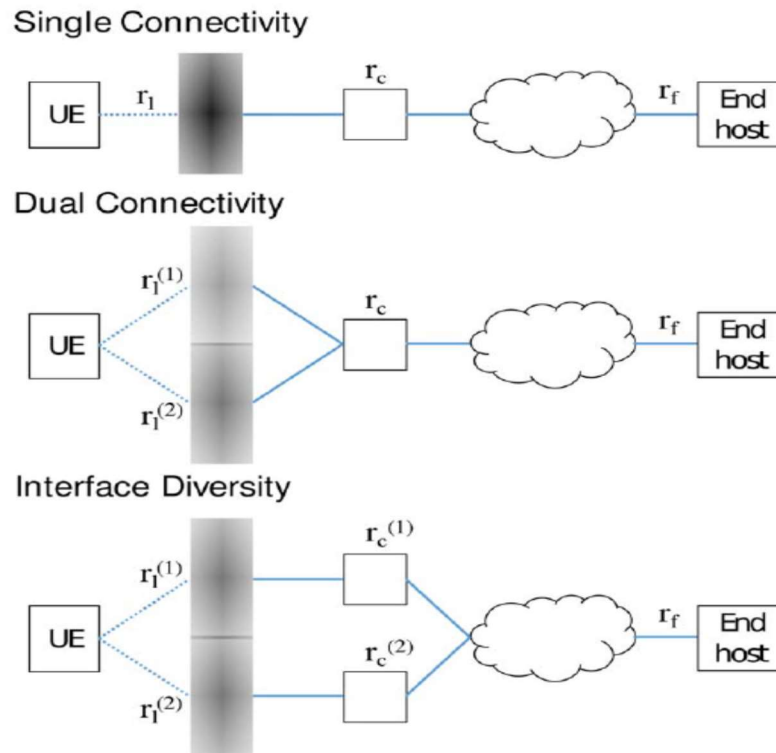
Όσον αφορά στην URLLC, η ύπαρξη πολλαπλών διεπαφών χαρακτηρίζεται από έναν υψηλότερο βαθμό ποικιλομορφίας, η εκμετάλλευση του οποίου οδηγεί σε βελτιώσεις σε σχέση με τους παράγοντες της αξιοπιστίας και του λανθάνοντα χρόνου.

Αυτό είναι ευρέως γνωστό ως πολύ – συνδεσιμότητα, με τη χρήση όρων όπως είναι η πολυμορφία συνδέσεων ή η ποικιλία συνδέσμων να λαμβάνει χώρα προκειμένου να τονίζεται ο καίριος ρόλος που διαδραματίζει η ποικιλομορφία ως απόρροια της ύπαρξης πολλών διαφορετικών διεπαφών για την πραγματοποίηση της επικοινωνίας [41].

Η μέθοδος του διπλασιασμού των πακέτων σποτελεί ενδεδειγμένη επιλογή όταν έχουμε να κάνουμε με αρχιτεκτονικές πολλαπλής συνδεσιμότητας, προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες εξαιτίας του φαινομένου της εξασθένησης του σήματος, της ύπαρξης παρεμβολών σε μεμονωμένους συνδέσμους και της ανεπάρκειας πόρων στις διασυνδέσεις.

Είναι προφανές ότι για την εξασφάλιση της αξιοπιστίας σε μια από άκρο σε άκρο σύνδεση δεν επαρκεί μόνο η εφαρμογή τεχνικών και μεθόδων αλλά είναι αναγκαία η συνολική ορθή λειτουργία των υφιστάμενων υποδομών και του βασικού δικτύου.

Οι πολλαπλές συνδέσεις βοηθούν προς την κατεύθυνση της απεξάρτησης από μια ενιαία δομή και της απεμπλοκής από μονοδιάστατες προσεγγίσεις που μειώνουν την ευελιξία και τη δυνατότητα για εξεύρεση εναλλακτικών λύσεων σε περίπτωση που ανακύπτουν ζητήματα ή δυσλειτουργίες [42].



Σχήμα 4.11. Αρχιτεκτονικές διασύνδεσης [40].

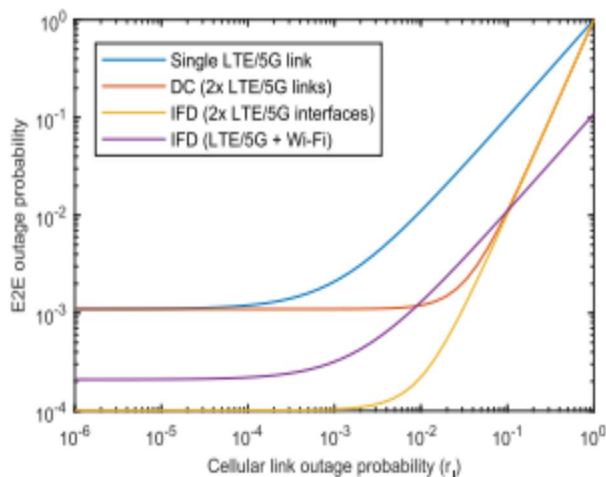
Η ποικιλομορφία των διεπαφών (IFD / Interface Diversity) καταργεί τη μονοδιαστάτη εξάρτηση, με την προϋπόθεση ότι τόσο οι συσκευές προέλευσης όσο και αυτές του προορισμού να έχουν ρυθμιστεί ώστε οι πρώτες να έχουν τη δυνατότητα αντιγραφής πακέτων και οι δεύτερες να μπορούν να χειρίζονται πολλαπλά αντίγραφα λήψης [42].

Η διπλή συνδεσιμότητα εξασφαλίζει διαφάνεια τόσο σε επίπεδο συσκευών προορισμού όσο και σε επίπεδο συσκευών προέλευσης, ενώ βρίσκεται πάνω από το μέσο επίπεδο ελέγχου πρόσβασης (MAC / Medium Access Control).

Ο διπλασιασμός πακέτων αποτελεί την απλούστερη δυνατότητα της IFD, με τα αντίγραφα των πακέτων να αποστέλλονται απλά σε διαφορετικές διεπαφές. Η IFD χαρακτηρίζεται και από πιο προηγμένες τεχνολογίες στις οποίες εμπεριέχονται προηγμένοι τρόποι κωδικοποίησης σε επίπεδο πακέτων καθώς και τμηματοποίησης πληροφοριών και δεδομένων.

4.3.2. Ποσοτική προσέγγιση

Στο διάγραμμα 4.2 αποτυπώνεται η πιθανότητα διακοπής σύνδεσης από άκρο σε άκρο που αντιστοιχεί σε διαφορετικού τύπου διακοπές στο κυψελοειδές δίκτυο.



Διάγραμμα 4.3. Πιθανότητα διακοπής σύνδεσης από άκρο σε άκρο που αντιστοιχεί σε διαφορετικού τύπου διακοπές στο κυψελοειδές δίκτυο [40].

Παρατηρούμε ότι η IFD, η οποία χρησιμοποιεί δύο ανεξάρτητα μεταξύ τους δίκτυα, παρουσιάζει σε όλο το εύρος των δεδομένων καλύτερη συμπεριφορά σε σχέση με τη DC. Η ύπαρξη ενδεδειγμένων κυψελοειδών συνδέσμων αποτελεί το σημαντικότερο λόγο που συμβάλλει στη διαμόρφωση του εν λόγω αποτελέσματος.

Η εναλλακτική διαμόρφωση στη βάση της οποίας ένα LTE / 5G συμπληρώνεται από μία ανεξάρτητη σύνδεση Wi-Fi, κατώτερης δυναμικής, είναι πιο ωφέλιμη σε σχέση με μία DC για τιμές $< 10^{-2}$ και για τιμές $> 10^{-1}$.

Η διαμόρφωση DC αποτελεί καλύτερη επιλογή σε σχέση με την περίπτωση χρήσης ενός μόνο συνδέσμου. Αυτή η παρατήρηση δεν ισχύει μόνο στην περίπτωση που η πιθανότητα διακοπής της σύνδεσης από άκρο σε άκρο καθορίζεται σε κυρίαρχο βαθμό από την πιθανότητα διακοπής της λειτουργίας του πυρήνα.

4.4. URLLC ΣΕ MASSIVE MIMO

Τα συστήματα πολλαπλών κεραιών αποτελούν επι της ουσίας έναν φυσικό ενεργοποιητή για την URLLC, με τις επικοινωνίες που εξασφαλίζονται μέσω αυτών να χαρακτηρίζονται από υψηλούς λόγους σήματος προς θόρυβο, ποικιλομορφία και ενισχυμένη δυνατότητα επίτευξης χωρικής πολυπλεξίας. Οι εν λόγω ιδιότητες συμβάλλουν σημαντικά προς την κατεύθυνση της αύξησης της αξιοπιστίας και της βελτίωσης του λανθάνοντα χρόνου.

Οι Panigrahi et al. (2017) [43] ερεύνησαν στην αποδοτικότητα ενός συστήματος massive MIMO αποτελούμενου από 64 κεραιές στο σταθμό βάσης, μέσω της διαμόρφωσης διαφορετικών σχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, υιοθετήθηκαν συνεκτικού και μη συνεκτικού τύπου πομποδέκτες, πομποδέκτες για την εξυπηρέτηση της υπόθεσης ότι το κανάλι ήταν άγνωστο για τον πομπό, καθώς και χωροχρονική κωδικοποίηση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μη συνεκτικοί πομποδέκτες οδήγησαν σε καλύτερη απόδοση.

Οι Tarneberg et al. (2017) [44], διαπίστωσαν από την έρευνα που διεξήγαγαν, ότι στις περιπτώσεις πολύ μεγάλων συστημάτων MIMO, στα οποία συγκεντρώνεται μεγάλος αριθμός χρηστών, ένα σημαντικό ζήτημα αποτελεί η καθυστέρηση της επεξεργασίας λόγω της ανάγκης για επεξεργασία πολλαπλών κεραιών στο σταθμό βάσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μη μεγιστοποιημένη απόδοση στη βάση των απαιτήσεων URLLC.

Οι Vu et al. (2017) [45], καταδεικνύουν την εμπειριστατωμένη από την έρευνα που πραγματοποίησαν παρατήρηση ότι ένα μαζικό δίκτυο MIMO μπορεί να βελτιστοποιηθεί μέσω του περιορισμού του μεγέθους της ουράς, έτσι ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις της URLLC.

Σε ένα σύστημα πολλαπλών κεραιών, το βασικό ζητούμενο αποτελεί η απόκτηση στιγμιαίου CSI το οποίο να καλύπτει τα αυστηρά πλαίσια που τίθενται για την URLLC σε σχέση με τους χρόνους συνοχής του καναλιού και καθυστέρησης της μετάδοσης.

Στην περίπτωση της URLLC, υπάρχουν πολύ ισχυρές απαιτήσεις όσον αφορά στην ανίχνευση της κινητικότητας. Η υιοθέτηση μη συνεκτικών μεθόδων

και τεχνικών αποτελεί μια εναλλακτική για τις συνεκτικές προσεγγίσεις που μπορεί να ενισχύσει τις δυνατότητες προς αυτή την κατεύθυνση.

Μία τεχνική η οποία αξιοποιεί και εκμεταλλεύεται την παρουσία μεγάλου πλήθους κεραιών σε ένα σύστημα massive MIMO και που ταυτόχρονα είναι απλή στην εφαρμογή της, είναι αυτή που στηρίζεται στην ανίχνευση της ενέργειας των ζεύξεων.

Η εν λόγω μέθοδος έγκειται στη συλλογή και συγκέντρωση της ενέργειας από το σύνολο των κεραιών που εμπεριέχει το σύστημα. Μέσω των στοιχείων που προκύπτουν, είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων για τις κινήσεις των χρηστών και επομένως η δημιουργία δεδομένων σε σχέση με τον παράγοντα της κινητικότητας.

Τα πλεονεκτήματα που χαρακτηρίζουν τις συνεκτικές προσεγγίσεις στα μοτίβα χαμηλής κινητικότητας μπορούν να συνδυαστούν με τις δυνατότητες των μη συνεκτικών προσεγγίσεων στα πεδία της υψηλής κινητικότητας έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα ισχυρό πλαίσιο για αξιόπιστες επικοινωνίες με χαμηλά επίπεδα καθυστέρησης, στη βάση των αναγκών που απορρέουν για την URLLC.

5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αύξηση της δυνατότητας για μαζική χρήση, η ενίσχυση των παραγόντων της ταχύτητας και της λειτουργικότητας και η ταυτόχρονη εξασφάλιση υψηλότερου επιπέδου ασφάλειας και αξιοπιστίας εξασφαλίζονται σήμερα μέσω των δυνατοτήτων 5G.

Τις θεμελιώδεις απαιτήσεις για τα δίκτυα 5G αποτελούν οι βελτιωμένες κινητές υπηρεσίες ευρυζωνικότητας, οι αξιόπιστες επικοινωνίες με χαμηλά επίπεδα καθυστέρησης και η δυνατότητα για μαζική επικοινωνία συσκευών.

Η διπλή συνδεσιμότητα LTE – NR, η εικονικοποιημένη λειτουργία, ο καθορισμός του δικτύου από το λογισμικό, η πολλαπλή πρόσβαση στα άκρα του δικτύου, η συνάθροιση φορέων και τα χιλιοστό – μετρα καθώς και τα συστήματα πολλαπλών εισόδων και εξόδων συνθέτουν τις τεχνολογίες 5G.

Στα δίκτυα 5G, μέσω της δομής που υιοθετείται, λαμβάνει χώρα ο διαχωρισμός των εσωτερικών και των εξωτερικών ρυθμίσεων, με άμεση επίπτωση στη βελτίωση της απόδοσης, της ταχύτητας μετάδοσης των δεδομένων και της ενεργειακής αποδοτικότητας της ασύρματης επικοινωνίας.

Η αρχιτεκτονική στα δίκτυα 5G βασίζεται στην υπηρεσία, χαρακτηρίζεται από έναν κοινό πυρήνα δικτύου καθώς και από τεμαχισμό του δικτύου για την καλύτερη υποστήριξη των εφαρμογών.

Τις τρεις γενικές υπηρεσίες για το 5G αποτελούν το Mobile Broadband, η ultra – reliable MTC και η massive MTC.

Οι χρήσεις του 5G στην υγεία, στην αυτοκινητοβιομηχανία, στην ενέργεια, στη βιομηχανία, στην ενημέρωση και στην ψυχαγωγία καθώς και στην παιδεία και εκπαίδευση, ανοίγουν νέους δρόμους εξέλιξης και δυνατοτήτων σε αυτούς τους τομείς.

Όσον αφορά στον παράγοντα της ασφάλειας, εισάγονται νέες δυνατότητες όπως είναι η διαχείριση της ταυτότητας των εργοστασιακών

συσκευών 5G, η χρήση αυτής για bootstrapping access 5G, η πιστοποίηση συσκευών σε δίκτυα 5G και η διαχείριση κλειδιών ασφαλείας.

Η URLLC αντικατοπτρίζει στην απαίτηση για επίτευξη του συνδυασμού μικρής καθυστέρησης και υψηλής αξιοπιστίας.

Για την ανάλυση της αποτελεσματικότητας σε σχέση με αυτή την απαίτηση, υιοθετείται η μεταβλητή της αξιοπιστίας σε συνδυασμό με τη μεταβλητή του λανθάνοντος χρόνου του χρήστη.

Η χρήση μαζικών συστημάτων πολλαπλών κεραιών δημιουργεί μεγάλο αριθμό βαθμών ελευθερίας στη βάση των οποίων καθορίζονται και επεκτείνονται σημαντικές ιδιότητες της URLLC

Η ύπαρξη πολλαπλών διεπαφών χαρακτηρίζεται από έναν υψηλότερο βαθμό ποικιλομορφίας, η εκμετάλλευση του οποίου οδηγεί σε βελτιώσεις σε σχέση με τους παράγοντες της αξιοπιστίας και του λανθάνοντα χρόνου.

Προτείνεται ο συνδυασμός των πλεονεκτημάτων που χαρακτηρίζουν τις συνεκτικές προσεγγίσεις στα μοτίβα χαμηλής κινητικότητας με τις δυνατότητες των μη συνεκτικών προσεγγίσεων στα πεδία της υψηλής κινητικότητας έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα ισχυρό πλαίσιο για αξιόπιστες επικοινωνίες με χαμηλά επίπεδα καθυστέρησης, στη βάση των αναγκών που εξυπηρετεί και για τις οποίες προορίζεται η URLLC.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Chen, W., Gaal, P., Montojo, J. & Zisimopoulos, H., (2021), *Fundamentals of 5G Communications: Connectivity for enhanced mobile broadband and beyond*, 1st edition, McGraw Hill.
- [2]. Sharma, P., (2013), Evolution of Mobile Wireless Communication Networks – 1G to 5G as well as Future Prospective of Next Generation Communication Networkll, *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 2(8): 47 – 53.
- [3]. ITU, (2022), Διαθέσιμο στο: www.itu.int, Ημερομηνία τελευταίας ανάκτησης: 1/6/2022.
- [4]. Lund, A. & Noergaard, T. G., (2022), *Packet – based fronthaul / A critical enabler of 5G*, Design & Reuse: <https://www.design-reuse.com/articles/43933/packet-based-fronthaul-a-critical-enabler-of-5g.html>, Ημερομηνία τελευταίας ανάκτησης: 1/6/2022.
- [5]. Al – Dulaimi, A., Wang, X. & Chih – Lin, I., (2018), *5G Networks: Fundamental requirements, enabling technologies and operations management*, Wiley.
- [6]. Bing, B., (2021), *5G technologies and applications: An introduction to the next wireless frontier*, 1st edition, Amazon.
- [7]. Rountree, D. & Castrillo, I., (2013), *The basics of cloud computing: Understanding the fundamentals of cloud computing in theory and practice*, 1st edition, Syngress.
- [8]. Goransson, P., Black, C. & Culver, T., (2016), *Software Defined Networks: A comprehensive approach*, 2nd edition, Elsevier.
- [9]. Alotaibi, D., Thayananthan, V. & Yazdani, J., (2021), The 5G network slicing using SDN based technology for managing network traffic, *Procedia Computer Science*, 194: 114 – 121.

- [10]. Liyanage, M., Porambage, P., Ding, A. Y. & Kalla, A., (2021), Driving forces for multi – access edge computing (MEC) IoT integration in 5G, *ICT Express*, 7(2): 127 – 137.
- [11]. Mundy J. & Kavanagh, S., (2021), What is massive MIMO technology, <https://5g.co.uk/guides/what-is-massive-mimo-technology/>, Ημερομηνία τελευταίας ανάκτησης: 2/6/2022.
- [12]. T – mobile, (2022), Διαθέσιμο στο: <https://www.t-mobile.com/5g>, Ημερομηνία τελευταίας ανάκτησης: 2/6/2022.
- [13]. NGMN Alliance, (2015), *NGMN 5G White Paper*, Frankfurt, Germany.
- [14]. Rommer, S., Hedman, P., Olsson, M., Frid, L., Sultana, S. & Mulligan, C., (2019), *5G Core Networks: Powering Digitalization*, 1st edition, Academic Press.
- [15]. Kazmi, A., Khan, L., Tran, N. & Hong, C. S., (2019), *Network slicing for 5G and beyond networks*, 1st edition, Springer.
- [16]. Mademann, F., (2018), The 5G System Architecture, *Journal of ICT Standardization*, 6(1): 77 – 86.
- [17]. Penttinen, J., (2020), *The 5G's user's guide: The next generation revealed*, Independently published.
- [18]. Tullberg, H., Popovski, P., Gozalvez – Serrano, D., Fertl, P., Li, Z., Höglund, A., Uusitalo, M. A., Droste, H., Bulakci, Ö., Eichinger, J. & Pawlak, K., (2015), *METIS System concept: The Shape of 5G to Come*, IEEE Communications Magazine.
- [19]. Ζαχαρία, Α., (2016), *Μελέτη και αξιολόγηση των προτεινόμενων τεχνολογιών στα δίκτυα 5G*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών ΗΥ & Πληροφορικής, Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- [20]. Ericsson, (2015), *5G Radio Access*, Ericsson White Paper.
- [21]. SDx Central, (2017), *The top 5G use cases*, Διαθέσιμο στο: <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/top-5g-use-cases/>, 17/11/2017.

- [22]. IoT Intergrator, (2018), *Connect the Dots: Massive, 5G Readies to Take Low-Latency IoT Mainstream*, Διαθέσιμο στο: <https://www.theiotintegrator.com/industrial/connect-the-dots-massive-5g-readies-to-take-low-latency-iot-mainstream>, 11/9/2018.
- [23]. Li, D., (2019), 5G and intelligence medicine – How the next generation of wireless technology will reconstruct healthcare? *Precis Clin Med.*, 2(4): 205 – 208.
- [24]. Science Service, (2019), *The critical role of 5G transforming digital healthcare. Why its decisive?*, Διαθέσιμο στο: <https://www.dr-hempel-network.com/digital-health-technolgy/5g-transforming-digital-healthcare/>, 16/7/2019.
- [25]. Gray, R., (2016), *Federal Proposal for Connected Vehicles Signals School Bus Sea Change*, Διαθέσιμο στο: <https://stnonline.com/news/federal-connected-vehicle-proposal-signals-school-bus-sea-change/>, 13/12/2016.
- [26]. Lu, M., (2019), *Cooperative intelligent transport systems: Towards high – level automated driving*, The Institution of Engineering and Technology.
- [27]. Qualcomm, (2017), *5G and Automotive: Cellular vehicle – to – everything (C – V2X)*, Διαθέσιμο στο: <https://www.slideshare.net/ITU/5g-and-automotive-cellular-v2x-vehicletoeverything>, 27/3/2017.
- [28]. Chopra, S., (2018), *Supply chain management: Strategy, planning and operation*, 7th edition, Pearson.
- [29]. McMhon, J., (2018), *Forbes: Smart Grid Dreams Fading Without Congressional Support*, Διαθέσιμο στο: <https://www.technocracy.news/smart-grid-dreams-fading-without-congressional-support/>, 30/4/2018.
- [30]. Momoh, J., (2012), *Smart grid: Fundamentals of design and analysis*, 1st edition, Wiley – IEEE Press.
- [31]. Matanza, J., Ferrus, R. & Sendin, A., (2021), *Smart grid telecommunications: Fundamentals and technologies in the 5G era*, 1st edition, Wiley – IEEE Press.

- [32]. Schwab, K., (2017), *The fourth industrial revolution*, 1st edition, Portfolio Penguin.
- [33]. Yacob, K., (2017), *Production management: Advanced models, tools and applications for pull systems*, 1st edition, Productivity Press.
- [34]. Voigtlander, F., Ramadan, A., Eichinger, J., Lenz, C, Pensky, D. & Knoll, A., (2017), 5G for robotics: Ultra – low latency control of distributed robotic systems, *International Symposium on Computer Science and Intelligent Controls*, 69 – 72.
- [35]. Viavi solutions, (2019), *Understanding 5G: A practical guide to deploying and operating 5G networks*, Authority publishing.
- [36]. Kizilkaya, B., Zhao, G. & Sambo, Y. A., (2016), 5G – enabled education 4.0: Enabling, technologies, challenges and solutions, *IEEE Access*, 4: 1 – 7.
- [37]. Υφυπουργείο Έρευνας, Καινοτομίας και Ψηφιακής Πολιτικής Κύπρου, Διαθέσιμο στο: https://www.dmrid.gov.cy/dmrid/research.nsf/amenu5g_gr/amenu5g_gr?OpenDocument?OpenDocument, Ημερομηνία τελευταίας ανάκτησης: 12/6/2022.
- [38]. Liyanage, M., Ahmad, I., Abro, A. B., Gurtov, A. & Ylianttila, M., (2018), *A comprehensive guide to 5G security*, Wiley.
- [39]. Marsch, P., Bulaksi, O., Queseth, O. & Boldi, M., (2018), *5G system design: Architectural and functional considerations and long term research*, 1st edition, Wiley.
- [40]. Popovski, P., Stefanović, Č., Nielsen, J. J., De Carvalho, E., Angjelichinoski, M., Trillingsgaard, K. F., & Bana, A. S. (2019). Wireless access in ultra-reliable low-latency communication (URLLC). *IEEE Transactions on Communications*, 67(8): 5783 – 5801.
- [41]. Sachs, J., Wikstrom, G., Dudda, T., Baldemair, R., & Kittichokechai, K. (2018), 5G radio network design for ultra-reliable low-latency communication, *IEEE network*, 32(2): 24 – 31.

- [42]. Nielsen, J. J., Liu, R., & Popovski, P. (2017). Ultra-reliable low latency communication using interface diversity, *IEEE Transactions on Communications*, 66(3): 1322 – 1334.
- [43]. Panigrahi, S. R., Bjorsell, N., & Bengtsson, M., (2017), Feasibility of large antenna arrays towards low latency ultra reliable communication, *IEEE International Conference on Industrial Technology*: 1289 – 1294.
- [44]. Tarneberg, W., Karaca, M., Robertsson, A., Tufvesson, F., & Kihl, M., (2017). Utilizing massive MIMO for the tactile Internet: Advantages and trade-offs, *IEEE International Conference on Sensing, Communication and Networking*: 1 – 6.
- [45]. Vu, T. K., Liu, C. F., Bennis, M., Debbah, M., Latva-Aho, M., & Hong, C. S., (2017), Ultra-reliable and low latency communication in mmWave-enabled massive MIMO networks, *IEEE Communications Letters*, 21(9): 2041 – 2044.
- [46]. Mounika, N., Charita, M. S. L., Krishna, V. G., Vinay, V. V. & Kumar, U. A. S., (2020), Energy efficiency of a massive MIMO system, *International Journal of Engineering Research and Technology*, 9(6): 881 – 885.