



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ – ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Πληροφορική»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

| | |
|-----------------------|--|
| Τίτλος Διατριβής | Μελέτη για την ανάπτυξη δικτύων 5G και η σημασία της χρήσης τους στην κοινωνία Study on the development of 5G networks and the importance of their use in society |
| Όνοματεπώνυμο Φοιτητή | Μαλβίνα Καράλη |
| Πατρώνυμο | Αγκίμ |
| Αριθμός Μητρώου | ΜΠΠΛ19020 |
| Επιβλέπων | Χρήστος Δουληγέρης, Καθηγητής |

Μαλβίνα Καράλη

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

(υπογραφή)

(υπογραφή)

(υπογραφή)

Χρήστος Δουληγέρης
Καθηγητής

Δημήτριος Βεργάδος
Καθηγητής

Ρόζα Μαυροπόδη
Ε. Δι. Π.

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| Ευχαριστίες..... | 5 |
| Συντμήσεις – Αρκτικόλεξα – Ακρωνύμια | 6 |
| Λίστα Εικόνων | 8 |
| Περίληψη | 9 |
| Abstract | 10 |
| Κεφάλαιο 1- Εισαγωγή | 11 |
| 1.1 Δίκτυα Πρώτης Γενιάς (1G) | 12 |
| 1.2 Δίκτυα Δεύτερης Γενιάς (2G)..... | 12 |
| 1.3 Δίκτυα Τρίτης Γενιάς (3G) | 13 |
| 1.4 Δίκτυα Τέταρτης Γενιάς (4G) | 14 |
| 1.5 Δίκτυα 5ης Γενιάς (5G)..... | 15 |
| Κεφάλαιο 2 - Το Δίκτυο 5G..... | 16 |
| 2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Δικτύων 5 ^{ης} Γενιάς | 16 |
| 2.2 Αρχιτεκτονική 5G Δικτύου | 19 |
| 2.2.1 Η αρχιτεκτονική του δικτύου πέμπτης γενιάς | 19 |
| 2.2.2 Βασικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής του 5G..... | 20 |
| 2.3 Τεχνολογίες 5G | 24 |
| 2.3.1. Διπλή συνδεσιμότητα LTE -NR..... | 24 |
| 2.3.2. Εικονικοποιημένη λειτουργία δικτύου (Network Function Virtualization-NFV) | 24 |
| 2.3.3 Δίκτυο καθοριζόμενο από το λογισμικό (SDN)..... | 25 |
| 2.3.4 Κινητή Υπολογιστική στα Άκρα του Δικτύου (Multi-access edge computing) | 26 |
| 2.3.5 Ασύρματα συστήματα πολλαπλών εισόδων-εξόδων | 27 |
| Κεφάλαιο 3- Χρήση 5G..... | 30 |
| 3.1 – Εισαγωγή..... | 30 |
| 3.2 Έξυπνες πόλεις | 30 |
| 3.2.1 Ενέργεια..... | 30 |
| 3.2.1.1 Ευφυές Πλέγμα..... | 31 |
| 3.2.1.2 Διαχείριση Κατανεμημένης Ενέργειας | 31 |
| 3.2.2 Υγειονομική περίθαλψη | 31 |
| 3.2.2.1 Τηλειατρική | 32 |
| 3.2.2.2 Απομακρυσμένη Παρακολούθηση..... | 32 |
| 3.2.3 Βιομηχανία..... | 32 |
| 3.3 Έξυπνες Μεταφορές..... | 34 |
| 3.3.1 Χρήση 5G-V2X | 35 |
| 3.3.1.1 Vehicles Platooning-Διμοιρία Οχημάτων | 37 |
| 3.3.1.2 Remote Driving- Απομακρυσμένη οδήγηση | 37 |
| 3.3.1.3 Extended Sensors- Εκτεταμένοι αισθητήρες | 38 |
| 3.3.1.4 Advanced Driving - Προηγμένη Οδήγηση | 39 |
| 3.4 Ρομποτ Περιπολίας | 40 |

| | |
|---|----|
| 3.5 Εκπαίδευση | 41 |
| 3.6 Gaming | 43 |
| 3.6.1 Θέματα τεχνολογίας 5G για το Gaming Vertical | 43 |
| 3.6.2 Οικοσύστημα βιομηχανίας τυχερών παιχνιδιών | 44 |
| 3.6.3 Αναδυόμενα επιχειρηματικά μοντέλα στο 5G Gaming | 46 |
| Κεφάλαιο 4 Μελλοντική εξέλιξη 5G στην Ελλάδα..... | 48 |
| Συμπεράσματα | 50 |
| Βιβλιογραφία..... | 51 |

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής διατριβής, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Χρήστο Δουληγέρη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, καθώς και για τη συμπαράστασή του και τη συνεχή του υποστήριξή του.

Επίσης θα ήθελα εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για την συμπαράστασή τους, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Συντμήσεις – Αρκτικόλεξα – Ακρωνύμια

| | |
|-------|---|
| 1G | 1th Generation |
| NMT | Nordic Mobile Telephone |
| AMPS | Advanced Mobile Phone System |
| TACS | Total Access Communication System |
| 2G | 2th Generation |
| CDMA | Code-division multiple access |
| TDMA | Time-division multiple access |
| GSM | Global System for Mobile |
| PDC | Professional Darts Corporation |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| 3G | 3th Generation |
| 3GPP | 3rd Generation Partnership Project |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunication System |
| FDD | Frenquency Division Duplex |
| TDD | Time Division Duplex |
| ITU | International Telecommunication Union |
| 4G | 4th Generation |
| IMT | International Advanced Mobile Telecommunications Advanced |
| LTE | Long Term Evolution Advanced |
| 5G | 5th Generation |
| eMBB | enhanced Mobile BroadBand |
| mMTC | Massive Machine Type Communications |
| M2M | machine-to-machine |
| IoT | Internet of Things |
| URLLC | Ultra Reliable and Low Latency |
| WAN | Wide Area Network |
| SDN | Software Defined Networking |
| NFV | Network Function Virtualization |
| RAN | Radio Access Network |

| | |
|--------|--|
| MEC | Multi-Access Edge Computing |
| eCPRI | enhanced Common Public Radio Interface |
| RF | Radio Frequency |
| NR | New Radio |
| VM | Virtual Machine |
| NS | Network Slicing |
| VPN | Virtual Private Network |
| APIs | Application Programming Interface |
| MIMO | Multiple Input Multiple Output |
| RSU | Road Side Unit |
| V2X | Vehicle to Anything |
| AR | Augmented Reality |
| VR | Virtual Reality |
| CSP | Communication Service Provider |
| MORAN | Multi-Operator Radio Access Network |
| MSP | Managed Service Provider |
| MMO | Massively Multiplayer Online |
| SKT | South Korea Telecom |
| EETT | Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων |
| ΕΠΙΣΕΥ | Ερευνητικό Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο Συστημάτων Επικοινωνιών και Υπολογιστών |

Λίστα Εικόνων

| | |
|---|----|
| Εικόνα 1. Γενιές συστημάτων κινητής επικοινωνίας..... | 14 |
| Εικόνα 2. Τεχνικές Απαιτήσεις 5G βάση Προτύπου IMT-2020 | 17 |
| Εικόνα 3. Επίπεδα δικτύου 5G..... | 19 |
| Εικόνα 4. Βελτιωμένες περιπτώσεις χρήσης V2X..... | 36 |

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ασχολείται με την ανάπτυξη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας από την πρώτη μέχρι την πέμπτη γενιά και ειδικότερα με περιπτώσεις χρήσης των δικτύων 5G. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ανάπτυξη του δικτύου από την πρώτη μέχρι την πέμπτη γενιά. Τα δίκτυα 1G αποτελούν την εισαγωγή στα κυψελοειδή συστήματα, με δυνατότητα να μεταδίδουν μόνο φωνητικά σήματα με αναλογικό τρόπο. Η ανάγκη για καλύτερη ποιότητα, χωρητικότητα και κάλυψη συστήματος οδηγεί στα δίκτυα 2G που μπορούν πλέον εκτός από φωνή να μεταδίδουν και δεδομένα με ασφαλείς συνθήκες και υψηλότερους ρυθμούς. Οι αυξημένες απαιτήσεις των χρηστών οδηγούν στην ανάγκη για πιο υψηλές ταχύτητες και στην δημιουργία των δικτύων 3G τα οποία είναι ικανά να μεταδώσουν φωνή, δεδομένα και αρχεία πολυμέσων. Η εξέλιξη αυτή αποτελεί κομβικό σημείο για την ανάπτυξη των δικτύων καθώς η καθημερινότητα πλέον βασίζεται στην περιήγηση στο δίκτυο και τη χρήση διάφορων εφαρμογών. Η ταχύτητα μετάδοσης εξακολουθεί να αυξάνεται και αυτό οδηγεί στην τέταρτη γενιά δικτύων που σαν βασικό στόχο έχει την βελτίωση της ποιότητας παροχής υπηρεσιών και την δημιουργία εφοδίων για τις εφαρμογές που θα ακολουθήσουν. Κλείνοντας το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην εξέλιξη του δικτύου στην πέμπτη γενιά που παρέχει μεγαλύτερη χωρητικότητα, μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης, μικρότερη καθυστέρηση, μαζική συνδεσιμότητα συσκευών και μειωμένο κόστος.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά του δικτύου 5G και η αρχιτεκτονική που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία του. Το κεφάλαιο κλείνει με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο 5G όπως η διπλή συνδεσιμότητα LNE-NR, NFV, SDN, Multi-access edge computing και τα ασύρματα συστήματα πολλαπλών εισόδων-εξόδων.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται διάφορες περιπτώσεις χρήσης του 5G. Η πρώτη περίπτωση χρήσης αφορά τις έξυπνες πόλεις. Μέσω της τεχνολογίας των δικτύων πέμπτης γενιάς θα υπάρχουν σημαντικές μεταβολές στην ενέργεια, την υγειονομική περίθαλψη και την βιομηχανία. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στην ανάπτυξη των μεταφορών. Επιπρόσθετα το 5G δίκτυο φέρνει ριζοσπαστικές αλλαγές και στην ασφάλεια του κοινωνικού συνόλου μέσω των ρομποτ περιπολίας. Έπειτα περιγράφεται πώς το 5G θα επηρεάσει τον τομέα της εκπαίδευσης και τέλος οι αλλαγές που προβλέπεται να υπάρξουν στο χώρο των διαδικτυακών παιχνιδιών.

Τέλος, γίνεται αναφορά στην σημαντικότητα της χρήσης του 5G στην Ελλάδα καθώς και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνα.

Abstract

This master's thesis deals with the development of mobile networks from the first to the fifth generation and in particular with cases of use of 5G networks. The 1G networks were capable of transmitting only voice signals in analog fashion. The need for better quality, capacity and system coverage led to 2G networks which could, in addition to voice, also transmit data with secure conditions and higher rates. The increased demands of users led to the need for higher speeds and the creation of the 3G networks which were capable of transmitting voice, data and multimedia files. This development was a pivotal point for the development of networks as everyday life was now based on browsing the network and using various applications. The transmission speed continue to increase and this led to the fourth generation of networks whose main objective was to improve the quality of service provision and to create resources for the applications that will follow. Closing the chapter mentions the evolution of the network in the fifth generation is presented provides greater capacity, higher transmission rate, lower delay, mass connectivity of devices and reduced cost.

The second chapter present the 5G networks. Reference is made to the basic characteristics of the 5G network and the architecture used for its creation . The chapter closes with the technologies used in the 5G network such as LNE-NR dual connectivity, NFV, SDN, multi-access edge computing and multi-input-output wireless systems.

In the third chapter, various use cases of 5G are analyzed. The first use case concerns smart cities. focusing energy, healthcare and industry issues as well as. Then there is a reference to the development of transport. In addition, the 5G network brings radical changes to the safety of society through patrol robots. Then it is described how 5G will affect the education sector and finally the changes predicted to occur in gaming online.

It is described how, reference is made to the importance of the use of 5G in Greece as well as the conclusions obtained from the research.

Κεφάλαιο 1- Εισαγωγή

Ο όρος τηλεπικοινωνίες αναφέρεται σε κάθε μορφή επικοινωνίας που πραγματοποιείται ανεξαρτήτως απόστασης. Στην σύγχρονη εποχή, αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την αποστολή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ή ηλεκτρικών σημάτων από ηλεκτρονικές συσκευές, όπως το τηλέφωνο ή ο ασύρματος, αλλά παλαιότερα περιλάμβανε και τη χρήση ακουστικών σημάτων, όπως τυμπάνων, ή οπτικών, όπως τα σήματα καπνού ή τη λάμψη της φωτιάς.

Οι ασύρματες επικοινωνίες έγιναν μέρος της καθημερινότητας χάρις στην ανακάλυψη του Ιταλού φυσικού Γουλιέλμο Μαρκόνι. Ο ίδιος κατάφερε να επικοινωνήσει με ραδιοκύματα με την ανακάλυψη του, τον διάσημο τηλεγράφο χρησιμοποιώντας κώδικα Morse. Η ανάγκη χρήσης ασύρματης επικοινωνίας ξεκινάει από την αρχαιότητα, καθώς πολλοί πολιτισμοί οδηγούνταν στη εφεύρεση διάφορων τρόπων όπως για παράδειγμα τα σήματα καπνού, η ανάκλαση του φωτός με κάτοπτρα, χρήση περιστεριών για αποστολή μηνυμάτων. Αυτά θεωρούνται η αρχή της ασύρματης επικοινωνίας. Η δορυφορική επικοινωνία, η τηλεόραση και το ραδιόφωνο συντέλεσαν στον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί η κοινωνία σήμερα. Καθώς η ασύρματη τεχνολογία εξελίσσεται, το ίδιο συμβαίνει και με τους ρυθμούς δεδομένων, την κινητικότητα και τη φασματική απόδοση.

Όσο εξελίσσεται η τεχνολογία τόσο αυξάνεται η ανάγκη για ανάπτυξη της ασύρματης τεχνολογίας, όχι μόνο για επικοινωνία αλλά και για μεταφορά δεδομένων. Λόγω αυξημένης ζήτησης τα κινητά τηλεφωνα εισήλθαν δυναμικά στην καθημερινή ζωή σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα πρώτα αυτοματοποιημένα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας εμφανίστηκαν στις Σκανδιναβικές χώρες στις αρχές της δεκαετίας του 1980. Μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1980 τα κινητά τηλέφωνα ήταν τεράστια για να μπορούν να μεταφέρονται στην τσέπη κι έτσι ήταν τοποθετημένα κυρίως σε αυτοκίνητα. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 ξεκινάει η εκτόξευση των κινητών, με την ψηφιοποίηση δικτύων (GSM - Global System for Mobile) και συσκευών. Έτσι τα κινητά γίνονται μικρότερα, χωρούν στην παλάμη και μπαίνουν στην τσέπη του χρήστη τους. Πραγματοποιήθηκε μετάβαση στα τηλεφωνα της δεύτερης γενιάς (2G), που προσέφεραν πρόσθετες λειτουργίες, όπως την αποστολή μηνυμάτων κειμένου (SMS) και τη λήψη φωτογραφιών. Στις αρχές του 21ου αιώνα κάνουν την εμφάνιση τους τα κινητά τρίτης γενιάς (3G), με τις άπειρες δυνατότητες των πολυμέσων. Στη συνέχεια η κινητή τηλεφωνία και το ίντερνετ συγκλίνουν σε μια πλατφόρμα επικοινωνίας υψηλών ταχυτήτων και πληθώρα υπηρεσιών φέρνουν την τέταρτη γενιά κινητής. Εκτός από αυτούς τους παράγοντες, το αδειοδοτημένο φάσμα διαφέρει επίσης από το μη αδειοδοτημένο φάσμα. Όλες οι εξελισσόμενες γενιές χρησιμοποιούν εύρη με άδεια χρήσης, ενώ τεχνολογίες όπως το Wi-Fi, το Bluetooth και το WiMax χρησιμοποιούν εύρη χωρίς άδεια.

Η νέα γενιά κινητής ασύρματης επικοινωνίας που αναφέρεται ως 5G, θα είναι πιο έξυπνη, ευέλικτη με σκοπό την σύνδεση πολλαπλών ετερογενών συστημάτων διαφορετικών απαιτήσεων. Η τεχνολογία 5G θα προωθήσει την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών όπως η νανοτεχνολογία, το Cloud Computing-CT και θα πραγματοποιήσει τη διασύνδεση όλων των συσκευών δημιουργώντας σε παγκόσμιο επίπεδο δικτύου ετερογενής συσκευές.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν τα γεγονότα χάρις στα οποία έφτασαν τα τρέχοντα τεχνολογικά επίπεδα, κάνοντας μια ιστορική αναδρομή για κάθε γενιά μαζί με τεχνικές πληροφορίες για το πώς δημιουργήθηκαν τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς.

1.1 Δίκτυα Πρώτης Γενιάς (1G)

Η πρώτη γενιά προσέφερε στον άνθρωπο τη δυνατότητα συνεχούς επικοινωνίας κατά τη διάρκεια συνομιλιών, όπου οι συνδέσεις δεν διακόπτονταν κατά την μετακίνηση από την μια περιοχή στην άλλη. Η αρχή για την ανάπτυξη της έγινε από την Ιαπωνία το 1979. Αργότερα ακολούθησαν και οι Σκανδιναβικές χώρες με το δικό τους δίκτυο 1G το NMT (Nordic Mobile Telephone). Επειδή η κάθε χώρα εφηύρε δικά της πρότυπα χρειάστηκε η ενοποίηση τους για να αποφευχθεί η χρήση κινητής επικοινωνίας σε συγκεκριμένες περιοχές. Για παράδειγμα, στην Βόρεια Αμερική και την Αυστραλία δημιουργήθηκε το πρότυπο (AMPS) Advanced Mobile Phone System και στο Ηνωμένο Βασίλειο το (TACS) Total Access Communication System. Το σήμα που χρησιμοποιείται στη πρώτη γενιά σε αντίθεση με τις επόμενες γενιές είναι αναλογικό κυψελωτό δίκτυο για μετάδοση φωνής. Τα συστήματα πρώτης γενιάς δεν ήταν σε θέση να προσφέρουν διαλειτουργικότητα μεταξύ των κρατών κι αυτό είναι ένα από τα μέγιστα μειονεκτήματά τους, όμως υποστήριζαν περιαγωγή και μεταπομπή. Λειτουργούσαν με δύο κανάλια μετάδοσης, το πρόσθιο κανάλι όπου με συχνότητα 869-894MHz και το αντίστροφο κανάλι με συχνότητα 824-849MHz.

1.2 Δίκτυα Δεύτερης Γενιάς (2G)

Το δίκτυο 2^{ης} γενιάς έχει ευρύτερη χωρητικότητα, ανώτερη ποιότητα φωνής και διαθέτει μηνύματα (SMS). Επιπλέον, δίνει ασφάλεια, επειδή στην ψηφιοποιημένη πληροφορία υπάρχει η δυνατότητα να κρυπτογραφηθεί. Ένα κανάλι συχνοτήτων χρησιμοποιείται από πολλούς και διαφορετικούς χρήστες, όπως με διαίρεση κώδικα (CDMA) ή με διαίρεση χρόνου (TDMA). Τα πρότυπα τα οποία αναπτύχθηκαν για τη 2^η γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας είναι τα παρακάτω:

- **GSM:** Το GSM έκανε την εμφάνιση του ως Ευρωπαϊκό πρότυπο από την Ευρωπαϊκή επιτροπή CEPT, αλλά γρήγορα υιοθετήθηκε παγκοσμίως. Το GSM έχει εύρος ζώνης 25MHz, ζώνη συχνοτήτων των 900MHz και λόγω έλλειψης χωρητικότητας χρησιμοποιεί τη ζώνη των 1800MHz και 1900MHz αντίστοιχα.
- **IS - 136:** Το IS-136 είναι το Αμερικάνικο σύστημα 2^{ης} γενιάς. Χρησιμοποιεί εύρος ζώνης 60MHz. Για την μετάδοση από τα κινητά προς το σταθμό βάσης χρησιμοποιούνται συχνότητες μεταξύ 1930 - 1990MHz ενώ στην αντίστροφη περίπτωση χρησιμοποιούνται συχνότητες μεταξύ των 1850 – 1910MHz.
- **IS - 95:** Το IS-95 έκανε την εμφάνισή του το 1993 και χρησιμοποιήθηκε στις ΗΠΑ. Χρησιμοποιεί πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα (**CDMA**) ενώ το IS-136 χρησιμοποιεί τη διαίρεση χρόνου (**TDMA**). Για τη μετάδοση από το κινητό προς το σταθμό βάσης χρησιμοποιεί συχνότητες μεταξύ των 869 – 894 MHz ενώ στην αντίστροφη περίπτωση χρησιμοποιούνται συχνότητες μεταξύ των 824-849 MHz.
- **PDC:** Το PDC ξεκίνησε το 1990 στην Ιαπωνία. Η λειτουργία του είναι παρεμφερής με εκείνη του IS-136.

Μεταγενέστερα προς την πρόοδο στο 3G εφευρέθηκε το 2,5G το οποίο παρέχει τη δρομολόγηση μεμονωμένων πακέτων δεδομένων από τον πομπό προς τον δέκτη, δίνοντας την δυνατότητα σε ένα κύκλωμα να χρησιμοποιείται από ποικίλους χρήστες κι έτσι να έχει καλύτερη χρήση. Χρησιμοποιεί GPRS (General Packet Radio Service) και είναι μια κυψελοειδής ασύρματη τεχνολογία για τα GSM δίκτυα. Διαθέτει ταχύτητες δεδομένων από 56 kbit/s έως 115 kbit/s και συμβάλει στην εξέλιξη της 3ης γενιάς. Το 2003 αναπτύσσεται και το 2,75G (EDGE) Enhanced Data για το GSM Evolution. Το EDGE πλήθυνε και εκσυγχρόνισε το περιεχόμενο των δικτύων γιατί έδωσε την δυνατότητα για σαφή και άμεση μετάδοση δεδομένων και πληροφοριών μέχρι την ταχύτητα των 384kbit/s. Τα ψηφιακά κυψελωτά κανάλια 2ης γενιάς υφίστανται μέχρι σήμερα.

1.3 Δίκτυα Τρίτης Γενιάς (3G)

Η προτυποποίηση της τεχνολογίας της τρίτης γενιάς ξεκίνησε το 1980 από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union-ITU). Τέθηκε σε λειτουργία για το 2001 στην Ιαπωνία καθώς η γενιά 2G δε μπορούσε πλέον να καλύψει τις ανάγκες του πληθυσμού. Όσο πιο πολύ έμπαινε στη ζωή του ανθρώπου το ίντερνετ τόσο υψηλότερες ταχύτητες ζητούνταν για καλύτερη χρήση. Το 3G έδωσε πρόσβαση στην ασύρματη φωνητική τηλεφωνία, στο κινητό ίντερνετ, τις βιντεοκλήσεις και την κινητή τηλεόραση. Ο κύριος λόγος που εφαρμόστηκε αυτή η γενιά ήταν η ανάπτυξη της τεχνολογίας στις συσκευές κινητής τηλεφωνίας. Στα μέσα του 2000 εμφανίστηκαν τα smartphones που οδήγησαν στη υψηλή ζήτηση για πρόσβαση στο διαδίκτυο. Τα πρότυπα 3G κατηγοριοποιούνται ως εξής:

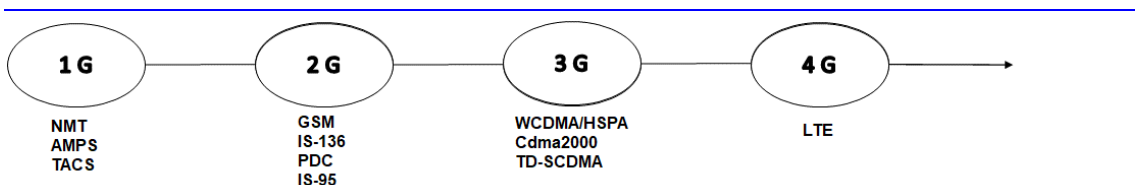
- **3GPP:** Στην Ευρώπη, το 3GPP πρότυπο περιλαμβάνει το Διεθνές Σύστημα Κινητής Επικοινωνίας (UMTS – Universal Mobile Telecommunication System). Το UMTS ουσιαστικά είναι εξέλιξη των δικτύων GSM. Αναπτύχθηκε για την εισαγωγή του 3G στην Ευρώπη και επειδή προσφέρει υψηλές ταχύτητες το UMTS δίνει πρόσβαση σε υπηρεσίες του Παγκόσμιου Ιστού. Ένα αρνητικό στοιχείο του UMTS είναι η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με τα δίκτυα GSM.
- **3GPP2:** Το CDMA2000 εξελίσσεται από το 3GPP2 πρότυπο. Το CDMA2000 κάνει χρήση δύο μεθόδων:
 - **FDD:** Σε αυτή την μέθοδο ο Πομπός και ο Δέκτης εκπέμπουν σε άλλη συχνότητα.
 - **TDD:** Στη μέθοδο αυτή οι ίδιες συχνότητες χρησιμοποιούνται τόσο για τη μετάδοση όσο και για τη λήψη σε άλλους χρόνους.

1.4 Δίκτυα Τέταρτης Γενιάς (4G)

Η μεγάλη ζήτηση από τους χρήστες για εφαρμογές και υπηρεσίες απαιτούσε μεγάλο όγκο μετάδοσης δεδομένων και υψηλές ταχύτητες. Σαν αποτέλεσμα της ανάπτυξης των τεχνολογιών ήταν η αύξηση των ταχυτήτων των δικτύων 3^{ης} γενιάς έως και 10 φορές. Το 2008 ο Διεθνής Τηλεπικοινωνιακός Σύνδεσμος (ITU-R) καθόρισε ένα σύνολο απαιτήσεων για τα δίκτυα τέταρτης γενιάς, με την ονομασία International Advanced Mobile Telecommunications Advanced (IMT). Με αυτό τον τρόπο καθορίστηκαν οι απαιτήσεις για υπηρεσίες 4G στα 100 megabits ανά δευτερόλεπτο (Mbit/s) για επικοινωνία υψηλής κινητικότητας (πχ. τρένα και αυτοκίνητα) και 1 gigabit ανά δευτερόλεπτο (Gbit/s) για επικοινωνία χαμηλής κινητικότητας (πεζοί).

Το πρότυπο LTE (Long term Evolution Advanced) εξαπλώθηκε εμπορικά στο Όσλο και τη Στοκχόλμη το 2009. Παρέχει δυνατότητες που ορίζονται από την ITU στο IMT Advanced. Οι τρέχουσες εφαρμογές περιλαμβάνουν την τροποποιημένη πρόσβαση στον κινητό ιστό, τα IP, τις υπηρεσίες κινητών παιχνιδιών, την κινητή τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας, την τηλεδιάσκεψη και την τρισδιάστατη τηλεόραση. Το LTE-A είναι ταχύτερο και σταθερότερο από το απλό LTE. Αντί να συνδέεται στο κανάλι με δυνατότερο σήμα, συνδυάζει πολλαπλά κανάλια ταυτόχρονα για να δώσει μεγαλύτερες ταχύτητες.

Το 4G έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει δεδομένα όπως ήχο, βίντεο και εικόνες κατά τη διάρκεια της φωνητικής κλήσης. Το 4G πέτυχε τη λειτουργικότητα του δικτύου και οδήγησε στην χρήση εργαλείων από τη συσκευή του χρήστη καθώς και υπηρεσιών επικοινωνίας πολυμέσων. Μερικά από τα χαρακτηριστικά της τέταρτης γενιάς είναι ότι είναι φιλικά προς τον χρήστη για ευκολία στην καθημερινότητα του, οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης δημιουργούν μια αποθήκη δεδομένων με βάση την ανάγκη του κάθε χρήστη, δίνει τη δυνατότητα της λειτουργικότητας πολλών συσκευών σε διάφορα δίκτυα κατά την περιήγηση, και τέλος, οι υψηλές αποδόσεις και τα 4G δίκτυα βασίζονται σε αρχιτεκτονική τέτοια ώστε όλες οι συσκευές να λειτουργούν σε όλα τα δίκτυα.



Εικόνα 1. Γενιές συστημάτων κινητής επικοινωνίας

1.5 Δίκτυα 5ης Γενιάς (5G)

Λόγω της μεγάλης χρήσης του διαδικτύου τα δίκτυα τέταρτης γενιάς φτάνουν στα όρια τους κάνοντας αναγκαία την ανάπτυξη των δικτύων πέμπτης γενιάς που θα φέρουν την ανάπτυξη σε πολλούς τομείς της ζωής και της βιομηχανίας. Η μετάβαση στην Πέμπτη Γενιά προσφέρει μεγαλύτερη χωρητικότητα, μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης, μικρότερη καθυστέρηση και μαζική συνδεσιμότητα συσκευών και φυσικά μειωμένο κόστος και συνέπεια.

Το 5G είναι μια πλήρης ασύρματη επικοινωνία χωρίς περιορισμό. Κάθε νέα έκδοση θα ενισχύσει περαιτέρω την απόδοση του συστήματος και θα προσθέσει νέες δυνατότητες με νέους τομείς εφαρμογών. Μερικές από τις πρόσθετες εφαρμογές που επωφελοούνται από τη συνδεσιμότητα μέσω κινητού τηλεφώνου, είναι ο αυτοματισμός στο σπίτι, οι έξυπνες μεταφορές, η ασφάλεια και τα ηλεκτρονικά βιβλία. Το IEEE 802. 16 είναι μια σειρά από ασύρματα ευρυζωνικά πρότυπα που έχουν εγκριθεί από το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE).

Το 5G θα αλλάξει τα μέσα για τη χρήση των κινητών τηλεφώνων σε πολύ υψηλό εύρος ζώνης. Οι τεχνολογίες 5G περιλαμβάνουν όλους τους τύπους προηγμένων λειτουργιών που κάνουν τη 5G κινητή τεχνολογία πιο ισχυρή και σε τεράστια ζήτηση στο άμεσο μέλλον. Οι χρήστες μπορούν επίσης να συνδέσουν τα κινητά τηλέφωνα τεχνολογίας 5G με το φορητό υπολογιστή τους για να έχουν ευρυζωνική πρόσβαση στο διαδίκτυο. Η τεχνολογία 5G στα κινητά τηλέφωνα αποτελείται από κάμερα, εγγραφή MP3, βίντεο player, μεγάλη μνήμη τηλεφώνου, ταχύτητα κλήσης, συσκευή αναπαραγωγής ήχου και πολλά άλλα που κανείς δεν μπορεί ποτέ να φανταστεί. Στη πέμπτη γενιά η Αρχιτεκτονική Δικτύων εμπεριέχεται από ένα τερματικό χρήστη το οποίο έχει καθοριστικό ρόλο και μια σειρά από ανεξάρτητες, αυτόνομες τεχνολογίες ασύρματης πρόσβασης (RAT). Το 5G κινητό σύστημα είναι all-IP με βάση το μοντέλο για τη διαλειτουργικότητα ασύρματων και κινητών δικτύων. Σε κάθε τερματικό σταθμό, κάθε ραδιόφωνο οι τεχνολογίες πρόσβασης θεωρούνται ως το IP link με τον έξω κόσμο του Διαδικτύου. Η ταχύτητα λειτουργίας αυτής της γενιάς είναι μεγαλύτερη από 1Gbps.

Κεφάλαιο 2 - Το Δίκτυο 5G

2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά Δικτύων 5ης Γενιάς

Ως αποτέλεσμα των μαζικών τεχνολογικών επαναστάσεων, οι τελικοί χρήστες έχουν αυξηθεί δραστικά. Για να ανταποκριθεί σε τέτοιες δραστικές απαιτήσεις, η ITU έχει ταξινομήσει τις μελλοντικές υπηρεσίες 5G σε τρεις κύριες κατηγορίες που αποτελούνται από εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης, βελτιωμένη κινητή ευρυζωνική σύνδεση και υπηρεσίες μαζικής επικοινωνίας τύπων μηχανών. Η υπάρχουσα αρχιτεκτονική δικτύου κινητής τηλεφωνίας σχεδιάστηκε για να ικανοποιεί τις απαιτήσεις για υπηρεσίες φωνητικής και συμβατικής ευρυζωνικής κινητής τηλεφωνίας (MBB). Επιπλέον, οι προηγούμενες κυψελοειδής γενιές σχεδιάστηκαν κυρίως για να ικανοποιούν μόνο τις ανθρώπινες επικοινωνιακές απαιτήσεις, όπως φωνή και δεδομένα. Ωστόσο, τα δίκτυα 5G αναμένεται να διευκολύνουν τη βιομηχανική επικοινωνία, προκειμένου να αναπτυχθεί η ψηφιοποίηση της βιομηχανίας. Έτσι, επιτρέπονται καινοτόμες υπηρεσίες και δυνατότητες δικτύωσης για νέους φορείς της βιομηχανίας.

Συνεπώς, η βασική ιδέα για την ανάπτυξη του δικτύου 5G δεν ήταν απλά μια βελτίωση του προηγούμενου 4g αλλά μία διαφορετική φιλοσοφία, που φιλοδοξεί στην επίλυση τριών βασικών προβλημάτων. Αρχικά, όσον αφορά τις ευρυζωνικές κινητές επικοινωνίες η βελτίωση τους που όπως αναφέρθηκε ονομάζεται enhanced mobile broadband (eMBB) στοχεύει στην εξυπηρέτηση πιο πυκνοκατοικημένων μητροπολιτικών κέντρων με ταχύτητες κατερχόμενη ζεύξης που πλησιάζουν το 1 Gbps επιτυγχάνοντας παράλληλα βελτίωση στη χωρητικότητα καναλιού. Δεύτερον, η υπηρεσία Massive Machine Type Communications (mMTC) ενεργοποιεί τεχνολογίες machine-to-machine (M2M) και ικανοποιεί το μεγάλο πλήθος εφαρμογών Internet of Things (IoT) με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργούν ανεξάρτητα χωρίς επιβαρύνσεις στις άλλες κατηγορίες υπηρεσιών. Τρίτον το λεγόμενο Ultra-Reliable and Low Latency Communications (URLLC) αντιμετωπίζει τις κρίσιμες ανάγκες επικοινωνιών όπου το εύρος ζώνης δεν είναι τόσο σημαντικό όσο η ταχύτητα και συγκεκριμένα η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο η οποία στο 5G αγγίζει τιμές 1 ms ή λιγότερο και υλοποιεί μία αξιόπιστη επικοινωνία κυρίως σε ευαίσθητες ως προς την καθυστέρηση εφαρμογές.

Για τους λόγους αυτούς η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών ITU-R όρισε το Πρότυπο IMT-2020 με σκοπό την καθιέρωση των απαιτήσεων των Διεθνών Κινητών Τηλεπικοινωνιών για το 2020 και μετέπειτα. Σύμφωνα με το Πρότυπο IMT-2020 οι τεχνικές απαιτήσεις που ορίζονται γύρω από τα Δίκτυα 5G απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα.

| Metric | 5G target | Usage scenario |
|--|---|----------------------|
| Peak data rate | DL: 20 Gbps; UL: 10 Gbps | eMBB |
| Five percentile user experienced data rate | DL: 100 Mbps; UL: 50 Mbps | eMBB: dense urban |
| Peak spectral efficiency | DL: 30 bps/Hz; UL: 15 bps/Hz | eMBB |
| Five percentile user spectral efficiency | DL: 0.3 bps/Hz; UL: 0.21 bps/Hz | eMBB: indoor hotspot |
| | DL: 0.225 bps/Hz; UL: 0.15 bps/Hz | eMBB: dense urban |
| | DL: 0.12 bps/Hz; UL: 0.045 bps/Hz | eMBB: rural |
| Average spectral efficiency per transmission reception point | DL: 9 bps/Hz; UL: 6.75 bps/Hz | eMBB: indoor hotspot |
| | DL: 7.8 bps/Hz; UL: 5.4 bps/Hz | eMBB: dense urban |
| | DL: 3.3 bps/Hz; UL: 1.6 bps/Hz | eMBB: rural |
| Area traffic capacity | DL: 10 Mbps/m ² | eMBB: indoor hotspot |
| User plane latency | 4 ms | eMBB |
| | 1 ms | URLLC |
| Control plane latency | 20 ms | eMBB/URLLC |
| Connection density | 1,000,000 devices per km ² | mMTC |
| Success probability | 99.999% | URLLC: urban macro |
| Normalized channel link data rate | UL: 1.5 bps/Hz for mobility speed up to 10 km/h | eMBB: indoor hotspot |
| | UL: 1.12 bps/Hz for mobility speed up to 30 km/h | eMBB: dense urban |
| | UL: 0.8 bps/Hz for mobility speed up to 120 km/h | eMBB: rural |
| | UL: 0.45 bps/Hz for mobility speed up to 500 km/h | eMBB: rural |
| Mobility interruption time | 0 ms | eMBB/URLLC |

Εικόνα 2. Τεχνικές Απαιτήσεις 5G βάση Προτύπου IMT-2020

Τα βασικότερα μετρικά στοιχεία που αναφέρονται είναι:

1. Peak data rate

Αφορά το μέγιστο αριθμό μετάδοσης που μπορεί να επιτευχθεί σε ιδανικές συνθήκες, χωρίς να ληφθούν υπόψιν παράγοντες όπως απώλεια μετάδοσης ελεύθερου χώρου. Το όριο για το downlink θα πρέπει να είναι 20Gbps ενώ για το uplink 10Gbps.

2. User experiences data rate

Αποτελεί τον ρυθμό μετάδοσης που μπορεί να επιτευχθεί σε μια περιοχή κάλυψης που αποτελείται από πολλούς χρήστες. Το όριο για το downlink θα πρέπει να είναι 100Mbps ενώ για το uplink 50Mbps.

3. Spectrum efficiency

Είναι ο μέσος ρυθμός throughput ανά Hz φάσματος ανά κυψέλη (cell). Ο στόχος που τέθηκε είναι 3 φορές υψηλότερος συγκριτικά με το IMT-Advanced πρότυπο.

4. Area traffic capacity

Ορίζεται ως η ταχύτητα ανά γεωγραφική περιοχή, υπολογιζόμενη ως Mbps ανά τετραγωνικό μέτρο.

5. Network energy efficiency

Αφορά την κατανάλωση ενέργειας του RAN και θέτει έναν σημαντικό παράγοντα που πρέπει να ληφθεί υπόψιν. Ο στόχος προδιαγράφει να είναι χαμηλότερη σε σχέση με τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα, ενώ ταυτόχρονα να υποστηρίζει χαμηλή κατανάλωση σε χρονικά διαστήματα μη μετάδοσης πληροφορίας (sleep mode – ο σταθμός βάσης δεν στέλνει δεδομένα).

6. Latency

Αφορά το χρονικό διάστημα μεταξύ της εκπομπής του 1ου bit ενός packet από τον πομπό έως της λήψης του τελευταίου bit του ίδιου πακέτου στον δέκτη. Υπολογίζεται ως 4ms για σεναρία eMBB και 1ms για URLLC.

7. Mobility

Αποτελεί την μέγιστη ταχύτητα του mobile station κατά την οποία ένα ορισμένο QoS μπορεί να επιτευχθεί.

8. Connection density

Συνολικός αριθμός συνδεδεμένων συσκευών ανά km² . Ιδανικά 1 εκατομμύριο συσκευές ανά 1 km² .

Με βάση τον παραπάνω πίνακα φανερώνεται μέσω της έρευνας και της μελέτης γύρω από τα δίκτυα της πέμπτης γενιάς ότι μπορεί να υποστηρίξει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, χαμηλότερη καθυστέρηση, υψηλότερη χωρητικότητα και πιο αποδοτική χρήση φάσματος. Αυτές οι δυνατότητες δίνουν στη τεχνολογία 5^{ης} γενιάς ποικιλία στις περιπτώσεις χρήσης και στις εφαρμογές. Οι περιπτώσεις αυτές ταξινομούνται με βάση τρεις ακόλουθες βασικές κατηγορίες:

- **Enhanced mobile broadband (eMBB)** εδώ ανήκουν όλες οι υπηρεσίες που υποστηρίζονται στα υπάρχοντα δίκτυα 2G έως 4G, αλλά με καλύτερη επίδοση και ανεξάντλητη εμπειρία για τους χρήστες ως προς την κάλυψη και τη κινητικότητα. Παραδείγματα υπηρεσιών αυτής της κατηγορίας είναι η εικονική πραγματικότητα, τα βίντεο 3D , η ζωντανή μετάδοση 4K.
- **Ultra-reliable and low-latency communications (URLLC)** σε αυτή την κατηγορία οι υπηρεσίες έχουν αυστηρές απαιτήσεις ως προς την καθυστέρηση, την αξιοπιστία και την διαθεσιμότητα. Ενδεικτικά παραδείγματα υπηρεσιών είναι ευφυή συστήματα μεταφορών, συνδεδεμένα οχήματα, ασύρματος έλεγχος βιομηχανικών εγκαταστάσεων, κ.λπ.

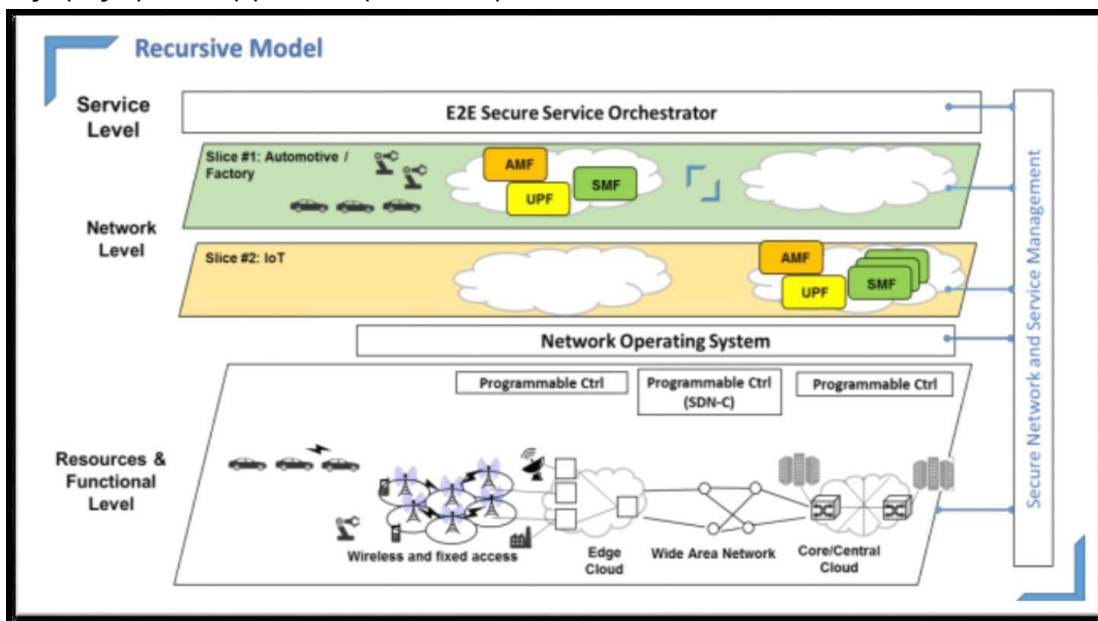
- **Massive machine type communications (mMTC)** όπου κυρίως ανήκουν οι IoT υπηρεσίες, που χαρακτηρίζονται από μεγάλο αριθμό σησκέυον συνδεδεμένων μεταξύ τους. Αυτή η κατηγορία δεν απαιτεί υψηλούς αριθμούς μετάδοσης ούτε αυστηρές προδιαγραφές καθυστέρησης.

2.2 Αρχιτεκτονική 5G Δικτύου

2.2.1 Η αρχιτεκτονική του δικτύου πέμπτης γενιάς

Το 5G είναι η νέα τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης. Η αρχιτεκτονική του θα είναι βασικός πυρήνας σε άλλα συστήματα πολλαπλής πρόσβασης και σε διάφορες υπηρεσίες. Τα νέα συστήματα θα βασιστούν στις τεχνολογίες NFV και SDN τα δώσουν την δυνατότητα για την αφαίρεση πολλών απαραίτητων στοιχείων που υπήρχαν στα δίκτυα μέχρι σήμερα.

Το 5G λόγω της ταχύτητας της εξάπλωσης των διασυνδεδεμένων συσκευών διευρύνει τους ορίζοντες προς νέες υπηρεσίες και επιχειρηματικά μοντέλα, ενώ παράλληλα παρέχει αυτοματισμό σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας και αγορές (ενέργεια, υγεία (e-health), έξυπνες πόλεις, διασυνδεδεμένα αυτοκίνητα, βιομηχανική παραγωγή). Επιπλέον θα υποστηρίζει πέρα από αναπαραγωγή βίντεο σε 4k ανάλυση, τις τηλεπικοινωνιακές ανάγκες για τις machine-to-machine και machine-to-human εφαρμογές για να γίνει πιο άνετη και ασφαλής η καθημερινότητα. Η ύπαρξη συσκευών που επικοινωνούν αυτόματα δημιουργεί ένα δίκτυο με διαφορετικά χαρακτηριστικά σε σχέση με το σημερινό που είναι κυρίως human-to-human. Το να συνυπάρξουν ανθρωποκεντρικές και machine-type εφαρμογές δημιουργεί πολλές απαιτήσεις ως προς την λειτουργία και την απόδοση του 5G.



Εικόνα 3. Επίπεδα δικτύου 5G

Το δίκτυο πέμπτης γενιάς χωρίζεται σε τρία επίπεδα όπως απεικονίζεται και στην παραπάνω εικόνα.

1. Το πρώτο επίπεδο περιέχει φυσικούς πόρους που χρησιμεύουν για την επικοινωνία, την ανάπτυξη υλικού και λογισμικού του αποθηκευτικού χώρου των Core Network κτλ. Αναλυτικότερα:
 - Wireless and fixedAccess – FWA :

Αυτή η τεχνολογία παρέχει πρόσβαση στο Internet, χρησιμοποιεί ασύρματο και σταθερό δίκτυο. Ενώ η τεχνολογία FWA είναι πιο απλή και γρήγορη και μειονεκτεί σε απόδοση

στο ασύρματο δίκτυο. Αυτό όμως αντιμετωπίζεται με τη χρήση τεχνολογίας beamforming και των mmWaves.

- Edge Cloud :

Με αυτή τη τεχνολογία ένα μεγάλο μέρος των εργασιών επεξεργασίας μετατοπίζεται στη πλευρά πελάτη. Αυτό δημιουργεί πολλές ευκαιρίες σε επιχειρήσεις ειδικότερα στη παροχή υπηρεσιών χαμηλής καθυστέρησης απόκρισης καθ' όλη τη διάρκεια χρήσης εφαρμογών.

- Wide Area Network (WAN) :

Αποτελείται από το σύνολο υπολογιστών όπου δημιουργούν μεταξύ τους ένα δίκτυο επικοινωνίας. Τυπικά ένα WAN διασύνδεει τοπικά δίκτυα υπολογιστών, για τη διασύνδεση αυτή χρησιμοποιούνται σχεδόν πάντα μισθωμένες δημοσιές τηλεπικοινωνιακές γραμμές ή και δορυφορικές επικοινωνίες.

- Core Cloud :

Είναι η διαθεσιμότητα πόρων συστήματος υπολογιστών, ιδιαίτερα η αποθήκευση δεδομένων και η υπολογιστική ισχύς, χωρίς όμως άμεση ενεργή διαχείριση από τον χρήστη.

2. Το δεύτερο επίπεδο αφορά λειτουργικό σύστημα δικτύου και επίπεδο δικτύου (Network Operating System & Network level). Το Λειτουργικό σύστημα δικτύου μαζί με τις Προγραμματιζόμενες Μονάδες Ελέγχου Δικτύου (Programmable Network Control Units) συμβάλουν στην εικονιοποίηση του Φυσικού Δικτύου (virtualization of physical network). Με την εικονικοποίηση του Δικτύου δημιουργούνται τα διάφορα network slices που το καθένα εκτελεί μία συγκεκριμένη λειτουργία και εξυπηρετεί κάποιον σκοπό. Το network level φιλοξενεί όλα αυτά τα slices που το καθένα χρησιμοποιεί διαφορετικούς πόρους (υπολογιστικούς, δικτυακούς κτλ.) για να παρέχει υπηρεσίες στους πελάτες.
3. Το τρίτο επίπεδο (Service Level) είναι ένα από τα πιο σημαντικά επίπεδα στην αρχιτεκτονική του 5G. Μια από τις πιο σημαντικές δυνατότητες που μας παρέχει είναι η υποστήριξη μεγάλου ποσοστού υπηρεσιών ταυτόχρονα με δυναμικό τρόπο και είναι αυτό το στοιχείο που διαφοροποιεί το δίκτυο 5^{ης} γενιάς από τα προηγούμενα ασύρματα δίκτυα. Τα slices στο επίπεδο αυτό είναι οργανωμένα και ακολουθούν έναν προκαθορισμένο μοτίβο συντονισμού μέσω της λειτουργίας διαχείρισης υπηρεσιών (service management function).

2.2.2 Βασικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής του 5G

Η γεφύρωση του χάσματος μεταξύ 4G και 5G θα απαιτήσει πρόσθετα βήματα και ένα καλά οργανωμένο σχέδιο παιχνιδιού. Έμβλημα αυτής της αλλαγής θα είναι η σταδιακή μετάβαση από τη μη αυτόνομη λειτουργία σε αυτόνομες επιλογές αρχιτεκτονικής 5G. Το μη αυτόνομο πρότυπο 5G οριστικοποιήθηκε στα τέλη του 2017 και χρησιμοποιεί τα υπάρχοντα LTE RAN και τα βασικά δίκτυα ως άγκυρα, με την προσθήκη ενός φορέα 5G. Παρά την εξάρτηση από την υπάρχουσα αρχιτεκτονική, η μη αυτόνομη λειτουργία θα αυξήσει το εύρος ζώνης αγγίζοντας συχνότητες κυμάτων χιλιοστών.

Η αυτόνομη λειτουργία 5G είναι ουσιαστικά η ανάπτυξη 5G από την αρχή με τη νέα βασική αρχιτεκτονική και την πλήρη ανάπτυξη όλου του υλικού 5G, των χαρακτηριστικών και της λειτουργικότητας. Καθώς η μη αυτόνομη λειτουργία δίνει σταδιακά τη θέση της σε νέες αρχιτεκτονικές δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G, ο προσεκτικός σχεδιασμός και η εφαρμογή θα κάνουν αυτή τη μετάβαση απρόσκοπτη για τη βάση των χρηστών.

Η αρχιτεκτονική του 5G αξιοποιεί όλες τις δυνατότητες των τεχνολογιών SDN και NFV. Η αρχιτεκτονική αυτή παρέχει ένα σύνολο από διεπαφές προγραμματιζόμενων εφαρμογών (Application programming interfaces-APIs) ικανών να υποστηρίξουν το σύνολο των διαφορετικών λειτουργιών που αναμένεται να έχει η τεχνολογία 5G. Τα 5G συνεπάγονται την διασύνδεση όλων των οντοτήτων που βρίσκονται στον ψηφιακό κόσμο, ο οποίος περιλαμβάνει τις επικοινωνίες άνθρωπο με άνθρωπο, άνθρωπο με μηχανή και μηχανή με μηχανή.

Το μοντέλο του συστήματος που προτείνεται για το σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής δικτύου για τα 5G συστήματα είναι βασισμένα στο πρωτόκολλο του διαδικτύου (Internet Protocol-IP). Το σύστημα αποτελείται από το τερματικό του χρήστη και από έναν αριθμό ανεξάρτητων και αυτόνομων τεχνολογιών ασύρματης πρόσβασης (Radio Access Technology/RATs), όπου με τη σειρά τους μπορούν να είναι συνδεδεμένες με διάφορους δρομολογητές στο ευρύτερο δίκτυο. Σε κάθε ένα από αυτά τα τερματικά, κάθε μια από τις ασύρματες τεχνολογίες φαίνεται σαν μια IP στο εξωτερικό δίκτυο (Internet).

Για την αρχιτεκτονική του δικτύου 5G βασικό στοιχείο αποτελεί το πρόγραμμα σύμπραξης 3ης Γενιάς (3GPP) που καλύπτει τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών, συμπεριλαμβανομένου του RAN, των βασικών δικτύων μεταφορών και των δυνατοτήτων υπηρεσιών. Το 3GPP παρείχε πλήρεις προδιαγραφές συστήματος για την αρχιτεκτονική του δικτύου 5G, η οποία είναι πολύ πιο προσανατολισμένη στις υπηρεσίες από τις προηγούμενες γενιές. Οι υπηρεσίες παρέχονται μέσω ενός κοινού πλαισίου σε λειτουργίες δικτύου που επιτρέπεται να κάνουν χρήση αυτών των υπηρεσιών. Η επαναχρησιμοποίηση και η αυτοσυγκράτηση των λειτουργιών του δικτύου είναι πρόσθετα ζητήματα σχεδιασμού για μια αρχιτεκτονική δικτύου 5G που περιγράφεται από τις προδιαγραφές 3GPP.

Αναλυτικότερα η αρχιτεκτονική του 5G

1. Φάσμα και συχνότητα 5G

Το τμήμα του ραδιοφάσματος με συχνότητες μεταξύ 30 GHz και 300 GHz είναι γνωστό ως κύμα χιλιοστών, αφού τα μήκη κύματος κυμαίνονται από 1-10 mm. Οι συχνότητες μεταξύ 24 GHz και 100 GHz κατανέμονται τώρα σε 5G σε πολλές περιοχές παγκοσμίως.

Εκτός από το κύμα χιλιοστών, οι ανεκμετάλλευτες συχνότητες UHF μεταξύ 300 MHz και 3 GHz επαναπροσδιορίζονται επίσης για το 5G. Η ποικιλία των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται μπορεί να προσαρμοστεί στις μοναδικές εφαρμογές δεδομένου ότι οι υψηλότερες συχνότητες χαρακτηρίζονται από υψηλότερο εύρος ζώνης. Οι συχνότητες κυμάτων χιλιοστών είναι ιδανικές για πυκνοκατοικημένες περιοχές, αλλά αναποτελεσματικές για επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις. Μέσα σε αυτές τις ζώνες υψηλής και χαμηλής συχνότητας αφιερωμένες στο 5G, κάθε φορέας έχει αρχίσει να χαράζει τα δικά του ξεχωριστά τμήματα του φάσματος 5G.

Το MEC Multi-Access Edge Computing είναι ένα σημαντικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής 5G. Το MEC είναι μια εξέλιξη στο cloud computing που φέρνει τις εφαρμογές από τα κεντρικά κέντρα δεδομένων στο άκρο του δικτύου και επομένως πιο κοντά στους τελικούς χρήστες και τις συσκευές τους. Αυτό ουσιαστικά δημιουργεί μια συντόμευση στην παράδοση περιεχομένου μεταξύ του χρήστη και του κεντρικού υπολογιστή και τη μεγάλη διαδρομή δικτύου που κάποτε τους χώριζε.

Αυτή η τεχνολογία δεν είναι αποκλειστική για το 5G αλλά είναι σίγουρα αναπόσπαστο μέρος της απόδοσής του. Τα χαρακτηριστικά του MEC περιλαμβάνουν τη χαμηλή καθυστέρηση, το υψηλό εύρος ζώνης και την πρόσβαση σε πληροφορίες RAN σε πραγματικό χρόνο που διακρίνουν την αρχιτεκτονική 5G από τους προκατόχους της. Αυτή η σύγκλιση του RAN και των βασικών δικτύων θα απαιτήσει από τους φορείς εκμετάλλευσης να αξιοποιήσουν νέες προσεγγίσεις για τον έλεγχο και την επικύρωση δικτύου.

Τα δίκτυα 5G που βασίζονται στις προδιαγραφές 3GPP 5G είναι το ιδανικό περιβάλλον για την ανάπτυξη MEC. Οι προδιαγραφές 5G ορίζουν τους ενεργοποιητές για υπολογισμό από άκρη, επιτρέποντας στο MEC και το 5G να δρομολογούν συλλογικά την κυκλοφορία. Εκτός από τα πλεονεκτήματα καθυστέρησης και εύρους ζώνης της αρχιτεκτονικής MEC, η κατανομή της υπολογιστικής ισχύος θα επιτρέψει καλύτερα τον υψηλό όγκο των συνδεδεμένων συσκευών που είναι εγγενείς στην ανάπτυξη 5G και την άνοδο του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT).

Η εικονικοποίηση λειτουργίας NFV και 5G Network αποσυνδέει το λογισμικό από το υλικό αντικαθιστώντας διάφορες λειτουργίες δικτύου όπως τείχη προστασίας, φορτωτές εξισορρόπησης και δρομολογητές με εικονικές περιπτώσεις που λειτουργούν ως λογισμικό. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη επένδυσης σε πολλά ακριβά στοιχεία υλικού και μπορεί

επίσης να επιταχύνει τους χρόνους εγκατάστασης, παρέχοντας έτσι ταχύτερα υπηρεσίες δημιουργίας εσόδων στον πελάτη.

Το NFV επιτρέπει την υποδομή 5G εικονικοποιώντας συσκευές στο δίκτυο 5G. Αυτό περιλαμβάνει την τεχνολογία τεμαχισμού δικτύου που επιτρέπει τη λειτουργία πολλαπλών εικονικών δικτύων ταυτόχρονα. Το NFV μπορεί να αντιμετωπίσει άλλες προκλήσεις 5G μέσω εικονικού υπολογισμού, αποθήκευσης και πόρων δικτύου που προσαρμόζονται με βάση τις εφαρμογές και τα τμήματα πελατών.

2. Αρχιτεκτονική 5G Ran

Η έννοια του NFV επεκτείνεται στο RAN χάριν του διαχωρισμού δικτύου που προωθείται όπως το O-RAN. Επιτρέποντας την ευελιξία και δημιουργώντας νέες ευκαιρίες για ανταγωνισμό, παρέχει ανοιχτές διεπαφές και ανάπτυξη ανοιχτού κώδικα, τελικά για να διευκολύνει την ανάπτυξη νέων δυνατοτήτων και τεχνολογίας με κλίμακα. Ο στόχος της O-RAN είναι να επιτρέψει την ανάπτυξη πολλών προμηθευτών για λόγους ευκολότερης και ταχύτερης διαλειτουργικότητας. Ο διαχωρισμός δικτύου επιτρέπει επίσης την εικονικοποίηση στοιχείων του δικτύου, παρέχοντας ένα μέσο τη βελτίωση της εμπειρίας του χρήστη καθώς αυξάνεται η χωρητικότητα. Τα οφέλη από την εικονικοποίηση στοιχείων του RAN παρέχουν ένα πιο αποδοτικό μέσο από την άποψη υλικού και λογισμικού, ειδικά για εφαρμογές IoT όπου ο αριθμός των συσκευών είναι πολλαπλός.

Ο διαχωρισμός του δικτύου eCPRI με τη λειτουργική διάσπαση φέρνει επίσης άλλα οφέλη κόστους, ιδίως με την εισαγωγή νέων διεπαφών, όπως το eCPRI. Οι διεπαφές RF δεν είναι οικονομικά αποδοτικές κατά τη δοκιμή μεγάλου αριθμού φορέων 5G καθώς το κόστος RF αυξάνεται γρήγορα. Η εισαγωγή διεπαφών eCPRI παρουσιάζει μια πιο οικονομική λύση, καθώς λιγότερες διεπαφές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δοκιμή πολλαπλών φορέων 5G. Το eCPRI στοχεύει να είναι μια τυποποιημένη διεπαφή για 5G που χρησιμοποιείται για παράδειγμα στη διεπαφή O-RAN εμπρόσθιου φορτίου, όπως το DU. Το CPRI σε αντίθεση με το eCPRI αναπτύχθηκε για 4G, ωστόσο σε πολλές περιπτώσεις ήταν συγκεκριμένο για τους προμηθευτές καθιστώντας το προβληματικό για τους χειριστές.

Ίσως το βασικό συστατικό που επιτρέπει την υλοποίηση του πλήρους δυναμικού της αρχιτεκτονικής 5G είναι ο τεμαχισμός δικτύου. Αυτή η τεχνολογία προσθέτει μια επιπλέον διάσταση στον τομέα NFV επιτρέποντας ταυτόχρονα σε πολλά λογικά δίκτυα να λειτουργούν πάνω από μια κοινή φυσική υποδομή δικτύου. Αυτό καθίσταται αναπόσπαστο μέρος της αρχιτεκτονικής 5G δημιουργώντας εικονικά δίκτυα από άκρο σε άκρο που περιλαμβάνουν λειτουργίες δικτύωσης και αποθήκευσης.

Οι φορείς εκμετάλλευσης μπορούν να διαχειριστούν αποτελεσματικά διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης 5G με διαφορετικές απαιτήσεις απόδοσης, καθυστέρησης και διαθεσιμότητας με διαίρεση πόρων δικτύου σε πολλούς χρήστες ή «ενοικιαστές».

Η κοπή δικτύου γίνεται εξαιρετικά χρήσιμη για εφαρμογές όπως το IoT όπου ο αριθμός των χρηστών μπορεί να είναι εξαιρετικά υψηλός, αλλά η συνολική ζήτηση εύρους ζώνης είναι χαμηλή. Κάθε κάθετο 5G θα έχει τις δικές του απαιτήσεις, οπότε ο τεμαχισμός δικτύου γίνεται ένα σημαντικό στοιχείο σχεδιασμού για την αρχιτεκτονική του δικτύου 5G. Το κόστος, η διαχείριση πόρων και η ευελιξία των διαμορφώσεων δικτύου μπορούν να βελτιστοποιηθούν με αυτό το επίπεδο προσαρμογής που είναι πλέον δυνατό. Επιπλέον, ο τεμαχισμός σε δίκτυο επιτρέπει ταχείες δοκιμές για πιθανές νέες υπηρεσίες 5G και ταχύτερη διάθεση στην αγορά.

Μια άλλη σημαντική τεχνολογία που αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της επιτυχίας του 5G είναι η διαμόρφωση ακτινών. Οι συμβατικοί σταθμοί βάσης έχουν μεταδώσει σήματα σε πολλές κατευθύνσεις, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η θέση των στοχευμένων χρηστών ή συσκευών. Μέσω της χρήσης συστοιχιών πολλαπλής εισόδου, πολλαπλής εξόδου (MIMO) με δεκάδες μικρές κεραίες συνδυασμένες σε ένα μόνο σχηματισμό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι επεξεργασίας σήματος για τον προσδιορισμό της πιο αποτελεσματικής διαδρομής μετάδοσης σε κάθε χρήστη, ενώ μεμονωμένα πακέτα μπορούν να αποσταλούν σε πολλαπλά κατόπιν χορογραφούνται για να φτάσουν στον τελικό χρήστη με μια προκαθορισμένη ακολουθία.

Με τη μετάδοση δεδομένων 5G να καταλαμβάνει το κύμα χιλιοστών, η απώλεια διάδοσης ελεύθερου χώρου, ανάλογη του μικρότερου μεγέθους της κεραίας και η απώλεια περίθλασης, εγγενείς σε υψηλότερες συχνότητες και έλλειψη διείσδυσης στον τοίχο, είναι σημαντικά μεγαλύτερες. Από την άλλη πλευρά, το μικρότερο μέγεθος κεραίας επιτρέπει επίσης σε πολύ μεγαλύτερες συστοιχίες να καταλαμβάνουν τον ίδιο φυσικό χώρο. Καθώς κάθε μία από αυτές τις μικρότερες κεραίες μπορεί να επαναπροσδιορίσει την κατεύθυνση της δέσμης αρκετές φορές ανά χιλιοστό του δευτερολέπτου, η μαζική διαμόρφωση δέσμης για την υποστήριξη των προκλήσεων του εύρους ζώνης 5G γίνεται πιο εφικτή. Με μεγαλύτερη πυκνότητα κεραίας στον ίδιο φυσικό χώρο, στενότερα δοκάρια μπορούν να επιτευχθούν με τεράστιο MIMO, παρέχοντας έτσι ένα μέσο για να επιτευχθεί υψηλή απόδοση με πιο αποτελεσματική παρακολούθηση χρηστών.

3. Ασφάλεια στην αρχιτεκτονική 5G

Η εφαρμογή 5G θα αποφέρει τεράστια οφέλη απόδοσης και ποικιλία εφαρμογών μέσω εκτεταμένης χρήσης πόρων που βασίζονται στο cloud, εικονικοποίησης, τεμαχισμού δικτύου και άλλων αναδυόμενων τεχνολογιών. Με αυτές τις αλλαγές έρχονται νέοι κίνδυνοι ασφάλειας και πρόσθετες «επιφάνειες επίθεσης» που εκτίθενται εντός της αρχιτεκτονικής ασφαλείας 5G.

Το 5G βασίζεται στις πρακτικές ασφαλείας των προηγούμενων γενιών τεχνολογίας κινητών, ωστόσο το μοντέλο εμπιστοσύνης έχει γίνει πολύ πιο εκτεταμένο με περισσότερους παίκτες που συμμετέχουν στη διαδικασία παροχής υπηρεσιών. Το IoT και ο πολλαπλασιασμός χρηστών δημιουργούν έναν εκθετικά μεγαλύτερο αριθμό τελικών σημείων με πολλές από αυτές τις εισόδους κίνησης να μην εποπτεύονται πλέον από ανθρώπινα χέρια.

Μεταξύ των βελτιωμένων χαρακτηριστικών ασφαλείας 5G που περιγράφονται στα πρότυπα 3GPP είναι η ενοποιημένη πιστοποίηση ταυτότητας για την αποσύνδεση του ελέγχου ταυτότητας από τα σημεία πρόσβασης, τα επεκτάσιμα πρωτόκολλα ελέγχου ταυτότητας για την ασφαλή συναλλαγή, οι ευέλικτες πολιτικές ασφαλείας για την αντιμετώπιση περισσότερων περιπτώσεων χρήσης και τα μόνιμα αναγνωριστικά συνδρομητών (SUPI) για τη διασφάλιση της ιδιωτικής ζωής στο δίκτυο.

Καθώς η ανάπτυξη 5G συνεχίζεται και οι κρίσιμοι κόμβοι απόδοσης καθίστανται ολοένα και πιο εικονικοί, οι χειριστές θα πρέπει να παρακολουθούν και να αξιολογούν συνεχώς τις επιδόσεις ασφαλείας. Η τήρηση των βέλτιστων πρακτικών σημαίνει παρακολούθηση της ασφαλείας του δικτύου από άκρη σε άκρη σε όλη την αρχιτεκτονική του συστήματος, τις συσκευές και τις εφαρμογές.

Αναμφίβολα, το 5G θα προσφέρει την εκθετική βελτίωση της ταχύτητας που έχουν συνηθίσει οι χρήστες με κάθε νέα γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας, αλλά η ταχύτητα είναι μόνο η αρχή. Οι αναμενόμενες αλλαγές στους κλάδους, από την προσωπική μεταφορά έως και τη γεωργία θα είναι τόσο σημαντικές που πολλοί έχουν ονομάσει το 5G ως την επόμενη Βιομηχανική Επανάσταση. Στο επίκεντρο αυτής της αλλαγής βρίσκεται η πολύπλευρη αρχιτεκτονική 5G, με MEC, NFV τεράστιο MIMO και μια βασική αρχιτεκτονική ευθυγραμμισμένη στο cloud που εργάζεται για να προσφέρει το νέο κύμα υπηρεσιών. Οι δοκιμαστικές λύσεις 5G που έχουν σχεδιαστεί για να φιλοξενήσουν αυτήν την αρχιτεκτονική αλλαγής πόρων θα είναι οι πραγματικοί παράγοντες της επερχόμενης μετάβασης 5G.

2.3 Τεχνολογίες 5G

2.3.1. Διπλή συνδεσιμότητα LTE -NR

Η έννοια της διπλής συνδεσιμότητας εισήχθη στο LTE, επιτρέποντας στη συσκευή του χρήστη να λαμβάνει δεδομένα από πολλαπλά κελιά. Στο 5G, η υποστήριξη διπλής συνδεσιμότητας είναι μεταξύ LTE και 5G New Radio (NR). Αυτό αναφέρεται ως διπλή συνδεσιμότητα (Dual Connectivity) LTE-NR. Η διπλή συνδεσιμότητα εξαρτάται από το γεγονός ότι θα υπάρχει κάλυψη LTE και NR σε μια γεωγραφική περιοχή. Παρόλο που αυτή επικαλύπτεται, τα LTE και τα NR κελιά, μπορεί να είναι συντονισμένα ή μη. 1) Τα LTE και τα NR κύτταρα επικαλύπτονται και συν-τοποθετούνται παρέχοντας παρόμοια κάλυψη (τόσο τα LTE όσο και τα NR είναι μακρό-κύτταρα). 2) Τα LTE και τα NR κύτταρα επικαλύπτονται και συνυπάρχουν, αλλά παρέχουν διαφορετική κάλυψη και 3) τα LTE και τα NR κύτταρα δεν συνδέονται με κάποιο κέντρο. Η τεχνολογία LTE-NR διπλής συνδεσιμότητας (DC) υποστηρίζει τόσο τα συνεργαζόμενα όσο και τα μη.

Η διπλή συνδεσιμότητα σημαίνει ότι ο χρήστης (User equipment-UE) είναι συνδεδεμένος ταυτόχρονα με τα δύο κελιά (LTE-NR) οπότε λαμβάνει και μεταδίδει δεδομένα σε καθένα από αυτά, επιτυγχάνοντας αύξηση στο ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων στο δίκτυο.

2.3.2. Εικονικοποιημένη λειτουργία δικτύου (Network Function Virtualization-NFV)

Τα παραδοσιακά δίκτυα εκτελούνται μέσα από δρομολογητές και διακόπτες και είναι οι βασικές τεχνολογίες που επιτρέπουν την παροχή πληροφοριών, με τη μορφή ψηφιακών πακέτων, σε όλο τον κόσμο. Αν και χρησιμοποιούνται ευρέως τα παραδοσιακά δίκτυα IP είναι περίπλοκα και δύσκολα διαχωρίσιμα. Η Εικονικοποίηση Δικτυακών Λειτουργιών (NFV) είναι αρχιτεκτονική δικτύου που χρησιμοποιεί τις τεχνολογίες εικονικοποίησης για να εξομοιώσει λειτουργίες κόμβων δικτύων σε δομικά στοιχεία που μπορούν να συνδεθούν μαζί για να δημιουργήσουν υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών. Οι εικονικοποιημένες πλατφόρμες προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία και δυνατότητα επέκτασης, σε σχέση με το παραδοσιακό εξειδικευμένο υλικό που χρησιμοποιείται σε προηγούμενες γενεές δικτύων. Οι λειτουργίες δικτύου μπορούν να εκτελεστούν σε οποιοδήποτε φυσικό υλικό και ως εκ τούτου η φυσική θέση μπορεί να μεταβληθεί δυναμικά με βάση την τρέχουσα ζήτηση και επίσης τις απαιτήσεις υπηρεσίας πχ την καθυστέρηση. Το γεγονός αυτό αναπτύσσει και την υπηρεσία νέφους, όπου οι κόμβοι δικτύου μοιράζονται υπολογιστικούς, αποθηκευτικούς και δικτυακούς πόρους, δυναμικά και ανεξάρτητα από τη φυσική τους θέση.

Μας δίνεται η ευκαιρία με το NFV για ένα πιο ευπροσάρμοστο σχεδιασμό δικτύου όπου οι υπάρχουσες υπηρεσίες δικτύωσης καθιστώντας αναγκαία υποστήριξη από ποικίλες λειτουργίες που είναι συνδεδεμένες με ένα στατικό τρόπο. Έχουμε τη δυνατότητα λειτουργίας μέσω του NFV μιας προσθετικής δυναμικής για τη δημιουργία και τη διαχείριση των λειτουργιών δικτύου. Ο τρόπος απλοποίησης παροχής υπηρεσιών σε μορφή αλυσίδας έχοντας γρήγορη και μικρό κόστος δημιουργία, τροποποιώντας από αυτή τους κρίκους είναι η έννοια κλειδί στο NFV. Ως πρώτη εναλλακτική μπορεί να συγκροτηθεί μαζί με αρκετά NFVs για μείωση πολυπλοκότητας της διαχείρισης, για παράδειγμα σε ένα μονό κουτί να γίνει συγχώνευση των serving gateway (SGW) και PGW ενός κεντρικού δικτύου 4G. Από την άλλη υπάρχει μια ακόμη εναλλακτική αποσύνθεσης ενός NFV σε μικρότερα λειτουργικά τμήματα δίνοντας τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης με ταχύτερο χρόνο απόκρισης, όμως πρέπει να επισημανθεί ότι η πραγματική carrier-grade υλοποίηση περιπτώσεων NFV πρέπει να είναι διαφανής για τις end-to-end υπηρεσίες. Σε σύγκριση με τις τωρινές υλοποιήσεις το NFV έχει τρεις βασικές διαφορές:

- Διαχωρισμός του λογισμικού από το υλικό: Αυτός ο διαχωρισμός επιτρέπει στο λογισμικό να εξελίσσεται ανεξάρτητα από το hardware, και το αντίστροφο.

- Ευέλικτη υλοποίηση των λειτουργιών του δικτύου: Το NFV μπορεί αυτόματα να υλοποιήσει λογισμικό λειτουργιών δικτύου σε μια "πισίνα" από πόρους υλικού, η οποία μπορεί να τρέξει διαφορετικές λειτουργίες σε διαφορετικές χρονικές στιγμές σε διαφορετικά κέντρα δεδομένων
- Προσφορά δυναμικών υπηρεσιών: οι πάροχοι του δικτύου μπορούν να κλιμακώνουν δυναμικά το NFV με βάση των τρεχόντων συνθηκών του δικτύου.

Οφέλη της NFV τεχνολογίας

Το NFV επιφέρει τεράστια οφέλη για τον σχεδιασμό δικτύων. Οι εικονικοποιημένες τροποποιήσεις που προτείνει δεν χρειάζονται νέο εξοπλισμό για να πραγματοποιηθούν. Χωρίς λοιπόν να χρειάζεται οι πάροχοι υπηρεσιών να αυξήσουν το κόστος εξόδων, γίνεται αναβάθμιση του δικτύου αρά αυτομάτως έχουμε καλύτερη παροχή υπηρεσιών στους χρήστες, μέσα από μελέτες οι οποίες έχουν δείξει την ευελιξία εφαρμογής λειτουργιών δικτύου με χαμηλού κόστους υλικό, όπως για παράδειγμα σε πλατφόρμες βασισμένες σε επεξεργαστές γενικού σκοπού π.χ. η επεξεργασία σήματος στο φυσικό επίπεδο. Ένα ακόμα παράδειγμα είναι πως οι πάροχοι θα διαθέτουν την υλοποίηση ενός τείχους προστασίας, το οποίο υποστηρίζεται από λογισμικό ανοιχτού κώδικα, σε μια Virtual Machine (VM) πλατφόρμα x86. Η μείωση υλικών εξοπλισμού αυτομάτως σημαίνει μείωση στην καταναλισκόμενη ενέργεια άρα δημιουργεί μείωση στους ρύπους που παράγονται.

Μέσα από συναρτήσεις βάσει των αναγκών που υποδεικνύουν οι παρατηρητές δικτύου επιτρέπεται ο διαμοιρασμός πόρων αυτού, αρά το NFV προσφέρει αποδοτικότητα αφού η εικονικοποίηση προσφέρει μεγαλύτερο πλουραλισμό στις δυνατότητες του δικτύου, και ευελιξία. Η χρήση του NFV στους παροχούς υπηρεσιών εξυπηρετεί στην υιοθέτηση εργαλείων για αυτοματοποίηση πολλών πτυχών της λειτουργίας και διαχείρισης δικτύου παρόμοια με εκείνα που χρησιμοποιούνται στην IT βιομηχανία. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω μείωση των λειτουργικών εξόδων. Δίνεται στους παροχούς υπηρεσιών μέσω του NFV η δυνατότητα δραστηρικής μείωσης χρόνου σε περιπτώσεις που εισαγάγουν μια νέα υπηρεσία στην αγορά, με την αλλαγή τυπικού κύκλου καινοτομίας τους παρέχοντας λογισμικό στους χρήστες. Μειώνοντας αυτόν τον χρόνο μπορούν γρήγορα να εισάγουν στοχευόμενες και εξατομικευμένες υπηρεσίες με βάση τις ανάγκες του πελάτη.

2.3.3 Δίκτυο καθοριζόμενο από το λογισμικό (SDN)

Ένα άλλο νέο χαρακτηριστικό των δικτύων 5G είναι αυτό που ονομάζεται δίκτυο καθοριζόμενο από το λογισμικό (Software Defined Network-SDN). Το SDN παρέχει το διαχωρισμό του επιπέδου ελέγχου από το επίπεδο χρήστη. Η χρήση του SDN επιτρέπει υψηλό επίπεδο προγραμματισμού, επιτρέποντας τον διαχωρισμό του δικτύου σε διαφορετικά slices μέσα στο ίδιο υλικό. Κάθε τεμάχιο μπορεί στη συνέχεια να αφιερωθεί σε διαφορετικό τύπο υπηρεσίας. Η χρήση του τεμαχισμού δικτύου (Network Slicing-NS) επιτρέπει τη δημιουργία πολλαπλών εικονικών δικτύων και ομάδων πόρων δικτύου μέσα στο ίδιο φυσικό δίκτυο. Κάθε slice μπορεί στη συνέχεια να βελτιστοποιηθεί με βάση τα χαρακτηριστικά των υπηρεσιών που παρέχονται σε αυτό το κομμάτι και τις εφαρμογές που μπορούν να παραδοθούν σε αυτό.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα που μας παρέχει η τεχνολογία SDN είναι:

- Μειωμένο κόστος της δικτυακής υποδομής: Αντί για εγκατάσταση νέων μηχανημάτων δικτύου, υπάρχει software να τρέχει πάνω στις συσκευές και να εκτελεί τις απαιτούμενες διεργασίες.
- Ευκολότερη υποστήριξη και εκτέλεση λειτουργιών όπως VPN: Το SDN μπορεί να αξιοποιήσει κατάλληλα τα APIs ώστε εφαρμογές να μπορούν να τα εκμεταλλευτούν.
- Χρήση OpenFlow: Ο διαχωρισμός του επιπέδου ελέγχου (control plane) από το επίπεδο δεδομένων (data plane) και η χρήση ενός πρωτοκόλλου όπως το OpenFlow ανάμεσα τους επιτρέπει επιπλέον προσαρμοστικότητα.

Τα στοιχεία που συνθέτουν την αρχιτεκτονική του SDN είναι τα παρακάτω:

- **SDN Application:** Είναι προγράμματα που επικοινωνούν με το SDN controller μεταφέροντας του τις απαιτήσεις καθώς και τη συμπεριφορά που θέλουν να έχει το δίκτυο προκειμένου να λειτουργήσουν σωστά.
- **SDN Controller:** Πρόκειται για μια οντότητα που είναι υπεύθυνη για την μεταφορά των απαιτήσεων από το SDN application στο SDN datapath καθώς επίσης και για την αποστολή της κατάστασης του δικτύου περιληπτικά στο SDN application. Ένα SDN controller αποτελείται από ένα ή περισσότερα NBI (Northbound Interface) Agents, το SDN control logic και το Control to Data-Plane Interface (CDPI) driver.
- **SDN Datapath:** Το SDN datapath είναι μια συσκευή δικτύου που είναι υπεύθυνη για την προώθηση της κίνησης μέσα στο δίκτυο. Ένα SDN datapath περιλαμβάνει ένα CDPI driver και μία ή περισσότερες συσκευές προώθησης της κίνησης (πχ switches) που μετακινούν τα πακέτα δεδομένων μέσα στο δίκτυο. Οι ενέργειές του περιλαμβάνουν από απλή προώθηση μεταξύ των εξωτερικών διεπαφών του datapath μέχρι τον τερματισμό της κυκλοφορίας.
- **SDN Control to Data-Plane Interface (CDPI):** Είναι η διεπαφή που ορίζεται μεταξύ ενός SDN controller και ενός SDN datapath η οποία παρέχει προγραμματίσιμο χειρισμό της διαδικασίας προώθησης, αναφορά στατιστικών, ειδοποίηση για συμβάντα και άλλα.
- **SDN Northbound Interface (NBI):** Βρίσκεται ανάμεσα στο SDN Application και στο SDN Controller και παρέχει τον τρόπο συμπεριφοράς και απαιτήσεων του δικτύου.
- **Το NFV (Network functions virtualization):** έχει ως στόχο την υλοποίηση των λειτουργιών του δικτύου στο λογισμικό και την διευκόλυνση του μεγάλου όγκου κυκλοφορίας των τυπικών διακομιστών ενός δικτύου. Βασίζεται στο SDN, χρησιμοποιείται για την εικονικοποίηση, δηλαδή την αντικατάσταση υλικού που έχει σχεδιαστεί ειδικά για την εκτέλεση ορισμένων βασικών λειτουργιών δικτύου (τείχος προστασίας, πυρήνας δικτύου, διεπαφές μεταξύ διαφορετικών συστημάτων...) με λογισμικό σε διακομιστή, για την επιτάχυνση της κυκλοφορίας και την ενεργοποίηση γρήγορων αλλαγών και αναβαθμίσεων. Το NFV λοιπόν υπόσχεται ότι οι πάροχοι τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών θα έχουν μεγαλύτερες δυνατότητες για ευελιξία, μειωμένο κόστος και μεγαλύτερη ταχύτητα στις υπηρεσίες που παρέχουν.

2.3.4 Κινητή Υπολογιστική στα Άκρα του Δικτύου (Multi-access edge computing)

Η Κινητή Υπολογιστική στα Άκρα του Δικτύου (Multi-access edge computing MEC) θα χρησιμοποιηθεί επίσης σε συστήματα 5G. Τα συστήματα MEC φέρνουν την υπηρεσία κοντά στο σημείο προσάρτησης της συσκευής. Αυτή η οντότητα περιέχει τις εφαρμογές και μια υποδομή εικονικοποίησης που παρέχει υπολογιστές, αποθηκευτικούς και δικτυακούς πόρους, καθώς και τις λειτουργίες που απαιτούνται για τις εφαρμογές.

Το MEC βοηθά να ικανοποιηθεί τις απαιτήσεις για την εποχή 5G όσον αφορά την αναμενόμενη απόδοση, την καθυστέρηση και την αυτοματοποίηση. Το MEC επιτρέπει την εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και το υψηλό εύρος ζώνης, ενώ παράλληλα μπορεί να παρέχει πρόσβαση σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για το δίκτυο και το περιβάλλον.

2.3.5 Ασύρματα συστήματα πολλαπλών εισόδων-εξόδων

Massive MIMO

Τα ασύρματα συστήματα πολλαπλών εισόδων και πολλαπλών εξόδων (Multiple Input Multiple Output -MIMO), επιτρέπουν την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου λόγω υψηλότερων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων και μεγαλύτερου αριθμού χρηστών που εξυπηρετούνται. Όταν ο αριθμός των κεραιών στον σταθμό βάσης αυξηθεί σε εκατό ή χίλια στοιχεία, χρησιμοποιείται ο όρος μαζικός MIMO.

Τα massive MIMO συστήματα κάνουν χρήση πολλαπλών στοιχείων κεραιάς τόσο στον πομπό όσο και στον δέκτη. Τα περισσότερα σημερινά συστήματα MIMO χρησιμοποιούν δύο με τέσσερις κεραιές κι ο στόχος των massive MIMO συστημάτων είναι η εκμετάλλευση των δυναμικών κερδών σε χωρητικότητα όπου προκύπτουν χρησιμοποιώντας μεγαλύτερες συστοιχίες κεραιών. Στο single-user MIMO (SU-MIMO), το πλήθος κεραιών που περιλαμβάνει μια φορητή συσκευή χρηστή είναι περιορισμένο. Εν τούτης οι σταθμοί βάσης επιβάλλεται να έχουν επικοινωνία με πολλούς χρήστες ταυτόχρονα, και για να επιτευχθεί η δυνατότητα να ανταπεξέλθουν αποτελεσματικά την multiuser έκδοση του MIMO (MU-MIMO). Από την έναρξη ανάπτυξης του LTE, η MIMO τεχνολογία στοιχειοθετεί βασικό συστατικό του έχοντας δύο έως τέσσερις κεραιές που περιλαμβάνονται σε κάθε κινητή συσκευή και οκτώ σε κάθε σταθμό βάσης. Για την επίτευξη των συστημάτων πέμπτης γενιάς δικτύων στην επιτυχή ανταπόκριση απαιτήσεων χρηστών τους, έπρεπε η MIMO τεχνολογία να πάει ένα βήμα παραπέρα, για αυτό ήταν απαραίτητη η διερεύνηση εκδοχής πλαισίου για να εξοπλίζεται κάθε BS(βάση) με μια σειρά από κεραιές, όπου είναι περισσότερες από τον αριθμό των ενεργών χρηστών, τοποθετώντας τον αριθμό των κεραιών ανά σταθμό βάσης σε εκατοντάδες. Αυτό ώθησε στη κατάληξη χρήσης συστημάτων κεραιών ευρείας κλίμακας πιο γνωστά πλέον ως massive MIMO.

Χρησιμοποιώντας την massive MIMO τεχνολογία επιτεύχθηκαν τεράστιες βελτιώσεις στη φασματική και ενεργειακή απόδοση, χωρίς να είναι αναγκαία η αυξημένη πυκνωση των σταθμών βάσης. Φυσικά ο συνδυασμός των δυο αυτών τεχνολογιών έδωσε μεγάλη ευλυγισία στα δίκτυα πέμπτης γενιάς ως προς το εξέλιξη της φασματικής αποδοτικότητας. Με χρήση της massive MIMO τεχνολογίας επιτυγχάνεται η εξαφάνιση επιπτώσεων θορύβου και της γρήγορης εξασθένησης του σήματος, ενώ οι παρεμβολές στα πλαίσια μιας κυψέλης μπορούν να μετριαστούν χρησιμοποιώντας μεθόδους απλής γραμμικής αποκωδικοποίησης και ανίχνευσης. Με τη σωστή χρήση του multiuser MIMO (MU-MIMO) σε massive MIMO συστήματα, το επίπεδο του μέσου ελέγχου πρόσβασης (MAC) μπορεί να απλοποιηθεί με την αποφυγή πολύπλοκων αλγορίθμων προγραμματισμού. Επίσης ο σταθμός βάσης έχει δυνατότητες αποστολής σε μεμονωμένους χρηστές ξεχωριστών σημάτων οι όποιοι χρησιμοποιούν τον ίδιο χρόνο τις ίδιες συχνότητες.

Από την άλλη γίνεται ομαλοποίηση αποκρίσεων του καναλιού λόγω της τεράστιας χωρικής ποικιλομορφίας. Συγκεκριμένα όλη η μικρής κλίμακας τυχαιότητα καταρρίπτετε, καθώς μεγαλώνει ο αριθμός παρατηρητών του καναλιού. Τα συστήματα εκπομπής και λήψης των δεδομένων, λόγω φύσεως καναλιών μεταξύ σταθμών βάσης και χρήσης ίδιας πηγής σηματοδοσίας από ένα πλήθος χρηστών, είναι όλο ένα και λιγότερο πολύπλοκα. Για ένα δεδομένο αριθμό ενεργών χρηστών, όσο ο αριθμός των κεραιών μεγαλώνει τόσο η ορθογωνιότητα του σήματος αυξάνεται και τόσο πιο βέλτιστα λειτουργούν οι απλοί γραμμικοί πομποδέκτες και οι διαμορφωτές του σήματος ανά χρήστη.

Για να επιτευχθεί η χρήση της Massive MIMO τεχνολογίας για τη λειτουργία 5G δικτύου χρειάστηκε να αντιμετωπιστούν πολλές προκλήσεις. Ένα βασικό ζήτημα είναι το λεγόμενο "pilot contamination". Σε χρηστές της ίδιας κυψέλης οι πιλοτικές μεταδώσεις μπορούν να γίνονται με χρήση ορθογωνίας σηματοδοσίας και κατόπιν να επαναχρησιμοποιούνται από χρήστες άλλων κυψελών, έτσι εξασφαλίζεται χωρίς να αναλώνονται όλοι οι πόροι η ύπαρξη καθαρότερων καναλιών. Ανάμεσα στις πιλοτικές μεταδώσεις σε διαφορετικές κυψέλες δημιουργούνται αναπόφευκτες παρεμβολές που έχουν ως αποτέλεσμα υποβάθμιση ποιότητας καναλιού, δεν είναι εφικτό όμως να αποφευχθεί με την αύξηση ποσοστού κεραιών σε ένα σταθμό βάσης. Για τη μείωση του ή και ακόμη την ολοκληρωτική εξάλειψη του εξεταστήκαν διάφοροι μέθοδοι μια από αυτές είναι η μείωση της έντασης συντονισμού μεταξύ των σταθμών βάσης. Ακόμη η προσεκτική σχεδίαση των πιλοτικών δομών ούτως ώστε να αποφευχθεί η ογκώδης αύξηση στο μέγεθος της πιλοτικής κεφαλίδας είναι πολύ σημαντική. Οι ιδέες που εξετάζονται για Μελέτη για την ανάπτυξη δικτύων 5G και η σημασία της χρήσης τους στην κοινωνία

αποδοτικότερη λειτουργικότητα κάθε μιας κεραίας ώστε να επιτυχαίνει εκπομπή σήματος στον απαραίτητο ρυθμό κι όχι γρηγορότερα περιλαμβάνουν την αξιοποίηση των χωρικών συσχετίσεων διαμοιράζοντας τα πιλοτικά σύμβολα ανάμεσα στις κεραίες, όπως επίσης κάνει διαχώριση πιλότων σε κατηγορίες.

Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για τη χρήση του massive MIMO έχει να κάνει με την αρχιτεκτονική του στην οποία απαιτούνται ριζικά διαφορετικές δομές σταθμών βάσης, όπου θα υπάρχει μια μυριάδα αποτελούμενη από μικροσκοπικές κεραίες τροφοδοτούμενες από ενισχυτές χαμηλής ισχύος, αντί των λίγων και υψηλής ισχύος σε τροφοδοσία ενισχυτών για τις κεραίες. Κάθε κεραία χρειάζεται να έχει το δικό της ενισχυτή. Μερικά από τα ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι η επεκτασιμότητα, οι συσχετίσεις κεραιών και το κόστος, και ταυτόχρονα πρέπει να υπάρξουν καινοτόμες μορφές τοπολογιών.

Οι υφιστάμενοι σταθμοί βάσης διαθέτουν ως επί το πλείστον οριζόντιες γραμμικές συστοιχίες, στις οποίες μπορούν να φιλοξενηθεί ένας περιορισμένος αριθμός κεραιών, αυτό συμβαίνει λόγω μορφολογικών παραγόντων, από τους οποίους γίνεται εκμετάλλευση μόνο στη διάσταση της αζιμουθιακής γωνίας. Υιοθετώντας λοιπόν επίπεδα συστοιχιών 2D υπάρχει δυνατότητα χρήσης στην αξιοποίηση της γωνίας ανύψωσης και έτσι να φιλοξενηθούν πολλές περισσότερες κεραίες με την ίδια μορφή, η λεγόμενη πλήρης διάστασης MIMO (FD-MIMO). Επιπλέον ένα ακόμη όφελος, η χρήση προσαρμοσμένων κάθετων κυματομορφών αυξάνει την ισχύ του σήματος και μειώνει την παρεμβολές ανάμεσα σε χρήστες γειτονικών κυψελών.

Εκτός από τα αρχιτεκτονικά ζητήματα τρέχουν παράλληλα και εκείνα που σχετίζονται με τα μοντέλα του καναλιού, τα οποία απαιτούν εκτεταμένες μετρήσεις πεδίου. Απαιτείται μια σωστή μοντελοποίηση δράσης καθορισμού συσχετίσεων κεραιών και σύζευξης για μαζικές συστοιχίες με παρόμοιες τοπολογίες. Για το FD-MIMO μέσω μοντελοποίησης πρέπει να ενσωματωθεί και η ανύψωση.

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα οι σταθμοί βάσης που χρησιμοποιούν massive MIMO τεχνολογία οφείλουν να συνυπάρχουν με τις μικρές κυψέλες του δικτύου. Η απλούστερη λύση που δόθηκε είναι η διαχώριση των εκπομπών στην συχνότητα, ο μεγάλος αριθμός των κεραιών στα massive MIMO BSs με σχετική απλότητα και μικρό κόστος ποιότητάς μας προσφέρουν την ευκαιρία του χωρικού μηδενισμού και αποφυγής παρεμβολών. Αφού λοιπόν οι ανάγκες κάνουν τα δίκτυα να γίνονται πυκνά και η κίνηση σ'αυτά όλο μεγαλύτερη, όπου αυτό δημιουργεί μείωση αριθμού των ενεργών χρηστών ανά κυψέλη και έτσι η ανάγκη για μαζική MIMO μπορεί να ελαχιστοποιηθεί. Πτυχές όπως το κόστος και το backhaul καθόρισαν τελικά την ισορροπία μεταξύ αυτών των συμπληρωματικών ιδεών.

Η επικοινωνία με mmWave απαιτεί την χρήση πολλών κεραιών που μπορούν να στρίβουν και να ορίζουν την κατεύθυνση του κύματος. Σ'αυτές τις συχνότητες υποχρεωτικά οι κεραίες είναι μικρότερες και ως εκ τούτου πολύ μεγάλος αριθμός αυτών μπορεί θεωρητικά να χωρέσει σε φορητές συσκευές. Χρειάζεται ανάμεσα στις εφαρμογές massive MIMO και στις συχνότητες των mmWave να βρεθεί η σωστή ισορροπία μεταξύ του για μείωση στάθμης ισχύος/παρεμβολής και παραλληλισμού. Το πεδίο που χρειάζεται περεταίρω προσοχή είναι εκείνο της χωρικής διαμόρφωσης.

Η νεότερη τεχνική της MIMO προτείνεται για τους έξης λόγους: α) εφαρμόζει χαμηλή πολυπλοκότητα στα συστήματα και β) δε δημιουργεί υποβάθμιση δικτύου τους. Γίνεται δηλαδή μέρος κωδικοποίησης των δεδομένων, αντί της ταυτόχρονης μετάδοσης από πολλαπλές ροές δεδομένων από τις διαθέσιμες κεραίες, για μετάδοση χωρικής θέσης κάθε κεραίας της συστοιχίας κεραιών. Η συστοιχία των κεραιών διαδραματίζει το ρόλο ενός δεύτερου διαγράμματος αστερισμών, το λεγόμενο χωρικό διάγραμμα αστερισμών το οποίο έχει ταυτόχρονη ύπαρξη με το κλασσικό διάγραμμα αστερισμού σήματος και έχει τη δυνατότητα χρήσης για την αύξηση του ρυθμού δεδομένων (χωρική πολυπλεξία) σε σχέση με ασύρματα συστήματα μονής κεραίας. Ενώ όλες οι κεραίες παραμένουν σε αδράνεια μονό μια κεραία εκπομπής είναι ενεργή ανά πάσα στιγμή. Η τεχνική χωρικής διαμόρφωσης συνδυάζει space shift keying (SSK) με διαμόρφωση πλάτους/φάσης. Το όφελος με την χρήση αυτής της τεχνικής είναι ο μετριασμός τριών βασικών προβλημάτων των MIMO: α) των διακαναλικών παρεμβολών, β) του συγχρονισμού μεταξύ των κεραιών και γ) τις πολλαπλές RF αλυσίδες. Έχουν τη δυνατότητα σχεδιασμού για δέκτες χαμηλής πολυπλοκότητας για οποιοδήποτε αριθμό κεραιών εκπομπής και λήψης, ακόμη και για μη ισορροπημένα συστήματα MIMO. Χρειάζεται να επισημανθεί ότι αυτό το κέρδος πολυπλεξίας στη χωρική διαμόρφωση αυξάνεται λογαριθμικά με

την αύξηση του αριθμού των κεραιών μετάδοσης, ενώ αυξάνεται γραμμικά σε συμβατικά συστήματα MIMO. Η χαμηλή πολυπλοκότητα ωθεί στη θυσία κάποιου βαθμού ελευθερίας. Η χωρική διαμόρφωση multi-user είναι ένα από τα πεδία που χρειάστηκε αρκετή έρευνα πριν ενσωματωθεί στα καινούργια συστήματα επικοινωνιών.

mmWave

Τα επίγεια συστήματα ασύρματης επικοινωνίας στο λεπτό εύρος μικροκυματικών συχνοτήτων το οποίο εκτίνεται από αρκετές εκατοντάδες MHz σε ελάχιστα GHz έχουν σε μεγάλο βαθμό περιορίσει τη λειτουργία τους και αντιστοιχούν σε μήκη κύματος μερικών εκατοστών μέχρι περίπου ένα μέτρο. Μέχρι τώρα όμως αυτή η φασματική ζώνη, που συχνά αποκαλείται και «beachfront spectrum», έχει γίνει σχεδόν πλήρως απασχολημένη, ιδίως σε ώρες αιχμής, γίνεται δηλαδή ολοένα πιο έντονη η ανάγκη για μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου λόγω αυτού δημιουργείται πιο έντονη έλλειψη φάσματος λόγω όγκου αύξησης κίνησης από την κινητή μετάδοση δεδομένων. Αυτή η έλλειψη καταλήγει να είναι ένα βασικό πρόβλημα για τα δίκτυα της πέμπτης γενιάς (5G) διότι υπάρχει απαίτηση όλο ένα και μεγαλύτερου εύρους ζώνης. Με χρήση όμως καινούργιων ρυθμιστικών διαδικασιών δίνεται η δυνατότητα για καλύτερη αξιοποίηση του beachfront εύρους ζώνης, προσθέτοντας νέες ζώνες φάσματος στο ήδη υπάρχον εύρος ζώνης. Αυτός θεωρείται ο αποδοτικότερος τρόπος.

Ο συνδυασμός των τεχνολογιών Massive MIMO και της ζώνης συχνοτήτων από 30 GHz έως 300 GHz, γνωστή και ως millimeter wave (mmWave) έγινε σημαντικό μέρος της πέμπτης γενιάς δικτύων διότι αποφέρει υπηρεσίες επικοινωνίας multi-gigabit, για τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (HDTV) και για υπέρ-υψηλής ευκρίνειας βίντεο (UHDV). Στη ζώνη λειτουργίας του Wi-Fi με πρότυπο WiGiG στα 60 GHz) υλοποιείται η βασική εστίαση καθώς και στη ζώνη 28 GHz, τη ζώνη 38 GHz και το E-band (71-76 GHz και 81-86 GHz). Ανοίγεται ο δρόμος για τα ηλεκτρονικά προϊόντα στη ζώνη των mmWave λόγω της ταχείας ανάπτυξης τεχνολογίας σε συμπληρωματικά metal-oxide-semiconductor (CMOS) radio frequency (RF) ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.

Ο συνδυασμός μαζικών MIMO και mmWave επιτρέπει τη μείωση της συνολικής καθυστέρησης στο χρόνο μετάδοσης. Ο συνδυασμός μεγάλου εύρους ζώνης σε mmWave και του μαζικού MIMO συμβάλλει σημαντικά στην εκπλήρωση των απαιτήσεων 5G όπως του υψηλού ρυθμού δεδομένων, της χωρητικότητας, της κυκλοφορίας και της χαμηλής καθυστέρησης.

Κεφάλαιο 3- Χρήση 5G

3.1 – Εισαγωγή

Η εκρηκτική αύξηση της ζήτησης για ασύρματες ευρυζωνικές υπηρεσίες που απαιτούν ταχύτερα δίκτυα υψηλότερης δυναμικότητας και το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) που τροφοδοτεί την ανάγκη για μαζική συνδεσιμότητα συσκευών, είναι οι δύο σημαντικές τάσεις στην εξέλιξη της τεχνολογίας που τροφοδοτούν την ανάπτυξη του 5G. Ταυτόχρονα παρουσιάζεται η ανάπτυξη νέων περιπτώσεων χρήσης και εφαρμογών, όπως της επαυξημένης πραγματικότητας, της εικονικής πραγματικότητας, της απομακρυσμένης επικοινωνίας, των υπηρεσιών ηλεκτρονικής υγείας, της αυτοματοποιημένης οδήγησης και πολλών άλλων.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι περιπτώσεις χρήσης και εφαρμογές των δικτύων 5G. Αρχικά γίνεται αναφορά των περιπτώσεων χρήσης σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις τους. Στην συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά εφαρμογές των αναπτυσσόμενων δικτύων 5G στους κλάδους της επιχείρησης καθώς επίσης και τα οφέλη τους στον κάθε κλάδο ξεχωριστά.

Τα δίκτυα 5G θα υποστηρίξουν ένα μεγάλο πλήθος περιπτώσεων χρήσης. Τα ποικίλα χαρακτηριστικά και οι διαφορετικές απαιτήσεις θα ξεχωρίσουν και τους τομείς ανάπτυξης. Αρχικά οι περιπτώσεις χρήσης του 5G έχουν ταξινομηθεί με βάση γενικότερες ομάδες. Διαπιστώθηκε όμως ότι ίσως πρέπει να βρεθεί κάποιος τρόπος ταξινόμησης στον οποίο θα καλύπτονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε περίπτωσης. Σε αυτή την ενότητα παρέχεται μια πιο προσεκτική ματιά στις περιπτώσεις χρήσης 5G και επισημαίνονται οι βασικές απαιτήσεις και οι τύποι αλληλεπιδράσεων στις οποίες θα βασίζονται.

3.2 Έξυπνες πόλεις

Το 5G και η έξυπνη πόλη βρίσκονται στην πρώτη γραμμή ενός νέου κύματος γενετικού μετασχηματισμού που καθοδηγείται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των κοινωνικών αλλαγών, των οικονομικών προκλήσεων και της γήρανσης του πληθυσμού. Σε αυτήν την ενότητα, εξετάζονται οι πιο σημαντικές κάθετες βιομηχανίες που αναμένουν μετασχηματισμό από τεχνολογίες 5G σε μια έξυπνη πόλη που βασίζεται στο IoT, καθώς και πώς το 5G θα είναι ο κύριος μοχλός αυτού του μετασχηματισμού. Γενικά, οι εφαρμογές της τεχνολογίας 5G σε μια έξυπνη πόλη μπορούν να ομαδοποιηθούν σε διάφορες διαστάσεις ως διαφορετικοί βιομηχανικοί κλάδοι, όπως η ενέργεια, η υγειονομική περίθαλψη, η κατασκευή, τα μέσα ενημέρωσης και η ψυχαγωγία, η αυτοκινητοβιομηχανία και οι δημόσιες συγκοινωνίες. Επιπλέον, κάθε βιομηχανία μπορεί να έχει πολλαπλές περιπτώσεις χρήσης.

3.2.1 Ενέργεια

Ο κόσμος αλλάζει μορφές παραγωγής, μεταφοράς και κατανάλωσης ενέργειας. Τα προηγούμενα χρόνια, υπήρχε μια μεγάλη κεντρική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για να καλύπτει τη ζήτηση για τελικούς χρήστες. Ωστόσο, με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να αυξάνονται, πρέπει να αντιμετωπιστούν απρόβλεπτοι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μικρής κλίμακας, συμπεριλαμβανομένων ηλιακών, αιολικών και υδροηλεκτρικών. Αυτοί οι μικροί κατανομημένοι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής αριθμούνται κατά χιλιάδες και αρχίζουν να αντικαθιστούν τα μεγάλα παραδοσιακά κεντρικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, τα δίκτυα παραγωγής και διανομής ενέργειας μετατοπίζονται από μονόδρομη ροή ισχύος σε αμφίδρομη ροή ισχύος, επιτρέποντας στους καταναλωτές να γίνουν παραγωγοί ενέργειας. Ο στόχος του 5G είναι να επικεντρωθεί στη διασύνδεση και την παρακολούθηση της ενέργειας και των απομακρυσμένων σταθμών παραγωγής ενέργειας που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια στα τέσσερα στοιχεία της αλυσίδας αξίας: παραγωγή, μεταφορά, διανομή και κατανάλωση. Το 5G μπορεί να βελτιώσει τη διαχείριση ενέργειας, τη χρήση κεφαλαίου, τη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και του λειτουργικού κόστους με τη διαχείριση των κατανομημένων ενεργειακών πόρων, τη δημιουργία προηγμένων συστημάτων μέτρησης και την αύξηση της ενσωμάτωσης αισθητήρων στα δίκτυα παραγωγής ενέργειας. Ο αντίκτυπος του 5G

στην ενέργεια θα αυξήσει τις πωλήσεις έως και 1,3 τοις εκατό ή €73,6 δισεκατομμύρια σε πωλήσεις και €25,1 δισεκατομμύρια σε οικονομικά οφέλη. Επιπλέον, καθώς ο αντίκτυπος του 5G εξαπλώνεται μέσω της αλυσίδας αξίας, θα δημιουργήσει επιπλέον 38,7 δισεκατομμύρια ευρώ στο ΑΕΠ.

3.2.1.1 Ευφυές Πλέγμα

Τα δεδομένα και η επικοινωνία είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη νέων ευφυών δικτύων. Οι ερευνητές σε μελέτες συζητούν τα πρωτόκολλα επικοινωνίας καθώς και τον ρόλο των ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε εφαρμογές έξυπνων δικτύων. Προτείνουν την ενσωμάτωση των υφιστάμενων υπηρεσιών σε σύγχρονες πλατφόρμες ΤΠΕ για την παροχή νέων υπηρεσιών σε πολίτες και χρήστες ενέργειας. Επιπλέον, παρέχετε μια διεξοδική εξέταση των ασύρματων τεχνολογιών και της επικοινωνίας 5G για έξυπνα δίκτυα και μελλοντικούς οδικούς χάρτες και προκλήσεις. Το ευφυές δίκτυο αποτελείται από τρία κύρια στοιχεία, δηλαδή, διαχείριση καταναεμημένης ενέργειας, αυτοματοποιημένη επιθεώρηση υποδομής και απομακρυσμένη παρακολούθηση στον κλάδο κοινής ωφέλειας.

Υπολογίζεται ότι παγκοσμίως 13 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως θα δαπανώνται έως το 2026 στη ρομποτική για την παρακολούθηση του δικτύου. Χρησιμοποιώντας αισθητήρες και συσκευές IoT, το 5G μπορεί να επιτρέψει την ακριβή παρακολούθηση σε ολόκληρο το δίκτυο. Η απομακρυσμένη παρακολούθηση που ενεργοποιείται από το 5G μπορεί να βοηθήσει στη μείωση του λειτουργικού κόστους του δυσλειτουργικού εξοπλισμού σε ολόκληρο το δίκτυο με τη διαχείριση των συναγερμών και, σε ορισμένες περιπτώσεις, μέσω του ελέγχου εξοπλισμού, όπως η ευστάθεια του πυλώνα. Ένα ψηφιακό δίδυμο είναι μια εικονική αναπαράσταση που χρησιμεύει ως το ψηφιακό αντίστοιχο σε πραγματικό χρόνο ενός φυσικού περιουσιακού στοιχείου και ενημερώνεται συνεχώς με είσοδο αισθητήρα πραγματικού κόσμου. Επιτρέπει τη μάθηση, τη συλλογιστική και τη δυνατότητα δυναμικής επαναβαθμονόμησης για καλύτερη λήψη αποφάσεων με τη χρήση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνολογία διπλής ψηφιακής τεχνολογίας με δυνατότητα 5G θα επιτρέψει στους χειριστές του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας να οπτικοποιούν δεδομένα και να παρακολουθούν τα συστήματα ηλεκτρικού δικτύου για συντήρηση και σχεδιασμό. Οι εταιρείες κοινής ωφέλειας μπορούν να εξοικονομήσουν 10 τοις εκατό ή περισσότερο στο λειτουργικό κόστος χρησιμοποιώντας προληπτική παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο που ενεργοποιείται από το 5G .

3.2.1.2 Διαχείριση Καταναεμημένης Ενέργειας

Η διαχείριση των καταναεμημένων ενεργειακών πόρων βελτιώνει την παραγωγή και τη διανομή ολοένα και περισσότερο καταναεμημένων πηγών ενέργειας. Το 5G παρέχει τη δυνατότητα εντοπισμού και αντίδρασης σε ποικίλες ενεργειακές απαιτήσεις στο αμφίδρομο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και προηγμένες αναλύσεις, επιτρέποντας καλύτερη απόκριση στη ζήτηση αιχμής και την πρόληψη πιθανών blackouts. Τα σπίτια που ξοδεύουν περίπου 1208€ ετησίως σε φυσικό αέριο και ηλεκτρισμό μπορούν να εξοικονομήσουν 145€ με έξυπνα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας 5G στο Ηνωμένο Βασίλειο. Οι εταιρείες κοινής ωφέλειας μπορούν να επενδύσουν στην τεχνολογία 5G για να δημιουργήσουν ένα έξυπνο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας με μεγαλύτερη απόκριση. Εκτιμάται ότι το 5G στον τομέα κοινής ωφέλειας θα συνεισφέρει έως και το 28 τοις εκατό του ΑΕΠ 5G και θα βοηθήσει στη μετατροπή του τρέχοντος δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα προσιτό, αξιόπιστο και ευφυές δίκτυο σε πραγματικό χρόνο.

3.2.2 Υγειονομική περίθαλψη

Η ζήτηση για υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης έχει αυξηθεί δραματικά λόγω του μεγαλύτερου προσδόκιμου ζωής και της πανδημίας. Αυτοί οι παράγοντες οδηγούν σε αύξηση 5 έως 6 τοις εκατό στις ετήσιες δαπάνες για την υγειονομική περίθαλψη. Οι θεραπείες για χρόνιες ασθένειες οδηγούν το 80% του τρέχοντος προϋπολογισμού για την υγειονομική περίθαλψη σε όλη την Ευρώπη. Επιπλέον, αυτές οι ασθένειες ευθύνονται για το 86% των θανάτων, οι οποίοι

θα αυξάνονται μόνο καθώς ο πληθυσμός γερνάει. Σύμφωνα με μελέτες, οι ελλείψεις για γιατρούς, νοσηλευτές και άλλους εργαζόμενους στον τομέα της υγείας θα φτάσουν τα 4,1 εκατομμύρια μέχρι το 2030. Η κάλυψη αυτού του κενού της τεχνολογίας και άλλων κλιμακούμενων μοντέλων υγειονομικής περίθαλψης θα είναι κρίσιμη.

Το 5G θα μπορούσε να βοηθήσει στη δημιουργία ενός κόσμου που παρέχει ιατρική περίθαλψη χωρίς σύνορα. Το 5G θα φέρει επανάσταση σε ολόκληρο το ψηφιακό οικοσύστημα ικανό να υποστηρίξει την ιατρική έρευνα και τη διάγνωση ασθενειών. Ο αντίκτυπος του 5G στην υγειονομική περίθαλψη αναμένεται να οδηγήσει έως και €77 δισεκατομμύρια σε οικονομική παραγωγή, €51,2 δισεκατομμύρια στο ΑΕΠ και έως και 0,4 εκατομμύρια θέσεις εργασίας το 2026 .

3.2.2.1 Τηλειατρική

Η αποκέντρωση των νοσοκομείων είναι το πιο αναμενόμενο βήμα προς τα εμπρός με την έλευση του 5G. Η αλλαγή θα φέρει την υγειονομική περίθαλψη πιο κοντά στα σπίτια των ασθενών με κλινικές, επείγουσα περίθαλψη και χειρουργικά κέντρα εξωτερικών ασθενών. Για τους ανθρώπους σε αγροτικές περιοχές με γιατρούς που εργάζονται αρκετά μίλια μακριά, το να ταξιδεύουν ενώ είναι άρρωστοι μπορεί να είναι τρομακτικό και χρονοβόρο. Ωστόσο, με την εισαγωγή της τηλευγείας, οι ασθενείς θα μπορούσαν να λαμβάνουν φροντίδα από το σπίτι τους. Το 2019, περισσότερο από το 2% των Ευρωπαίων ανέφεραν μη ικανοποιητική ανάγκη υγείας, με ιατρικές εξετάσεις να καθυστερούν λόγω μεγάλου χρόνου αναμονής ή αποστάσεων ταξιδιού και υψηλού κόστους. Οι γιατροί μπορούν να συστήσουν εικονικές διαβουλεύσεις μετά από βιντεο/φωνητική κλήση και ακόμη και να υποβάλουν αίτηση για ιατρική συνταγή. Η αγορά τηλεϊατρικής αναμένεται να επεκταθεί με σύνθετο ετήσιο ρυθμό 16,5% έως το 2023 .

3.2.2.2 Απομακρυσμένη Παρακολούθηση

Η υγειονομική περίθαλψη αντιμετωπίζει σοβαρούς περιορισμούς κόστους, χωρητικότητας και ειδικευμένου εργατικού δυναμικού, ιδιαίτερα στις ενδονοσοκομειακές υπηρεσίες όπου τα κρεβάτια, οι ειδικοί και η 24ωρη παρακολούθηση είναι σπάνια. Ορισμένοι από αυτούς τους περιορισμούς μπορεί να αμβλυνθούν με την απομακρυσμένη παρακολούθηση του ασθενούς. Διάφορα όργανα μπορούν να συλλέγουν και να αναλύουν δεδομένα για ασθενείς εκτός έδρας σε πραγματικό χρόνο, στέλνοντας ειδοποιήσεις όταν απαιτείται άμεση απάντηση. Η εντατική θεραπεία είναι μια από τις πιο ακριβές πτυχές της υγειονομικής περίθαλψης. Τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης με την ενσωμάτωση πολλαπλών αισθητήρων που ενεργοποιούνται με το 5G θα παρέχουν συνεχή, αξιόπιστη και ασφαλή απομακρυσμένη παρακολούθηση για καλύτερη έκβαση των ασθενών. Επιπλέον, σε σύγκριση με τη διαχείριση δορυφορικών τοποθεσιών αυτοπροσώπως, αυτό αυξάνει την ευελιξία για καλύτερη διαχείριση της προσφοράς και της ζήτησης και μπορεί να μειώσει τη διάρκεια παραμονής έως και 50%. Η έγκαιρη ανίχνευση και παρέμβαση με το 5G έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει σημαντικά τα αποτελέσματα των ασθενών καθυστερώντας ή αποτρέποντας πλήρως την ανάπτυξη ασθενειών. Η σουίτα εφαρμογών 5G, όταν συνδυαστεί, θα είχε ως αποτέλεσμα σημαντικά οικονομικά οφέλη για την υγειονομική περίθαλψη, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης του νοσοκομειακού κόστους έως και 16% λόγω της χρήσης φορετών τηλεχειριστηρίων. Το οικονομικό όφελος από την απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών εκτιμάται ότι είναι το 30% του συνολικού οικονομικού οφέλους του 5G.

3.2.3 Βιομηχανία

Οι βιομηχανίες σε όλο τον κόσμο βρίσκονται υπό ακραία πίεση σε μια περίοδο υψηλής αστάθειας λόγω της μικρότερης αγοράς και των μικρότερων κύκλων ζωής του προϊόντος. Τα περιθώρια παραγωγής είναι πιο περιορισμένα από ποτέ, με τα υλικά να ποικίλλουν όλο και περισσότερο και να προκαλούν πρόκληση για την κατασκευή και τη γήρανση του εργατικού δυναμικού. Η μεταποιητική βιομηχανία είχε το υψηλότερο ποσοστό ατυχημάτων τραυματισμών από οποιονδήποτε κλάδο του ιδιωτικού ή του δημόσιου. Οι βιομηχανίες αναγνωρίζουν την αξία Μελέτη για την ανάπτυξη δικτύων 5G και η σημασία της χρήσης τους στην κοινωνία

των ψηφιακών μέσων στην αύξηση της παραγωγικότητας, αλλά λιγότερο από το 30% αναφέρουν την υιοθέτηση της ψηφιακής τεχνολογίας. Το 5G επιτρέπει την κατασκευή έξυπνων εργοστασίων που μπορούν να χρησιμοποιήσουν διάφορες άλλες τεχνολογίες ενεργοποίησης, δηλαδή τεχνητή νοημοσύνη που μπορεί να ενισχύσει την παραγωγικότητα κατά 20 έως 30 τις εκατό.

Στη διαδικασία κατασκευής, οι τεχνολογίες 5G έχουν σημαντικές δυνατότητες δικτύου για την υποστήριξη εφαρμογών που απαιτούν συγχρονισμό και παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο. Ο αυτοματισμός δαπέδου εργοστασίων είναι μια ευρεία έννοια που περιλαμβάνει εφαρμογές όπως η έξυπνη επιμελητεία με αυτοματοποιημένα οχήματα καθοδήγησης (AGV), τα συγχρονισμένα ρομπότ και ο κρίσιμος για την αποστολή έλεγχος απομακρυσμένου μηχανήματος. Το 5G θα παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία, χαμηλότερο κόστος, μικρότερους χρόνους παράδοσης για αναδιαμόρφωση και αλλαγές στο εργοστασιακό επίπεδο στη διαδικασία παραγωγής .

Η διασφάλιση ποιότητας είναι υπεύθυνη για την παρακολούθηση και την ανταπόκριση σε παραβιάσεις ποιότητας. Η βελτίωση των διαδικασιών παρακολούθησης ποιότητας με το 5G μπορεί να βελτιώσει τον εντοπισμό ελαττωμάτων κατά 90% μαζί με μια αύξηση κατά 50% στην απόδοση δοκιμών ποιότητας. Επιπλέον, η Επαυξημένη Πραγματικότητα (AG) και η Εικονική Πραγματικότητα (VR) μπορούν να βελτιώσουν τα ποσοστά επιδιόρθωσης για πρώτη φορά των τεχνικών κατά 20 έως 40 τις εκατό, ενώ μειώνουν τους τραυματισμούς κατά 5 έως 15 τις εκατό. Το AR/VR μπορεί να μειώσει το χρόνο διακοπής κατά 10 έως 35 τις εκατό, την επανεπεξεργασία κατά 15 έως 25 τις εκατό και το χρόνο συναρμολόγησης κατά 20 έως 50 τις εκατό. Στον τομέα της μεταποίησης, οι βελτιώσεις παραγωγικότητας που επιτρέπονται από το 5G μπορούν να συμβάλουν έως και 5% στο ΑΕΠ που υποστηρίζει το 5G.

3.3 Έξυπνες Μεταφορές

Το 5G δεσμεύεται να συνδέει μεμονωμένα οχήματα με την ανάπτυξη Συνεταιριστικών Ευφυών Συστημάτων Μεταφορών (CITS). Τα CITS με δυνατότητα 5G μπορούν να κάνουν τις πόλεις έξυπνες και να βοηθήσουν τα αυτοματοποιημένα συστήματα μεταφορών κάνοντας τα ασφαλέστερα και αποτελεσματικότερα από τα υπάρχοντα δίκτυα μεταφορών. Αυτό βοηθά επίσης το σύστημα δημόσιων μεταφορών να αντιμετωπίσει τα βασικά ζητήματα μεταφορών στις μεγάλες πόλεις, συμπεριλαμβανομένης της κυκλοφοριακής συμφόρησης, της ρύπανσης και των συγκρούσεων. Το 5G μπορεί να αντιμετωπίσει αυτά τα ζητήματα, ενεργοποιώντας ένα πραγματικά έξυπνο σύστημα μεταφορών, με πρόσβαση στο Διαδίκτυο υψηλής ταχύτητας στα μέσα μαζικής μεταφοράς. Ένα Connected Traffic Cloud που συγκεντρώνει και αναλύει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από συνδεδεμένα οχήματα, υποδομές και συσκευές μπορεί να βοηθήσει στη λήψη επιχειρησιακών αποφάσεων, καλύτερη πλοήγηση, αποδοτικότητα πόρων καυσίμου και χρόνου κ.λπ. Οι αρχικές δοκιμές στο CITS είχαν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη απόδοση φόρτου εργασίας, λιγότερα ατυχήματα και κυκλοφοριακή συμφόρηση. Οι βασικοί μετασχηματισμοί που συμβαίνουν στην αυτοκινητοβιομηχανία μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Αυτόματη οδήγηση.
- Υπηρεσίες οδικής ασφάλειας και αποτελεσματικότητας της κυκλοφορίας.
- Έξυπνη πλοήγηση
- Η κοινωνία της πληροφορίας στο δρόμο.

Σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες, οι μεταφορές αντιπροσωπεύουν το 6 έως 12 τοις εκατό του ΑΕΠ. Το 2010, ένα δισεκατομμύριο οχήματα ταξινομήθηκαν και μέχρι το 2030, ο αριθμός αυτός αναμένεται να διπλασιαστεί, επιβαρύνοντας τις υποδομές μεταφορών. Επιπλέον, με απώλεια περίπου 1,3 εκατομμυρίων ζωών κάθε χρόνο σε τροχαία ατυχήματα, το ποσοστό θνησιμότητας προβλέπεται να αυξηθεί σε 1,8 εκατομμύρια έως το 2030. Η έννοια των Ευφυών Συστημάτων Μεταφορών (ITS) είναι θεμελιώδης για την επίλυση προβλημάτων μεταφοράς. Το ITS στοχεύει στην παροχή καινοτόμων υπηρεσιών που σχετίζονται με τους διάφορους τρόπους μεταφοράς και διαχείρισης της κυκλοφορίας. Επομένως, το ITS έχει τεράστιο δυναμικό που επηρεάζει την ασφάλεια, την κινητικότητα, τη χρήση γης, τη συμφόρηση, τις εκπομπές άνθρακα, την κατανάλωση ενέργειας και την παραγωγικότητα των χρηστών.

Το 5G έχει τη δυνατότητα να αλλάξει δραστικά το τοπίο του ITS. Το 5G και οι διάφοροι τύποι τμημάτων του, όπως τα eMBB, mMTC, uRLLC και V2X, μπορούν να βελτιώσουν διάφορες πτυχές της λειτουργίας και της απόδοσης του ITS. Για να συνειδητοποιηθεί πλήρως η έννοια του ITS, πρέπει να εξεταστούν οι τεχνολογίες εφαρμογής και η εξέλιξη των οχημάτων.

Η αυτοκινητοβιομηχανία οδεύει προς την κατεύθυνση της ευαισθητοποίησης των οχημάτων για το περιβάλλον τους. Ως αποτέλεσμα, το σύγχρονο όχημα έχει γίνει μια πλατφόρμα αισθητήρων που μεταδίδει και λαμβάνει δεδομένα από το περιβάλλον του. Τέτοια δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υποστήριξη προηγμένων εφαρμογών ασφάλειας που μειώνουν τα τροχαία ατυχήματα, αυξάνουν την αποτελεσματικότητα της κυκλοφορίας και βελτιώνουν την πρόσβαση σε οχήματα έκτακτης ανάγκης. Ωστόσο, αυτές οι εφαρμογές απαιτούν ένα συντονισμένο πλαίσιο, με χαρακτηριστικά που υποστηρίζουν εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση για προειδοποιητικά σήματα, υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων για κοινή χρήση αισθητηριακών δεδομένων μεταξύ οχημάτων και υποδομών, υψηλή κινητικότητα, υψηλή αξιοπιστία και επεκτασιμότητα.

Έχει διεξαχθεί μαζική έρευνα από τη βιομηχανία και άλλους οργανισμούς για την αντιμετώπιση των δυνατοτήτων επικοινωνίας των οχημάτων και των υποδομών μεταφορών. Το 3GPP ορίζει τέσσερις τύπους περιπτώσεων χρήσης επικοινωνίας οχημάτων: Οχήμα με όχημα (V2V), Οχήμα σε Υποδομή (V2I), Οχήμα σε Πεζό (V2P) και Οχήμα σε Δίκτυο (V2N), οι οποίες είναι όλα συλλογικά αναφέρονται ως V2X. Οι

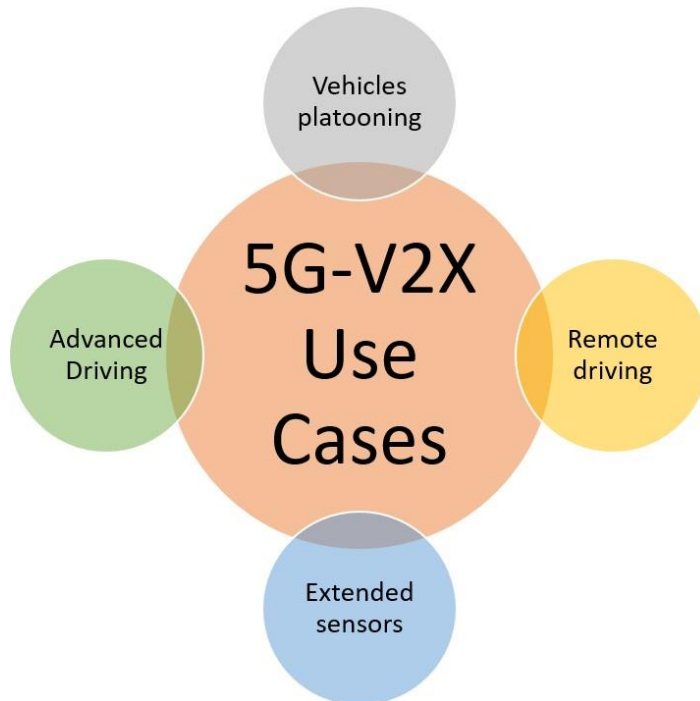
επικοινωνίες V2V και V2P είναι ουσιαστικά μεταξύ οχημάτων ή μεταξύ οχημάτων και ευάλωτων χρηστών του δρόμου (για παράδειγμα, πεζοί, ποδηλάτες) για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τη θέση, την ταχύτητα και την κατεύθυνση για την αποφυγή ατυχημάτων. Το V2I περιλαμβάνει την άμεση επικοινωνία μεταξύ οχημάτων και υποδομών στην άκρη του δρόμου, όπως οι Οδικές Μονάδες (RSU). Το RSU χρησιμοποιείται για την επέκταση του εύρους των μηνυμάτων που λαμβάνονται από ένα όχημα ενεργώντας ως κόμβος προώθησης. Η μετάδοση V2N είναι μεταξύ ενός οχήματος και ενός διακομιστή εφαρμογών V2X για την υποστήριξη υπηρεσιών όπως ροή πολυμέσων για ψυχαγωγία και συνδεσιμότητα για δυναμική διαχείριση διαδρομής.

Με σημαντικές προόδους στις τεχνολογίες υπολογιστών και επικοινωνιών, η αυτοκινητοβιομηχανία στρέφεται προς τα αυτοματοποιημένα οχήματα. Αυτά τα οχήματα είναι εξοπλισμένα με εποχούμενους αισθητήρες ικανούς να ανιχνεύουν το περιβάλλον τους για να πλοηγούνται ενώ εκτελούν όλες τις λειτουργίες οδήγησης χωρίς ανθρώπινη συνδρομή. Τέτοια οχήματα έχουν αναφερθεί ως αυτόνομα οχήματα (AVs) ή αυτοοδηγούμενα οχήματα. Οι πωλήσεις AV αναμένεται να ξεπεράσουν τα 33 εκατομμύρια ετησίως έως το 2040, επιτρέποντας νέα αυτόνομη κινητικότητα σε περισσότερο από το 26 τοις εκατό των πωλήσεων νέων αυτοκινήτων. Το AV είναι ένα υπομήμα του ITS. Για τον προσδιορισμό της αυτονομίας ενός AV, η Διεθνής Εταιρεία Μηχανικών Αυτοκινήτων (SAE) έχει επινοήσει ένα σύστημα ταξινόμησης αυτονομίας που βασίζεται σε ένα συνεχές έξι επίπεδων. Αυτά τα επίπεδα κυμαίνονται από το επίπεδο μηδέν, «πλήρως χειροκίνητο», έως το επίπεδο πέντε, «πλήρως αυτοματοποιημένο». Οι τεχνολογίες αιχμής έχουν ωθήσει το όχημα στην αυτονομία επιπέδου τρία, η οποία επιτρέπει στο όχημα να παρακολουθεί το περιβάλλον και να χειρίζεται καταστάσεις έκτακτης ανάγκης όπως το φρενάρισμα έκτακτης ανάγκης. Ωστόσο, η αυτονομία οχημάτων επιπέδου πέντε χωρίς καμία υποστήριξη από την επικοινωνία V2X δεν είναι πρακτική. Επειδή περιορίζει την ικανότητα του αυτόνομου οχήματος να αντιδρά σε ταχύτερους ελιγμούς, να αποτρέπει συγκρούσεις και ακραίες περιπτώσεις.

3.3.1 Χρήση 5G-V2X

Το 5G μπορεί να πραγματοποιήσει το όραμα του AV υποστηρίζοντας την ανταλλαγή πληροφοριών αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο με τον τεράστιο αριθμό συνδέσεων που απαιτούνται για την επικοινωνία με χιλιάδες αυτοκίνητα, αισθητήρες στην άκρη του δρόμου και άλλες συσκευές που μπορεί να βρίσκονται κοντά. Το 5G αναμένεται επίσης να παρέχει υψηλή απόδοση, αξιόπιστες και ισχυρές επικοινωνίες και βελτιωμένη κάλυψη για την υποστήριξη της αποφυγής συγκρούσεων σε αστικές και αγροτικές περιοχές. Επιπλέον, η μελέτη 5G Automotive Association (5GAA) καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η παράδοση ITS μέσω κυψελοειδών δικτύων σε σύγκριση με το RSU είναι σημαντικά φθηνότερη.

Το 3GPP ορίζει τις απαιτήσεις απόδοσης για βελτιωμένα σενάρια V2X με βάση διαφορετικά επίπεδα αυτοματισμού οχημάτων. Μερικές από αυτές τις προηγμένες εφαρμογές περιλαμβάνουν την οδήγηση οχημάτων, την απομακρυσμένη οδήγηση, την προηγμένη οδήγηση και τους εκτεταμένους αισθητήρες. Επιπλέον, επεξεργαζόμαστε επίσης καθεμία από τις βελτιωμένες περιπτώσεις χρήσης V2X 3GPP στα ακόλουθα.



Εικόνα 4. Βελτιωμένες περιπτώσεις χρήσης V2X

3.3.1.1 Vehicles Platooning-Διμοιρία Οχημάτων

Η διμοιρία επιτρέπει στα οχήματα να σχηματίσουν μια στενά συντονισμένη ομάδα που ταξιδεύει μαζί με σημαντικά μειωμένη απόσταση μεταξύ των οχημάτων, αυξάνοντας έτσι την οδική χωρητικότητα, την απόδοση καυσίμου, μειώνοντας τα ποσοστά ατυχημάτων και αυξάνοντας την παραγωγικότητα αφήνοντας τους οδηγούς να εκτελούν άλλες εργασίες. Όλα τα οχήματα της διμοιρίας ανταλλάσσουν περιοδικά πληροφορίες με το κορυφαίο όχημα και συνεχίζουν τις επιχειρήσεις της διμοιρίας. Όλα τα οχήματα μιας συγκεκριμένης διμοιρίας μπορούν να οδηγηθούν αυτόνομα. Η διμοιρία πρέπει να υποστηρίζεται από πολλές απόψεις από αξιόπιστες επικοινωνίες V2V:

- Σύνδεση και έξοδος από τη διμοιρία: Επιτρέπει σε ένα όχημα να ενωθεί ή να αποχωρήσει από μια διμοιρία ανά πάσα στιγμή ενώ η διμοιρία είναι ενεργή και υποστήριξη πρόσθετης σηματοδότησης για την ολοκλήρωση της επιχείρησης άρθρωσης/αποχώρησης.
- Ανακοίνωση και ειδοποίηση: Επιτρέπει στα κοντινά οχήματα να γνωρίζουν τις διμοιρίες (σχηματισμός και παρουσία). Αυτό θα διευκολύνει την ομαλή λειτουργία της ένταξης ή εξόδου από μια διμοιρία, καθώς το όχημα που επιθυμεί να ενταχθεί στη διμοιρία θα μπορεί να το κάνει χωρίς να διαταράξει τη διμοιρία.
- Διαχείριση μηνυμάτων: Επιτρέπει τη λειτουργία των οχημάτων σε μια διμοιρία σε σταθερή κατάσταση με την ανταλλαγή μηνυμάτων διαχείρισης, συμπεριλαμβανομένης της επιτάχυνσης, του φρεναρίσματος, της επιλογής διαδρομής, της αλλαγής αρχηγού διμοιρίας κ.λπ.

Για να διασφαλιστεί η αποτελεσματική και ασφαλής διμοιρία, η επικοινωνία V2V πρέπει να υποστηρίζει αξιόπιστη και ασφαλή ανταλλαγή μηνυμάτων λόγω της μικρής απόστασης στόχου μεταξύ των οχημάτων ενώ τα οχήματα ταξιδεύουν με σχετικά υψηλές ταχύτητες. Ακολουθούν μερικές από τις πιο σημαντικές απαιτήσεις επικοινωνίας V2V για την διμοιρία:

- Ο λανθάνοντας χρόνος επικοινωνίας από άκρο σε άκρο είναι 25 χιλιοστά του δευτερολέπτου για μια ομάδα οχημάτων με τον χαμηλότερο βαθμό αυτοματισμού και 10 χιλιοστά του δευτερολέπτου για τον υψηλότερο βαθμό αυτοματισμού.
- Αξιοπιστία μηνυμάτων 90 τοις εκατό σε μια ομάδα οχημάτων με τον χαμηλότερο βαθμό αυτοματισμού και 99,99 τοις εκατό σε μια ομάδα οχημάτων με τον υψηλότερο βαθμό αυτοματισμού.
- Για διμοιρία σε κοντινή απόσταση, απαιτείται η σχετική διαμήκης ακρίβεια θέσης 0,5 m.
- Ο ρυθμός μετάδοσης των μηνυμάτων κυμαίνεται από 10 έως 30 μηνύματα ανά δευτερόλεπτο.

3.3.1.2 Remote Driving- Απομακρυσμένη οδήγηση

Η απομακρυσμένη οδήγηση επιτρέπει σε έναν χειριστή ή έναν οδηγό από απόσταση να ελέγχει ένα όχημα μέσω επικοινωνίας V2N χρησιμοποιώντας μια εφαρμογή που βασίζεται σε cloud. Διάφορα σενάρια χρήσης της απομακρυσμένης οδήγησης είναι τα εξής:

- Σε ακραίες περιπτώσεις μπορούν να σταματήσουν ένα όχημα, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να επιλέξει μια διαδρομή ή μια προσέγγιση για την ασφαλή πλοήγηση. Η απομακρυσμένη οδήγηση μπορεί να βοηθήσει τα οχήματα σε ακραίες περιπτώσεις που απαιτούν από το όχημα να ζητήσει απομακρυσμένο οδηγό για βοήθεια με τηλεχειρισμό. Οχήματα που ταξιδεύουν μέσα σε κακές καιρικές συνθήκες ή κοντά σε εργοτάξιο, διπλά σταθμευμένα αυτοκίνητα που εμποδίζουν το όχημα να περάσει από τις κίτρινες γραμμές εισόδου/εξόδου, λωρίδες που έχουν αποκλειστεί λόγω κοντινού ατυχήματος και απροσδόκητες ή μη βιωμένες καταστάσεις στις οποίες το όχημα βρίσκεται δεν μπορεί να αναλάβει ένα ασφαλές σχέδιο δράσης ή δεν ξέρει πώς να προχωρήσει είναι παραδείγματα περιπτώσεων αιχμής.

- Οι νέοι, οι ηλικιωμένοι και άλλοι που δεν έχουν άδεια ή ικανότητα οδήγησης θα μπορούσαν να επωφεληθούν από την εξ αποστάσεως οδήγηση. Επιπλέον, η μετακίνηση φορτηγών από τη μια τοποθεσία στην άλλη, η παράδοση ενοικιαζόμενων αυτοκινήτων σε πελάτες και η παροχή υπηρεσιών ταξί εξ αποστάσεως είναι παραδείγματα καταστάσεων όπου οι ιδιοκτήτες στόλων μπορεί να χρειαστεί να ελέγχουν τα οχήματά τους εξ αποστάσεως.

- Οι δημόσιες συγκοινωνίες που βασίζονται σε cloud είναι οι πλέον κατάλληλες για υπηρεσίες με προκαθορισμένες διαδρομές και στάσεις. Η απομακρυσμένη οδήγηση έχει τη δυνατότητα να μειώσει το κόστος της πλήρως αυτόνομης οδήγησης για συγκεκριμένες περιπτώσεις χρήσης λόγω των χαμηλότερων τεχνικών απαιτήσεων της (π.χ. λιγότερους αισθητήρες εντός του οχήματος και λιγότερες απαιτήσεις υπολογισμού για εξελιγμένους αλγόριθμους).

Οι πιθανές απαιτήσεις V2X για την υποστήριξη απομακρυσμένης οδήγησης είναι οι εξής:

- Υποστήριξη για ταχύτητες δεδομένων κατερχόμενης ζεύξης έως 1 Mbps και ρυθμούς δεδομένων ανοδικής ζεύξης έως 25 Mbps (υποθέτοντας δύο ροές H.265/HEVC HD έως 10 Mb/s η καθεμία).

- Εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία 99,999%.

- Από άκρο σε άκρο καθυστέρηση 5 ms μεταξύ του οχήματος και του διακομιστή εφαρμογών V2X.

- Ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ του οχήματος και του διακομιστή εφαρμογών V2X για απόλυτη ταχύτητα έως 250 km/h.

3.3.1.3 Extended Sensors- Εκτεταμένοι αισθητήρες

Οι εκτεταμένοι αισθητήρες αναφέρονται στην ικανότητα ενός οχήματος να ανταλλάσσει ακατέργαστες ή επεξεργασμένες πληροφορίες σχετικά με αντικείμενα που βρίσκονται κοντά του πέρα από την οπτική των αισθητήρων του οχήματος. Οι πληροφορίες μπορούν να ανταλλάσσονται μεταξύ διακομιστών εφαρμογών οχημάτων, RSU, πεζών και V2X. Άλλα κοντινά οχήματα ικανά να ανιχνεύσουν αυτά τα αντικείμενα τα επεξεργάζονται και στη συνέχεια τα εκπέμπουν για να βοηθήσουν άλλα κοντινά οχήματα να παρέχουν μια πλήρη εικόνα του κυκλοφοριακού περιβάλλοντος σε μια δεδομένη περιοχή. Τα δεδομένα αισθητήρα που μπορεί να μοιραστεί ένα όχημα κυμαίνονται από μια φωτογραφία ενός αντιληπτού αντικειμένου έως τη ροή βίντεο σε πραγματικό χρόνο.

Τα δεδομένα αισθητήρων από διάφορες πηγές βελτιώνουν την επίγνωση της κατάστασης και την οδική ασφάλεια τόσο για τα οχήματα όσο και για τους πεζούς. Οι εκτεταμένοι αισθητήρες επιτρέπουν νέα χαρακτηριστικά και δυνατότητες, όπως η συνεργατική οδήγηση και η ακριβής τοποθέτηση που απαιτείται για την αυτόνομη οδήγηση. Τα οχήματα, για παράδειγμα, μπορούν να στείλουν μηνύματα σε άλλα οχήματα για να τα ειδοποιήσουν για καταστάσεις μη οπτικής επαφής (NLOS). Αυτές είναι κρίσιμες διασταυρώσεις ή ράμπες, καθώς και καιρικές συνθήκες (για παράδειγμα, βροχή, ομίχλη ή χιόνι) που περιορίζουν την εμβέλεια των αισθητήρων επί του οχήματος. Οι πιθανές απαιτήσεις επικοινωνίας μεταξύ δύο κόμβων V2X για την υποστήριξη εκτεταμένων αισθητήρων περιλαμβάνουν:

- Μέγιστη καθυστέρηση επικοινωνίας 100 ms από άκρο σε άκρο για κοινή χρήση πληροφοριών αισθητήρων μεταξύ εφαρμογών που υποστηρίζονται από V2X για οχήματα με τον χαμηλότερο βαθμό αυτοματισμού και 3 ms για τα οχήματα με τον υψηλότερο βαθμό αυτοματισμού.
- Μέγιστη καθυστέρηση επικοινωνίας από άκρο σε άκρο 50 ms για κοινή χρήση βίντεο μεταξύ εφαρμογών που υποστηρίζονται V2X για οχήματα με τον χαμηλότερο βαθμό αυτοματισμού και 10 ms για τα οχήματα τον υψηλότερο βαθμό αυτοματισμού.
- Αξιοπιστία μηνυμάτων 99,999% μεταξύ οχημάτων με τον χαμηλότερο βαθμό αυτοματισμού και 99,999% μεταξύ οχημάτων με τον υψηλότερο βαθμό αυτοματισμού.

- Υποστήριξη για υψηλή πυκνότητα σύνδεσης σε περιοχές με κυκλοφοριακή συμφόρηση, δηλαδή υποστήριξη 15.000 οχημάτων ανά μίλι σε διασταύρωση αυτοκινητοδρόμων με κυκλοφοριακή συμφόρηση.

3.3.1.4 Advanced Driving - Προηγμένη Οδήγηση

Η μερικώς ή πλήρως αυτοματοποιημένη οδήγηση είναι δυνατή με προηγμένη οδήγηση. Σε αυτό το σενάριο επιτρέπονται μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ των οχημάτων. Κάθε όχημα, ή RSU, μοιράζεται δεδομένα από τοπικούς αισθητήρες με κοντινά οχήματα, επιτρέποντάς τους να συντονίζουν τις διαδρομές οδήγησης. Τα πλεονεκτήματα της προηγμένης οδήγησης περιλαμβάνουν ασφαλέστερο ταξίδι, λιγότερες συγκρούσεις και αυξημένη απόδοση κυκλοφορίας. Ακολουθούν ορισμένες από τις πιθανές απαιτήσεις επικοινωνίας μεταξύ δύο οχημάτων που χρησιμοποιούν προηγμένες επικοινωνίες οδήγησης:

- Μέγιστη καθυστέρηση επικοινωνίας 10 ms από άκρο σε άκρο για συνεργατική αποφυγή σύγκρουσης μεταξύ Εξοπλισμού Χρήστη (UE) που υποστηρίζει την εφαρμογή V2X και 99,99 τοις εκατό αξιοπιστία μηνυμάτων.

- Μέγιστη καθυστέρηση επικοινωνίας 100 ms από άκρο σε άκρο για κοινή χρήση πληροφοριών για αυτοματοποιημένη οδήγηση μεταξύ εφαρμογών που υποστηρίζονται από V2X για οχήματα με ελάχιστη εμβέλεια 700 m για τον χαμηλότερο βαθμό αυτοματισμού και 360 m για τα οχήματα υψηλότερο βαθμό αυτοματισμού.

3.4 Ρομποτ Περιπολίας

Για να υπάρξει επιτήρηση των μέτρων που λήφθηκαν για την καταπολέμηση του κοροναϊού δημιουργήθηκαν ρομπότ περιπολίας με χρήση τεχνολογίας 5G για να παρακολουθούν την θερμοκρασία του σώματος και την χρήση μάσκας σε δημόσιους χώρους. Τα ρομπότ έχουν αναπτυχθεί από την εταιρία Guangzhou Gosuncn, χρησιμοποιώντας για το υλικό την τεχνολογία Internet of Things Advantech, ενώ για το λογισμικό την εταιρία Advantech. Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί σε αεροδρόμια, εμπορικά κέντρα και σε πόλεις.

Μετά το ξέσπασμα του Covid-19, η εταιρία Guangzhou Gosuncn που παρέχει προϊόντα και υπηρεσίες για έξυπνες πόλεις και το Διαδίκτυο Πραγμάτων (Smart City, Internet of Things - IoT), αναβάθμισε το ρομπότ αστυνόμευσης τεχνολογίας 5G με νέες δυνατότητες για να βοηθήσει αστυνομικούς πρώτης γραμμής στην διενέργεια επιθεωρήσεων πρόληψης ασθενειών. Όπως είναι γνωστό η χειροκίνητη μέτρηση της θερμοκρασίας του σώματος εκθέτει το προσωπικό ασφάλειας σε πιθανούς κινδύνους για την υγεία. Για τον λόγο αυτό μέρος του προσωπικού ασφαλείας αντικαθίσταται από ρομπότ που είναι εξοπλισμένα με πέντε κάμερες υψηλής ανάλυσης και υπέρυθρα θερμόμετρα ικανά να ανιχνεύουν ταυτόχρονα τη θερμοκρασία 10 ατόμων σε ακτίνα 5 μέτρων. Εάν εντοπιστεί υψηλή θερμοκρασία ή απουσία μάσκας, τα ρομπότ στέλνουν μια ειδοποίηση στις αρμόδιες αρχές. Όλα τα δεδομένα μπορούν να μεταδοθούν σε ένα κεντρικό κέντρο ελέγχου για την αντιμετώπιση της κατάστασης και τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Αν και αυτά τα ρομπότ είναι αυτοοδηγούμενες μηχανές μπορούν επίσης να ελέγχονται εξ αποστάσεως, εξοικονομώντας εργατικό δυναμικό μειώνοντας τις ευθύνες περιπολίας και αποτρέποντας τη διασταυρούμενη μόλυνση.

Για να αναπτυχθούν τέτοιες προηγμένες υπολογιστικές υπηρεσίες τα ρομπότ περιπολίας είναι εφοδιασμένα με υπολογιστή υψηλής απόδοσης (MIC-770), που αναπτύχθηκε από την εταιρία Advantech. Για να αντέχουν σε λειτουργία 24/7, ακραίες συνθήκες και κραδασμούς ο MIC-770 είναι εφοδιασμένος με ανθεκτική βάση και ψήκτρα απαγωγής θερμότητας από χυτό αλουμίνιο. Για τη διεξαγωγή περιβαλλοντικής ανίχνευσης, τη δυναμική λήψη αποφάσεων τον αυτόνομο έλεγχο κίνησης καθώς και την αίσθηση συμπεριφοράς και αλληλεπίδρασης, τα ρομπότ περιπολίας της Gosuncn ενσωματώνουν τις τεχνολογίες: Internet of Things - IoT, artificial intelligence- AI, cloud και άλλες προηγμένες τεχνολογίες διαχείρισης δεδομένων.

Επίσης η Siemens και η Aucma άρχισαν να αναπτύσσουν τα ευφυή ρομπότ απολύμανσης τον Φεβρουάριο του 2020. Το έργο ξεκίνησε από τον Yu Qi, επικεφαλής του ερευνητικού ομίλου της Siemens Κίνας για προηγμένες αυτοματοποιημένες κατασκευές στο Qingdao. Ο Yu Qi διάβασε ένα κομμάτι ειδήσεων που ανέφερε ότι τα ρομπότ απολύμανσης χρειάζονται επειγόντως σε πολλά νοσοκομεία. Έλαβε γρήγορα την υποστήριξη από τη διοίκηση και τους συναδέλφους για να δημιουργήσει ένα νέο είδος ευφυούς ρομπότ απολύμανσης.

Τα περισσότερα ρομπότ απολύμανσης που κυκλοφορούν στην αγορά συνδυάζουν ένα βενζινοκίνητο πιστόλι που ρίχνει το απολυμαντικό υγρό το οποίο στηρίζεται σε ένα ηλεκτρικό πλαίσιο. Ο επιτόπιος ανεφοδιασμός των ρομπότ δεν είναι βολικός, αλλά η ομάδα αποφάσισε να αναπτύξει αμιγώς ηλεκτρικά ρομπότ για να καλύψει καλύτερα τις ανάγκες των πληγείσων περιοχών. Ένα άρθρο στο δικτυακό τόπο της Siemens εξηγεί ότι μεταξύ των προκλήσεων που αντιμετώπισε η ομάδα ανάπτυξης ήταν η μεγιστοποίηση του αντίκτυπου της αποστείρωσης με λιγότερη κατανάλωση απολυμαντικών και η κάλυψη 360 μοιρών ακόμη και σε περιορισμένες περιοχές. Με τη βοήθεια μιας μπαταρίας λιθίου, ένα ρομπότ με διπλά ακροφύσια μπορεί να απολυμάνει 20.000 τ.μ. σε μία ώρα. Μια ομοιοκατευθυντική (Omnidirectional) κάμερα στην κορυφή μεταδίδει βίντεο και πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και σε συνδυασμό με έναν έξυπνο αλγόριθμο όρασης επιτρέπει στον χειριστή να εντοπίσει εξ αποστάσεως τις πληγείσες περιοχές και να αποτρέψει την εξάπλωση μολυσματικών ασθενειών με χαμηλό κόστος.

3.5 Εκπαίδευση

Ο κλάδος της εκπαίδευσης είναι ένα ευρύ θέμα και μπορεί να κυμαίνεται από ένα μικρό δημοτικό σχολείο σε μια μεγάλη πανεπιστημιούπολη. Οι περιπτώσεις κάθετης χρήσης εκπαίδευσης περιλαμβάνουν:

- Εξ αποστάσεως εκπαίδευση
- Βελτιωμένη κινητή ευρυζωνική σύνδεση για μεγάλες πανεπιστημιούπολεις
- Καθηλωτικά μαθήματα μέσω AR και VR
- Έξυπνες αίθουσες διδασκαλίας και πανεπιστημιούπολεις
- Λήψη και ροή βίντεο υψηλής χωρητικότητας

Όπως και στην υγειονομική περίθαλψη, η πανδημία COVID-19 έχει επηρεάσει την εκπαίδευση με πολλούς τρόπους, καταλύοντας την εξ αποστάσεως εκπαίδευση με περισσότερους τρόπους από ό,τι θα μπορούσαμε να φανταστούμε. Η εξ αποστάσεως μάθηση παρεμποδίζεται σοβαρά όταν η ευρυζωνική πρόσβαση δεν είναι διαθέσιμη ή δεν είναι επαρκώς ικανή να παρέχει πλούσια συνδεσιμότητα για μίμηση καταστάσεων στην τάξη για νεότερους μαθητές που χρειάζονται ενεργή επίβλεψη για να συνεχίσουν τη μάθησή τους. Το 5G μπορεί να καλύψει αυτό το κενό είτε μέσω ενός προγράμματος υπηρεσιών CSP είτε μέσω ενός ιδιωτικού δικτύου 5G.

Τα βασικά σημεία για αυτόν τον κλάδο περιλαμβάνουν:

- Λειτουργικός προϋπολογισμός
- Καλύτερη ασύρματη εσωτερική (χωρητικότητα) και εξωτερική (κάλυψη)
- Πλήρης ευρυζωνική πρόσβαση για εξ αποστάσεως εκπαίδευση
- Ασφάλεια, ανάγκη κατοχής και ελέγχου του δικτύου επικοινωνίας
- Κάλυψη Παρόχου Εμπορικών Υπηρεσιών
- Ανάγκη μελλοντικής απόδειξης για να συμβαδίζει με τις πιο πρόσφατες πολύπλοκες τεχνολογίες

Ένα από τα κύρια εμπόδια στην υιοθέτηση του 5G στον κλάδο της εκπαίδευσης είναι ο διαθέσιμος κεφαλαιακός και λειτουργικός προϋπολογισμός. Μπορεί να υπάρχει η αντίληψη ότι ένα μεγάλο, κορυφαίο πανεπιστήμιο έχει άφθονο προϋπολογισμό για την εφαρμογή των πιο πρόσφατων τεχνολογιών, αλλά η άμεση ανατροφοδότηση μέσω πολλαπλών συνεντεύξεων υποδεικνύει ότι απλά δεν ισχύει. Τα περισσότερα από αυτά τα χρήματα προορίζονται για συγκεκριμένα έργα ή για συγκεκριμένα τμήματα.

Υπάρχουν προηγμένα δίκτυα 5G σε πανεπιστημιούπολεις, αλλά τα περισσότερα από αυτά είναι απομονωμένα σε συγκεκριμένα κτίρια για ερευνητικούς σκοπούς. Για παράδειγμα, ένας διευθυντής πληροφορικής σε μεγάλο πανεπιστήμιο στην Καλιφόρνια εξηγεί: «Το να προσπαθείς να βγάλεις χρήματα από το γενικό ταμείο για να τοποθετήσεις ένα δίκτυο 5G σε όλη την πανεπιστημιούπολη σημαίνει ότι παίρνεις χρήματα από κάποιο τμήμα που προσπαθεί να κατασκευάσει ένα εργαστήριο που μπορεί να βοηθήσει στη θεραπεία τον επόμενο καρκίνο ή να λύσει το επόμενο ενεργειακό πρόβλημα ή να αναπτύξει τον επόμενο μαθητή που θα βρει αυτό το επόμενο πρόβλημα, ό,τι κι αν συμβεί».

Εκτός από την εξ αποστάσεως μάθηση, μερικές από τις πιο δημοφιλείς περιπτώσεις πιθανής χρήσης για τον κλάδο εκπαίδευσης περιλαμβάνουν σύνδεση υψηλής ταχύτητας σε εξωτερικούς χώρους σε μεγάλες πανεπιστημιούπολεις, καθηλωτικά μαθήματα μέσω AR και VR, έξυπνες αίθουσες διδασκαλίας και πανεπιστημιούπολεις και γρήγορη λήψη και ροή βίντεο. Είναι ενδιαφέρον να φανταστούμε μαθητές να πηγαίνουν στο σχολείο, να φορούν γυαλιά VR και να κάνουν μια περιήγηση στον καθεδρικό ναό του Αγίου Πέτρου, να πετούν μέσα από το ηλιακό σύστημα ή να παρακολουθούν μια πορεία στην Ουάσιγκτον σαν να ήταν εκεί. Οι δυνατότητες υψηλής απόδοσης και χαμηλής καθυστέρησης του 5G μπορούν να το κάνουν πραγματικότητα.

Οι πανεπιστημιούπολεις έχουν όλες τις υπάρχουσες λύσεις Wi-Fi που πιθανότατα παρέχουν εξαιρετική κάλυψη εσωτερικών χώρων σήμερα, αλλά πολλοί διαχειριστές κολεγίων ή προσωπικό πληροφορικής εξηγούν ότι είναι ένα συνεχές παιχνίδι κάλυψης. Υπάρχει μια φαινομενικά ακόρεστη όρεξη για ευρυζωνική υπηρεσία. Νέες συσκευές έρχονται συνεχώς στην αγορά και είναι αναπόφευκτο ορισμένοι να βρουν μια γωνιά όπου η κάλυψη είναι κακή ή ανεπαρκής.

Επιπλέον, μπορεί να υπάρχουν μεγάλες περιοχές εξωτερικού χώρου όπου η κάλυψη μπορεί να είναι ανεπαρκής. Οι πανεπιστημιακοί αρχιτέκτονες και οι ομάδες χωροταξίας αντιπαθούν τα ορατά σημεία πρόσβασης ή τις κεραίες, επομένως μπορεί να είναι δύσκολο να δημιουργηθεί η απαραίτητη υποδομή για την ολοκλήρωση ενός εξωτερικού συστήματος Wi-Fi. Ένα νέο ασύρματο σύστημα 5G θα υποστήριζε καλύτερα τις απαιτήσεις εξωτερικού χώρου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συμπλήρωμα του εσωτερικού συστήματος Wi-Fi. Ένα υπαίθριο σύστημα 5G θα μπορούσε επίσης να διευκολύνει την εξέλιξη σε ένα έξυπνο περιβάλλον πανεπιστημιούπολης παρέχοντας το μέσο για την υποστήριξη ασύρματων καμερών ασφαλείας, ψηφιακών περιπτέρων πληροφοριών και πολλών άλλων συσκευών και αισθητήρων. Μόλις εγκατασταθεί, το σύστημα 5G μπορεί εύκολα να μεταφερθεί σε εσωτερικούς χώρους για να ξεφορτώσει το σύστημα Wi-Fi, το οποίο θα μπορούσε να είναι αφιερωμένο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις χρήσης.

Η έλλειψη εμπορικής ασύρματης κάλυψης σε εσωτερικούς χώρους είναι ένα κοινό παράπονο για διάφορους κλάδους, συμπεριλαμβανομένων των πανεπιστημιούπολεων. Μια ιδιωτική λύση 5G όχι μόνο θα μπορούσε να συμπληρώσει το σύστημα Wi-Fi υποστηρίζοντας ασφαλείς και αφιερωμένες στο προσωπικό εφαρμογές, αλλά θα μπορούσε επίσης να χρησιμεύσει ως ένα ουδέτερο σύστημα κεντρικού υπολογιστή κατηγορίας φορέα που φέρνει τις υπηρεσίες CSP σε εσωτερικούς χώρους. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, υπάρχουν πολλοί τρόποι για την εφαρμογή μιας λύσης ουδέτερου κεντρικού υπολογιστή 5G.

Από την πλευρά του δημόσιου δικτύου, μια λύση ενεργού συστήματος καταμεμημένης κεραίας (DAS) θα μπορούσε να εγκατασταθεί και να μοιραστεί μεταξύ όλων των CSP, αλλά η τιμή μπορεί να είναι υψηλή τόσο για το πανεπιστήμιο όσο και για τα CSP και η απόδοση μπορεί να είναι δύσκολο να βελτιστοποιηθεί. Εναλλακτικά, θα μπορούσε να αναπτυχθεί ένα καταμεμημένο δίκτυο πρόσβασης ραδιοφώνου (DRAN), το οποίο όμως θα ήταν αφιερωμένο σε κάθε CSP, επομένως θα μπορούσε να είναι εξαιρετικά παρεμβατικό από τη σκοπιά του πανεπιστημίου.

Εναλλακτικά, ένα ιδιωτικό/ουδέτερο δίκτυο κεντρικού υπολογιστή μπορεί επίσης να διαμορφωθεί ως λύση κοινόχρηστου δικτύου πρόσβασης ραδιοφώνου (RAN). Η επιλογή Multi-Operator Radio Access Network (MORAN), επιτρέπει την κοινή χρήση του εξοπλισμού RAN, επιτρέπει σε κάθε CSP να χρησιμοποιεί τις δικές του συχνότητες και συνδέει το σύστημα πίσω στον δικό του πυρήνα. Ωστόσο, υπάρχουν περιορισμένες επιλογές εξοπλισμού που υποστηρίζουν αυτόν τον τύπο ανάπτυξης. Σε μια διαμόρφωση βασικού δικτύου πολλαπλών χειριστών (MOCN), τόσο ο εξοπλισμός RAN όσο και το φάσμα συχνοτήτων είναι κοινόχρηστα. Το δίκτυο που βασίζεται στο MOCN συνδέεται με τον πυρήνα CSP μέσω μιας πύλης MOCN με τρόπο διαφανή στον τελικό χρήστη.

Οι τελικοί χρήστες θα βλέπουν τα αναγνωριστικά του οικιακού τους δικτύου στις συσκευές τους και θα έχουν πρόσβαση σε όλες τις υπηρεσίες στις οποίες έχουν εγγραφεί από το CSP τους. Αν και δεν υπάρχουν μεγάλα τεχνικά εμπόδια στην εφαρμογή είτε μιας λύσης MORAN είτε μιας λύσης MOCN, μπορεί να είναι δύσκολο να βρεθούν εμπορικοί όροι με τους CSP. Εκεί μπορεί να είναι επωφελής η συνεργασία με έναν μεγάλο MSP, καθώς ενδέχεται να έχουν ήδη συμφωνηθεί εμπορικοί όροι και να έχουν επισημοποιηθεί οι διαδικασίες σύνδεσης.

3.6 Gaming

Το gaming είναι ένας μοναδικός κλάδος που οδηγεί καινοτόμα μοντέλα χρήσης, τα οποία μπορεί να μην μπορούσε κανείς να φανταστεί προηγουμένως και αλλάζει τον τρόπο με τον οποίο προσφέρονται και καταναλώνονται οι ασύρματες υπηρεσίες. Με τον ίδιο τρόπο που οι υπηρεσίες γραπτών μηνυμάτων αντικατέστησαν τις βασικές υπηρεσίες SMS και τηλεϊδοποίησης στις πρώτες μέρες του 4G LTE, τα παιχνίδια έχουν αναπτυχθεί αλματωδώς και με τρόπους αδιανόητους πριν από 20 χρόνια. Παρόμοια σύνολα καινοτομιών μπορούν να οδηγηθούν μέσω νέων μεθόδων χρήσης και αναδυόμενων τεχνολογιών γύρω από τα παιχνίδια.

Ο εκδημοκρατισμός της εμπειρίας παιχνιδιών και η διαθεσιμότητα παιχνιδιών για οποιονδήποτε χρήστη smartphone κάνει ήδη τον ελκυστικό κλάδο τυχερών παιχνιδιών ακόμη πιο δυναμικά προσοδοφόρα για τη βιομηχανία τηλεπικοινωνιών με δυνατότητα 5G. Ο συνδυασμός βελτιώσεων στην υποδομή δικτύου, καθώς και η εξέλιξη του οικοσυστήματος της βιομηχανίας τυχερών παιχνιδιών προς την καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών κινητών τηλεφώνων, θα έχει τον πιο σημαντικό αντίκτυπο για το μέλλον του gaming για κινητά. Οι βελτιώσεις του δικτύου 5G θα ξεκλειδώσουν καλύτερες ταχύτητες, απόδοση και το πιο σημαντικό, χαμηλό λανθάνοντα χρόνο για καλύτερο gaming για κινητά. Ωστόσο, αυτό που έχει μεγαλύτερη σημασία από αυτά τα χαρακτηριστικά δικτύου είναι η συνέπεια στην παράδοση για ιδανικές εμπειρίες παιχνιδιού.

Για να προσελκύσει το πολύτιμο τμήμα τυχερών παιχνιδιών 5G, το οικοσύστημα της βιομηχανίας πιθανότατα θα εξελιχθεί ως εξής:

- Διευρυμένη προσφορά gaming cloud - συνέχιση του παιχνιδιού σε οποιαδήποτε οθόνη,
- Προόδους σε φορητές συσκευές, π.χ. εικονική πραγματικότητα και επαυξημένη και μικτή πραγματικότητα (AR/MR).
- Καθλωτικά περιβάλλοντα υψηλής πιστότητας (καλύτερα γραφικά, σχήματα, υφές, ήχος κλπ.).
- Δημιουργία παιχνιδιού ειδικά για πρόσβαση σε φορητές συσκευές 5G.
- Μεγαλύτερη βιομηχανική συνεργασία, συνεργασίες και χορηγίες.
- Ομαδοποίηση αξίας εστιασμένη στο gaming 5G, gaming-as-a-service (GaaS) και καινοτόμα νέα επιχειρηματικά μοντέλα.

Μαζί, αυτές οι βελτιώσεις θα δημιουργήσουν μια πιο δραματική στροφή προς το cloud gaming, πιο ομαλό gameplay, πιο καθλωτικές (VR και AR/MR) και κοινωνικές εμπειρίες, καθώς και εκλεπτυσμένες προσεγγίσεις προώθησης στην αγορά για την παροχή κινήτρων για gaming 5G.

3.6.1 Θέματα τεχνολογίας 5G για το Gaming Vertical

- Αρχιτεκτονική 5G New Radio (NR) – Η απόδοση και η εμπειρία τυχερών παιχνιδιών θα βελτιωθούν καθώς οι πάροχοι τηλεπικοινωνιών αλλάζουν από δίκτυα 5G NSA (μη αυτόνομα) σε δίκτυα 5G SA (αυτόνομα). Επιπλέον, θα υπάρχει βελτιωμένη πυκνότητα κάλυψης που παρέχεται από το φάσμα μεσαίας ζώνης, καθώς και βελτιωμένη ταχύτητα και κάλυψη από φάσμα υψηλής ζώνης και mmWave. Πιο συγκεκριμένα, οι βελτιωμένες ευρυζωνικές συνδέσεις κινητής τηλεφωνίας (eMBB) και οι Ultra-Reliable and Low Latency Communications (URLLC) της 5G SA θα βελτιώσουν δραματικά και θα εγγυηθούν την ταχύτητα (αξιοπιστία άνω του 99,999%), την απόδοση και τον πολύ χαμηλό λανθάνοντα χρόνο επιτρέποντας την εμπειρία παιχνιδιού 5G επόμενου επιπέδου. Όσον αφορά τα παιχνίδια για κινητά, αυτές οι εξελίξεις θα μπορούσαν να είναι σαν να πηγαίνουν από την αρχική κονσόλα παιχνιδιών PlayStation στο PlayStation 5, να ξεπεράσουν γενιές καινοτομίας και να δημιουργήσουν εμπειρίες υψηλής πιστότητας με δυνατότητα 5G.

- Ταχύτητα - Αναμένεται ότι οι απαιτήσεις ταχύτητας θα αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου, αλλά δεν θα είναι μόνο η ίδια η ταχύτητα που έχει σημασία. Άλλοι παράγοντες που καθορίζουν τα πιθανά κατώφλια ελάχιστης ταχύτητας μπορεί να εξαρτώνται από τον πάροχο cloud, τον

τύπο του είδους του παιχνιδιού, την απαίτηση ανάλυσης, τα χρησιμοποιούμενα αξεσουάρ – καθώς και τις απαιτήσεις συνέπειας του αντίκτυπου για την ομαλή λειτουργία παιχνιδιού. Αν και παραδοσιακά η μεταφόρτωση δεν ήταν τόσο σημαντική, η αυξανόμενη δημοτικότητα της κοινής χρήσης βίντεο κλιπ στο YouTube αρχίζει να το αλλάζει. Σήμερα, τα παιχνίδια και οι σχετικές υπηρεσίες μπορεί να απαιτούν 10-20 Mbps, αλλά αυτό θα μπορούσε να ανέλθει σε 20- 40 Mbps ή περισσότερο στο μέλλον. Επιπλέον, όσο χαμηλότερη είναι η μεταβλητότητα των ταχυτήτων, τόσο καλύτερος είναι ο τελικός χρήστης εμπειρία. Για παράδειγμα, τα 10-15 Mbps είναι συχνά καλύτερα από 10-50 Mbps, εάν η παροχή δεδομένων παραμένει σταθερή. Φυσικά, γενικά, οι υψηλότερες και πιο σταθερές ταχύτητες είναι τελικά πιο επιθυμητές (π.χ. 40-50 Mbps είναι καλύτερες από 10-15 Mbps). Σήμερα, η ροή παιχνιδιών περιορίζεται επί του παρόντος στα 4K (Google Stadia), αλλά αυτό μπορεί να αλλάξει σε 8K.

- Latency - Οι λειτουργίες δικτύου, όπως υπολογισμός άκρων πολλαπλής πρόσβασης, τοπικό νέφος, διαχωρισμός δικτύου και QoS θα βοηθήσουν στην προσέγγιση των χρηστών στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών, καθώς και στην ιεράρχηση της κυκλοφορίας παιχνιδιών για βελτιωμένο λανθάνοντα χρόνο για την καλύτερη υποστήριξη καθηλωτικών παιχνιδιών για πολλούς παίκτες και cloud. Η βελτιωμένη καθυστέρηση μικρότερη από 20 ms επιτρέπει επίσης εμπειρίες παιχνιδιού VR/AR.

- Edge computing - θα είναι ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό για την υποστήριξη της εξαιρετικά χαμηλής καθυστέρησης και απόδοσης που απαιτούνται από τα παιχνίδια 5G καθώς και το VR/AR, ειδικά επειδή οι περισσότεροι πάροχοι παιχνιδιών cloud έχουν κεντρική αρχιτεκτονική. Σε συνδυασμό, το 5G και το edge computing θα συμβάλουν στη μείωση του φόρτου εργασίας και της εξάντλησης της μπαταρίας στις κινητές συσκευές και θα επιτρέψουν μια καλύτερη συνολική εμπειρία χρήστη μέσω μειωμένης απώλειας καρέ και καθυστέρησης κίνησης σε φωτόνιο. Πρόσφατα, ένα απροσδόκητο εύρημα σε μια ζώνη δοκιμών υπολογιστών αιχμής της AT&T στο ερευνητικό της κέντρο στην Καλιφόρνια βρήκε την προβλεψιμότητα καθυστέρησης του υπολογιστικού άκρου έναντι του ίδιου του ποσού της καθυστέρησης.

Καθώς οι τεχνικές γνώσεις και κατανόηση του δικτύου 5G των καταναλωτών αυξάνονται, οι προσδοκίες πιθανότατα θα μετατοπιστούν από την απλή κατανόηση του λανθάνοντος χρόνου, στη γνώση της συνέπειας (εγγυημένης) παράδοσης, γεγονός που θα κάνει μετρήσεις όπως το «jitter» πιο σημαντικές και πιο κοινά κατανοητές.

Για τους παίκτες 5G, τα ping άνω των 100 ms μπορούν να επηρεάσουν την ικανότητα του παίκτη να ανταγωνίζεται σε παιχνίδια με γρήγορο ρυθμό. Ενώ το 5G με υπολογιστές αιχμής θα συμβάλει στη βελτίωση αυτού του γεγονότος, η υψηλή καθυστέρηση κίνησης, μπορεί να δημιουργήσει μια παρενέργεια σε ορισμένους παίκτες. Σε ένα πρόσφατο πείραμα με το Google Stadia, ένας ελεγκτής αξιολόγησε την εμπειρία παιχνιδιού στο cloud σε διαφορετικά είδη παιχνιδιών και καθόρισε:

- 1-25 ms χωρίς αντιληπτή καθυστέρηση, αισθάνεται εγγενής
- 25-100 ms κάποια αντιληπτή καθυστέρηση
- 100+ ms αισθητή καθυστέρηση

Δεδομένου του πλεονεκτήματος «εν κινήσει» των παιχνιδιών 5G, η κάλυψη θα αποτελεί επίσης ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για τους παίκτες τυχερών παιχνιδιών. Συγκεκριμένα, η «διαθεσιμότητα» είναι μια χρήσιμη μέτρηση που χρησιμοποιούν ορισμένες πηγές τρίτων για τη μέτρηση του χρόνου που περνούν οι χρήστες 5G συνδεδεμένοι σε ένα ενεργό σήμα 5G. Το ποσοστό διαθεσιμότητας, σύμφωνα με την έκθεση OpenSignal στις ΗΠΑ από τον Ιανουάριο του 2021 σημείωσε ότι η T-Mobile μετακινήθηκε από 22,5% σε 30,1%, η Verizon από 0,4% στο 9,5% και η AT&T από 10,3% στο 18,8%.

3.6.2 Οικοσύστημα βιομηχανίας τυχερών παιχνιδιών

- Πάροχοι Cloud Gaming - Οι βελτιώσεις στην εμπειρία δικτύου 5G θα ενθαρρύνουν τη μετάβαση από το gaming κονσόλας/υπολογιστή στο gaming cloud. Αυτή η τάση μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη συνεργασία μεταξύ του cloud computing και των παρόχων

τηλεπικοινωνιών για να επιτραπεί μια καλύτερη εμπειρία δικτυακού gaming μέσω διαφορετικών τεχνολογιών, όπως το edge computing, καθώς και αυξημένο μάρκετινγκ συνεργασίας. Παράδειγμα τέτοιας συνεργασίας είναι η πρόσφατη τριετής συμφωνία που υπέγραψε η Verizon για την επίσημη συνεργασία υπηρεσιών δικτύου 5G με την Riot Games για το League of Legends και τα Valorant e-sports.

- Προγραμματιστές παιχνιδιών και εκδότες - Η βιομηχανία αναμένει την ανάπτυξη παιχνιδιών υψηλής πιστότητας «5G original», τα οποία είναι προσαρμοσμένα στις μοναδικές απαιτήσεις συγκεκριμένων φορητών συσκευών, όπως η αξιοποίηση της κάμερας, του GPS, των αισθητήρων, καθώς και του ίδιου του μέσου. Αναμένεται ότι η συνολική επιταχυνόμενη στροφή προς τα κινητά θα αλλάξει την αντίληψη ότι το κινητό gaming υπονομεύει την ποιότητα. Ένα συγκρίσιμο παράδειγμα αυτής της αλλαγής μοιάζει με το πώς το HD και τα σύγχρονα ειδικά εφέ έχουν επηρεάσει την κινηματογραφική βιομηχανία του Χόλιγουντ όσον αφορά την ποιότητα παραγωγής. Παραδείγματα αυτής της δημοτικότητας περιλαμβάνουν το Call of Duty και το Mario Kart Tour, τα οποία είναι και τα δύο μεγάλα franchise τυχερών παιχνιδιών που είναι τώρα διαθέσιμα σε κινητά. Επιπλέον, η δημοτικότητα των δωρεάν μοντέλων παιχνιδιών, όπως αυτό που χρησιμοποιείται στο Candy Crush, καταδεικνύει το όφελος από τη μαζική υιοθέτηση του παιχνιδιού για κινητά που οδηγεί σε νέα επιχειρηματικά μοντέλα με γνώμονα τα κέρδη μέσω διαφήμισης και αγορών εντός παιχνιδιού.

- Wearables – Τα επόμενα χρόνια, πιθανότατα θα υπάρξει μια δραματική πρόοδος στα wearables, δεδομένων των ουσιαστικών βελτιώσεων στον λανθάνοντα χρόνο. Το VR θα αλλάξει σε κινητά με υψηλότερη ανάλυση γραφικών. Το AR/MR θα δημιουργήσει καθηλωτικές εμπειρίες gaming μέσω διευρυμένου οπτικού πεδίου, καθώς και θα επιτρέψει περιεχόμενο AR με δυνατότητα κοινής χρήσης/προβολής σε πραγματικό χρόνο σε εμπειρίες ομάδας εγκαταστάσεων. Τα Wearables θα δημιουργήσουν ουσιαστικά μια νέα κατηγορία «υλισμικού» που δεν θα διαφέρει από τις κονσόλες παιχνιδιών πρώτης γενιάς της δεκαετίας του 1980. Ένα παράδειγμα είναι το Microsoft HoloLens 2, το οποίο επιδεικνύει πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης ικανότητας να βλέπεις περισσότερα ολογράμματα ταυτόχρονα μέσω του αυξημένου οπτικού πεδίου, καθώς και μια πιο εκλεπτυσμένη εργονομική, ενστικτώδη και μη συνδεδεμένη εμπειρία.

- Οι τεχνολογίες AR/VR θα χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές παιχνιδιών για να βυθίσουν τους παίκτες στην καρδιά μιας ιστορίας παιχνιδιού και να παρέχουν δελεαστικά εικονικά αντικείμενα. Λόγω του πιο διασκεδαστικού περιβάλλοντος, οι τεχνολογίες AR/VR θα μπορούσαν ενδεχομένως να οδηγήσουν σε ανανεωμένη δυναμική για ξεπερασμένα παιχνίδια. Οι προγραμματιστές VR μπορούν να χρησιμοποιήσουν βελτιωμένη εμπειρία χρήστη για να προσελκύσουν τους παίκτες με νέους τρόπους. Είναι πιθανό ότι αυτή η κατηγορία θα δει την πρόσβαση στο 5G να παρέχει μια οδό για χαμηλότερο κόστος, μικρότερο βάρος, πιο άνετα περιφερειακά με καλύτερες μπαταρίες. Η καλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας θα μπορούσε να έχει τη μορφή βελτιωμένων μπαταριών συνολικά και πιο αποδοτικών συσκευών.

- Τα νέα περιφερειακά θα διευκολύνουν επίσης την αναπαραγωγή παιχνιδιών σε smartphone, συμπεριλαμβανομένων ελεγκτών τρίτων, ακουστικών VR και πακέτων μπαταριών. Επιπλέον, μέσω του Διαδικτύου των Αισθήσεων, χαρακτηριστικά όπως απτικά (σπλαχνικά), χωρικός (εμβυθιστικός) ήχος και μυρωδιά θα μπορούσαν τελικά να γίνουν στην πρώτη γραμμή των τίτλων παιχνιδιών VR και AR. Τελικά, η μαζική υιοθέτηση του VR/AR πιθανότατα θα εξαρτηθεί από την ποιότητα του περιεχομένου που κυκλοφορεί, καθώς και από το πόσο επιτυχημένο θα χρησιμοποιηθεί σε άλλες περιπτώσεις κάθετης χρήσης, όπως η προβολή ψυχαγωγίας στο στάδιο. Ένα παράδειγμα ενός καινοτόμου τίτλου παιχνιδιού VR/AR ήταν η κυκλοφορία του Half-Life: Alyx τον Νοέμβριο του 2019, το οποίο κατέληξε να είναι το παιχνίδι VR με το υψηλότερο προφίλ, προκαλώντας αύξηση των πωλήσεων για όλες τις άλλες συσκευές VR, συμπεριλαμβανομένου του Oculus του Facebook.

- Ηλεκτρονικά αθλήματα - Αυτός ο ταχέως αναπτυσσόμενος τομέας της βιομηχανίας τυχερών παιχνιδιών θα επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό από τα τυχερά παιχνίδια 5G. Πολλές εταιρείες τηλεπικοινωνιών συνεργάζονται με προγραμματιστές παιχνιδιών για να επιδείξουν τα οφέλη των δικτύων τους 5G μέσω τουρνουά ηλεκτρονικών αθλημάτων για κινητά. Για τους παίκτες, η χαμηλότερη καθυστέρηση μπορεί να οδηγήσει σε περισσότερες νίκες. Όταν

εφαρμόζονται σε ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον, τα χαρακτηριστικά του δικτύου θα πρέπει να είναι σε ένα δίκαιο πεδίο, όπως δίκαιοι κανόνες/εξοπλισμός για οποιοδήποτε άλλο επαγγελματικό άθλημα.

- Το κοινό μπορεί επίσης να περιμένει καλύτερη ροή και πιο καθλωτική εμπειρίες που παρέχονται από VR/AR (με διευρυμένο οπτικό πεδίο). Είναι πιθανό ότι τα ανταγωνιστικά παιχνίδια VR/AR για πολλούς παίκτες θα μπορούσαν να αυξηθούν σε δημοτικότητα ανταγωνιστικά esports, επίσης. Με βελτιωμένες εμπειρίες θαυμαστών, είναι πιθανό να ακολουθήσουν αυξημένα διαφημιστικά και χορηγικά δολάρια. Πρόσφατα, η Verizon σχημάτισε μια συνεργασία με την Dignitas επιτρέποντας στους παίκτες να εκπαιδεύονται σε μια υπερσύγχρονη εγκατάσταση ηλεκτρονικών αθλημάτων 5G στο Λος Άντζελες της Καλιφόρνια ως μέρος του εργαστηρίου 5G τους.

- Είδη παιχνιδιών - Τα υπάρχοντα είδη παιχνιδιών θα συνεχιστούν, όπως: παιχνίδια σκοποβολής, αθλητικά παιχνίδια, παιχνίδια δράσης/ περιπέτειας, περιστασιακά παιχνίδια για έναν παίκτη και παιχνίδια για πολλούς παίκτες. Ωστόσο, πιθανότατα θα υπάρξουν εξελίξεις όπως η άνοδος των παιχνιδιών Massively Multiplayer Online (MMO) και η εμφάνιση νέων δυνατοτήτων αφήγησης ιστοριών και νέων ειδών όπως τα διαδραστικά παιχνίδια πραγματικού κόσμου, δεδομένων των εξελίξεων του δικτύου και των βελτιώσεων στο AR. Το Pokémon Go, ένα δωρεάν παιχνίδι επαυξημένης πραγματικότητας που βασίζεται σε τοποθεσία που αναπτύχθηκε από τη Niantic, έχει αποκτήσει αυξανόμενη δημοτικότητα λόγω των χαρακτηριστικών πολλαπλών παικτών και AR.

- Διαφήμιση - Τα παιχνίδια 5G θα πρέπει κατ' αρχήν να είναι ο καταλύτης για πιο στοχευμένη και σχετική διαφήμιση εντός του παιχνιδιού. Η δυναμική διαφήμιση εντός παιχνιδιού (DiGA) θα επιτρέψει στις επωνυμίες να δημιουργούν δυναμικά γεγονότα εντός παιχνιδιού πιο εύκολα και αποτελεσματικά. Επιπλέον, η γεωγραφική στοχευμένη διαφήμιση θα έχει μεγαλύτερη επίδραση, καθώς περισσότεροι πελάτες παίζουν παιχνίδια εν κινήσει. Από διαφημίσεις με γεωγραφική στόχευση γρήγορου φαγητού έως αποστολές επώνυμης εμπειρίας, θα υπάρξουν μεγαλύτερα πιθανά έσοδα από διαφημίσεις από τη στροφή προς το 5G που βασίζεται στο cloud gaming.

3.6.3 Αναδυόμενα επιχειρηματικά μοντέλα στο 5G Gaming

Η ανάπτυξη του gaming 5G θα ενισχύσει την ανάπτυξη του Gaming as a Service (GaaS). Το GaaS επιτρέπει στους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε ένα παιχνίδι ή περιεχόμενο (μέσω ροής κατ' απαίτηση) από οποιαδήποτε συσκευή μέσω ενός επαναλαμβανόμενου μοντέλου εσόδων. Προσφέρει τρόπους δημιουργίας εσόδων από βιντεοπαιχνίδια είτε μετά την αρχική πώλησή τους είτε μέσω ενός μοντέλου free-to-play. Υπάρχουν διάφορα παραδείγματα GaaS που κυμαίνονται από το Massively Multiplayer Online Παιχνίδια (MMO) που χρησιμοποιούν μηνιαία συνδρομή, υπηρεσίες συνδρομής παιχνιδιών όπως το Xbox Game Pass. Παρέχετε πρόσβαση σε μια μεγάλη ψηφιακή βιβλιοθήκη, παιχνίδια cloud όπως το PlayStation Now που επιτρέπουν στους συνδρομητές να παίζουν μέσω απομακρυσμένων διακομιστών σε τοπικές συσκευές, μικροσυναλλαγές που επωφελούνται από αγορές χαμηλού κόστους και κάρτες σεζόν, που παρέχουν ενημερώσεις μεγάλου περιεχομένου κατά τη διάρκεια μιας σεζόν ή ενός έτους.

Με τη δυνατότητα στόχευσης του επιθυμητού τμήματος τυχερών παιχνιδιών 5G, πιθανότατα θα υπάρξουν ειδικά πακέτα παιχνιδιών 5G από παρόχους τηλεπικοινωνιών για την παροχή κινήτρων για αγορές. Αυτά θα μπορούσαν να έχουν τη μορφή των εξής:

- Premium πακέτα με άφθονα δεδομένα
- Παιχνίδια cloud με έκπτωση / πακέτο με συμβόλαιο 5G
- Πακέτο ασύρματη και ενσύρματη προσφορά

Πρόσφατα, οι εταιρείες ασύρματης σύνδεσης με έδρα στις ΗΠΑ άρχισαν να συγκεντρώνουν περιεχόμενο μέσω ψηφιακής ομαδοποίησης με έκπτωση για να διαφοροποιήσουν τις προσφορές, να μειώσουν την εκτροπή, να προωθήσουν τη χρήση 5G και να αποκτήσουν δεδομένα κατανάλωσης. Η Verizon προσέφερε 12 μήνες PlayStation Plus και

PlayStation Now, ξεκινώντας από τα τέλη του 2020 για πελάτες 5G με επιλεγμένα απεριόριστα σχέδια.

Πιθανότατα θα υπάρξει συνεχής ανάπτυξη στις συνεργασίες μάρκετινγκ και τις χορηγίες με παρόχους τυχερών παιχνιδιών cloud, που ποικίλλουν από την προώθηση λειτουργιών υπολογιστών αιχμής και υπηρεσιών QoS, οφέλη προγράμματος αφοσίωσης πελατών, επωνυμία με προγραμματιστές παιχνιδιών και από κοινού μάρκετινγκ. Πολλοί τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι βλέπουν τα πλεονεκτήματα αυτών των συνεργασιών για την προώθηση νέων προσφορών 5G στην κοινότητα τυχερών παιχνιδιών.

Η South Korea Telecom (SKT) συνεργάστηκε για την παροχή «SKT 5GX Cloud Game» που υποστηρίζεται από το Microsoft Xbox Game Pass Ultimate στη Νότια Κορέα. Η προσφορά περιελάμβανε πρόσβαση σε περισσότερα από 100 παιχνίδια στον κατάλογο Xbox Game Pass για περίπου 14,40 \$ ΗΠΑ το μήνα, που θεωρείται ταυτόχρονα ως παράγοντας δημιουργίας εσόδων από μια υπάρχουσα βάση, καθώς και ως εργαλείο απόκτησης για την απόκτηση νέων πελατών.

Τον Ιανουάριο του 2020, ένας Νοτιοκορεάτης ξεκίνησε επίσης μια cloud υπηρεσία παιχνιδιών GeForce NOW (Ιανουάριος 2020) σε συνεργασία με την Nvidia και είναι προσβάσιμη στο LG Plus smartphone. Ως παιχνίδι διατήρησης, προσφέρθηκε δωρεάν σε πελάτες που είχαν εγγραφεί στην υπηρεσία 5G.

Κατά τα άλλα, η τριετής επίσημη συνεργασία της Verizon για την υπηρεσία δικτύων 5G με την Riot Games for League of Legends και Valorant e-sports αναμένεται να προσφέρει στους πελάτες εκπτώσεις στις αγορές του League of Legends εντός παιχνιδιού μέσω του προγράμματος Verizon Up. Επιπλέον, η AT&T έχει συνεργαστεί με την ESL για να ξεκινήσει το ESL Mobile Open ένα πρωτάθλημα ηλεκτρονικών αθλημάτων όλο το χρόνο.

Κεφάλαιο 4 Μελλοντική εξέλιξη 5G στην Ελλάδα

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλύσουμε την εξέλιξη του δικτύου 5^{ης} γενιάς στην Ελλάδα. Στην Ελλάδα, ο διαγωνισμός για τη χορήγηση φάσματος συχνοτήτων 5G έχει πραγματοποιηθεί από την Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ) και οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι τροποποιούν και αναβαθμίζουν συνεχώς τις υποδομές τους για την καλύτερη υποστήριξη του 5G δικτύου.

Πιο συγκεκριμένα, τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών 5ης γενιάς, αναβαθμίζονται συνεχώς σε τέτοιο βαθμό που μπορούν να παρέχουν σύγχρονες και καινοτόμες υπηρεσίες, πέρα από απλά δίκτυα πρόσβασης.

Επιπροσθέτως, έχουν τη δυνατότητα και τις προοπτικές να δημιουργήσουν και νέες ροές εσόδων αναπτύσσοντας πρωτότυπα συνεργατικά επιχειρηματικά μοντέλα στις αγορές όπως είναι η αυτοκινητοβιομηχανία, η ναυσιπλοΐα και η θαλάσσια βιομηχανία, τα δίκτυα υποδομών/ενέργειας και η υγεία.

Αναλυτικότερα με βάση τις ανακοινώσεις των εταιρειών στην Ελλάδα σχεδιάζουν δίκτυα για να παρέχουν νέες δυνατότητες. Συγκεκριμένα θα προσφέρουν πιο υψηλή ποιότητα κλήσεων στις υπηρεσίες φωνής, μεγαλύτερες ταχύτητες, αλλά και αδιάλειπτη επικοινωνία, μέσα από τη δυνατότητα εναλλαγής ανάμεσα στο κινητό δίκτυο και το Wi-Fi.

Με την ανάπτυξη αυτή αναμένονται εφαρμογές που θα δημιουργήσουν έξυπνες πόλεις και θα ανοίξουν νέους δρόμους στους τομείς της αυτοματοποιημένης οδήγησης, της ρομποτικής χειρουργικής και της εκπαίδευσης. Ορισμένες από αυτές έχουν παρουσιαστεί ήδη στην πιο καινοτόμο ελληνική πόλη, τα Τρίκαλα, θέτοντας σε λειτουργία την πρώτη πιλοτική εφαρμογή δικτύου 5G. Στο πλαίσιο της πιλοτικής λειτουργίας του δικτύου 5G στα Τρίκαλα έγινε παρουσίαση του πρώτου αυτοκινήτου με οδηγό εξ αποστάσεως, μέσω 5G διασύνδεσης. Χάρη στις υψηλές ταχύτητες και την αξιοπιστία του δικτύου 5G, ο οδηγός χειρίστηκε το όχημα από απόσταση μέσω cockpit και οθόνης, όπου σε πραγματικό χρόνο είχε την ίδια ορατότητα στην πορεία του αυτοκινήτου, όπως εάν βρισκόταν στη θέση του οδηγού. Οι εντολές του οδηγού μεταφέρθηκαν αυτόματα μέσω 5G, με άμεση ανταπόκριση του οχήματος. Το δίκτυο 5G υποστήριξε την οδήγηση ενός οχήματος από απόσταση, καθώς εξασφάλισε υψηλή ταχύτητα, αξιοπιστία και άριστη απόκριση του δικτύου (low latency), σε συνδυασμό με μεγάλο bandwidth για την άμεση μεταφορά εικόνας και τη δυνατότητα άμεσου χειρισμού εξ αποστάσεως.

Άλλη εφαρμογή που έχει πραγματοποιηθεί μια παρουσίαση είναι σχετικά με τις δυνατότητες της τηλεχειρουργικής, μέσω δικτύου 5G, σε συνεργασία με το Ιατρικό Κέντρο Αθηνών και το Ερευνητικό Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο Συστημάτων Επικοινωνιών και Υπολογιστών (ΕΠΙΣΕΥ) του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου. Αποτελεί το επόμενο βήμα στην ρομποτική χειρουργική, που θα δίνει τη δυνατότητα στον χειρουργό να διενεργεί χειρουργικές επεμβάσεις εξ αποστάσεως, ανταποκρινόμενος σε μια έκτακτη ανάγκη ή και μέχρι να φτάσει στο νοσοκομείο, προλαμβάνοντας έτσι την απώλεια μιας ανθρώπινης ζωής. Δίνονταν η δυνατότητα, από την πόλη των Τρικάλων, να συνδεθεί μέσω 5G και να χειριστεί απομακρυσμένα τους χειρουργικούς βραχίονες που βρισκόταν στο Ιατρικό Κέντρο Αθηνών, καθοδηγώντας την εκτέλεση χειρουργικών κινήσεων, ακριβείας. Η μεταφορά εικόνας από το χειρουργείο μέσω 5G υποστηρίχθηκε από το Ιατρικό Κέντρο Αθηνών και την Livemedia. Έτσι, μέσω του δικτύου πέμπτης γενιάς, ένας γιατρός θα είναι σε θέση να χειρίζεται ρομποτικό σύστημα εξ' αποστάσεως, μέσω παράλληλης μετάδοσης εικόνας, υψηλής ευκρίνειας με μηδενικές καθυστερήσεις (Latency) και μεγάλου bandwidth. Στις πόλεις του μέλλοντος, θα πραγματοποιούνται, πλέον, ρομποτικές επεμβάσεις από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου, δίδοντας παράλληλα, τη δυνατότητα στο χειρουργό, να ασκήσει τη χειρουργική του επιστήμη, άμεσα και απομακρυσμένα, προς όφελος των ασθενών.

Στην ψηφιακή κοινωνία του μέλλοντος, η πρόσβαση στην εκπαίδευση δεν έχει περιορισμούς και η επιστημονική γνώση χάρη στα δίκτυα 5G θα είναι διαθέσιμη σε όλους. Τα δίκτυα νέας γενιάς δίνουν τη δυνατότητα πρόσβασης σε υψηλού επιπέδου γνώση αλλά και σε μοναδικές βιωματικές εμπειρίες. Οι μαθητές από την πόλη των Τρικάλων είχαν την ευκαιρία να παρακολουθήσουν ένα διαφορετικό μάθημα για την ανθρώπινη εξερεύνηση του Διαστήματος. Η

τεχνολογία 5G υποστηρίζει ολογραφικές κλήσεις χάρη στις υψηλές ταχύτητες και την εξαιρετική απόκριση. Σημειώνεται επίσης ότι η πιλοτική εφαρμογή 5G στην πόλη των Τρικάλων υλοποιήθηκε σε συνεργασία με την Huawei που παρείχε υποστήριξη ως προς την τεχνική υλοποίηση του έργου.

Συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση της μελέτης για την διπλωματική εργασία, έγινε φανερό πως η εξέλιξη της τεχνολογίας και οι ανάγκες των χρηστών οδήγησαν στην δημιουργία του 5G. Αρχικά, παρουσιάστηκε στο πρώτο κεφάλαιο μια σύντομη ιστορική διαδρομή από την τεχνολογία 1G έως και την τεχνολογία 5G. Στη συνέχεια, δόθηκε έμφαση στα κίνητρα που οδήγησαν στην ανάγκη για ανάπτυξη νέων συστημάτων, όπως είναι οι απαιτήσεις για μικρότερες καθυστερήσεις, μεγαλύτερους ρυθμούς και η δυνατότητα υποστήριξης περισσότερων συσκευών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μελέτη της αρχιτεκτονικής και της τεχνολογίας 5G που χρησιμοποιήθηκε στο δίκτυο 5G. Αρχικά αναφέρετε στα βασικά στοιχεία αυτής της αρχιτεκτονικής που χρειάζεται για το δίκτυο πέμπτης γενιάς. Στη συνέχεια εξηγείται η SDN, NFV αρχιτεκτονική. Έπειτα γίνεται μία σχετικά λεπτομερή αναφορά στις τεχνολογίες που επιτρέπουν την δημιουργία και υποστήριξη του νέου δικτύου. Συνεχίζετε το κεφάλαιο αυτό με το Network Function Virtualization που είναι απαραίτητο ώστε να γίνονται οι λειτουργίες του δικτύου με βάση το λογισμικό, πράγμα που θα ελαφρύνει αρκετά τους μεταγωγείς του δικτύου και θα συμβάλλει στην εξοικονόμηση εσόδων.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται διάφορες περιπτώσεις χρήσης του 5G. Αρχικά γίνεται αναφορά στις έξυπνες πόλεις στις οποίες θα υπάρξει μεγάλη ανάκαμψη στην ενέργεια, την υγειονομικής περίθαλψη, στην βιομηχανία, στην ανάπτυξη των μεταφορών με την βοήθεια του 5G φέρει ριζοσπαστικές αλλαγές και στην ασφάλεια του κοινωνικού συνόλου μέσω των ρομποτ περιπολίας, στην εκπαίδευση τις περιπτώσεις κλείνουμε με τις αλλαγές που έρχονται στο κομμάτι του gaming. Από τις εφαρμογές και τις περιπτώσεις χρήσεις γίνεται κατανοητό ότι οι έρευνες για τις επόμενες γενιές μετά το 5G θα συνεχίσουν να συμβαδίζουν με τα σύγχρονα τεχνολογικά επιτεύγματα, παρέχοντας αξιόπιστες υπηρεσίες για την αδιάλειπτη επικοινωνία.

Στο τελευταίο κεφάλαιο αναλύονται χρήσης του δικτύου πέμπτης γενιάς στην Ελλάδα κάνοντας ένα σημαντικό βήμα προς τη δημιουργία μιας τεχνολογίας που μπορεί πραγματικά να πραγματοποιήσει το όραμα μιας κοινωνίας όπου απολαμβάνει όλα τα οφέλη από τη σύνδεση.

Βιβλιογραφία

- [1] A. U. Gawas, "An Overview on Evolution of Mobile Wireless Communication Networks: 1G-6G," *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, Vol.3, Issue.5, pp. 3130- 3133, May 2015.
- [2] White Paper IMT-2020 (5G) Promotion Group 5G Network Technology Architecture, (2015).
- [3] 3GPP TS 23.502, V16.7.1 Release16 (2021-01) "Procedure for the 5G System (5GS)".
- [4] 3GPP TS 23.501, V16.6.0 Release16 (2020-10) "Procedure for the 5G System (5GS)".
- [5] 3GPP TS 23.503, 3GPP Technical Specification 23.503, "Policy and charging control framework for the 5G System (5GS)".
- [6] 3GPP TS 33.501, 3GPP Technical Specification 33.501, "Security architecture and procedures for 5G System".
- [7] N. A. Falahy, O. Y. Alani, "Technologies for 5G Networks: Challenges and Opportunities," *IT Professional*, Vol.19, Issue.1, pp.12-20, JanFeb 2017.
- [8] P. Sharma, "Evolution of Mobile Wireless Communication Networks 1G to 5G as well as Future Prospective of Next Generation Communication Network," *IJCSCMC*, Vol.2, Issue.8, pp. 47-53, August 2013.
- [9] M. C. Lucas-Estan and J. Gozalvez, "Distance-based radio resource allocation for device-to-device communications," in *2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, June 2017, pp. 1–5.
- [10] C. Yeh, G. Lin, M. Shih, and H. Wei, "Centralized interference-aware resource allocation for device-to-device broadcast communications," in *2014 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings), and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom)*, Sep. 2014, pp. 304–307.
- [11] G. Giambene and T. A. Khoa, "Efficiency and fairness in the resource allocation to device-to-device communications in lte-a," in *2018 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, May 2018, pp. 1–6.
- [12] M. M. Alsulami and N. Akkari, "The role of 5G wireless networks in the internet of things (IoT)," *2018 1st International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS)*, Riyadh, 2018, pp. 1-8.
- [13] https://www.3gpp.org/ftp/PCG/PCG_46
- [14] GSMA Global 5G Landscape Q1 2021
- [15] TR23.791 Study of Enablers for Network Automation for 5G
- [16] 5G VoNR+ Whit Paper, China Mobile Research Institute, November, 2020
- [17] https://www.cisco.com/c/m/en_us/solutions/industries/portfolio-explorer.html
- [18] https://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/industries/manufacturing/white-paper-c11-742529.pdf
- [19] <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2020/11/2020-11-GSMA-Manufacturing-Benefits-Props-Factory-Efficiency.pdf>
- [20] <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/iot/the-new-source-of-capacity-5G-in-utilities-in-2020-and-beyond/>
- [21] <https://www.infocom.gr/2020/02/07/ksekinise-dimosia-diavoulefsi-gia-fasma-5G/50884/>
- [22] <https://banks.com.gr/vodafone-elladas-ependyseis-evryzonikotita-kai-5G/>

- [23] <https://www.tovima.gr/2019/12/13/finance/diktyo-5G-apo-to-2021-gia-ti-vodafone-ellados/>
- [24] <https://www.tovima.gr/2019/09/12/market/deth-i-wind-parousiase-to-pilotiko-diktyo-5G>
- [25] <https://www.cosmote.gr/cs/cosmote/gr/5G.html>
- [26] Massive MIMO toward 5G
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09205071.2020.1783825>
- [27] 5G System Design. Patrick Marsch, Omer Bulakci, Olav Queseth, Mauro Boldi. (2018). Architectural and Functional Considerations and Long Term Research.
- [28] [5G - Architecture \(tutorialspoint.com\)](#)
- [29] Zanella, A.; Bui, N.; Castellani, A.; Vangelista, L.; Zorzi, M. Internet of Things for Smart Cities. IEEE Internet Things J. 2014, 1, 22–32.
- [30] Yan, J.; Liu, J.; Tseng, F.M. An evaluation system based on the self-organizing system framework of smart cities: A case study of smart transportation systems in China. Technol. Forecast. Soc. Chang. 2020, 153, 119371.
- [31] Wood, L. Global Smart Cities Market Report 2020–2025: Analysis & Forecasts of Smart Transportation, Smart Buildings, Smart Utilities, Smart Citizen Services. 2020.
- [32] Attaran, M. The impact of 5G on the evolution of intelligent automation and industry digitization. J. Ambient. Intell. Humaniz. Comput. 2021.
- [33] 5GAmericas. 5G Services and Use Cases. 2019. Available online: <https://www.5GAmericas.org/5G-services-use-cases/>
- [34] Wang, J.; Zhong, H.; Xia, Q.; Kang, C. Optimal Planning Strategy for Distributed Energy Resources Considering Structural Transmission Cost Allocation. IEEE Trans. Smart Grid 2018, 9, 5236–5248.
- [35] Li, D. 5G and intelligence medicine—How the next generation of wireless technology will reconstruct healthcare? Precis. Clin. Med. 2019, 2, 205–208.
- [36] Ericsson 5G Healthcare—Understanding the Opportunities for Operators in Healthcare. 2019.
- [37] Scully, P. Industrial IoT Platforms for Manufacturing 2019–2024 Report—IoT Analytics. 2019.
- [38] International Federation of Robotics. 2021. Available online: <https://ifr.org/case-studies/collaborative-robots/stihl-opens-upnew> (accessed on 3 May 2021).
- [39] SAE International—Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. 2014. Available online: <http://www.sae.org/> (accessed on 3 May 2021).
- [40] [The Audi A8: the World's First Production Car to Achieve Level 3 Autonomy - IEEE Spectrum](#)
- [41] Chung, J.j.; Kim, H.J. An Automobile Environment Detection System Based on Deep Neural Network and its Implementation Using IoT-Enabled In-Vehicle Air Quality Sensors. Sustainability 2020, 12, 2475.
- [42] Lari, A.; Douma, F.; Onyiah, I. Self-Driving Vehicles and Policy Implications: Current Status of Autonomous Vehicle Development and Minnesota Policy Implications. 2015.
- [43] Marletto, G. Who Will Drive the Transition to Self-Driving? A Socio-Technical Analysis of the Future Impact of Automated Vehicles. Technol. Forecast. Soc. Chang. 2019, 139, 221–234.

[44] Ma, K.; Liu, X.; Liu, Z.; Chen, C.; Liang, H.; Guan, X. Cooperative Relaying Strategies for Smart Grid Communications: Bargaining Models and Solutions. *IEEE Internet Things J.* 2017, 4, 2315–2325.

[45] S, S.R.; Dragicević, T.; Siano, P.; Prabakaran, S.S. Future Generation 5G Wireless Networks for Smart Grid: A Comprehensive Review. *Energies* 2019, 12, 2140.