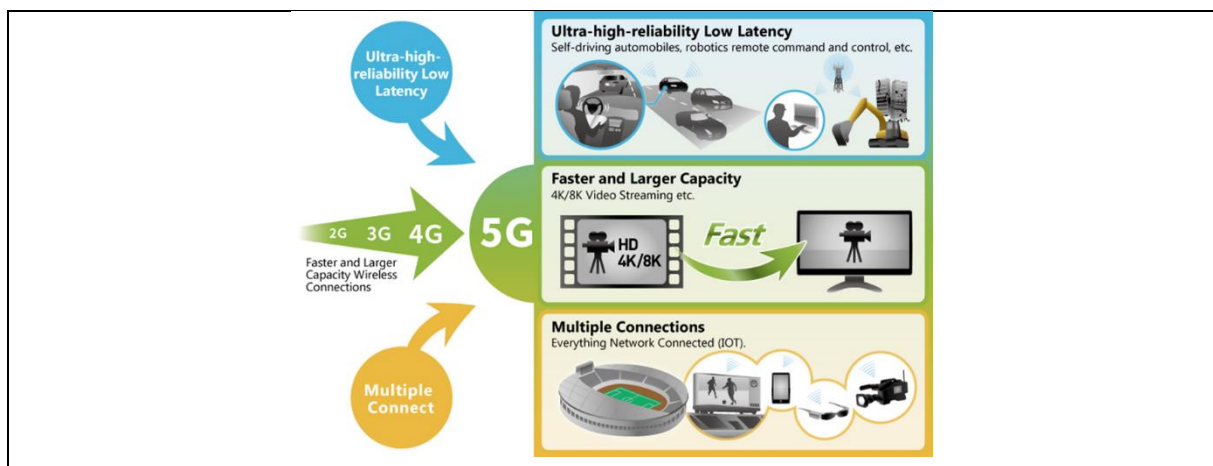


ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«Αρχιτεκτονική και Εφαρμογές των Δικτύων 5G»



Των φοιτητών
Ον/μο: Στεργίου Κωνσταντίνου
Αρ. Μητρώου: 2019242

Επιβλέπων
Ον/μο: Δρ. Βίτσας Βασίλειος
Βαθμίδα: Καθηγητής

Ον/μο: Μπαλλά Κωνσταντίνου
Αρ. Μητρώου: 2019239

Ημερομηνία 04/02/2022

Τίτλος Δ.Ε.: Αρχιτεκτονική και Εφαρμογές των Δικτύων 5G

Κωδικός Δ.Ε. 21319

Όνοματεπώνυμο φοιτητών: Στεργίου Κωνσταντίνος & Μπαλλάς Κωνσταντίνος

Όνοματεπώνυμο εισηγητή: Δρ. Βίτσας Βασίλειος

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε.: 30/09/2021

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε.: 04/02/2022

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.Π.Α.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία των φοιτητών Στεργίου Κωνσταντίνου & Μπαλλάς Κωνσταντίνου που την εκπόνησαν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

«Αφιέρωση»

Πρόλογος

Η επιλογή του θέματος έγινε γιατί τα δίκτυα 5ης γενιάς αλλάζουν τον κόσμο των επικοινωνιών, του διαδικτύου, την εμπειρία χρήσης του και τις νέες υπηρεσίες που μπορούν να προσφερθούν μέσω αυτού. Η εποχή μας χαρακτηρίζεται από τη συνεχή και γρήγορη εξάπλωση των κινητών επικοινωνιών. Οι υπηρεσίες που παρέχουν εκτός από τις υπηρεσίες φωνής είναι και υπηρεσίες δεδομένων καλύπτοντας το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της γης. Δίνουν την δυνατότητα πρόσβασης στο διαδίκτυο από οπουδήποτε στον κόσμο και σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Σε ένα κόσμο που η καθημερινότητα των ανθρώπων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διασύνδεση με το διαδίκτυο η εμπειρία χρήσης του με τα δίκτυα 5ης γενιάς θα αλλάξει. Προδιαγράφεται ένα μέλλον υπερύψηλών ταχυτήτων, χαμηλής καθυστέρησης και τεραστίων δυνατοτήτων που θα βοηθήσει στη μαζική ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών που θα αλλάξουν εκτός από τη ζωή των ανθρώπων, και τις επιχειρήσεις. Θα είναι εφικτές εφαρμογές εικονικής αλλά και επαυξημένης πραγματικότητας, το διαδίκτυο των δεξιοτήτων, προηγμένες υπηρεσίες έξυπνου σπιτιού, το αυτοκινούμενο όχημα και πολλές άλλες καινοτόμες αλλαγές που θα μπορούν να γίνουν πραγματικότητα.

Περίληψη

Νέα προϊόντα τεχνολογίας, που χαρακτηρίζονται ως «έξυπνες» συσκευές, συνδέονται με το Διαδίκτυο και ενσωματώνουν λειτουργίες που απαιτούν την αλληλοσύνδεση τους. Παράλληλα η χρήση του Διαδικτύου έχει γίνει ένα απαραίτητο αγαθό χρήσιμο σε κάθε πτυχή της ζωής του ανθρώπου, έχοντας εισάγει και καθιερώσει έναν νέο τρόπο ζωής, δίνοντας του τη δυνατότητα της συνεχούς και απρόσκοπτης επικοινωνίας με τον οποιονδήποτε από οπουδήποτε. Από την πρώτη εμφάνιση ασύρματων δικτύων που έγινε στο τέλος της δεκαετίας του 70 μέχρι την εμφάνιση των δικτύων 5^{ης} γενιάς η πρόοδος είναι συνεχής. Η αύξηση των υπηρεσιών και η αύξηση της ικανότητας κίνησης των δεδομένων μέσω των δικτύων συμβαδίζουν. Τα δίκτυα 5^{ης} γενιάς καθιστούν δυνατή την παροχή αυξημένης ικανότητας κίνησης και την υποστήριξη ενός μεγάλου φάσματος υπηρεσιών αλλάζοντας την εμπειρία χρήσης. Στην εργασία γίνεται αναφορά στην εξέλιξη των δικτύων από την εμφάνιση τους και στα χαρακτηριστικά των δικτύων 5G. Περιγράφεται η αρχιτεκτονική του Network Slicing και οι χρήσεις του. Επίσης υπάρχει αναφορά στη χρήση της Τεχνικής Νοημοσύνης και δίνονται παραδείγματα χρήσης των δικτύων 5G. Στο τέλος υπάρχουν τα συμπεράσματα της εργασίας.

«Architecture and Applications of the 5G Network»

«Konstantinos Stergiou»
«Konstantinos Ballas»

Abstract

New technology products, known as "smart" devices, connect to the Internet and incorporate functions that require their interconnection. At the same time, the use of the Internet has become a necessary commodity useful in every aspect of human life, having introduced and established a new way of life, enabling the user to communicate continuously and seamlessly with anyone from anywhere. From the first advent of wireless networks in the late 1970s to the advent of 5th generation networks, progress has been steady. Increasing services and increasing the ability to move data through networks go hand in hand. 5th generation networks make it possible to provide increased mobility and support a wide range of services by changing the user experience. This work refers to the evolution of networks from their appearance and the characteristics of 5G networks. The architecture of Network Slicing and its uses are described. There is also a reference to the use of Artificial Intelligence. Moreover, examples of the use of 5G networks are given. Finally, conclusions of the addressed issues are given.

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή Δρ. Βίτσα Βασίλειο για τη βοήθεια και στήριξη που είχαμε, ώστε να μπορέσουμε να εκπονήσουμε την πτυχιακή μας εργασία.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	v
Περίληψη.....	vi
Abstract	vii
Ευχαριστίες	viii
Περιεχόμενα	ix
Κατάλογος Σχημάτων	xi
Συντομογραφίες.....	xiii
Κεφάλαιο 1ο: Δίκτυα.....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Επικοινωνίες δεδομένων και δικτύωση για τις επιχειρήσεις σήμερα.....	1
1.2.1 Ασύρματα δίκτυα	3
Κεφάλαιο 2ο: Εισαγωγή στα Δίκτυα 5G.....	8
2.1 Εξέλιξη των δικτύων	8
2.2 Ανατομία κινητής τηλεφωνικής κλήσης	10
2.3 1η Γενιά - 1G.....	14
2.4 2η Γενιά – 2G.....	16
2.5 3η Γενιά – 3G.....	18
2.6 4η Γενιά – 4G.....	20
2.7 5η Γενιά – 5G.....	23
Κεφάλαιο 3ο: Χαρακτηριστικά δικτύων 5G και σκοπός χρήσης τους.....	27
3.1 Εισαγωγή.....	27
3.2 Αξιοποίηση δικτύων 5G.....	29
Κεφάλαιο 4ο: Επισκόπηση Network slicing	38
4.1 Αρχιτεκτονική Network slicing.....	38
4.2 Χρήσεις Network slicing.....	46
4.3 Εφαρμογές τεμαχισμού δικτύου 5G.....	48
4.3.1 Χειρουργική 5G.....	48
4.3.2 Παιχνίδι	49
4.3.3 Αυτόνομα οχήματα.....	49
4.3.4 Αθλητισμός.....	49
4.3.5 IoT Network Slices.....	49
Κεφάλαιο 5ο: Η νοημοσύνη στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 5G.....	51

Κεφάλαιο 6ο: Η επίδραση των δικτύων 5G στη ζωή μας	62
6.1 Λιμάνι του Αμβούργου.....	67
6.2 Εφαρμογή στο Palazzo Madama του Τορίνο	71
6.3 Μαστογραφίες εξ αποστάσεως στη Σουηδία	72
6.4 Έξυπνα κράνη για έξυπνη ασφάλεια στην Ιταλία	73
6.5 Ασθενοφόρα συνδεδεμένα με 5G στο Μπέρμινγχαμ του Ηνωμένου Βασιλείου	74
6.6 Αβέιρο – Η έξυπνη πόλη της Πορτογαλίας που τρέχει με 5G	75
6.7 Γεωργικό ρομπότ για την καταπολέμηση ζιζανίων με 5G και AI.....	75
6.8 Συνδεδεμένες αγελάδες και τοκετός.....	76
Κεφάλαιο 7ο: Συμπεράσματα.....	77
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	78

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Εργασία εξ' αποστάσεως [2]	2
Σχήμα 1.2: WBANs σε σχέση με άλλες Ασύρματες Επικοινωνίες [3]	5
Σχήμα 1.3: Δίκτυα Υπολογιστών [5].....	7
Σχήμα 2.1: Ένα μικρό κινητό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας ομοιόμορφου μεγέθους κυψέλης [8].....	8
Σχήμα 2.2: Ένα παράδειγμα κυψελοειδών συστημάτων επικοινωνίας [7]	9
Σχήμα 2.3: Γεωμετρικές διατάξεις [1].....	10
Σχήμα 2.4: Η ανατομία μιας κλήσης μέσω κυψελοειδούς δικτύου [11].....	11
Σχήμα 2.5: Περιαγωγή κλήσεων [11].....	13
Σχήμα 2.6: Από το 1G στο 5G [12].....	14
Σχήμα 2.7: Από το 1G στο 5G [12].....	14
Σχήμα 2.8: Κινητά τηλέφωνα 1G [10]	14
Σχήμα 2.9: Η αρχιτεκτονική AMPS [6]	15
Σχήμα 2.10: Μια εσωτερική ματιά στο τηλέφωνο DynaTAC από το 1973 [14]	16
Σχήμα 2.11: Κινητά τηλέφωνα 2G [10]	16
Σχήμα 2.12: Η αρχιτεκτονική ενός συστήματος GSM [6]	17
Σχήμα 2.13: Η αρχιτεκτονική του GPRS [6].....	17
Σχήμα 2.14: Η εξέλιξη από το 2G στο 4G [15].....	18
Σχήμα 2.15: Κινητά τηλέφωνα 3G [10]	18
Σχήμα 2.16: Διάγραμμα Δικτύου WCDMA [6].....	19
Σχήμα 2.17: Το Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) είναι μια βασική τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας 3G [16]	20
Σχήμα 2.18: Κινητά τηλέφωνα 4G [10]	21
Σχήμα 2.19: Αρχιτεκτονική δικτύου 4G [17].....	21
Σχήμα 2.20: Η ετερογενής αρχιτεκτονική δικτύου κινητής τηλεφωνίας 4G πολλαπλών προτύπων [18]	22
Σχήμα 2.21: Από το 1G στο 5G [21].....	23
Σχήμα 2.22: Σύγκριση 5G και 4G [21]	24
Σχήμα 2.23: Χρήσεις του δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G [23]	25
Σχήμα 2.24: Αρχιτεκτονική δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G [10].....	25
Σχήμα 3.1: Τι είναι καινούργιο στο 5G [27]	28
Σχήμα 3.2: Πεδία που συμβάλλουν τα δίκτυα 5G [28].....	29
Σχήμα 3.3: Χρήση στις Επικοινωνίες Μηχανή σε Μηχανή [28]	30
Σχήμα 3.4: Εφαρμογές Επικοινωνιών Μηχανή σε Μηχανή [28].....	31
Σχήμα 3.5: Internet of Things (IoT): Συνδέοντας “Anything, Anyone, Anytime, Anyplace”. [28]	32
Σχήμα 3.6: IoV και V2V επικοινωνίες [30]	33
Σχήμα 3.7: Η αρχιτεκτονική του συστήματος παρακολούθησης υγείας που βασίζεται στο IoT [31] ..	34
Σχήμα 3.8: Γενική αρχιτεκτονική ενός συστήματος απομακρυσμένης παρακολούθησης ασθενών με βάση το 5G [32]	34
Σχήμα 3.9: VR/AR τεχνολογίες [33].....	35
Σχήμα 3.10: Αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου του Διαδικτύου των Δεξιοτήτων και απαιτούμενα δομικά στοιχεία [34].....	36
Σχήμα 3.11: Σενάριο ενδιαφέροντος με τη βοήθεια UAV-BS [35]	37
Σχήμα 4.1: Παγκόσμια κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας 2017-2022 [37].....	38
Σχήμα 4.2: Εννοιολογική απεικόνιση του τεμαχισμού δικτύου [36]	41

Σχήμα 4.3: Χρήση του Network slicing για ετερογενείς και εξειδικευμένες υπηρεσίες [39]	42
Σχήμα 4.4: Αρχιτεκτονική Network slicing [41].....	43
Σχήμα 4.5: Ένα παράδειγμα πολλαπλής δρομολόγησης με προτεραιότητα. [42].....	44
Σχήμα 3.1: Ροή Ελέγχου Εισόδου [43]	45
Σχήμα 4.7: Χρήσεις Network slicing [44].....	46
Σχήμα 4.8: Network slicing μοντέλο σε πολυεπίπεδη προσέγγιση [44]	48
Σχήμα 5.1: Δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 5G, ένας βασικός ενεργοποιητής για όλες τις κινητές συσκευές σε όλους τους κλάδους. [48]	52
Σχήμα 5.2: Κυβελοειδή δίκτυα 5G ενεργοποιημένα από AI. [48].....	53
Σχήμα 5.3: Massive MIMO και 5G [46]	54
Σχήμα 5.4: Automatic modulation classification τεχνικές [49].....	55
Σχήμα 5.5: Τεχνικές Κωδικοποίησης καναλιών [50].....	56
Σχήμα 5.6: Τεχνικές Κωδικοποίησης καναλιών [51].....	56
Σχήμα 5.7: Διαχείριση πόρων ραδιοφώνου: προσεγγίσεις και υλοποιήσεις από 4G σε 5G και πέρα [53]	58
Σχήμα 5.8: Οι τεχνικές 5G έχουν σαφή αντίκτυπο στην ενεργειακή απόδοση [54]	59
Σχήμα 5.9: Βελτιστοποίηση τεμαχισμού δικτύου με προσανατολισμό στο περιεχόμενο που βασίζεται σε υβριδικό δίκτυο ασύρματης πρόσβασης με δυνατότητα προσωρινής αποθήκευσης [55].....	60
Σχήμα 5.10: Εξασφαλίζοντας το μέλλον μας στο 5G [57].....	61
Σχήμα 5.11: Τοπίο απειλής ασφάλειας 5G για πολλές επιθέσεις στο IoT [58].....	61
Σχήμα 6.1: 5G και Internet of Things [59].....	62
Σχήμα 6.2: Η έξυπνη πόλη [59]	63
Σχήμα 6.3: Αυτοκινούμενο Όχημα και 5G [59].....	64
Σχήμα 6.4: 5G στο Alba Iulia Smart City [60].....	65
Σχήμα 6.5: 5G στο Λιμάνι του Αμβούργου [66].....	68
Σχήμα 6.6: Επισκόπηση περιπτώσεων χρήσης Smart Sea Port [67]	69
Σχήμα 6.7: Μετρήσεις ραδιοκάλυψης για έξυπνα φανάρια [67].....	69
Σχήμα 6.8: Το πλοίο HPA σε λειτουργία, μπροστά από το κτίριο της Elbphilharmonie [67]	70
Σχήμα 6.9: Η εφαρμογή της Τουριστικής Πόλης [68]	72
Σχήμα 6.10: Έξυπνο ασθενοφόρο [71]	74
Σχήμα 6.11: Tech Labs με το εκπαιδευτικό πλαίσιο STEAM (επιστήμη, τεχνολογία, μηχανικός, τέχνες και μαθηματικά), μέσω μεθοδολογιών Maker και ανάπτυξης έργων. [72].....	75

Συντομογραφίες

Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
ΔΠΠΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία
3GPP	Third Generation Partnership Project
5G	Fifth Generation
AI	Artificial Intelligence
AR	Augmented Reality
BS	Base Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CV	Computer Vision
D2D	Device to Device
E2E	End to End
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EE	Energy Efficiency
eMBB	enhanced Mobile BroadBand
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Commission
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
GSMA	GSM Association
IaaS	Infrastructure as a Service
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IoE	Internet of Everything
IoS	Internet of Skills
IoT	Internet of Things
IoV	Internet of Vehicles
IR	Infrared

ISO	International Organization for Standardization
ITU	International Telecommunication Union
KPI	Key Performance Indicators
LSTM	Long Short-Term Memory
LTE	Long Term Evolution
M2M	Machine to Machine
MEC	Multi-Access Edge Computing
MIMO	Multiple Input Multiple Output
mMTC	Massive Machine Type Communications
mmWave	Millimeter Wave
MNO	Mobile Network Operator
NFs	Network Functions
NFV	Network Functions Virtualization
NR	New Radio
NS	Network Slicing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
P2P	Peer to Peer
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
SDN	Software Defined Networking
SLA	Service Level Agreement
SlaaS	Slice as a Service
SMS	Short Messages Services
TDMA	Time Division Multiple Access
UAVs	Unmanned Aerial Vehicles
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
URLLC	Ultra Reliable and Low Latency Communications
V2V	Vehicle to Vehicle
VNF	Virtual Network Function
VNOs	Virtual Network Operators
VPN	Virtual Private Network

VR Virtual Reality
WCDMA Wideband Code Division Multiple Access
WiMAX Wireless Interoperability for Microwave Access

Κεφάλαιο 1ο: Δίκτυα

1.1 Εισαγωγή

Νέα προϊόντα τεχνολογίας, που χαρακτηρίζονται ως «έξυπνες» συσκευές, συνδέονται με το Διαδίκτυο και ενσωματώνουν λειτουργίες που απαιτούν την αλληλοσύνδεσή τους. Παράλληλα η χρήση του Διαδικτύου έχει γίνει ένα απαραίτητο αγαθό χρήσιμο σε κάθε πτυχή της ζωής του ανθρώπου, έχοντας εισάγει και καθιερώσει έναν νέο τρόπο ζωής, δίνοντας του τη δυνατότητα της συνεχούς και απρόσκοπτης επικοινωνίας με τον οποιονδήποτε από οπουδήποτε. Όλα αυτά έγιναν σταδιακά. Η πρώτη εμφάνιση ασύρματων δικτύων έγινε στο τέλος της δεκαετίας του 70 στις Η.Π.Α. και την Ιαπωνία. Τα επόμενα χρόνια, με την κατασκευή φθηνού ασύρματου εξοπλισμού μικρού μεγέθους και υψηλής αξιοπιστίας, παρατηρήθηκε η συγχώνευση των τομέων της επιστήμης των υπολογιστών και των επικοινωνιών. Η συγχώνευση αυτή άλλαξε σημαντικά την τεχνολογία, τα προϊόντα και τις εταιρείες της βιομηχανίας των υπολογιστών και των επικοινωνιών. Η πρόοδος σε αυτούς τους τομείς οδήγησε στη σύγκλιση των τεχνολογιών της επεξεργασίας δεδομένων (υπολογιστές) και των επικοινωνιών (εξοπλισμός μετάδοσης και μεταγωγής).

1.2 Επικοινωνίες δεδομένων και δικτύωση για τις επιχειρήσεις σήμερα

Με τον όρο δίκτυα εννοούμε ένα σύστημα επικοινωνίας δεδομένων όπου Τεχνολογίες και λογισμικό χρησιμοποιούνται για να διασυνδέουν συσκευές και να τους επιτρέπουν να επικοινωνούν. Τα δίκτυα μπορούν να ταξινομηθούν σε σχέση με το φυσικό μέσο διασύνδεσής τους ως «ενσύρματα» ή «ασύρματα». Επίσης, ανάλογα με τον τρόπο πρόσβασης σε αυτά χαρακτηρίζονται ως «δημόσια» ή «ιδιωτικά» δίκτυα.

Η δυνατότητα για αποτελεσματικές και αποδοτικές επικοινωνίες και οι εγκαταστάσεις δικτύωσης είναι ζωτικής σημασίας για κάθε επιχείρηση. Τρεις διαφορετικές τάσεις έχουν οδηγήσει σταθερά την αρχιτεκτονική και την εξέλιξη των επικοινωνιών και των εγκαταστάσεων δικτύωσης: η αύξηση της κυκλοφορίας, η ανάπτυξη νέων υπηρεσιών και η πρόοδος της τεχνολογίας.

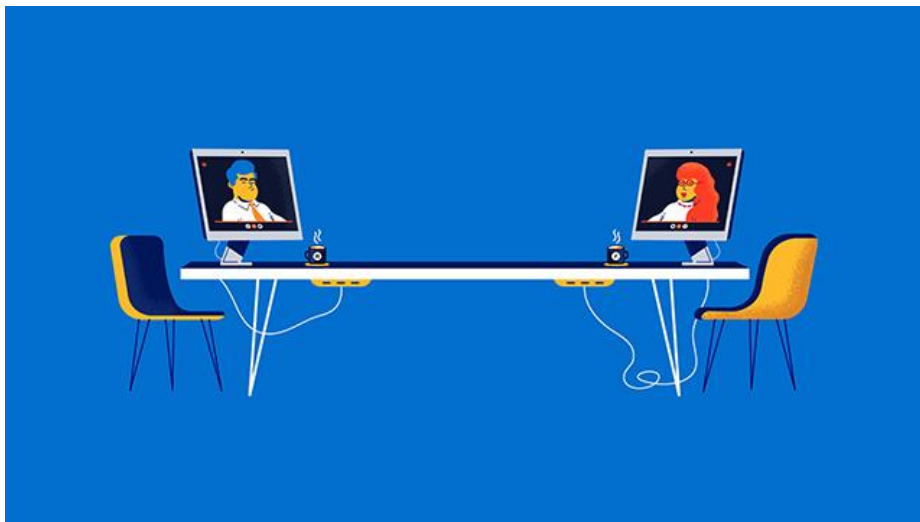
Η κίνηση των δεδομένων, τόσο σε τοπικό επίπεδο (εντός ενός κτιριακού συγκροτήματος) όσο και των μεγάλων αποστάσεων, αυξάνεται με υψηλό και σταθερό ρυθμό εδώ και δεκαετίες. Η χρήση από το σύνολο σχεδόν του πληθυσμού του Παγκόσμιου Ιστού, η μεγάλη χρήση των Κοινωνικών Δικτύων καθώς και η αυξανόμενη έμφαση στον αυτοματισμό γραφείων, την απομακρυσμένη πρόσβαση, τις διαδικτυακές συναλλαγές στα κοινωνικά δίκτυα και άλλα μέτρα παραγωγικότητας σημαίνει ότι αυτή η τάση είναι πιθανό να συνεχιστεί. Έτσι, οι μάντζερ αγωνίζονται συνεχώς να μεγιστοποιήσουν τη χωρητικότητα και να ελαχιστοποιήσουν το κόστος μετάδοσης.

Καθώς οι επιχειρήσεις βασίζονται όλο και περισσότερο στην τεχνολογία των πληροφοριών, το εύρος των υπηρεσιών διευρύνεται. Αυτό αυξάνει τη ζήτηση για εγκαταστάσεις δικτύωσης και μετάδοσης υψηλής χωρητικότητας. Με τη σειρά του, η συνεχιζόμενη αύξηση των προσφορών δικτύου υψηλής ταχύτητας με τη συνεχή πτώση των τιμών ενθαρρύνει την επέκταση των υπηρεσιών. Έτσι, η αύξηση των υπηρεσιών και η αύξηση της ικανότητας κίνησης των δεδομένων μέσω των δικτύων συμβαδίζουν.

[1]

Τέλος, οι τάσεις στην τεχνολογία καθιστούν δυνατή την παροχή αυξημένης ικανότητας κίνησης και την υποστήριξη ενός ευρέος φάσματος υπηρεσιών. Τέσσερις τεχνολογικές τάσεις είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτες: [1]

1. Η τάση προς ταχύτερα και φθηνότερα συστήματα, τόσο στην επεξεργασία δεδομένων όσο και στις επικοινωνίες. Όσον αφορά την επεξεργασία δεδομένων, αυτό σημαίνει ισχυρότερους υπολογιστές και ομάδες υπολογιστών ικανών να υποστηρίξουν πιο απαιτητικές εφαρμογές, όπως εφαρμογές πολυμέσων. Όσον αφορά τις επικοινωνίες, η αυξανόμενη χρήση οπτικών ινών μείωσε το κόστος και αύξησε σημαντικά τη χωρητικότητα.
2. Τόσο τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα προσανατολισμένα στη φωνή, όπως το Δημόσιο Τηλεφωνικό Δίκτυο (Public Switched Telephone Network - PSTN), όσο και τα δίκτυα δεδομένων, είναι πιο «έξυπνα» από ποτέ. Δύο τομείς ευφυΐας είναι αξιοσημείωτοι. Πρώτον, τα σημερινά δίκτυα μπορούν να προσφέρουν διαφορετικά Επίπεδα Ποιότητας Υπηρεσιών (Quality of Service – QoS). Δεύτερον, τα σημερινά δίκτυα παρέχουν μια ποικιλία προσαρμόσιμων υπηρεσιών στους τομείς της διαχείρισης και της ασφάλειας του δικτύου.
3. Το Διαδίκτυο, ο Ιστός και οι σχετικές εφαρμογές έχουν αναδειχθεί ως κυρίαρχα μέσα ανάπτυξης τόσο του επιχειρηματικού κόσμου όσο και σε προσωπικό επίπεδο, ανοίγοντας πολλές ευκαιρίες και προκλήσεις.
4. Με την αύξηση της ασύρματης πρόσβασης υψηλής ταχύτητας, η οποία ενισχύει περαιτέρω τη δυνατότητα χρήσης πόρων και υπηρεσιών εταιρικών πληροφοριών οπουδήποτε υπήρξε μια τάση προς μια συνεχώς αυξανόμενη κινητικότητα εδώ και δεκαετίες, απελευθερώνοντας τους εργαζόμενους από τα όρια της φυσικής επιχείρησης. Οι καινοτομίες περιλαμβάνουν φωνητικό ταχυδρομείο, απομακρυσμένη πρόσβαση σε δεδομένα, τηλεδιάσκεψη, εκτροπή κλήσεων, εικονικές αίθουσες διδασκαλίας, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, ασύρματα τηλέφωνα, κινητά τηλέφωνα και δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και πύλες Διαδικτύου. Το αποτέλεσμα είναι η ικανότητα των εργαζομένων να παίρνουν μαζί τους το επιχειρηματικό τους πλαίσιο καθώς κινούνται. Την περίοδο της καραντίνας λόγω του Κορονοϊού υπήρξε μια τεράστια στροφή προς την τηλεργασία που φαίνεται πως εφεξής θα συνεχίσει να αποτελεί το μοντέλο εργασίας για πολλές κατηγορίες εργαζομένων. Η παροχή εξ αποστάσεως εργασίας μπορεί να παρασχεθεί από το σπίτι ή από άλλο σταθερό χώρο, όπου εγκαθίσταται ο λεγόμενος Σταθμός Τηλεργασίας. Ουσιαστικά η ίδια η εργασία που θα πραγματοποιούνταν στον φυσικό χώρο εγκαταστάσεων μιας επιχείρησης/ υπηρεσίας εκτελείται με τη χρήση πληροφορικής τεχνολογίας και της τεχνολογίας μεταφοράς δεδομένων. [1]



Σχήμα 1.1: Εργασία εξ' αποστάσεως [2]

1.2.1 Ασύρματα δίκτυα

Τα τελευταία χρόνια, τα ασύρματα δίκτυα έχουν καταλάβει μια σημαντική θέση στην αγορά τοπικών δικτύων. Ως ασύρματο τοπικό δίκτυο ορίζεται ένα επικοινωνιακό σύστημα που επιτρέπει στον χρήστη την ασύρματη μετάδοση και λήψη δεδομένων. Όλο και περισσότερο, οι οργανισμοί διαπιστώνουν ότι τα ασύρματα δίκτυα είναι ένα απαραίτητο συμπλήρωμα των παραδοσιακών ενσύρματων δικτύων, για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις για κινητικότητα, μετεγκατάσταση, ad hoc (αδόμητη ή αυτοοργανώμενη ή κατ' απαίτηση) δικτύωση και κάλυψη τοποθεσιών που είναι δύσκολο να καλωδιωθούν.

Οι τρεις κύριοι τύποι ασύρματων δικτύων, ταξινομημένων σύμφωνα με την τεχνολογία μετάδοσης στο φυσικό επίπεδο είναι:

- Δίκτυα με υπέρυθρες ακτίνες (infrared – IR LANs), φθηνός εξοπλισμός αλλά με πολύ μικρή περιοχή κάλυψης, δεν διαπερνούν τοίχους.
- Δίκτυα φασματικής εξάπλωσης (spread spectrum LANs), που είναι δημοφιλή δίκτυα και λειτουργούν σε συχνότητες της περιοχής ISM. Οι ραδιοζώνες ISM (Industrial, Scientific, Medical - Βιομηχανική, Επιστημονική και Ιατρική), είναι τμήματα του ραδιοφάσματος που προορίζονται διεθνώς για βιομηχανικούς, επιστημονικούς και ιατρικούς σκοπούς.
- Μικροκυματικά στενής ζώνης (narrowband microwave LANs), ακριβός εξοπλισμός, με σχετικά μικρό διαθέσιμο εύρος ζώνης συχνοτήτων, χωρίζεται σε δύο τμήματα είτε με αδειοδότηση οπότε αφορά συγκεκριμένη περιοχή αδειοδότησης είτε επιτρέπεται η εκπομπή χωρίς περιορισμούς.

Όπως υποδηλώνει το όνομα, ένα ασύρματο τοπικά δίκτυο είναι αυτό που χρησιμοποιεί ασύρματο μέσο μετάδοσης (τη γήινη ατμόσφαιρα ή το διάστημα). Τα πρώτα ασύρματα δίκτυα, που παρουσιάστηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1980, κυκλοφόρησαν στην αγορά ως υποκατάστατα των παραδοσιακών ενσύρματων δικτύων. Ένα ασύρματο δίκτυο εξοικονομεί το κόστος της εγκατάστασης της καλωδίωσης δικτύων και διευκολύνει το έργο της μετεγκατάστασης και άλλων τροποποιήσεων στη δομή του δικτύου. Ωστόσο, αυτό το κίνητρο για ασύρματα δίκτυα ξεπεράστηκε γιατί καθώς η ανάγκη για τοπικά δίκτυα έγινε μεγαλύτερη, οι αρχιτέκτονες σχεδίασαν νέα κτίρια ώστε να περιλαμβάνουν ενσύρματη καλωδίωση για δίκτυα υπολογιστών. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα για πολλά χρόνια χρησιμοποιούνταν ελάχιστα διότι περιλάμβαναν υψηλές τιμές, χαμηλά ποσοστά δεδομένων, ανησυχίες για την ασφάλεια στην εργασία και απαιτήσεις αδειοδότησης.

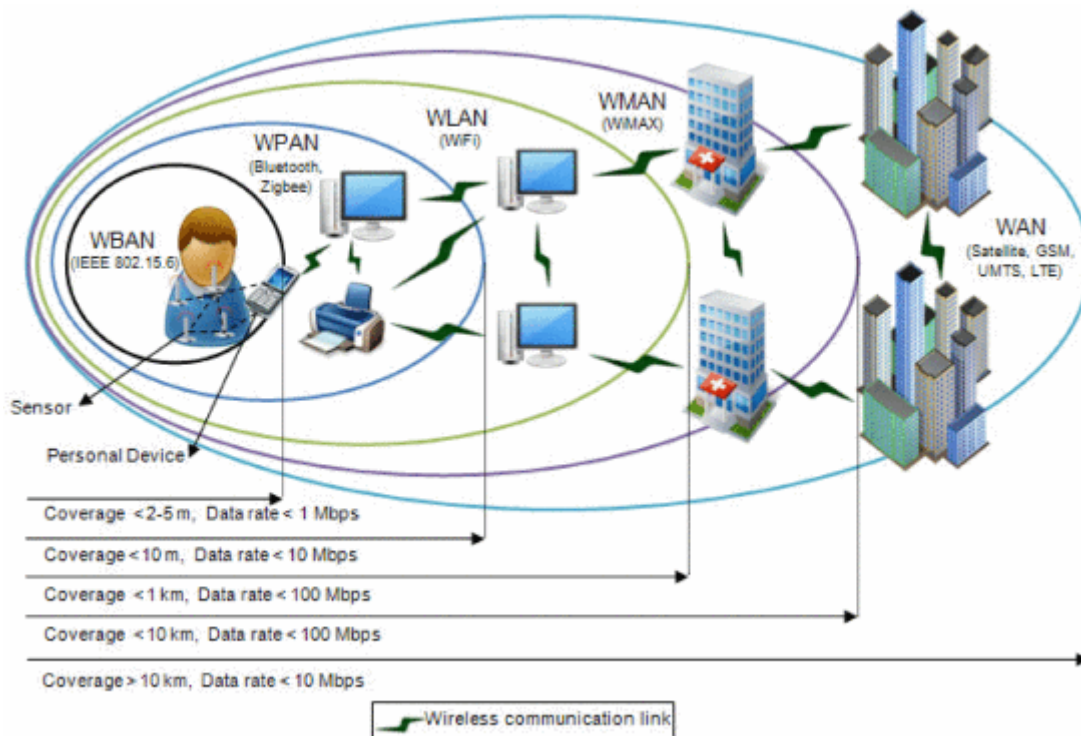
Καθώς αυτά τα προβλήματα έχουν αντιμετωπιστεί, η δημοτικότητα των ασύρματων δικτύων αυξάνεται ραγδαία. Σε πολλές περιπτώσεις, τα ασύρματα δίκτυα είναι εναλλακτική λύση ενός ενσύρματου δικτύου. Με τα ασύρματα τοπικά δίκτυα υπάρχει ευελιξία δικτύωσης ανεξάρτητα από την ύπαρξη υποδομής και με χαμηλό κόστος (εγκατάστασης και συντήρησης). Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, έχουν ως στόχο την κάλυψη περιπτώσεων δικτύωσης που δεν μπορούν να καλυφθούν από ενσύρματα δίκτυα. Στα παραδείγματα χρήσης περιλαμβάνονται κτίρια με μεγάλους ανοιχτούς χώρους, όπως εργοστάσια παραγωγής, όροφοι διαπραγματεύσεως χρηματιστηρίου και αποθήκες, ιστορικά κτίρια με ανεπαρκή καλωδίωση και όπου απαγορεύεται η διάνοιξη οπών για νέα καλωδίωση και μικρά γραφεία όπου η εγκατάσταση και η συντήρηση ενσύρματων δικτύων δεν είναι οικονομική. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, ένα ασύρματο δίκτυο παρέχει μια αποτελεσματική και πιο ελκυστική εναλλακτική λύση. Στις περισσότερες από αυτές τις περιπτώσεις, ένας οργανισμός θα έχει επίσης ενσύρματο δίκτυο για υποστήριξη διακομιστών και μερικών σταθερών σταθμών εργασίας. Επίσης είναι χρήσιμο για δημιουργία ενός δικτύου ad hoc, που είναι ένα δίκτυο peer-to-peer (χωρίς κεντρικό διακομιστή) που

έχει δημιουργηθεί προσωρινά για να καλύψει κάποια άμεση ανάγκη. Για παράδειγμα, μια ομάδα εργαζομένων, ο καθένας με φορητό υπολογιστή, μπορεί να συγκεντρωθεί σε μια αίθουσα συνεδριάσεων για μια επαγγελματική συνάντηση. Άλλο παράδειγμα είναι σε περίπτωση εκτάκτων καταστάσεων μετά από μεγάλες φυσικές καταστροφές (π.χ. σεισμός ή πλημμύρες). Οι υπάλληλοι συνδέουν τους υπολογιστές τους σε ένα προσωρινό δίκτυο μόνο για τη διάρκεια της συνάντησης. Επίσης συχνά υπάρχει η ανάγκη για δικτύωση όπου κι αν βρεθεί σήμερα κάποιος, όπως για εργαζόμενους ταξιδιώτες σε ένα αεροδρόμιο ή σε ξενοδοχείο για επικοινωνία ή ακόμα και για μια εξ' αποστάσεως συνάντηση.

Η πιο σημαντική προδιαγραφή για ασύρματα τοπικά δίκτυα αναπτύχθηκε από την ομάδα εργασίας IEEE 802.11. Η ανάγκη ετερογενείς συσκευές να επικοινωνήσουν, η αδυναμία επικοινωνίας λόγω ασυμβατότητας και η αύξηση ενδιαφέροντος για ασύρματα τοπική δικτύωση οδήγησε το 1990, την Επιτροπή IEEE 802 να δημιουργήσει μια νέα ομάδα εργασίας, την IEEE 802.11, ειδικά αφιερωμένη στα ασύρματα τοπικά δίκτυα, με σκοπό την ανάπτυξη του πρωτοκόλλου MAC και των φυσικών προδιαγραφών. Το αρχικό ενδιαφέρον ήταν η ανάπτυξη ασύρματου τοπικού δικτύου που λειτουργεί στην συχνότητα ISM. Από τότε, η ζήτηση για ασύρματα τοπικά δίκτυα, σε διαφορετικές συχνότητες και ρυθμούς δεδομένων, έχει εκραγεί. Ακολουθώντας αυτή τη ζήτηση, η ομάδα εργασίας IEEE 802.11 εξέδωσε έναν συνεχώς διευρυνόμενο κατάλογο προτύπων.

Τα δίκτυα υπολογιστών (ενσύρματα και ασύρματα) μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τη γεωγραφική κατανομή των σταθμών του δικτύου, δηλαδή ως προς την έκταση που καλύπτει το δίκτυο. Οι βασικές κατηγορίες Δικτύων, ανάλογα με το μέγεθός τους είναι (σχήμα 1.2):

- WBAN - Wireless Body Area Network (Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων σε Περιοχή του Σώματος), για χρήση στην περίθαλψη, τον αθλητισμό, το στρατό και την ασφάλεια.
- PAN - Personal Area Network ή WPAN - Wireless PAN (Ασύρματο Δίκτυο Προσωπικής Περιοχής), με γνωστότερους εκπροσώπους της κατηγορίας αυτής το Bluetooth και το ZigBee τεχνολογίες οι οποίες επιτρέπουν την ασύρματη διασύνδεση και επικοινωνία σε αποστάσεις λίγων μέτρων φορητών προσωπικών συσκευών.
- LAN – Local Area Network (Δίκτυο Τοπικής Περιοχής) ή WLAN (Ασύρματο Δίκτυο Τοπικής Περιοχής) που ακολουθεί το πρότυπο IEEE 802.11.
- MAN – Metropolitan Area Network (Δίκτυο Μητροπολιτικής Περιοχής) Ή WMAN – Wireless MAN (Ασύρματο Δίκτυο Μητροπολιτικής Περιοχής) με γνωστότερο το WiMAX (worldwide interoperability for microwave access) που λειτουργεί όπως το Wi-Fi σε εμβέλεια όμως όχι 100μ αλλά μέχρι 35χλμ ή και παραπάνω.
- WAN – Wide Area Network (Δίκτυο Ευρείας Περιοχής) Ή WWAN – Wireless WAN (Ασύρματο Δίκτυο Ευρείας Περιοχής), τα Κυψελοειδή Δίκτυα και τα Δορυφορικά Δίκτυα.



Σχήμα 1.2: WBANs σε σχέση με άλλες Ασύρματες Επικοινωνίες [3]

Για να περιγράψουμε καλύτερα τα δίκτυα (σχήμα 1.3), ας ξεκινήσουμε εξετάζοντας ένα απλό ενσύρματο δίκτυο, για παράδειγμα ένα οικιακό δίκτυο, με έναν ενσύρματο μεταγωγέα Ethernet που συνδέει τους κεντρικούς υπολογιστές. Αν αντικαταστήσουμε το ενσύρματο Ethernet με ασύρματο δίκτυο 802.11, μια ασύρματη διεπαφή δικτύου θα αντικαταστήσει την ενσύρματη διασύνδεση Ethernet του κεντρικού υπολογιστή και ένα σημείο πρόσβασης θα αντικαταστήσει τον διακόπτη Ethernet, αλλά ουσιαστικά δεν θα χρειαστούν αλλαγές στο επίπεδο δικτύου ή παραπάνω. Αυτό υποδηλώνει ότι εστιάζουμε την προσοχή μας στο επίπεδο ζεύξης όταν αναζητούμε σημαντικές διαφορές μεταξύ ενσύρματων και ασύρματων δικτύων. Πράγματι, μπορούμε να βρούμε μια σειρά σημαντικών διαφορών μεταξύ ενός ενσύρματου συνδέσμου και ενός ασύρματου συνδέσμου: [4]

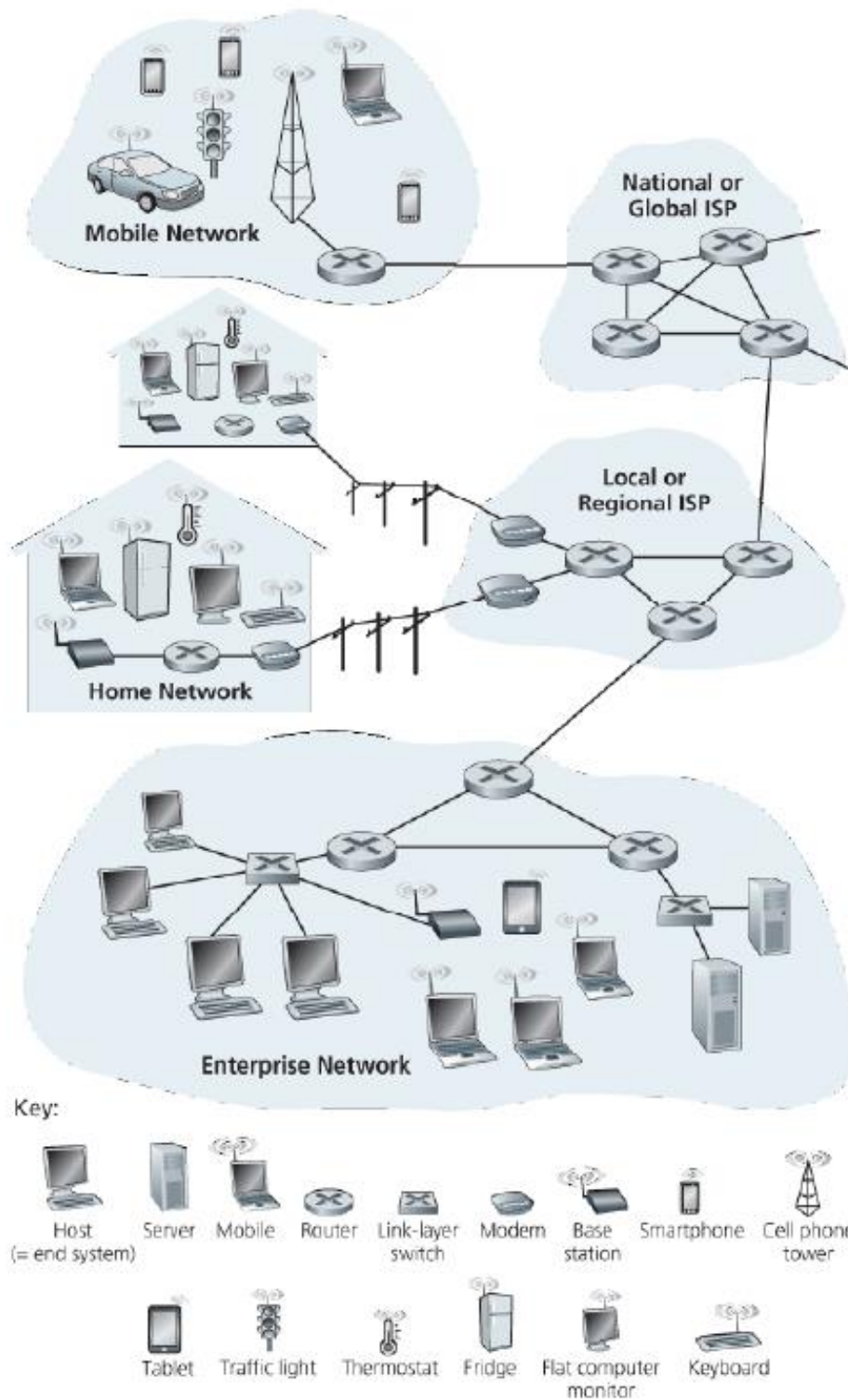
- Μείωση της ισχύος του σήματος. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εξασθενεί καθώς περνά μέσα από την ύλη (π.χ. ένα ραδιοσήμα που διέρχεται από έναν τοίχο). Ακόμα και σε ελεύθερο χώρο, το σήμα θα διασκορπιστεί, με αποτέλεσμα τη μειωμένη ισχύ σήματος (μερικές φορές αναφέρεται ως απώλεια διαδρομής) καθώς αυξάνεται η απόσταση μεταξύ αποστολέα και δέκτη.
- Παρεμβολή από άλλες πηγές. Οι ραδιοφωνικές πηγές που εκπέμπουν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων θα παρεμβαίνουν μεταξύ τους. Για παράδειγμα, ασύρματα τηλέφωνα 2,4 GHz και ασύρματα δίκτυα 802.11b εκπέμπουν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων. Έτσι, ο χρήστης ασύρματου δικτύου 802.11b που μιλά σε ασύρματο τηλέφωνο 2,4 GHz μπορεί να αναμένει ότι ούτε το δίκτυο ούτε το τηλέφωνο θα έχουν ιδιαίτερα καλή απόδοση. Εκτός από τις παρεμβολές από πηγές εκπομπής, ο ηλεκτρομαγνητικός θόρυβος μέσα στο περιβάλλον (π.χ. ένας κοντινός κινητήρας, ένας φούρνος μικροκυμάτων) μπορεί να οδηγήσει σε παρεμβολές.
- Πολλαπλή διάδοση. Η διάδοση πολλών διαδρομών συμβαίνει όταν τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος αντανακλούν αντικείμενα και το έδαφος, παίρνοντας διαδρομές διαφορετικού μήκους μεταξύ αποστολέα και δέκτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το θάμπωμα του

ληφθέντος σήματος στον δέκτη. Η μετακίνηση αντικειμένων μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη μπορεί να προκαλέσει μεταβολή πολλαπλών διαδρομών με την πάροδο του χρόνου.

Η παραπάνω συζήτηση υποδηλώνει ότι τα σφάλματα σε bit θα είναι πιο συνηθισμένα σε ασύρματα δίκτυα παρά σε ενσύρματα δίκτυα. Για το λόγο αυτό, ίσως δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι τα πρωτόκολλα ασύρματων δικτύων (όπως το πρωτόκολλο 802.11) χρησιμοποιούν όχι μόνο ισχυρούς κωδικούς ανίχνευσης σφαλμάτων CRC, αλλά και πρωτόκολλα αξιόπιστης μεταφοράς δεδομένων σε επίπεδο σύνδεσης που αναμεταδίδουν κατεστραμμένα πλαίσια.

Έχοντας λάβει υπόψη τις βλάβες που μπορεί να προκύψουν σε ένα ασύρματο κανάλι, ας στρέψουμε την προσοχή μας στον κεντρικό υπολογιστή που λαμβάνει το ασύρματο σήμα. Αυτός ο κεντρικός υπολογιστής λαμβάνει ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα που είναι ένας συνδυασμός μιας υποβαθμισμένης μορφής του αρχικού σήματος που μεταδίδεται από τον αποστολέα (υποβαθμίζεται λόγω των αποτελεσμάτων εξασθένησης και πολλαπλής διαδρομής που συζητήσαμε παραπάνω, μεταξύ άλλων) και θορύβου υποβάθρου στο περιβάλλον.

Ο λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR) είναι ένα σχετικό μέτρο της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος (δηλαδή των πληροφοριών που μεταδίδονται) και αυτού του θορύβου. Το SNR συνήθως μετριέται σε μονάδες ντεσιμπέλ (dB), μια μονάδα μέτρησης που μερικοί πιστεύουν ότι χρησιμοποιείται από ηλεκτρολόγους μηχανικούς κυρίως για να μπερδέψει τους επιστήμονες υπολογιστών. Ο SNR, μετρημένος σε dB, είναι είκοσι φορές ο λόγος του λογάριθμου βάσης-10 του πλάτους του λαμβανόμενου σήματος προς το πλάτος του θορύβου. Για τους σκοπούς μας εδώ, χρειάζεται μόνο να γνωρίζουμε ότι ένα μεγαλύτερο SNR διευκολύνει τον δέκτη να εξαγάγει το μεταδιδόμενο σήμα από τον θόρυβο στο παρασκήνιο.

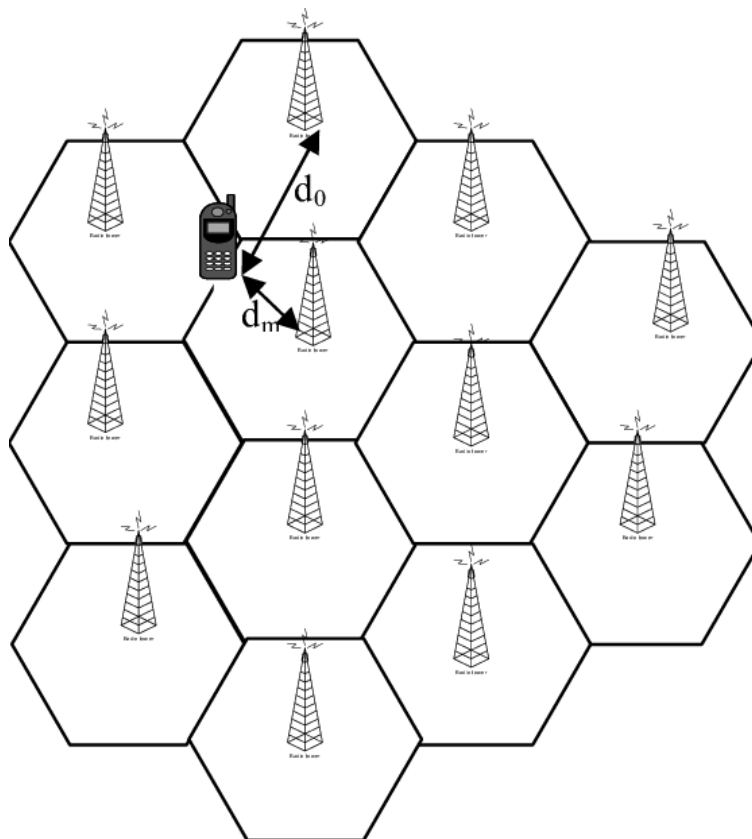


Σχήμα 1.3: Δίκτυα Υπολογιστών [5]

Κεφάλαιο 2ο: Εισαγωγή στα Δίκτυα 5G

2.1 Εξέλιξη των δικτύων

Τις τελευταίες δεκαετίες υπήρξε μια τεράστια ανάπτυξη στα ασύρματα κυψελοειδή δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, με το κινητό τηλέφωνο να χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο αποτελώντας πλέον ουσιώδες μέρος της καθημερινότητάς μας, επηρεάζοντας τον τρόπο που ζούμε. Κάθε δίκτυο καλύπτει μια περιοχή που ονομάζεται κυψέλη (cell) χρησιμοποιώντας ένα σταθμό βάσης (Base Station), για να εξυπηρετεί όλους τους εξοπλισμούς χρηστών (UEs – User Equipment's) που λειτουργούν εντός αυτής της κυψέλης, και πολλούς ασύρματους χρήστες-δέκτες. Κάθε κυψέλη καλύπτει με ασύρματο σήμα μια περιοχή σε σχήμα εξαγώνου στις περισσότερες περιπτώσεις όπως φαίνεται στο σχήμα 2.1, ενώ σε άλλες είναι τετράγωνα, κυκλικά (σχήμα 2.2) και κάποια άλλα ακανόνιστα σχήματα. Οι περισσότερες χώρες προτιμούν εξαγωνικά κελιά. Πολλές κυψέλες μαζί καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις με ασύρματη κάλυψη. Τα κυψελοειδή δίκτυα, των οποίων οι βασικές αρχές διατυπώθηκαν περίπου αρχές της δεκαετίας του '40, αριθμούσαν μόνο λίγα εκατομμύρια συνδέσεις μέχρι και το 1990. Σήμερα όμως, παρέχουν υπηρεσίες φωνής και δεδομένων προς το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της γης και επιτρέπουν την πρόσβαση στο δίκτυο από οπουδήποτε στον κόσμο και σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. [6], [7]



Σχήμα 2.1: Ένα μικρό κινητό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας ομοιόμορφου μεγέθους κυψέλης [8]

Η εξέλιξη της ασύρματης κυψελοειδούς τεχνολογίας (κινητές τηλεπικοινωνίες), χωρίζεται ανά περιόδους σε γενιές (Generations-G), με βάση τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται, τη φύση του συστήματος, τη συχνότητα και την απόδοση που έχουν. Από το 1979 και ανά δέκα χρόνια περίπου,

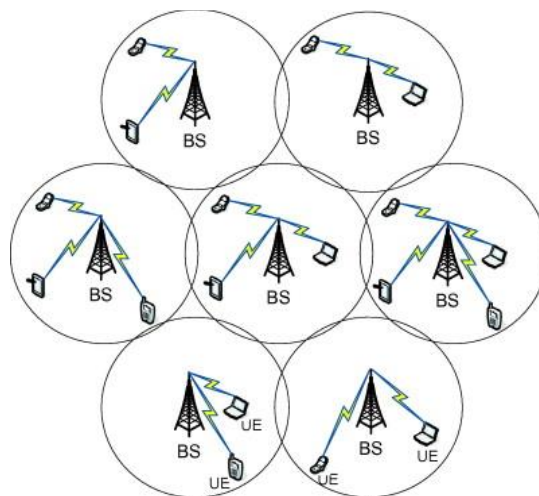
υπάρχει μια γενιά, 1G, 2G, 3G, 4G και τώρα είναι σε εφαρμογή η 5G δικτύων. Κάθε γενιά έχει κάποια πρότυπα, ικανότητες, τεχνικές και νέα χαρακτηριστικά που τη διαφοροποιούν από την προηγούμενη.

Το πρώτο φορητό κινητό τηλέφωνο παρουσιάστηκε από τη Motorola το 1973. Το πρώτο εμπορικό αυτοματοποιημένο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας ξεκίνησε από την NTT στην Ιαπωνία το 1979, ακολουθούμενο από την κυκλοφορία του συστήματος Nordic Mobile Telephone (NMT) στη Δανία, τη Φινλανδία, τη Νορβηγία και τη Σουηδία, το 1981. Μετά από αυτό ξεκινά η ανάπτυξη σε γενιές για ασύρματη επικοινωνία μέσω κινητού. Το ασύρματο δίκτυο κινητής επικοινωνίας πρώτης γενιάς (1G) ήταν αναλογικό και χρησιμοποιήθηκε μόνο για φωνητικές κλήσεις.

Η δεύτερη γενιά (2G) είναι μια ψηφιακή τεχνολογία και υποστηρίζει μηνύματα κειμένου. Μετά από αυτό ήταν το 3G που παρείχε υποστήριξη πολυμέσων μαζί με υψηλότερα ποσοστά μετάδοσης δεδομένων και αυξημένη χωρητικότητα. Η τέταρτη γενιά (4G) ενσωματώνει το 3G με σταθερό διαδίκτυο για υποστήριξη ασύρματου κινητού διαδικτύου, το οποίο αποτελεί εξέλιξη για την υπέρβαση των περιορισμών του 3G και επίσης υποστηρίζει το QoS, αυξάνει το εύρος ζώνης και μειώνει το κόστος των πόρων.

Το 5G φέρνει έναν πραγματικό ασύρματο κόσμο - Wireless World Wide Web ενώ το 6G προτείνεται να ενσωματώσει το 5G με δορυφορικά δίκτυα για παγκόσμια κάλυψη. Το 7G ασχολείται με την περιαγωγή χώρου.

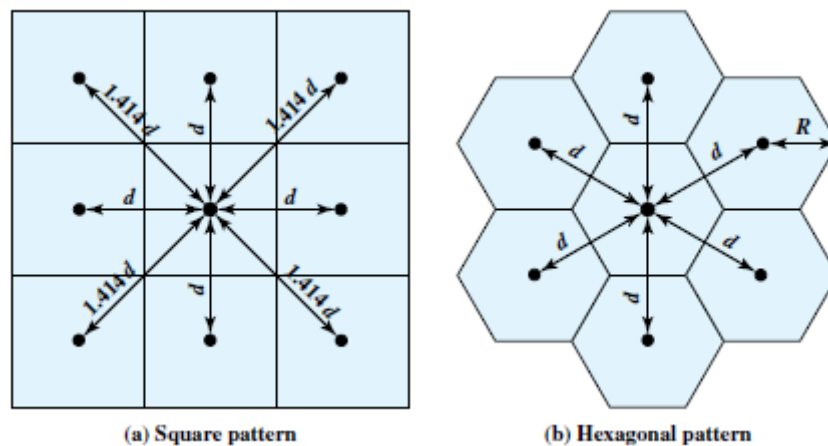
Τα κινητά τηλέφωνα εξελίχθηκαν και απέκτησαν μεγαλύτερη λειτουργικότητα, μικρότερες διαστάσεις, οθόνη αφής και ευφρείς δυνατότητες, από όπου προκύπτει και η ονομασία τους έξυπνα τηλέφωνα (smartphones). Οι τεχνολογίες WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access), OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), MIMO(Multiple-Input Multiple-Output), HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) κ.λπ., στο φυσικό επίπεδο, συνέβαλαν πολύ στην εξέλιξη των ασύρματων δικτύων και στην ευρύτερη χρήση τους. Οι εξελίξεις αυτές συνέβαλλαν στην ανάπτυξη πολυμεσικών εφαρμογών για κινητά τηλέφωνα, διαδικτυακών παιχνιδιών, εφαρμογών υγειονομικής περίθαλψης και φυσικά κοινωνικών δικτύων, με την υποστήριξη προηγμένων υπηρεσιών, όπως βιντεοκλήσεις, livestreaming και άλλα πολλά. Αυτές οι νέες εφαρμογές δεν χρησιμοποιούνται μόνο για διασκέδαση και για επικοινωνία από τους χρήστες, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για επαγγελματικούς λόγους με πολλές μάλιστα προοπτικές κέρδους. [6],[9],[10] Τα τελευταία χρόνια και ιδίως την περίοδο της πανδημίας Covid-19, η ζήτηση για χρήση των παραπάνω εφαρμογών έχει αυξηθεί.



Σχήμα 2.2: Ένα παράδειγμα κυψελοειδών συστημάτων επικοινωνίας [7]

Από όλες τις τεράστιες προόδους στις επικοινωνίες δεδομένων και τις τηλεπικοινωνίες, ίσως η πιο επαναστατική είναι η ανάπτυξη κυψελοειδών δικτύων. Η κυψελοειδής τεχνολογία είναι το θεμέλιο των ασύρματων επικοινωνιών για κινητά και υποστηρίζει χρήστες σε τοποθεσίες που δεν εξυπηρετούνται εύκολα από ενσύρματα δίκτυα. Η κυψελοειδής τεχνολογία είναι η βασική τεχνολογία για κινητά τηλέφωνα, προσωπικά συστήματα επικοινωνιών, ασύρματο Internet και ασύρματες εφαρμογές Ιστού και πολλά άλλα.

Τα Κυψελοειδή Δίκτυα είναι ασύρματα Δίκτυα Ευρείας Περιοχής. Η ουσία ενός κυψελοειδούς δικτύου είναι η χρήση πολλαπλών πομπών χαμηλής ισχύος, της τάξης των 100 W ή λιγότερο. Επειδή το εύρος ενός τέτοιου πομπού είναι μικρό, μια περιοχή μπορεί να διαιρεθεί σε κελιά, το καθένα να εξυπηρετείται από τη δική του κεραία. Κάθε κυψέλη διαθέτει μια ζώνη συχνοτήτων και εξυπηρετείται από έναν σταθμό βάσης, που αποτελείται από πομπό, δέκτη και μονάδα ελέγχου. Στις παρακείμενες κυψέλες εκχωρούνται διαφορετικές συχνότητες για να αποφευχθούν παρεμβολές ή διασταυρώσεις. Ωστόσο, οι κυψέλες που είναι αρκετά μακριά η μία από την άλλη μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ίδια ζώνη συχνοτήτων. Η περιοχή κάλυψης χωρίζεται σε κελιά για τα οποία όπως προαναφέραμε χρησιμοποιούνται πολλές γεωμετρικές διατάξεις, σε σχήμα εξάγωνο (συνήθως) ή τετράγωνο, και με διαφορετικό αριθμό κυψελών ανά συστάδα για να παρέχουν την καλύτερη κάλυψη της περιοχής (σχήμα 2.3). [1]



Σχήμα 2.3: Γεωμετρικές διατάξεις [1]

2.2 Ανατομία κινητής τηλεφωνικής κλήσης

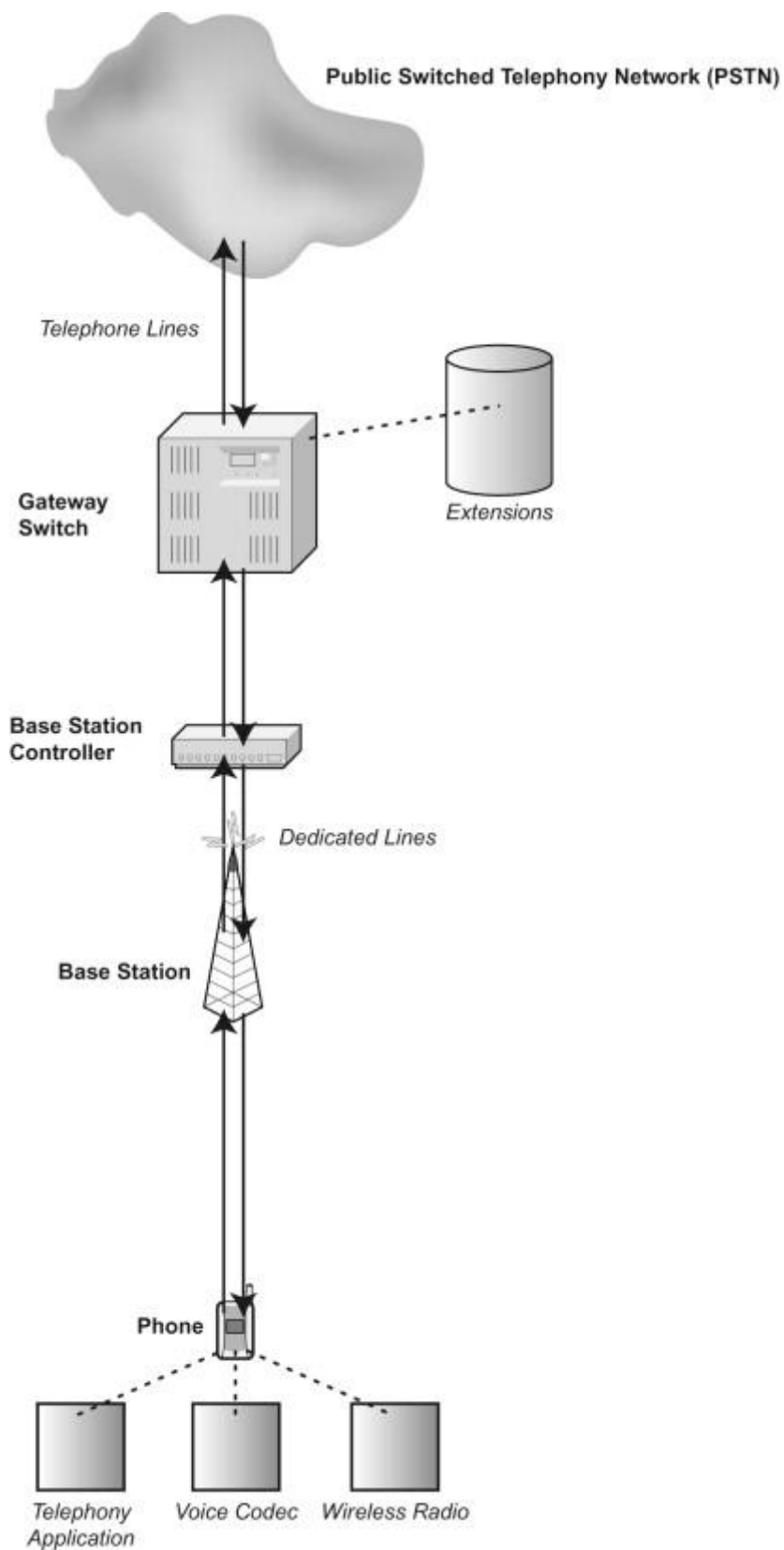
Στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας οι κλήσεις αντιμετωπίζουν τρεις βασικές και κάπως ανεξάρτητες ανησυχίες για την κινητικότητα φωνής:

1. Φορητότητα του τηλεφώνου.
2. Πώς ο αριθμός τηλεφώνου πρέπει να παραμείνει ο ίδιος, όπου κι αν βρίσκεται το τηλέφωνο.
3. Πώς η κλήση μπορεί να παραμείνει συνδεδεμένη, χωρίς διακοπή, καθώς το τηλέφωνο μετακινείται από περιοχή σε περιοχή.

Κάθε ένας από τους τρεις τομείς εντάσσεται στην αρχιτεκτονική των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Το σχήμα 2.4 δείχνει την ανατομία μιας τηλεφωνικής κλήσης. Τα περισσότερα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας μοιράζονται αυτήν την αρχιτεκτονική. Το κινητό τηλέφωνο συνδέεται πρώτα με ένα σταθμό βάσης και μέσω του ελεγκτή σταθμού βάσης (Base Station Controller) και του μεταγωγέα (Gateway Switch). Το

Εισαγωγή στα Δίκτυα 5G

Gateway Switch γνωρίζει τους αριθμούς τηλεφώνου που του ανήκουν (τους διατηρεί σε μια βάση). Η κλήσεις μέσα από την πύλη οδηγούνται στο Δημόσιο Τηλεφωνικό Δίκτυο (PSTN).



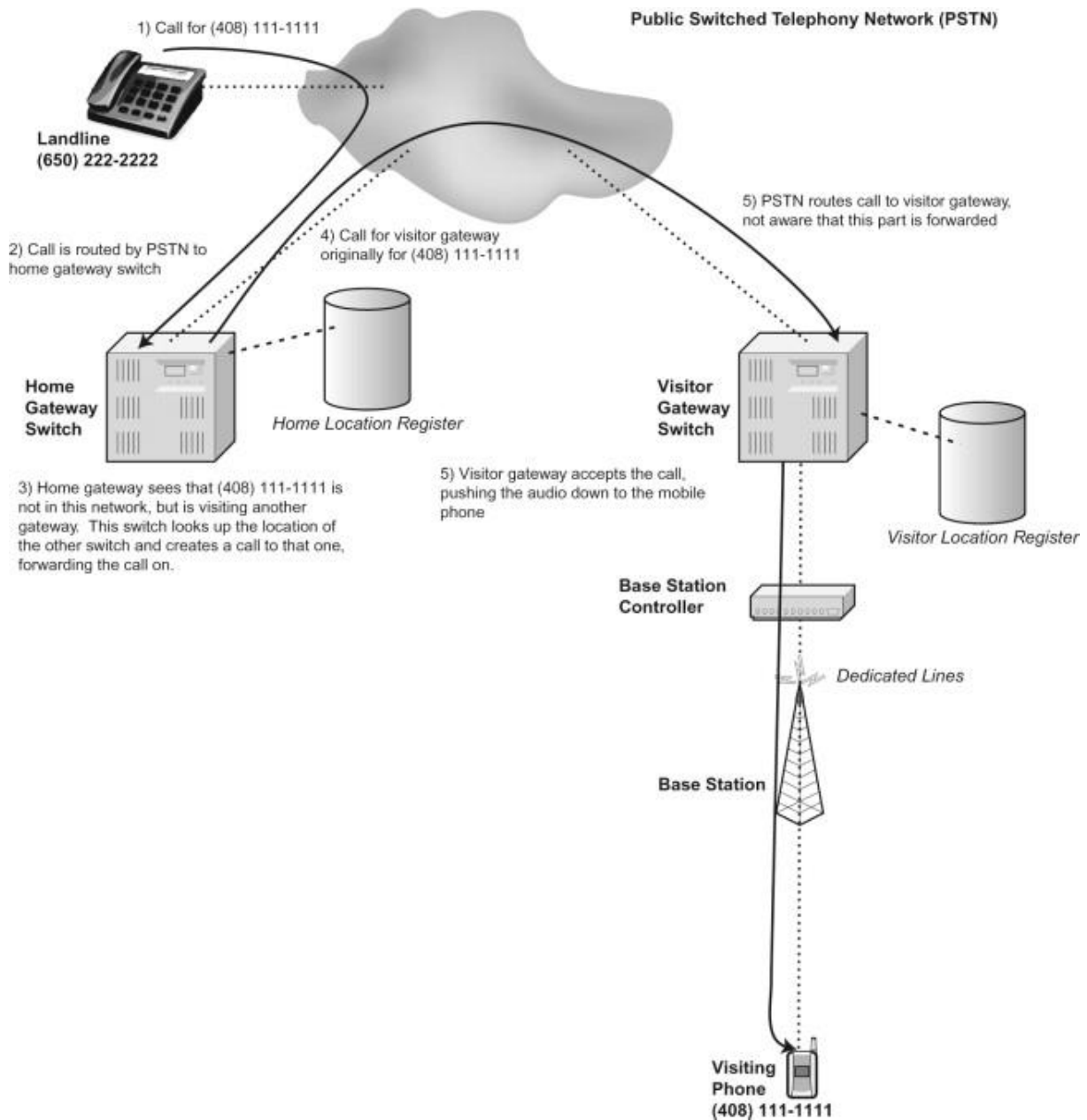
Σχήμα 2.4: Η ανατομία μιας κλήσης μέσω κυψελοειδούς δικτύου [11]

Ίσως το πιο ενδιαφέρον χαρακτηριστικό της κυψελοειδούς αρχιτεκτονικής είναι η έννοια της φορητότητας πέρα από τη γεωγραφική περιοχή.

Η σύνδεση ενός κινητού τηλέφωνο σε διαφορετικό σταθμό βάσης της ίδιας πύλης, δεν επηρεάζει τη σύνδεση του στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο. Έχει τεράστια αξία αυτή η αρχιτεκτονική, φυσικά, στην παροχή κινητικότητας εντός της γεωγραφικής περιοχής. Ωστόσο, παραμένει το ερώτημα τι συμβαίνει όταν ο χρήστης βγάλει το τηλέφωνό του από τη γεωγραφική περιοχή της πύλης που το εξυπηρετεί και στην οποία είναι καταχωρημένος και ταξιδέψει σε μία άλλη περιοχή, με άλλη πύλη. Αυτό το σενάριο αλλαγής της πύλης εξυπηρέτησης, είναι γνωστό ως σενάριο περιαγωγής, επειδή το τηλέφωνο δεν είναι πλέον στο δίκτυο που λειτουργεί από τον πύλη που τον εξυπηρετεί συνήθως.

Το Σχήμα 2.5 δείχνει τη διαδικασία περιαγωγής. Όταν έρχεται μια κλήση για ένα κινητό τηλέφωνο από ένα σταθερό τηλέφωνο, η κλήση οδηγείται μέσα από το Δημόσιο Δίκτυο Τηλεφωνίας στο Home gateway switch στο οποίο είναι καταχωρημένο το τηλεφωνικό νούμερο που καλείται (αυτό που το κινητό ανήκει γεωγραφικά και εξυπηρετείται καθημερινά). Η πύλη αυτή αναζητά το HLR (Home Location Register) του κινητού και διαπιστώνει ότι το τηλέφωνο βρίσκεται σε κάποια άλλη πύλη (Visitor Gateway Register). Το Home Gateway Switch πρέπει να προωθήσει την κλήση στην πύλη που επισκέπτεται το κινητό τηλέφωνο. Για να δρομολογήσει την κλήση, προωθεί την κλήση απευθείας στο Visitor Gateway Switch, αλλά όταν το κάνει, επισυνάπτει στο σήμα PSTN ένα μήνυμα που λέει για ποιο τηλέφωνο είναι η κλήση. Το Visitor Gateway Switch (η πύλη η οποία διατηρεί τη λίστα των τηλεφώνων που συνδέονται προς το παρόν με την πύλη, ανεξάρτητα από το εάν τα διαχειρίζεται ο συγκεκριμένος φορέας στη συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή) λαμβάνει την κλήση, αναζητά το VLR (Visitor Locator Register) και διαπιστώνει ότι το τηλέφωνο είναι τοπικό και στη συνέχεια κατευθύνει την κλήση μέσω του δικτύου του στο τηλέφωνο. Αυτό δίνει την αίσθηση πως το τηλέφωνο δεν είχε φύγει ποτέ.

Εισαγωγή στα Δίκτυα 5G

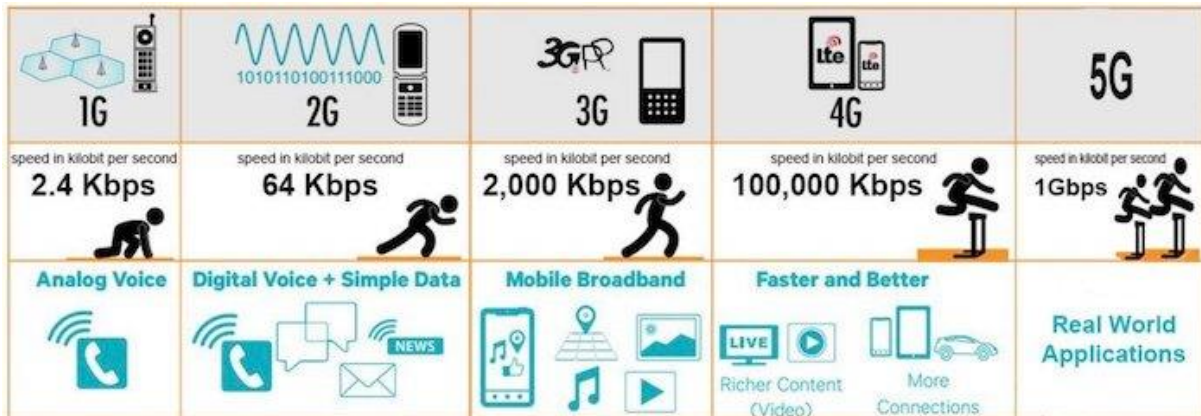


Σχήμα 2.5: Περιαγωγή κλήσεων [11]

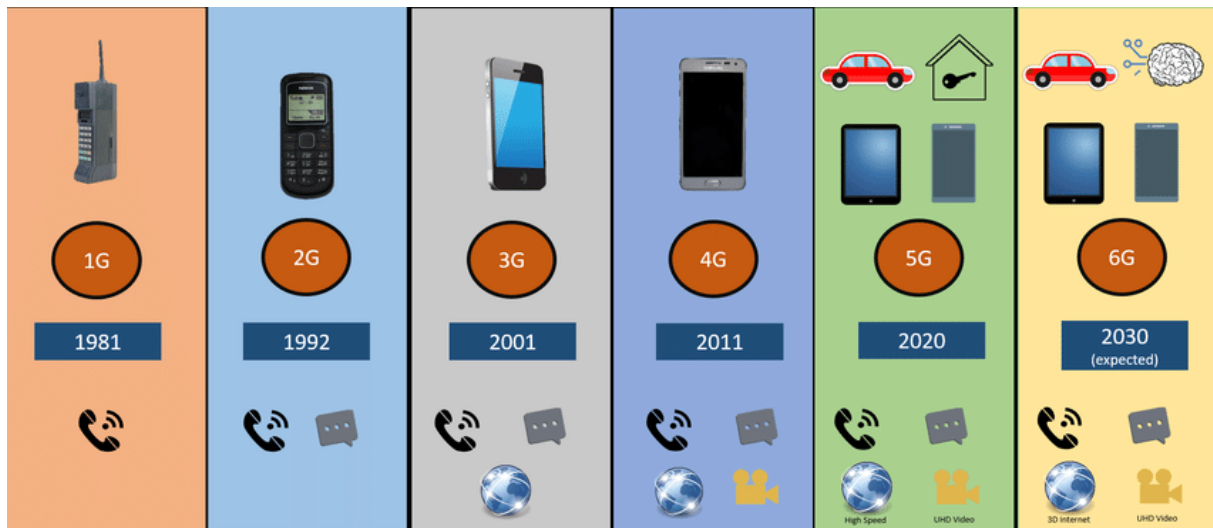
Η περιαγωγή κλήσεων μεταξύ συστημάτων διαφορετικών φορέων εκμετάλλευσης κινητής τηλεφωνίας, εναπόκειται σε κάθε πάροχο να αποφασίσει εάν το τηλέφωνο που επισκέπτεται το δίκτυο της πρέπει να γίνει δεκτό στο δίκτυο και εάν θα μπορεί να πραγματοποιεί ή να λαμβάνει κλήσεις. [11]

Εισαγωγή στα Δίκτυα 5G

Παρακάτω (σχήμα 2.6 και σχήμα 2.7) παρουσιάζονται οι γενιές της ασύρματης κυβελοειδούς τεχνολογίας. [6],[9],[10]



Σχήμα 2.6: Από το 1G στο 5G [12]



Σχήμα 2.7: Από το 1G στο 5G [12]

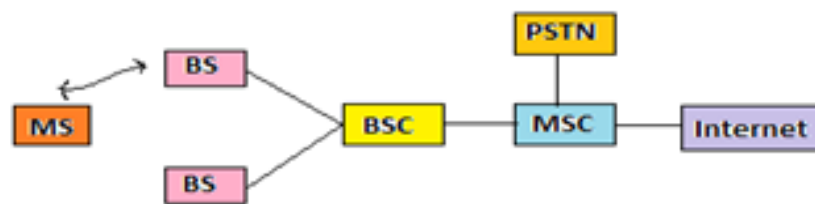
2.3 1η Γενιά - 1G

Η πρώτη γενιά ασύρματου συστήματος κινητής επικοινωνίας, είναι μια αναλογική τεχνολογία που αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1980. Ένα παράδειγμα τηλεφώνου 1^{ης} γενιάς δίνεται στο σχήμα 2.8. Χρησιμοποιήθηκε για φωνητικές υπηρεσίες και βασίστηκε στην τεχνολογία που ονομάζεται Advanced Mobile Phone System (AMPS) (σχήμα 2.9). Το σύστημα AMPS διαμορφώθηκε με συχνότητα και χρησιμοποίησε πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνοτήτων (FDMA) με χωρητικότητα καναλιού 30KHz και ζώνη συχνοτήτων 824-894MHz. Υποστηρίζει ταχύτητα έως 2,4kbps.



Σχήμα 2.8: Κινητά τηλέφωνα 1G [10]

Τα κυψελοειδή δίκτυα πρώτης γενιάς ήταν αναλογικά, χρησιμοποιώντας πολυπλεξία διαίρεσης συχνοτήτων. Λειτουργήσαν από το 1979 μέχρι το 1990 και χρησιμοποιούσαν αναλογική μετάδοση, για την μετάδοση της φωνής. Το πρώτο σύστημα για κινητές τηλεπικοινωνίες λειτουργήσε το 1979 από την Nippon Telephone and Telegraph (NTT) στο Τόκιο. Μετά από δύο χρόνια, εφαρμόστηκε η κυψελοειδής τεχνολογία στην Ευρώπη, με το σύστημα Nordic Mobile Telephone (NMT) στη Δανία, τη Φινλανδία, τη Νορβηγία και τη Σουηδία. Το 1982 στις ΗΠΑ κυκλοφόρησε το Advanced Mobile Phone System (AMPS) που αναπτύχθηκε από την AT&T. Η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (Federal Communications Commission - FCC) καθόρισε τη λειτουργία του AMPS, με διαμόρφωση συχνότητας και συγκεκριμένα με Frequency Division Multiple Access (FDMA), με χωρητικότητα καναλιού 30 KHz και ζώνη συχνοτήτων 824-894MHz. Η ταχύτητα που υποστήριζε ήταν έως 2,4kbps. Το 1988, το AMPS διατέθηκε με επιπλέον εύρος ζώνης 10MHz που ονομάζεται Expanded Spectrum, το οποίο αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στο Σικάγο, με περιοχή εξυπηρέτησης έκτασης 2100 τετραγωνικών μιλίων. Γενικά αναπτύχθηκε μια ποικιλία διαφορετικών τύπων τεχνολογιών δικτύου κινητής τηλεφωνίας 1G σε όλο τον κόσμο και άρα χρήση διαφορετικών αναλογικών συστημάτων, με αποτέλεσμα όμως να μη είναι δυνατή η χρήση κινητού τηλεφώνου στο εξωτερικό. Εκτός από το AMPS, που αναφέρθηκε παραπάνω, λειτουργήσε και το σύστημα σκανδιναβικών τηλεπικοινωνιών (Nordic Telecommunication System – NMTS), που χρησιμοποίησε εύρος ζώνης συχνοτήτων από 450 MHz ως 900 MHz, καθώς και η Total Access Communications -TACS, που χρησιμοποίησε κυρίως συχνότητα 900 MHz. [1], [6],[9],[10]



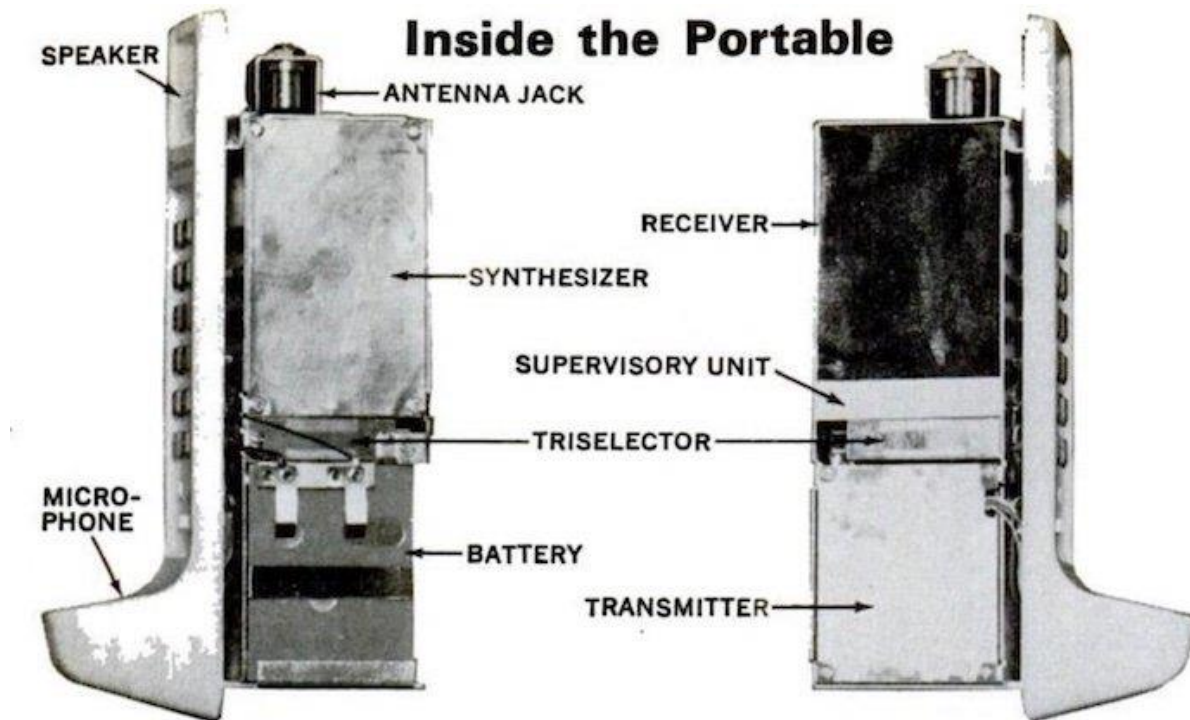
Σχήμα 2.9: Η αρχιτεκτονική AMPS [6]

Τα βασικά χαρακτηριστικά των δικτύων 1G είναι τα εξής:

- Ταχύτητα μέχρι 2,4 kbps
- Φωνητικές κλήσεις σε μία χώρα
- Χρήση αναλογικού σήματος
- Κακή ποιότητα φωνής
- Μικρή διάρκεια ζωής της μπαταρίας
- Μεγάλο μέγεθος τηλεφώνου
- Περιορισμένη χωρητικότητα
- Αναξιόπιστο hand-off (η διαδικασία μεταφοράς μιας ενεργής κλήσης ή περιόδου σύνδεσης δεδομένων από ένα κελί ή από ένα κανάλι του κυψελοειδούς δικτύου σε άλλο)
- Χαμηλή ασφάλεια
- Πολύ χαμηλή αποτελεσματικότητα του φάσματος

Οι νέες τεχνολογίες για κινητές συσκευές που χρησιμοποιούνταν ήταν η Mobile Telephone System (MTS), Advanced Mobile Telephone System (AMTS), Improved Mobile Telephone Service (IMTS)

και Push to Talk (PTT). Οι φωνητικές κλήσεις αναπαράγονταν σε πύργους ραδιοφώνου, κάνοντας αυτές τις κλήσεις ευαίσθητες σε υποκλοπές. [6],[9],[10] Μια αναλυτική περιγραφή των μερών ενός κινητού τηλεφώνου 1^{ης} γενιάς απεικονίζεται στο σχήμα 2.10.



Σχήμα 2.10: Μια εσωτερική ματιά στο τηλέφωνο DynaTAC από το 1973 [14]

2.4 2η Γενιά – 2G

Το ασύρματο σύστημα κινητής επικοινωνίας δεύτερης γενιάς είναι μια ψηφιακή τεχνολογία που εισήχθη στα τέλη της δεκαετίας του 1980. Χρησιμοποιεί ψηφιακά σήματα για μετάδοση φωνής και έχει ταχύτητα 64kbps. Βασίζονται στο Global System for Mobile Communications - GSM (σχήμα 2.12) και χρησιμοποιούν ψηφιακά σήματα. Ένα παράδειγμα τηλεφώνου 2ης γενιάς δίνεται στο σχήμα 2.8. Πιο συγκεκριμένα τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών 2G ξεκίνησαν το 1991, με το πρότυπο GSM στη Φινλανδία από την Radiolinja. Μια τεχνολογία που έχει πολύ καλούς μηχανισμούς ασφαλείας για τον αποστολέα και τον παραλήπτη.

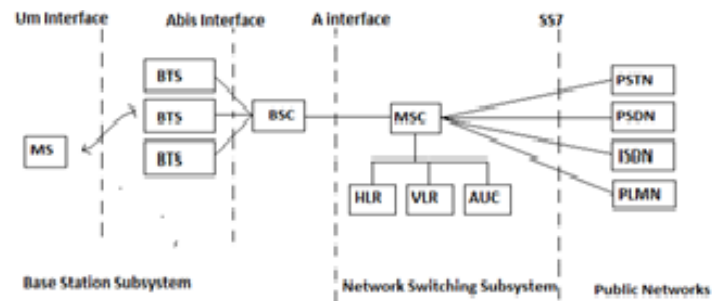


Σχήμα 2.11: Κινητά τηλέφωνα 2G [10]

Σε σύγκριση με τα 1G, τα 2G χρησιμοποιούν ψηφιακή τεχνολογία πολλαπλής πρόσβασης, όπως το Time Division Multiple Access - TDMA και το Code Division Multiple Access – CDMA. Αυτά τα δίκτυα λειτουργούν κυρίως σε ζώνες συχνοτήτων στα 850 MHz, στα 900 MHz, στα 1.800 MHz και στα 1.900 MHz. Οι κινητές τηλεπικοινωνίες παρέχουν πλέον προηγμένες υπηρεσίες, όπως μηνύματα κειμένου (Short Messages Services - SMS), μηνύματα εικόνων και μηνύματα πολυμέσων (Multimedia Message Services - MMS). Το εύρος ζώνης συχνοτήτων που χρησιμοποιούν είναι από 30 έως 200 KHz. Μετά το 2G, εμφανίζεται το δίκτυο 2.5G, που χρησιμοποιεί μεταγωγή πακέτων και μεταγωγή

Εισαγωγή στα Δίκτυα 5G

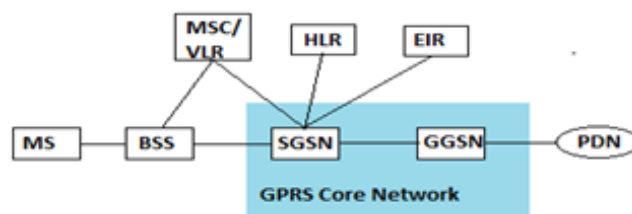
κυκλώματος με ρυθμό έως 144 kbps. Επίσης χρησιμοποιεί τις τεχνολογίες, GPRS (General Packet Radio Service) (σχήμα 2.13) και EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution). Η τεχνολογία GSM ήταν η πρώτη που υποστήριξε τη διεθνή περιαγωγή. Αυτό επέτρεψε στους συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας να χρησιμοποιούν τις συνδέσεις κινητού τηλεφώνου τους σε διαφορετικές χώρες του κόσμου με καλύτερη ποιότητα και χωρητικότητα. [6],[9],[10]



Σχήμα 2.12: Η αρχιτεκτονική ενός συστήματος GSM [6]

Τα κύρια χαρακτηριστικά των δικτύων 2G είναι:

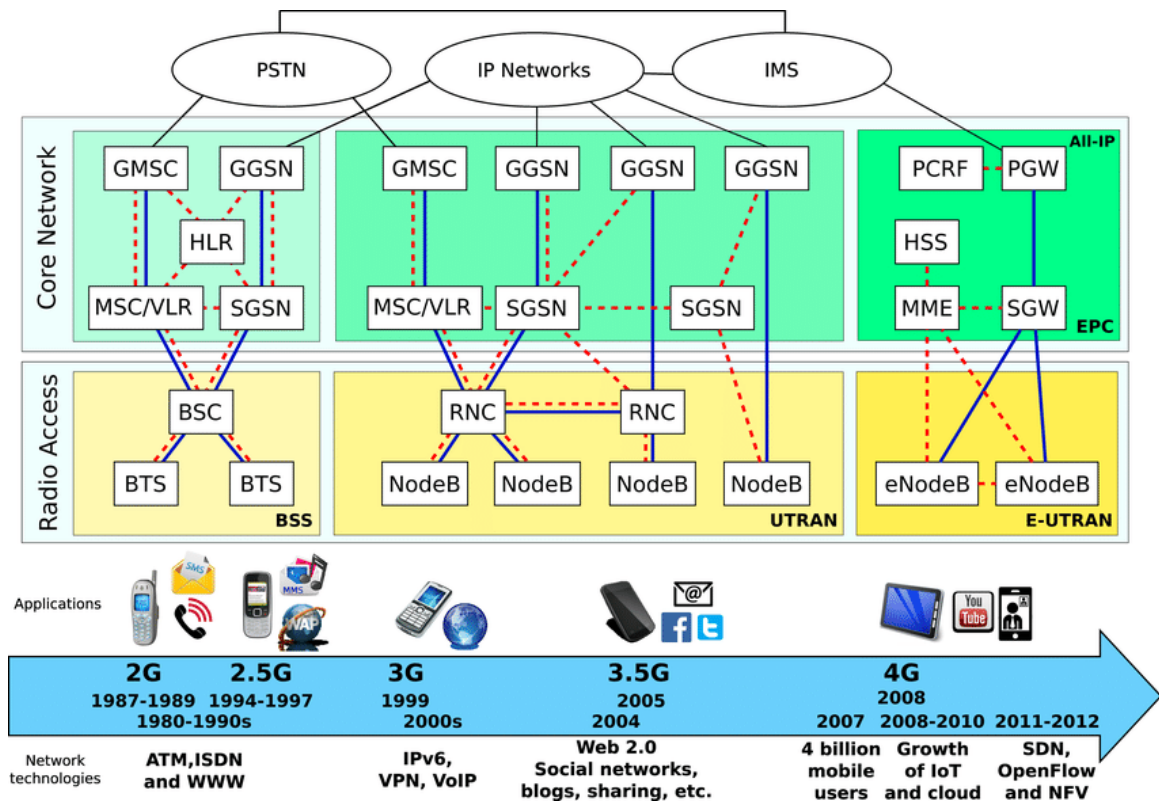
- Ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων έως 64kbps
- GSM
- Χρήση ψηφιακών σημάτων
- Παροχή προηγμένων υπηρεσιών, όπως SMS, MMS και μηνύματα εικόνας
- Καλύτερη ποιότητα και χωρητικότητα
- Εφικτή η διαχείριση σύνθετων δεδομένων, όπως βίντεο
- Απαιτήση ισχυρών ψηφιακών σημάτων για την λειτουργία των κινητών τηλεφώνων



Σχήμα 2.13: Η αρχιτεκτονική του GPRS [6]

Τα κύρια χαρακτηριστικά των δικτύων 2.5G είναι:

- Ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων 64 - 144kbps
- GPRS, EDGE
- Παροχή τηλεφωνικών κλήσεων
- Μηνύματα e-mail
- Περιήγηση στο Διαδίκτυο
- Τηλέφωνα με κάμερα
- Λήψη αρχείου MP3(διάρκειας 3 λεπτών), σε 6 με 9 λεπτά [6],[9],[10]



Σχήμα 2.14: Η εξέλιξη από το 2G στο 4G [15]

2.5 3η Γενιά – 3G

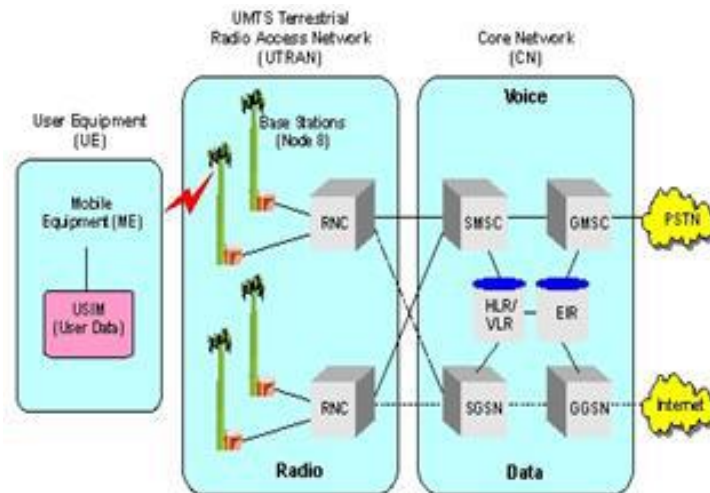
Η τρίτη γενιά ασύρματης κυβελοειδούς τεχνολογίας βασίζεται στο GSM, εμφανίζεται στις αρχές του 2000 και χρησιμοποιείται ακόμα. Ο στόχος της ασύρματης επικοινωνίας τρίτης γενιάς (3G) είναι να παρέχει ασύρματες επικοινωνίες αρκετά υψηλής ταχύτητας για υποστήριξη πολυμέσων, δεδομένων και βίντεο εκτός από τη φωνή. Ένα παράδειγμα τηλεφώνου 3ης γενιάς δίνεται στο σχήμα 2.15. Ο στόχος των συστημάτων 3G ήταν να προσφέρουν αυξημένους ρυθμούς δεδομένων από 144kbps σε 384kbps σε περιοχές με μεγάλη κάλυψη και 2Mbps σε τοπικές περιοχές κάλυψης.



Σχήμα 2.15: Κινητά τηλέφωνα 3G [10]

Το 3G προσφέρει προηγμένες υπηρεσίες στους χρήστες σε σύγκριση με 1G και 2G. Η μεταφορά των δεδομένων στην μεταγωγή πακέτων γίνεται σε υψηλότερο εύρος ζώνης, ενώ υπάρχει η δυνατότητα για διεθνείς κλήσεις μέσω κινητών τηλεφώνων. Μαζί με τη φωνητική επικοινωνία περιλαμβάνει υπηρεσίες δεδομένων, πρόσβαση σε τηλεόραση/βίντεο, περιήγηση στο Web, e-mail, τηλεδιάσκεψη, σελιδοποίηση, φαξ και χάρτες πλοήγησης. Έχει εύρος ζώνης 15-20MHz που χρησιμοποιείται για internet υψηλής ταχύτητας, συνομιλία μέσω βίντεο κλπ. Ένα κινητό σύστημα 3G ορίστηκε από έναν οργανισμό που ονομάζεται 3rd Generation Partnership Project (3GPP) και πληροί τα πρότυπα IMT-

2000. Ονομάστηκε ως UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) στην Ευρώπη (σχήμα 2.17), το οποίο βασίζεται στην TSI. Το IMT2000 είναι το όνομα ITU-T για το σύστημα τρίτης γενιάς, ενώ το CDMA2000 είναι το όνομα της αμερικανικής παραλλαγής των δικτύων 3G. Η Κίνα υιοθέτησε ως κατάλληλο πρότυπο για 3G το TD-SCDMA. Το WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) είναι η τεχνολογία διασύνδεσης αέρα για το UMTS. Το πρώτο εμπορικό δίκτυο 3G ξεκίνησε από την NTT στην Ιαπωνία, το 2001. [6],[9],[10]

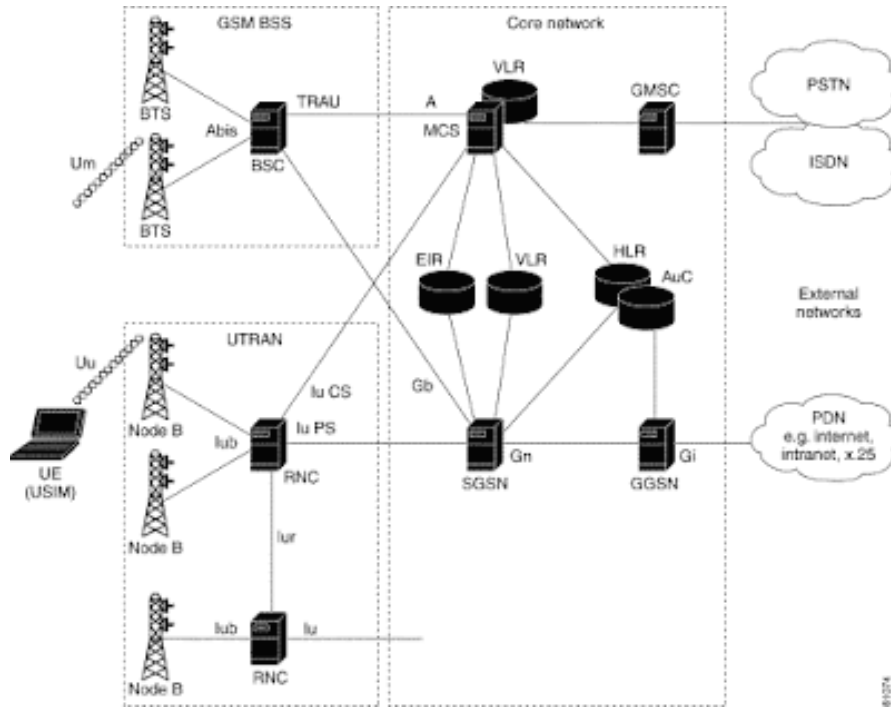


Σχήμα 2.16: Διάγραμμα Δικτύου WCDMA [6]

Τα κύρια χαρακτηριστικά του 3G είναι:

- Ταχύτητα 2 Mbps
- Μεγάλο ενδιαφέρον για Smartphone
- Αύξηση του εύρους ζώνης και του ορίου του μεγέθους των δεδομένων προς μεταφορά, για υποστήριξη διαδικτυακών εφαρμογών, με ήχο και βίντεο
- Ταχύτερη επικοινωνία
- Καλύτερη διαχείριση email
- Παγκόσμιος Ιστός υψηλής ταχύτητας, με περισσότερη ασφάλεια, με τηλεδιάσκεψη, με τρισδιάστατα παιχνίδια
- TV streaming
- Διεθνείς τηλεφωνικές κλήσεις
- Λήψη αρχείου MP3 (διάρκειας 3 λεπτών), σε 11 δευτερόλεπτα με 1,5 λεπτό.

Υπάρχουν κάποια μειονεκτήματα στα δίκτυα 3G, όπως είναι τα ακριβά τέλη για υπηρεσίες αδειών 3G, η απαιτητική κατασκευή της υποδομής για 3G, όπως επίσης και ότι οι υπηρεσίες έχουν απαιτήσεις υψηλού εύρους ζώνης, τα τηλέφωνα 3G είναι ακριβά, το μέγεθος των κινητών τηλεφώνων είναι μεγάλο. [6],[9],[10]



Σχήμα 2.17: Το Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) είναι μια βασική τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας 3G [16]

2.6 4η Γενιά – 4G

Τα δίκτυα της τέταρτης γενιάς ασύρματης κυψελοειδούς τεχνολογίας, βασίζονται στην τεχνογνωσία των δικτύων 3G, παρέχουν ακόμα περισσότερες υπηρεσίες και έκαναν την εμφάνιση τους στις αρχές της δεκαετίας του 2010 και είναι ένα δίκτυο βασισμένο σε IP. Ο κύριος στόχος της τεχνολογίας 4G είναι η παροχή υπηρεσιών υψηλής ταχύτητας, υψηλής ποιότητας, υψηλής χωρητικότητας, ασφάλειας και χαμηλού κόστους για υπηρεσίες φωνής και δεδομένων, πολυμέσων και διαδικτύου μέσω IP. Ο λόγος για τη μετάβαση σε όλα τα IP είναι να έχουμε μια κοινή πλατφόρμα όλες οι τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί μέχρι τώρα. Έχει τη δυνατότητα 100Mbps και 1Gbps των. Για χρήση δικτύου κινητής τηλεφωνίας 4G, τα τεμαχικά χρηστών πολλαπλών τρόπων θα πρέπει να μπορούν να επιλέγουν το ασύρματο σύστημα προορισμού. Για την παροχή ασύρματων υπηρεσιών οποτεδήποτε και οπουδήποτε, η κινητικότητα τεμαχικού είναι βασικός παράγοντας στο 4G. Η τελική κινητικότητα συνεπάγεται αυτόματη περιαγωγή μεταξύ διαφορετικών ασύρματων δικτύων. Ένα παράδειγμα τηλεφώνου 4ης γενιάς δίνεται στο σχήμα 2.18. Η τεχνολογία 4G ενσωματώνει διαφορετικές υπάρχουσες και μελλοντικές ασύρματες τεχνολογίες (π.χ. OFDM, MC-CDMA, LAS-CDMA και Network-LMDS) για να παρέχει ελευθερία κινήσεων και απρόσκοπτη περιαγωγή από τη μία τεχνολογία στην άλλη. LTE (Long Term Evolution) και WiMAX (Ασύρματο Διαλειτουργικότητα για πρόσβαση μικροκυμάτων) θεωρούνται τεχνολογίες 4G.

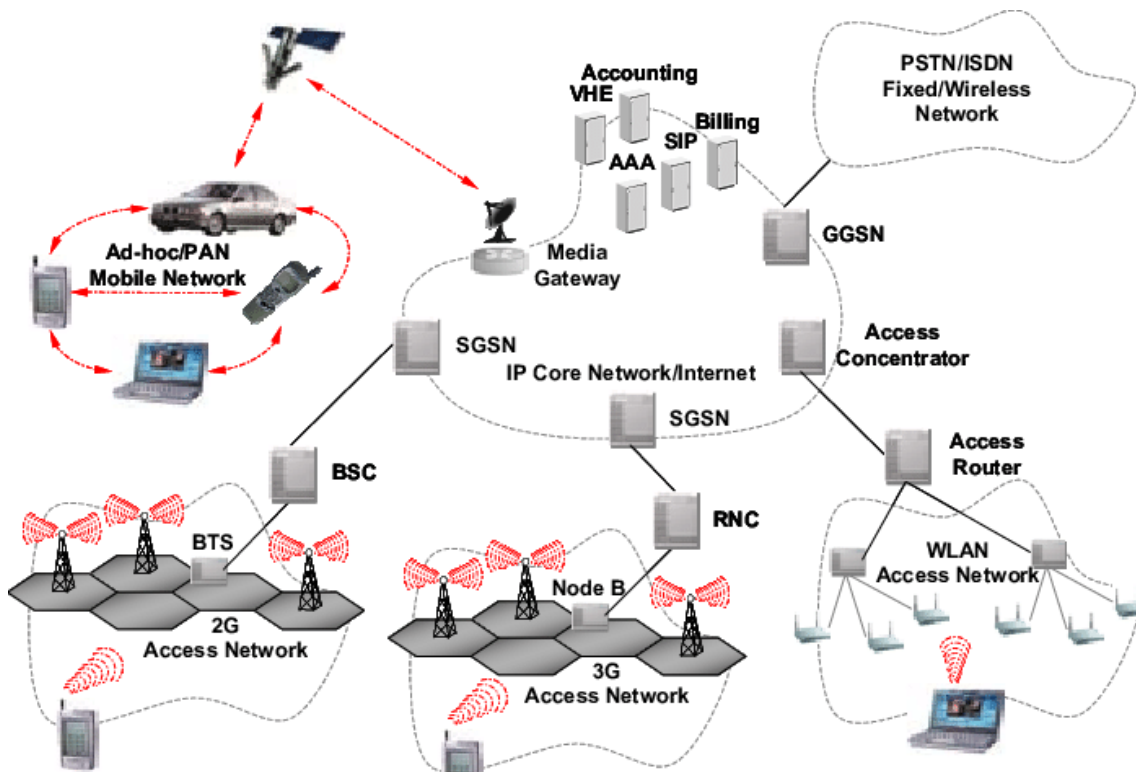


Σχήμα 2.18: Κινητά τηλέφωνα 4G [10]

Η πρώτη επιτυχημένη προσπάθεια για τη δημιουργία των δικτύων 4G, έγινε στο Τόκιο στις 23 Ιουνίου 2005. Οι πρώτες χώρες που χρησιμοποίησαν δίκτυα 4G είναι: η Ιαπωνία, η ΗΠΑ, η Γερμανία, η Ισπανία, η Κίνα και η Αγγλία.

Το 3GPP, των δικτύων 3G, ήταν η βάση για την δημιουργία του επόμενου προτύπου Long Term Evolution – LTE, που χρησιμοποιείται στα 4G. Τα 4G μπορούν να παρέχουν κάθε είδους υπηρεσία σε απομακρυσμένους χρήστες ανά πάσα στιγμή, με μετάδοση δεδομένων 100mbps, σε ταχύτητα μέχρι 1Gbps. Για την παροχή ασύρματων υπηρεσιών οποιαδήποτε στιγμή και οπουδήποτε, χρειάζεται να διασφαλίζεται η κινητικότητα των τερματικών. Η κινητικότητα των τερματικών αφορά την διαχείριση της τοποθεσίας του χρήστη και τη διαχείριση μεταβιβάσεων. Με τη διαχείριση τοποθεσίας, το σύστημα παρακολουθεί και εντοπίζει ένα κινητό που πιθανώς χρειάζεται σύνδεση. Με τη διαχείριση μεταβίβασης, υπάρχει συνεχής επικοινωνία καθώς το κινητό αλλάζει θέση. Το Mobile IPv6 (MIPv6) είναι ένα πρωτόκολλο κινητικότητας με τυποποιημένη βάση IP για ασύρματα συστήματα IPv6. Σύμφωνα με αυτό το πρωτόκολλο, κάθε τερματικό έχει διεύθυνση κατοικίας IPv6. Όταν το κινητό βρίσκεται έξω από το τοπικό δίκτυο, ακυρώνεται η διεύθυνσή του και δίνεται νέα διεύθυνση IPv6 στο νέο δίκτυο που βρίσκεται.

Τα δίκτυα 4G (σχήμα 2.19) διασφαλίζουν την πολλαπλή πρόσβαση και χρησιμοποιούν βελτιωμένες τεχνικές μετάδοσης πολλαπλών εισόδων πολλαπλών εξόδων (Multiple Input Multiple Output - MIMO) και συντονισμό μεταξύ πολλαπλών τοποθεσιών κυψέλης που ονομάζεται Coordinated Multipoint – CoMP. Αυτές αποτελούν τις βασικές τεχνικές για το LTE. Σκοπός των δικτύων 4G είναι η ανάπτυξη υψηλού Quality Of Service - QoS για υπηρεσίες όπως, ασύρματη ευρυζωνική πρόσβαση, μηνύματα MMS, βιντεοκλήσεις, ψηφιακή τηλεόραση και φυσικά να παρέχει πιο αξιόπιστα και με ασφάλεια τις κλασικές υπηρεσίες. Τα δίκτυα 4G λειτουργούν σε διάφορες ζώνες συχνοτήτων ανά χώρα και πάροχο. [6],[9],[10]



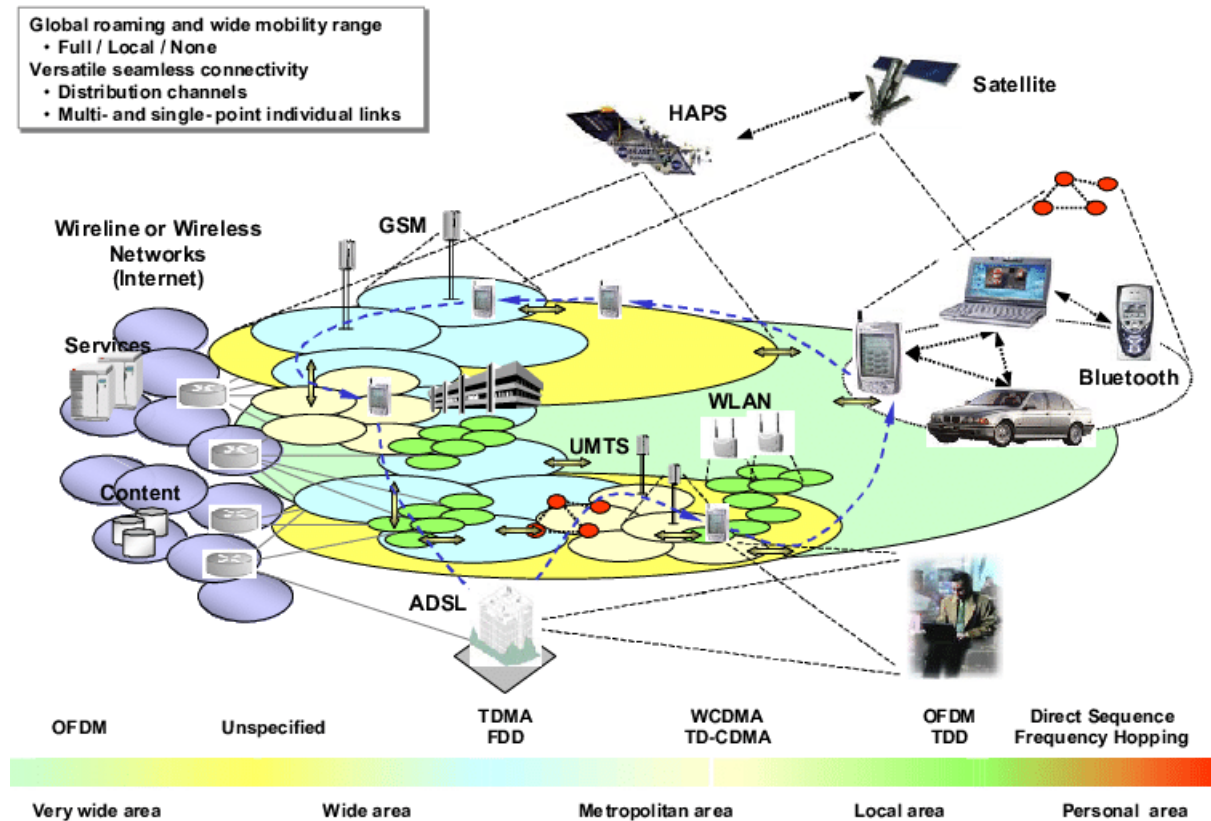
Σχήμα 2.19: Αρχιτεκτονική δικτύου 4G [17]

Τα κύρια χαρακτηριστικά του 4G είναι:

Ταχύτητα μέχρι 1Gbps

- Υψηλής ποιότητας streaming video
- Πρότυπο LTE
- Συνδυασμός Wi-Fi και Wi-Max
- Υψηλή ασφάλεια
- Παροχή όλων των υπηρεσιών ανά πάσα στιγμή και οπουδήποτε
- Διευρυμένες υπηρεσίες πολυμέσων
- Χαμηλό κόστος ανά bit
- Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας

Υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα των 4G όπως, ότι είναι δύσκολο να εφαρμοστεί, χρειάζεται πολύπλοκο hardware και απαιτείται ακριβός εξοπλισμός για την υλοποίηση δικτύου. [6],[9],[10]

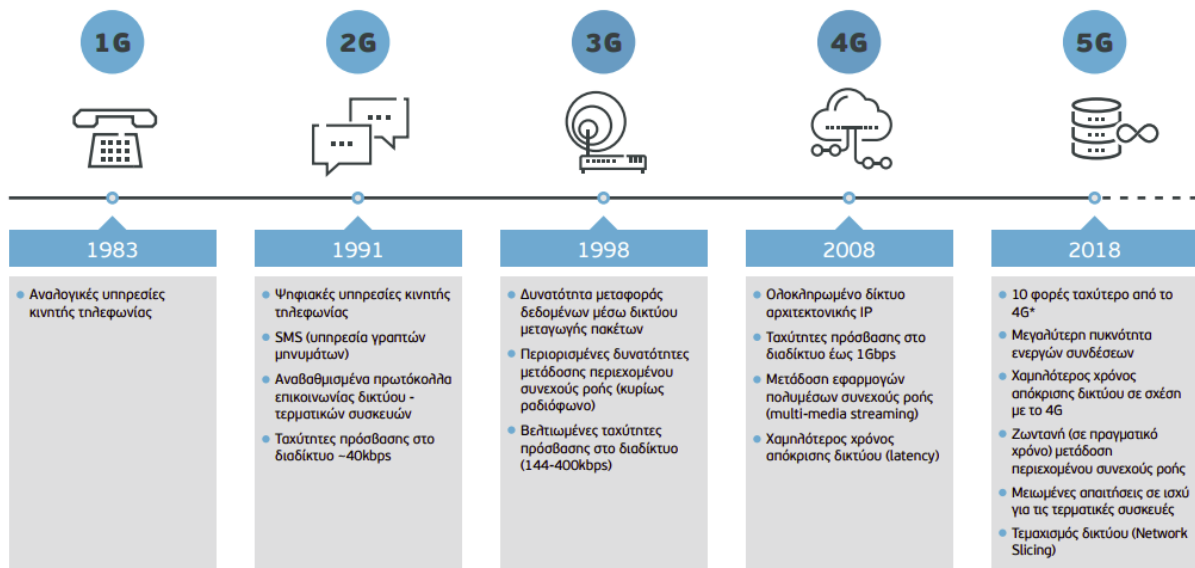


Σχήμα 2.20: Η ετερογενής αρχιτεκτονική δικτύου κινητής τηλεφωνίας 4G πολλαπλών προτύπων [18]

2.7 5η Γενιά – 5G

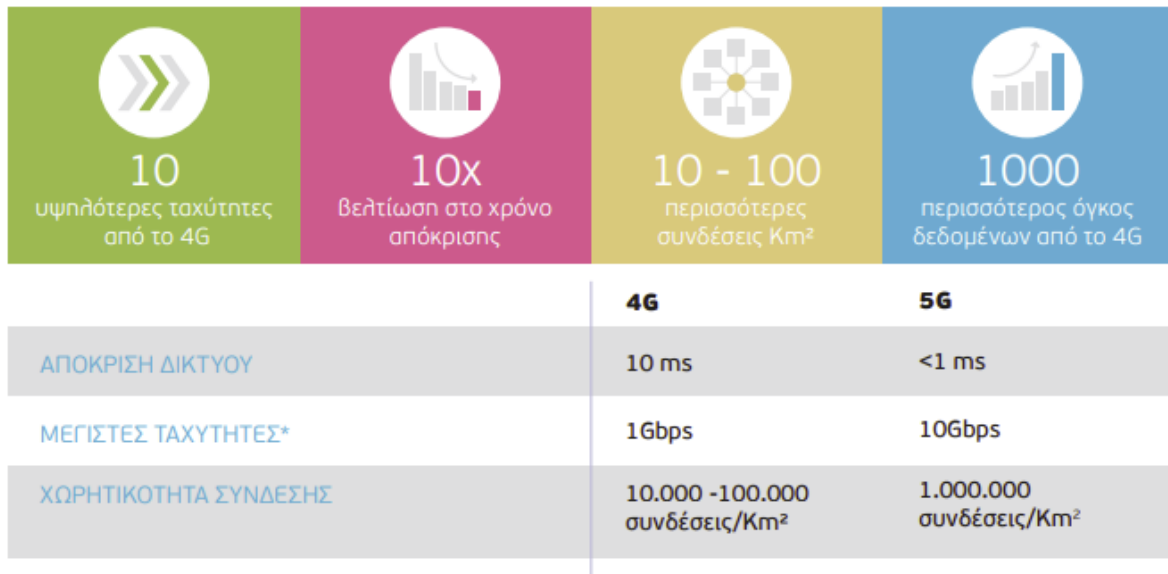
Η πέμπτη γενιά (5G) των κινητών επικοινωνιών αντιπροσωπεύει μια αλλαγή του παραδείγματος στον τρόπο που σχεδιάζονται οι ασύρματες μεταδόσεις. Το 5G New Radio (NR) όχι μόνο φέρνει μεγάλο αριθμό τεχνικών βελτιώσεων σε σύγκριση με την τέταρτη γενιά (4G) Long Term Evolution (LTE), αλλά επεκτείνει την ιδέα της κινητής επικοινωνίας σε νέους κλάδους της βιομηχανίας. Το 5G στοχεύει στην υποστήριξη τριών κύριων τύπων υπηρεσιών με διαφορετικούς και ετερογενείς εξοπλισμούς, δηλαδή ενισχυμένη ευρυζωνική σύνδεση κινητής τηλεφωνίας (Enhanced Mobile Broadband - eMBB), εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες χαμηλής καθυστέρησης (Ultra-reliable and Low-latency Communications - URLLC) και μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής (Massive Machine Type Communications - mMTC). Το 5G αναμένεται να καλύψει έναν εκτεταμένο αριθμό περιπτώσεων χρήσης για την ψηφιοποίηση μεταξύ άλλων των πολυμέσων, του Industry 4.0 ή για τις επικοινωνίες των οχημάτων.

Το 5G NR αναμένεται να πληροί ένα ευρύ σύνολο υψηλών απαιτήσεων και αυστηρών απαιτήσεων για την κάλυψη περιπτώσεων πολλαπλής χρήσης στοχευμένων κατακόρυφων [19]. Οι απαιτήσεις 5G συνδέονται με συγκεκριμένους Βασικούς Δείκτες Απόδοσης (Key Performance Indicators - KPIs), οι οποίοι ορίστηκαν από τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών-Ραδιοεπικοινωνιών (International Telecommunication Union - Radiocommunication - ITU-R) προς το ορόσημο των Διεθνών Κινητών Τηλεπικοινωνιών (International Mobile Telecommunications) για το 2020 (IMT-2020) [20].



Σχήμα 2.21: Από το 1G στο 5G [21]

5G vs 4G

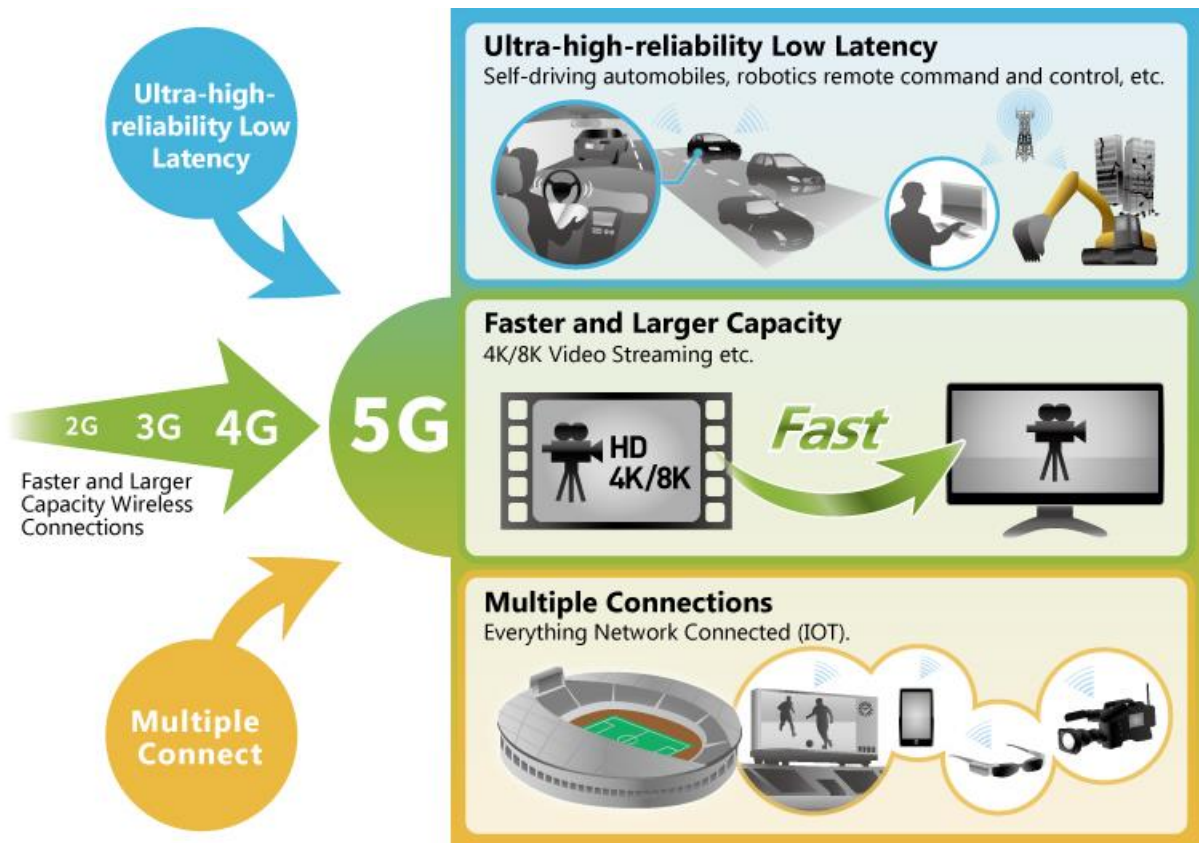


Σχήμα 2.22: Σύγκριση 5G και 4G [21]

Στη νέα συναρπαστική εποχή του 5G, οι νέες απαιτήσεις επικοινωνίας θέτουν προκλήσεις στα υπάρχοντα δίκτυα όσον αφορά τις τεχνολογίες και τα επιχειρηματικά μοντέλα. Το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας επόμενης γενιάς πρέπει να καλύπτει διαφοροποιημένες απαιτήσεις. Το eMBB στοχεύει να καλύψει τη ζήτηση των ανθρώπων για έναν όλο και πιο ψηφιακό τρόπο ζωής και εστιάζει σε υπηρεσίες που έχουν υψηλές απαιτήσεις για εύρος ζώνης, όπως βίντεο υψηλής ευκρίνειας (High Definition - HD), εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality - VR) και επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality - AR). Το uRLLC στοχεύει να ικανοποιήσει τις προσδοκίες για την απαιτητική ψηφιακή βιομηχανία και επικεντρώνεται σε υπηρεσίες ευαίσθητες στην καθυστέρηση, όπως η υποβοηθούμενη και αυτοματοποιημένη οδήγηση και η απομακρυσμένη διαχείριση. Το mMTC στοχεύει να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις για μια περαιτέρω αναπτυγμένη ψηφιακή κοινωνία και επικεντρώνεται σε υπηρεσίες που περιλαμβάνουν υψηλές απαιτήσεις για πυκνότητα σύνδεσης, όπως η έξυπνη πόλη και η έξυπνη γεωργία.

Η επέκταση του πεδίου των υπηρεσιών για δίκτυα κινητής τηλεφωνίας εμπλουτίζει το οικοσύστημα των τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Ένας αριθμός παραδοσιακών βιομηχανιών, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η υγειονομική περίθαλψη, η ενέργεια και τα δημοτικά συστήματα συμμετέχουν στην κατασκευή αυτού του οικοσυστήματος. Το 5G είναι η αρχή της προώθησης της ψηφιοποίησης από την προσωπική ψυχαγωγία στη διασύνδεση της κοινωνίας.

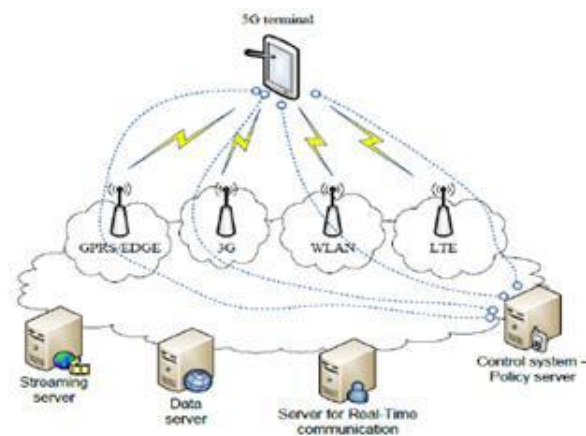
Η ψηφιοποίηση δημιουργεί τεράστιες ευκαιρίες για τη βιομηχανία κινητών επικοινωνιών, αλλά θέτει αυστηρές προκλήσεις απέναντι στις τεχνολογίες κινητής επικοινωνίας [22]



Usage image of 5G Mobile Network

Σχήμα 2.23: Χρήσεις του δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G [23]

Το δίκτυο κινητής και ασύρματης επικοινωνίας πέμπτης γενιάς είναι ο πραγματικός ασύρματος κόσμος που θα υποστηριζόταν από LAS-CDMA, OFDM, MC-CDMA, UWB, Network-LMDS, IPv6.5G μπορεί να ονομαστεί ως ο τέλειος πραγματικός ασύρματος κόσμος ή World Wide Wireless Ιστός (WWW) καθώς δεν έχει περιορισμούς. Το βασικό πρωτόκολλο για λειτουργία τόσο σε 4G όσο και σε 5G είναι το IPv6.5G που αποσκοπεί στην παροχή απεριόριστης πρόσβασης σε πληροφορίες και δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων οπουδήποτε, οποτεδήποτε από οποιονδήποτε προς όφελος του κόσμου. Οι τεχνολογίες 5G καλύπτουν όλες τις προηγμένες δυνατότητες που κάνουν το 5G κινητό τεχνολογία πιο ισχυρή και θα έχει μεγάλη ζήτηση στο μέλλον. Το κινητό 5G βασίζεται σε όλα τα IP για διαλειτουργικότητα σε κινητά και ασύρματα δίκτυα. [6],[9],[10]



Σχήμα 2.24: Αρχιτεκτονική δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G [10]

Εισαγωγή στα Δίκτυα 5G

Η έρευνα σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 5G έχει αποκτήσει δυναμική τόσο στον ακαδημαϊκό όσο και στον κλάδο πρόσφατα. Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 5G θα μεταφέρουν μεγάλη πληθώρα κινητών συσκευών και θα παρέχουν ταχύτερη ταχύτητα σύνδεσης στο δίκτυο. Επιπλέον, η κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας σε μελλοντικά δίκτυα 5G θα γνωρίσει εκρηκτική ανάπτυξη. Σύμφωνα με την Cisco, το 2021 ο αριθμός των συσκευών που συνδέονται με δίκτυα κινητής τηλεφωνίας είναι 5,5 δισεκατομμύρια. Η κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας εκτιμάται σε 30,6 Exabytes ανά μήνα, που είναι 8 φορές μεγαλύτερη από το 2015. Ωστόσο, η πιο δύσκολη πτυχή είναι ότι τα δίκτυα 5G υποστηρίζουν μια μεγάλη ποικιλία περιπτώσεων χρήσης καθώς μπαίνουμε στην εποχή του Internet of Everything (IoE). Ορισμένες εφαρμογές όπως το βίντεο εξαιρετικά υψηλής ευκρίνειας (UHD) και η επαυξημένη πραγματικότητα χρειάζονται επικοινωνίες υψηλής ταχύτητας και μεγάλης χωρητικότητας, ενώ άλλες όπως η αποστολή κρίσιμου Internet of Things (IoT) και τα αυτόνομα οχήματα απαιτούν εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση, εξαιρετικά αξιόπιστες υπηρεσίες. [24]

Τα χαρακτηριστικά των δικτύων 5G, καθώς και ο σκοπός χρήσης τους, θα παρουσιαστούν αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

Κεφάλαιο 3ο: Χαρακτηριστικά δικτύων 5G και σκοπός χρήσης τους

3.1 Εισαγωγή

Το 2013, η κυβέρνηση της Κίνας ίδρυσε τη Διεθνή Ομάδα Προώθησης Κινητής Τηλεπικοινωνίας 2020 (5G), ή IMT-2020 (5G), για την ανάπτυξη της έρευνας 5G. Την ίδια χρονιά, στην Ευρώπη ξεκίνησε η Σύμπραξη Δημοσίου-Ιδιωτικού Τομέα (5G Infrastructure Public Private Partnership - 5G PPP). Στο τέλος του 2015, ανακοινώθηκε η συμφωνία του 5G PPP και του IMT-2020 (5G) και από τότε συνεργάζονται μαζί. Τον Ιούλιο του 2015, η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνίας (International Telecommunication Union - ITU) καθόρισε το όραμα για την πορεία της ανάπτυξης των δικτύων 5G και καθιερώθηκε ο όρος “IMT-2020” για αυτό. Στα πλαίσια αυτής της ανάπτυξης απαιτείται φυσικά να συνδράμουν η βιομηχανία και οι κυβερνήσεις. [25]

Η ITU έχει ορίσει κάποιες βασικές δυνατότητες για την τεχνολογία των δικτύων 5G, όπως οι ταχύτητες δεδομένων να κυμαίνονται από 10 ως 20 Gbps, οι υπηρεσίες που υποστηρίζονται να έχουν πολύ χαμηλή τιμή καθυστέρησης (μικρότερη ή ίση με 1ms), το δίκτυο να επιτρέπει υψηλή κινητικότητα (έως 500 χλμ./ώρα), να υποστηρίζει υψηλή πυκνότητα σύνδεσης μαζικής επικοινωνίας, να εξασφαλίζεται 100 φορές περισσότερη ενεργειακή απόδοση και 3 φορές περισσότερη απόδοση φάσματος. Το 3GPP (Third Generation Partnership Project) επικύρωσε την νέα Τεχνολογία ραδιοφώνου (New Radio - NR) για την εξέλιξη του LTE. Η νέα τεχνολογία περιέχει υψηλή και αξιόπιστη ασύρματη σύνδεση, ενώ το κυψελοειδές πλέγμα του 5G στοχεύει στην συμπύκνωση του δικτύου με επίγειους σταθμούς βάσης, με την επιπρόσθετη χρήση κινούμενων μικρών κελιών (π.χ., τοποθετημένα σε αυτοκίνητο) έτσι ώστε να ικανοποιείται η απαίτηση για αύξηση της κινητικότητας.

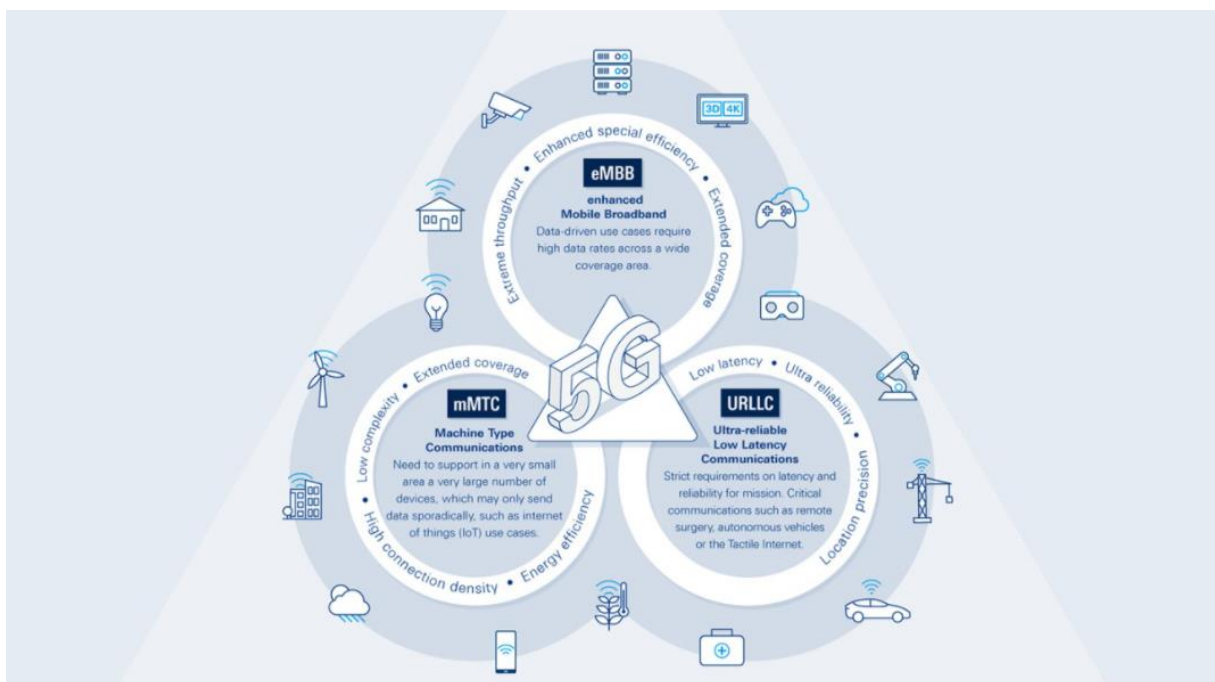
Τα δίκτυα 5G έρχονται να καλύψουν αδυναμίες των δικτύων 4G. Σε αντίθεση με τα υπάρχοντα δίκτυα 4G, τα δίκτυα 5G υποστηρίζουν τη δημιουργία νέων υπηρεσιών δικτύου, όπως Softwarized Network Functions – NFs, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες Software Defined Networking - SDN και Network Functions Virtualization - NFV. Πιο συγκεκριμένα τα NFs μπορούν να φιλοξενηθούν στους διακομιστές cloud, στις εγκαταστάσεις του χειριστή ή στην άκρη του δικτύου με βάση τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Επιπλέον, οι διακομιστές σε Mobile or Multi-Access Edge Computing (MEC) με δυνατότητα αποθήκευσης και υπολογιστική ισχύ, παρέχουν ένα κατάλληλο περιβάλλον για να υποστηριχθούν εφαρμογές με μεγάλες απαιτήσεις. Το κλειδί της μεγαλύτερης ευελιξίας που παρέχουν τα δίκτυα 5G είναι η χρήση των SDN και NFV, κι αυτό επειδή, υποστηρίζουν την παρουσία των NFs προς τα άκρα του δικτύου μειώνοντας την εξάρτηση από την υποδομή. Επίσης μπορεί εύκολα να αυξηθεί η χωρητικότητα του δικτύου 5G, επειδή το δίκτυο 5G έχει την ικανότητα να προγραμματίζεται από μόνο του. Κάτι πολύ σημαντικό, που θα αναπτυχθεί παρακάτω στην εργασία είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί networking slice στα δίκτυα 5G, για την κάλυψη υπηρεσιών με παρόμοιο τύπο απαιτήσεων, εξυπηρετώντας αποτελεσματικά ποικίλες εφαρμογές, με εγγυημένη χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση. [20]

Τα κύρια συστατικά των δικτύων 5G μπορούν να συνοψιστούν στα εξής: [26]

- Χρήση νέου φάσματος υψηλότερων ζωνών συχνοτήτων, για την υποστήριξη υψηλών ρυθμών δεδομένων έως και 20 Gbps και εύρος ζώνης έως 1-2 GHz. Η τεχνολογία των δικτύων 5G είναι η πρώτη τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας σχεδιασμένη να λειτουργεί σε οποιαδήποτε ζώνη συχνοτήτων μεταξύ 400 MHz και 90 GHz.

- Χρήση βασικών τεχνολογιών όπως mmWaves, μικρά δίκτυα κυψελών, Massive Multiple Input Multiple Output – MIMO και Beamforming. Οι τεχνολογίες MIMO σε συνδυασμό με το beamforming, συμβάλλουν στην παροχή μεγάλου ποσοστού δεδομένων για μεγάλο αριθμό χρηστών, με την αποστολή των δεδομένων στους χρήστες σε μια στενή δέσμη (beam).
- Χρήση του Network slicing, το οποίο προσφέρει ευελιξία στα δίκτυα 5G για να εξυπηρετήσει ετερογενείς υπηρεσίες σε διαφορετικές συχνότητες με αποδοτικό τρόπο.
- Πολλαπλή συνδεσιμότητα. Το 5G μπορεί να αναπτυχθεί ως αυτόνομο σύστημα, αλλά στα αρχικά στάδια θα γίνεται περισσότερο σύνδεση με LTE. Έτσι, η συσκευή 5G θα μπορεί να συνδεθεί ταυτόχρονα με 5G και LTE, προσφέροντας υψηλότερο ρυθμό δεδομένων στον χρήστη και πιο αξιόπιστη σύνδεση.
- Υποστήριξη τόσο της εφαρμογής σε cloud, όσο και edge computing. Η αρχιτεκτονική στο LTE που χρησιμοποιείται ήδη, διανέμει πλήρως τα δεδομένα στο κεντρικό δίκτυο. Η χαμηλή καθυστέρηση που απαιτείται από τα δίκτυα 5G, απαιτεί την τοπική διάσπαση και την χρήση MEC. Η απαιτούμενη επεκτασιμότητα φέρνει ένα συνδυασμό των δύο αρχιτεκτονικών, για να υπάρχουν τα μέγιστα οφέλη από την χρήση τους.

Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union - ITU) ταξινομεί το 5G σε τρεις κατηγορίες σεναρίων χρήσης: α) βελτιωμένο εύρος ζώνης για κινητά (enhanced Mobile BroadBand – eMBB), β) αξιόπιστη και με χαμηλή καθυστέρηση επικοινωνία (Ultra Reliable and Low Latency Communication – URLLC), και γ) μαζική επικοινωνία τύπου μηχανήματος (Massive Machine Type Communication – mMTC), σε έναν τεράστιο αριθμό συσκευών IoT.



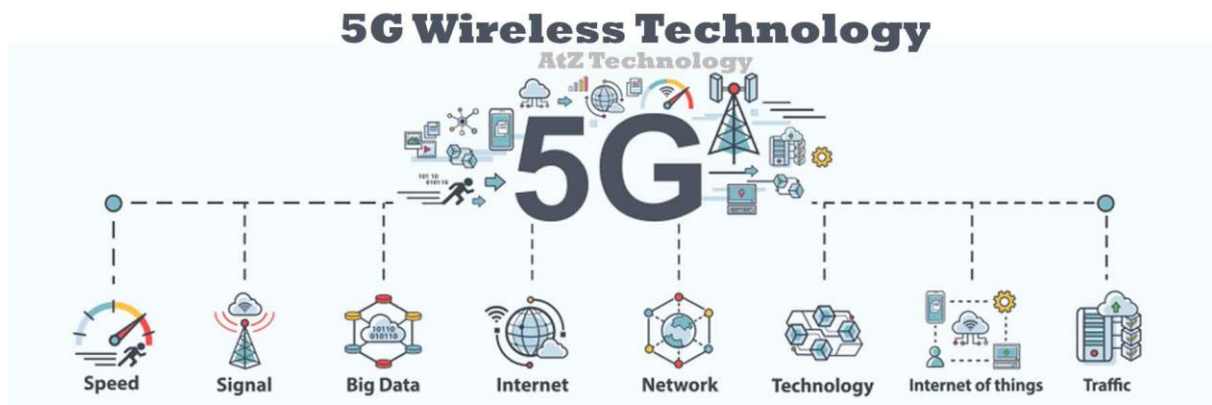
Σχήμα 3.1: Τι είναι καινούργιο στο 5G [27]

Γενικότερα, ο σκοπός του δικτύου 5G δεν είναι μόνο να συνδέσει άτομα, αλλά να παρέχει συνδεσιμότητα σε οποιαδήποτε συσκευή ή εφαρμογή χρειάζεται να έχει πρόσβαση στο δίκτυο. Έτσι, γίνεται προσπάθεια να προσφέρουν 1000 φορές υψηλότερο όγκο δεδομένων κινητής τηλεφωνίας ανά περιοχή, 100 φορές υψηλότερο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών, 100 φορές υψηλότερο ρυθμό

μετάδοσης δεδομένων, 10 φορές μεγαλύτερη διάρκεια ζωής μπαταρίας για επικοινωνία συσκευών χαμηλής ισχύς και 5 φορές μειωμένη End-to-End (E2E) καθυστέρηση, σε σχέση με τα προηγούμενα δίκτυα. Το συγκεκριμένο δίκτυο επιτρέπει ένα νέο είδος δικτύου που έχει σχεδιαστεί για μια σύνδεση όλων των οντοτήτων μαζί, συμπεριλαμβανομένων ανθρώπων και μηχανών, αντικειμένων και συσκευών με υψηλή αξιοπιστία και χωρητικότητα.

3.2 Αξιοποίηση δικτύων 5G

Την τελευταία δεκαετία παρατηρείται αυξημένη χρήση βίντεο, βιντεοκλήσεων και ανταλλαγή άλλων πολυμεσικών μηνυμάτων, με αποτέλεσμα να καταλαμβάνουν αυτές οι υπηρεσίες πάνω από το 50% της παγκόσμιας κίνησης των κινητών τηλεφώνων. Επιπλέον προστίθενται όλο και περισσότερες νέες εφαρμογές της επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality - AR), του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT), του Διαδικτύου των οχημάτων (Internet of Vehicles - IoV), πραγματοποιείται επικοινωνία από συσκευή σε συσκευή (Device to Device - D2D), εφαρμογές της τηλεϊατρικής (Telemedicine), πραγματοποιείται επικοινωνία από μηχανή σε μηχανή (Machine to Machine - M2M) και γίνεται χρήση των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (Unmanned Aerial Vehicles -UAVs). Οι αυξημένες απαιτήσεις που έχουν όλες αυτές οι εφαρμογές δεν μπορούν να καλυφθούν επαρκώς από τα δίκτυα 4G. Τα δίκτυα 5G, με τα χαρακτηριστικά που διαθέτουν, προσφέρουν την ολοκληρωμένη λύση για τις νέες εφαρμογές του σύγχρονου κόσμου. [28]



Σχήμα 3.2: Πεδία που συμβάλλουν τα δίκτυα 5G [28]

Παρακάτω παρουσιάζεται η αξιοποίηση των δικτύων 5G σε διαφορετικές εφαρμογές: [28]

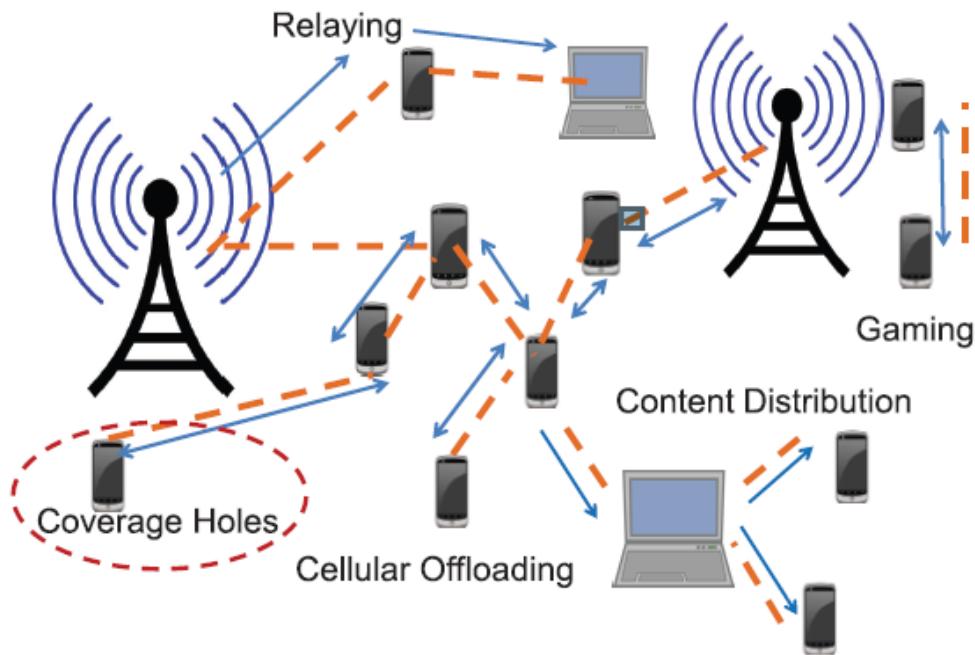
A. D2D Επικοινωνία

Τα χαρακτηριστικά των δικτύων 5G όπως χαμηλή καθυστέρηση, χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση και πρόνοια για επεκτασιμότητα συντελούν ώστε οι συσκευές να έχουν εξέχουσα θέση στην αρχιτεκτονική των δικτύων 5G. Η επικοινωνία D2D επίσης είναι σημαντική στα δίκτυα 5G, καθώς υπόσχεται εξαιρετικά χαμηλό λανθάνοντα χρόνο για επικοινωνία μεταξύ χρηστών. Η D2D επικοινωνία μπορεί να λειτουργεί σε φάσμα με άδεια αλλά και σε φάσμα χωρίς άδεια. Είναι μια νέα προσθήκη στο κλασικό παράδειγμα της κυψελοειδούς επικοινωνίας.

Το καινούριο είναι πως επιτρέπει την άμεση επικοινωνία χρηστών, παρακάμπτοντας το ραδιοφωνικό σήμα στο σταθμό – βάση (Base Station - BS) ή στο κεντρικό δίκτυο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα χαμηλή καθυστέρηση λόγω μικρότερης διάρκειας προώθησης του σήματος. Η επικοινωνία D2D, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ασύρματες τεχνολογίες μικρής εμβέλειας όπως Bluetooth, Wi Fi Direct και LTE

Direct. Εφαρμόζεται με διαφορετικό τρόπο, καθώς αυτές οι τεχνολογίες έχουν διαφορετικό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, καλύπτουν διαφορετική απόσταση συσκευών, χρησιμοποιούν διαφορετικούς μηχανισμούς και χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα το Bluetooth 5 έχει μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 50 Mbps και απόσταση που μπορεί να καλύψει έως 240 μέτρα, το WiFi Direct αντίστοιχα 250 Mbps και 200 μέτρα και το LTE Direct 13,5 Mbps και 500 μέτρα.

Η νέα λειτουργία D2D προσφέρει τους χρήστες περισσότερη ευελιξία κατά την χρήση του δικτύου, λόγω της μείωσης της κίνησης προς το κεντρικό δίκτυο, της αύξησης της φασματικής απόδοσης και της μείωσης της ενέργειας και του κόστους ανά bit. [29]

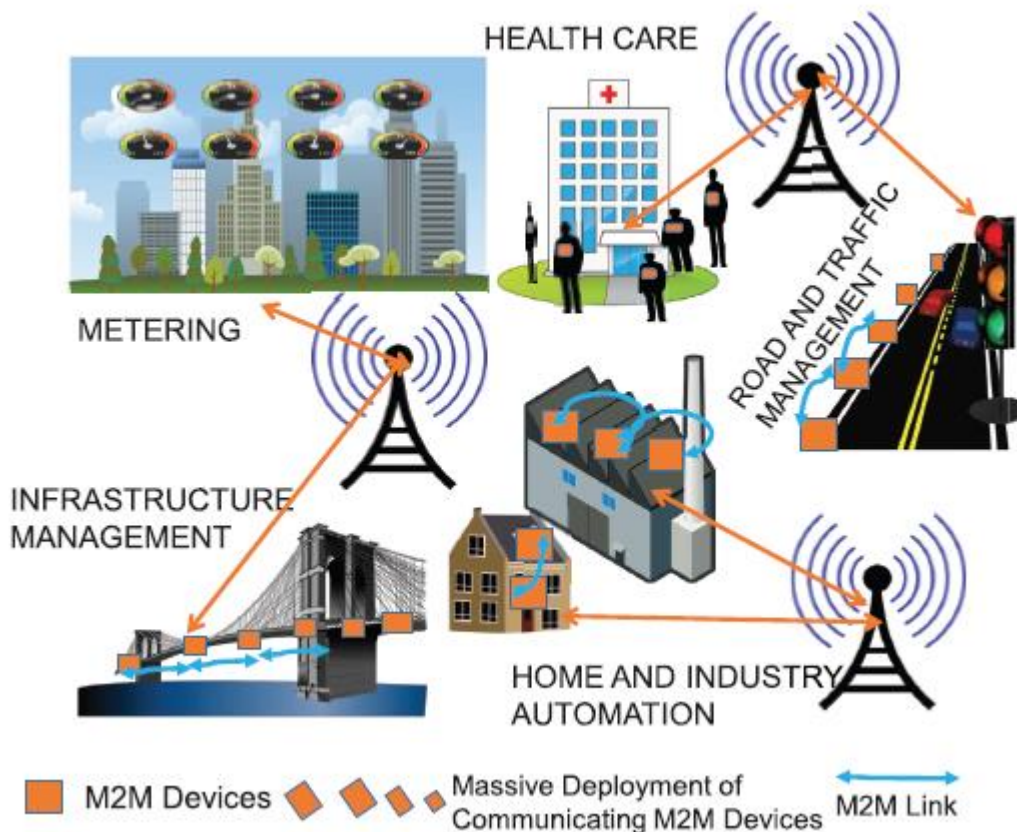


Σχήμα 3.3: Χρήση στις Επικοινωνίες Μηχανή σε Μηχανή [28]

B. M2M Επικοινωνία

Οι επικοινωνίες M2M (Machine to Machine) έχουν την υποστήριξη που χρειάζονται στα δίκτυα 5G. Τα κύρια χαρακτηριστικά των επικοινωνιών M2M είναι η αυτοματοποιημένη παραγωγή δεδομένων, η επεξεργασία τους, η μεταφορά τους και η ανταλλαγή των δεδομένων μεταξύ ευφών μηχανών, με τη λιγότερη δυνατή παρέμβαση του ανθρώπου. Σε σχέση με τις τοπικές επικοινωνίες D2D, οι επικοινωνίες M2M συνδέουν τεράστιο αριθμό συσκευών, όπως αισθητήρες και άλλες συσκευές του IoT. Εκτός από αυτό, προσφέρουν υψηλή αξιοπιστία, χαμηλή καθυστέρηση και λειτουργία σε πραγματικό χρόνο.

Μια απλή αρχιτεκτονική των επικοινωνιών M2M χωρίζεται σε τρία μέρη: τον τομέα της συσκευής, ο οποίος περιέχει τις συσκευές M2M, τον τομέα δικτύου, ο οποίος ασχολείται με την μετάδοση μεταξύ των συσκευών M2M και των διακομιστών υποστήριξης, και τον τομέα της εφαρμογής, που περιέχει τα εργαλεία που εκτελούν την επεξεργασία των δεδομένων. Η εξέλιξη της τεχνολογίας για κινητά, συμβάλλει άμεσα στην ολοκληρωμένη ανάπτυξη των επικοινωνιών M2M και του IoT. [28]



Σχήμα 3.4: Εφαρμογές Επικοινωνιών Μηχανή σε Μηχανή [28]

Γ. Εφαρμογές IoT

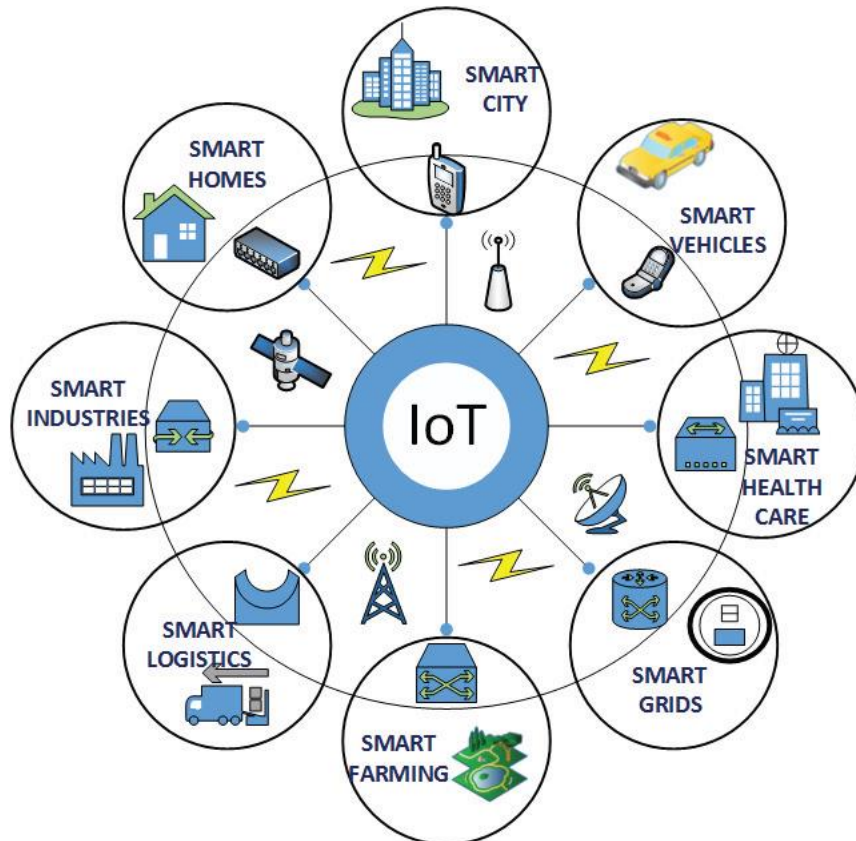
Το IoT οραματίζεται εκατομμύρια ταυτόχρονες συνδέσεις, που περιλαμβάνουν ποικιλία συσκευών, συνδεδεμένα σπίτια, έξυπνα δίκτυα και έξυπνα συστήματα μεταφοράς. Αυτό το όραμα θα μπορούσε τελικά να πραγματοποιηθεί μόνο με την έλευση των ασύρματων δικτύων υψηλού εύρους ζώνης 5G. Το IoT επιτρέπει συνδέσεις στο Διαδίκτυο και διαλειτουργικότητα δεδομένων για πολλά έξυπνα αντικείμενα και εφαρμογές. Έξι μοναδικές προκλήσεις του IoT περιλαμβάνουν:

1. Αυτοματοποιημένη διαμόρφωση αισθητήρων (Automated sensor configuration),
2. ανακάλυψη περιβάλλοντος (context discovery),
3. απόκτηση, μοντελοποίηση και συλλογιστική (acquisition, modeling and reasoning)
4. επιλογή αισθητήρων στο μοντέλο «ανίχνευση ως υπηρεσία» (selection of sensors in “sensing-as-a-service” model)
5. ασφάλεια ιδιωτικότητα-εμπιστοσύνη (security privacy-trust) και
6. κοινή χρήση περιβάλλοντος (context sharing).

Η εφαρμογή του IoT είναι πολύπλοκη, καθώς περιλαμβάνει συνεργασία μεταξύ μαζικών, κατακευματισμένων, αυτόνομων και ετερογενών συστατικών σε διάφορα επίπεδα λεπτομερειών και αφαίρεσης. Η έννοια του cloud, που προσφέρει μεγάλες δυνατότητες αποθήκευσης, υπολογισμού και δικτύωσης, μπορεί να ενσωματωθεί σε διάφορες συσκευές με δυνατότητα IoT. Προτείνεται ένας σχεδιασμός υψηλού επιπέδου αρχιτεκτονικής IoT με υποστήριξη νέφους, έξυπνου λογισμικού. Έξυπνα

αντικείμενα, ενεργοποιημένα με ασύρματο 5G, αναμένεται να αποτελέσουν τη βάση του σχεδιασμού και της διάθεσης IoT μεγάλης κλίμακας. Πιο πρόσφατα, το Social Internet of Things (SIoT) έρχεται επίσης για να διερευνήσει τη σχέση μεταξύ αντικειμένων και κοινωνικών δικτύων.

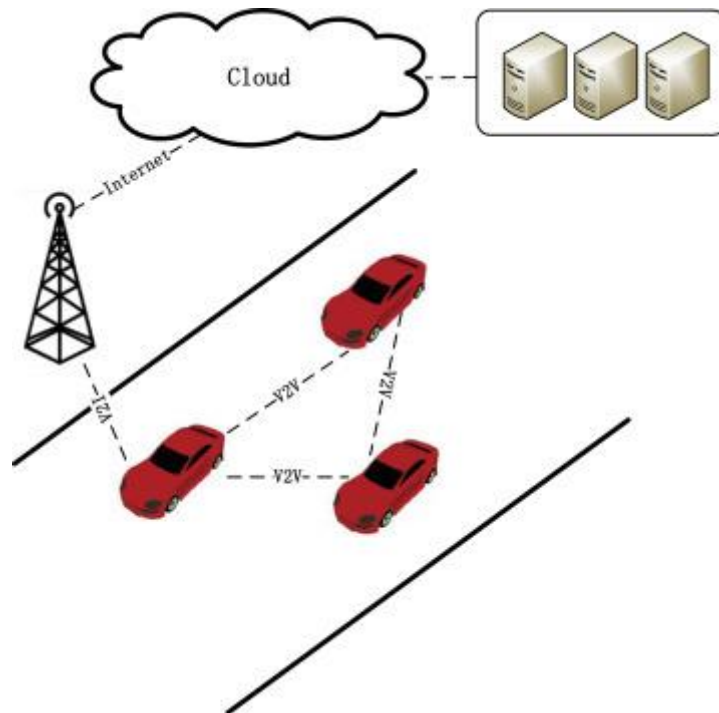
Αναμένουμε ότι το IoT θα μετατρέψει σταδιακά το τρέχον Διαδίκτυο από τις ανθρώπινες κεντρικές αλληλεπιδράσεις σε μια πλατφόρμα M2M εξοπλισμένη με ασύρματα 5G δίκτυα. Αυτή η πανταχού παρούσα συνδεσιμότητα των αυτόνομα επικοινωνούντων συσκευών με δυνατότητα IoT είναι η βάση του ασύρματου 5G. Για να υποστηρίξει το IoT σε παγκόσμια κλίμακα, το ITO-T's IoT Global Standards (IoT-GSI), προτείνει ενιαία προσέγγιση για τις τεχνικές τυποποιημένες εξελίξεις.



Σχήμα 3.5: Internet of Things (IoT): Συνδέοντας “Anything, Anyone, Anytime, Anyplace”. [28]

Δ. Εφαρμογές IoV

Η ανάπτυξη στο IoT οδηγεί αυτόματα στην εξέλιξη του Internet of Vehicles (IoV), ενός δικτύου διασυνδεδεμένων οχημάτων για ισχυρή διαχείριση της κυκλοφορίας και μειωμένες πιθανότητες σύγκρουσης. Υψηλό εύρος ζώνης, διάχυτη διαθεσιμότητα και χαμηλή καθυστέρηση ασύρματου 5G διασφαλίζει έξυπνες και ευφείς επικοινωνίες οχημάτων. Το αναδυόμενο υπολογιστικό νέφος οχημάτων θα είναι υπεύθυνο για όλες τις βασικές υπηρεσίες και εφαρμογές, όπως τη δρομολόγηση της αναζήτησης περιεχομένου, τη κοινή χρήση φάσματος και τη διάδοση πληροφοριών. Το IoV περιλαμβάνει τεράστια χωροχρονικά δεδομένα (Big Data), τα οποία πρέπει να επεξεργαστούν και να παραδοθούν με υψηλή ασφάλεια και ασφάλεια. Το IoV αναμένεται επιπρόσθετα να διερευνεί την ύπαρξη και να χρησιμοποιεί υπηρεσιών, αν προσφέρονται, στο δρόμο που κινείται το όχημα (σχήμα 3.6). [28]



Σχήμα 3.6: IoV και V2V επικοινωνίες [30]

Ε. Εφαρμογές για Φροντίδα Υγείας και Φορετές συσκευές (wearables)

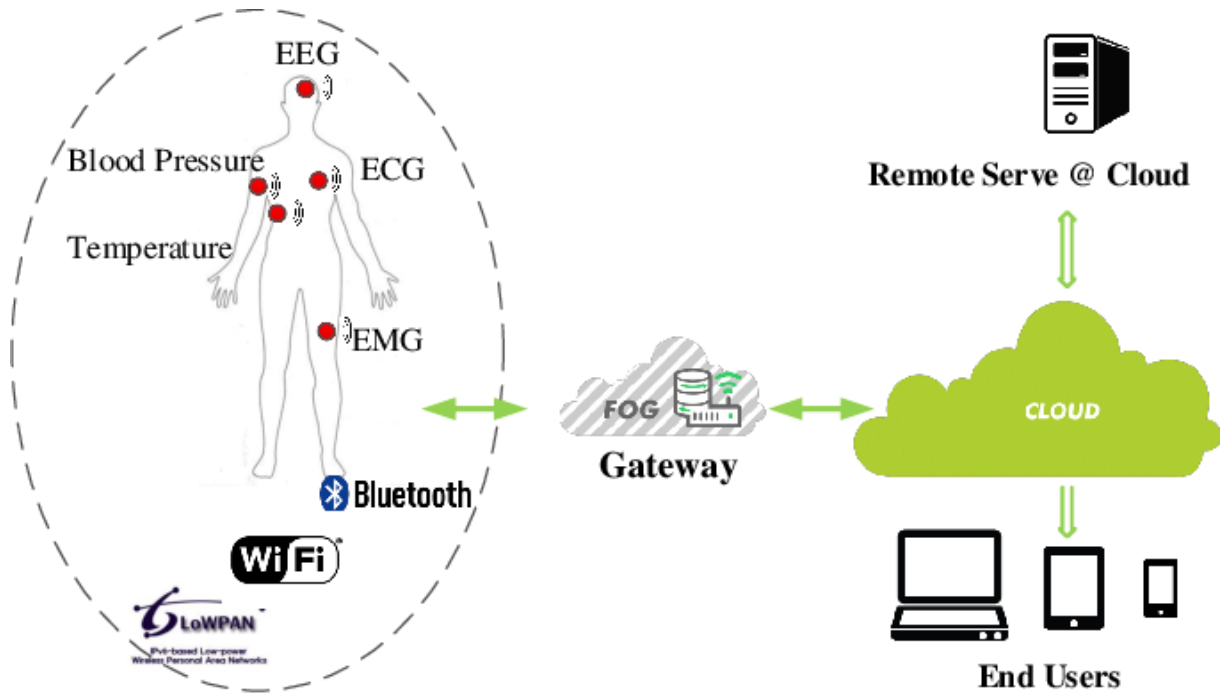
Οι εξελίξεις στην τεχνολογία ανίχνευσης και επικοινωνίας έχουν ανοίξει νέες δυνατότητες για την παρακολούθηση της υγείας.

Το αμερικανικό γραφείο απογραφής προβλέπει έναν γηράσκοντα κόσμο σε λιγότερο από 30 χρόνια από τώρα. Η τεχνολογία των wearables υπόσχεται να παρέχει λύσεις υγειονομικής περίθαλψης στον αναπτυσσόμενο κόσμο που έχει υποστεί πίεση από τη γήρανση του πληθυσμού. Επιπρόσθετα έχει αποδειχθεί ότι αυξάνει την ποιότητα της φροντίδας για τους ασθενείς, ιδίως δε για τους χρονίως πάσχοντες. Αναπτύσσονται συσκευές με δυνατότητες μέτρησης πολλαπλών σημάτων δίνοντας τη δυνατότητα παρακολούθησης του κορεσμού οξυγόνου στο αίμα (SpO_2), ολόημερη παρακολούθηση καρδιακού ρυθμού και διακυμάνσεων (με τον ενσωματωμένους βιοαισθητήρες) και παρακολούθηση ύπνου. Επιπλέον είναι δυνατόν να παρακολουθούν το επίπεδο στρες, ασκήσεις αναπνοής, αξιολόγηση δείκτη ζωτικότητας PAI, ειδοποιήσεις αδράνειας, μέτρηση βημάτων και καθορισμό στόχων. Η καταγραφή πολλαπλών σημάτων για μεγάλο χρονικό διάστημα βοηθά στην κατανόηση της παθοφυσιολογίας μιας νόσου. Οι πληροφορίες αυτές μαζί με διευρυμένες υπηρεσίες ασφαλείας και υψηλότερο εύρος ζώνης δίνουν νέες δυνατότητες υγειονομικής περίθαλψης. Το αναδυόμενο ασύρματο δίκτυο 5G και το Body Area Network (BAN) διευκολύνουν στην αλλαγή της παρακολούθησης της υγείας των ασθενών σε πραγματικό χρόνο.

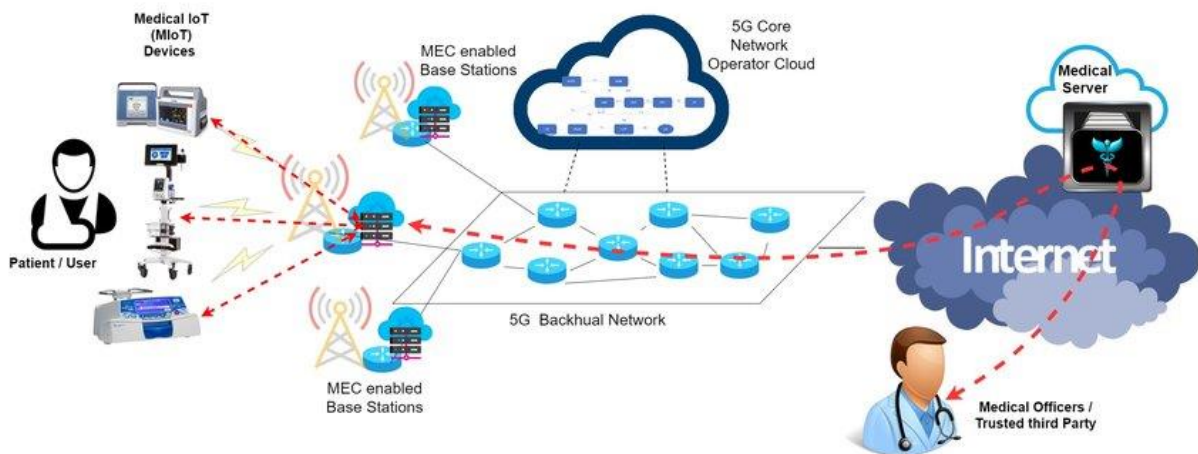
Ο κύριος περιορισμός στη συλλογή και παρακολούθηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο είναι ο περιορισμός εύρους ζώνης. Υψηλότερο εύρος ζώνης και ρυθμοί δεδομένων ασύρματου 5G αναμένεται να επιλύσουν αυτούς τους περιορισμούς εύρους ζώνης. Η άνεση, οι φυσικές, ψυχολογικές και κοινωνικές πτυχές των συσκευών wearables συζητούνται. Αυτές οι δυνατότητες απαιτούν τεράστια επεξεργασία δεδομένων, αποθήκευση και επικοινωνίες σε πραγματικό χρόνο.

Ένα σύστημα βασισμένο στο IoT, με τη χρήση του υπολογιστικού νέφους για χειρισμό των μεγάλων δεδομένων, θα βοηθήσει στις ιατρικές υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης. Το ασύρματο 5G αναμένεται να

επιλύσει μεγάλες προκλήσεις δεδομένων των εφαρμογών υγειονομικής περίθαλψης σε πραγματικό χρόνο, αποφέροντας οφέλη στην ανθρωπότητα.



Σχήμα 3.7: Η αρχιτεκτονική του συστήματος παρακολούθησης υγείας που βασίζεται στο IoT [31]



Σχήμα 3.8: Γενική αρχιτεκτονική ενός συστήματος απομακρυσμένης παρακολούθησης ασθενών με βάση το 5G [32]

ΣΤ. Εφαρμογές VR – AR

Τα δίκτυα 5G μπορούν να υποστηρίξουν και άλλες εφαρμογές βασισμένες στην εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality - VR) και στην επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality - AR), σε συνδυασμό με την τεχνητή νοημοσύνη (AI). Έτσι οι τεχνολογίες, AR και VR έχουν εφαρμογή σε ψυχαγωγικές, βιομηχανικές και εκπαιδευτικές εφαρμογές. Αυτές οι εφαρμογές είναι προς το παρόν περιορισμένες, επειδή το απαραίτητο εύρος ζώνης (50 Mb/s για 4K/Basic 3D AR/VR και 100Mb/s για 8K/Immersive 3D AR/VR) καθώς και η μικρή καθυστέρηση (κάτω από 20 ms) δεν είναι διαθέσιμα στα 4G δίκτυα. Τα δίκτυα 5G θα επιτρέψουν την άμεση μετάδοση 4K UHD ζωντανά από μια τοποθεσία

κινητής τηλεφωνίας (ή μιας κάμερας), την λειτουργία των έξυπνων δημόσιων συγκοινωνιών και θα εξασφαλίσουν μεγαλύτερη δημόσια ασφάλεια. [26]



Σχήμα 3.9: VR/AR τεχνολογίες [33]

Z. Εφαρμογές IoS - “Human 4.0” [Internet of Skills, where Robotics meets AI, 5G]

Επιτρέποντας την παροχή φυσικών εμπειριών εξ αποστάσεως (και παγκοσμίως), το Διαδίκτυο των Δεξιοτήτων θα φέρει επανάσταση στις λειτουργίες και τις δυνατότητες εξυπηρέτησης βιομηχανιών και θα φέρει επανάσταση στον τρόπο διδασκαλίας, εκμάθησης και αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον μας για τους καταναλωτές. Θα είναι ένας κόσμος όπου οι καλύτεροι μηχανικοί μας θα μπορούν να εξυπηρετούν άμεσα αυτοκίνητα σε όλο τον κόσμο. ή οποιονδήποτε διδάσκεται πώς να ζωγραφίζει από τους καλύτερους διαθέσιμους καλλιτέχνες παγκοσμίως. Με εκτιμώμενα έσοδα 20 τρισεκατομμυρίων δολαρίων ετησίως παγκοσμίως (20% του παγκόσμιου Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος, ΑΕΠ), θα είναι ένας παράγοντας παροχής δεξιοτήτων - έτσι μια πολύ έγκαιρη τεχνολογία για οικονομίες με γνώμονα τις υπηρεσίες σε όλο τον κόσμο.

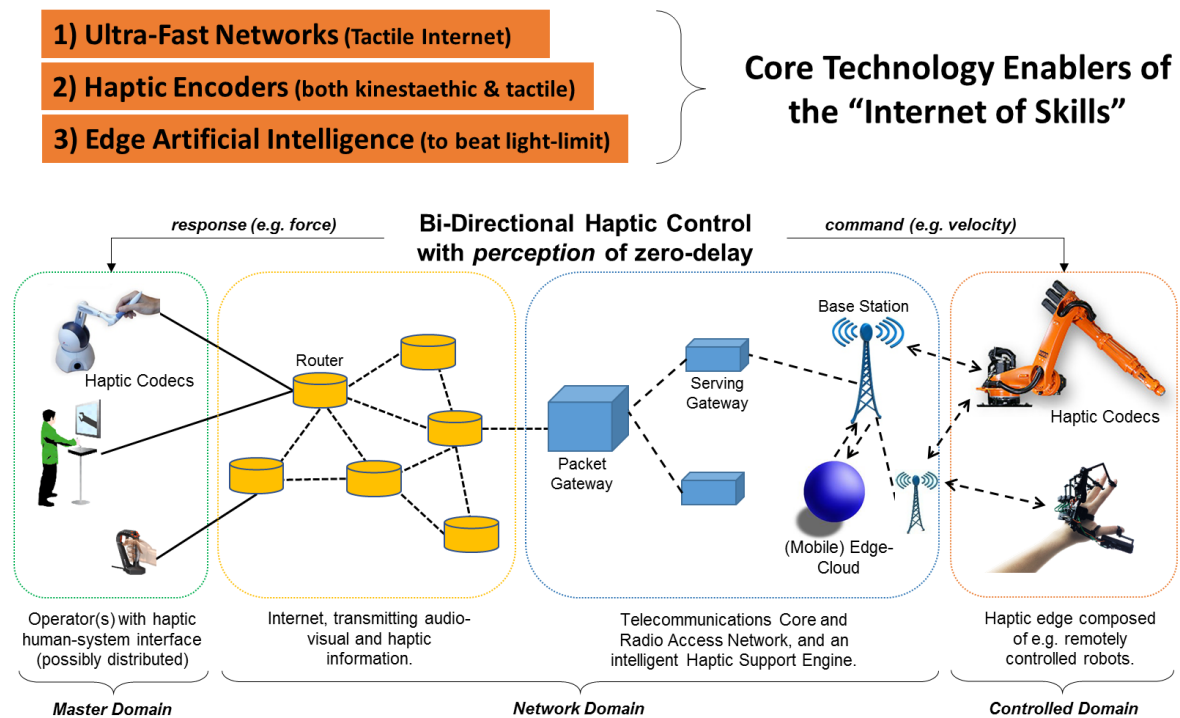
Ο δυνητικός παγκόσμιος αντίκτυπος του Διαδικτύου Δεξιοτήτων θα ήταν εκπληκτικός και σημαντικός για την αντιμετώπιση ορισμένων από τις μεγαλύτερες προκλήσεις του κόσμου. Το Διαδίκτυο Δεξιοτήτων θα ανοίξει πολλές νέες δυνατότητες που κυμαίνονται σε ετερογενείς τομείς, όπως:

- σημαντικές εφαρμογές καταστροφής, όπως απομακρυσμένη παρακολούθηση/χειρουργική επέμβαση ατόμων που έχουν ανάγκη (π.χ., εφαρμόζεται σε περιοχές που έπληξαν τον Έμπολα),
- εξ αποστάσεως εκπαίδευση που είναι πέρα από την ανταλλαγή γνώσεων αλλά και την ανταλλαγή δεξιοτήτων (π.χ., ένα παιδί στη Γάζα διδάσκεται ζωγραφική)
- βιομηχανικές δυνατότητες παροπλισμού και σέρβις από απόσταση (π.χ. απομακρυσμένη επισκευή σπασμένου αυτοκινήτου στην Αφρική)

και τα παραπάνω παραδείγματα είναι μόνο ένα πολύ περιορισμένο σύνολο πιθανών. Οποιαδήποτε πιθανή δεξιότητα μπορεί να παραδοθεί σε οποιαδήποτε περιοχή του πλανήτη όπου θα είναι διαθέσιμο το Internet of Skills.

Για την πραγματοποίηση του χρειάζεται καινοτομία σε τρεις κύριους τομείς:

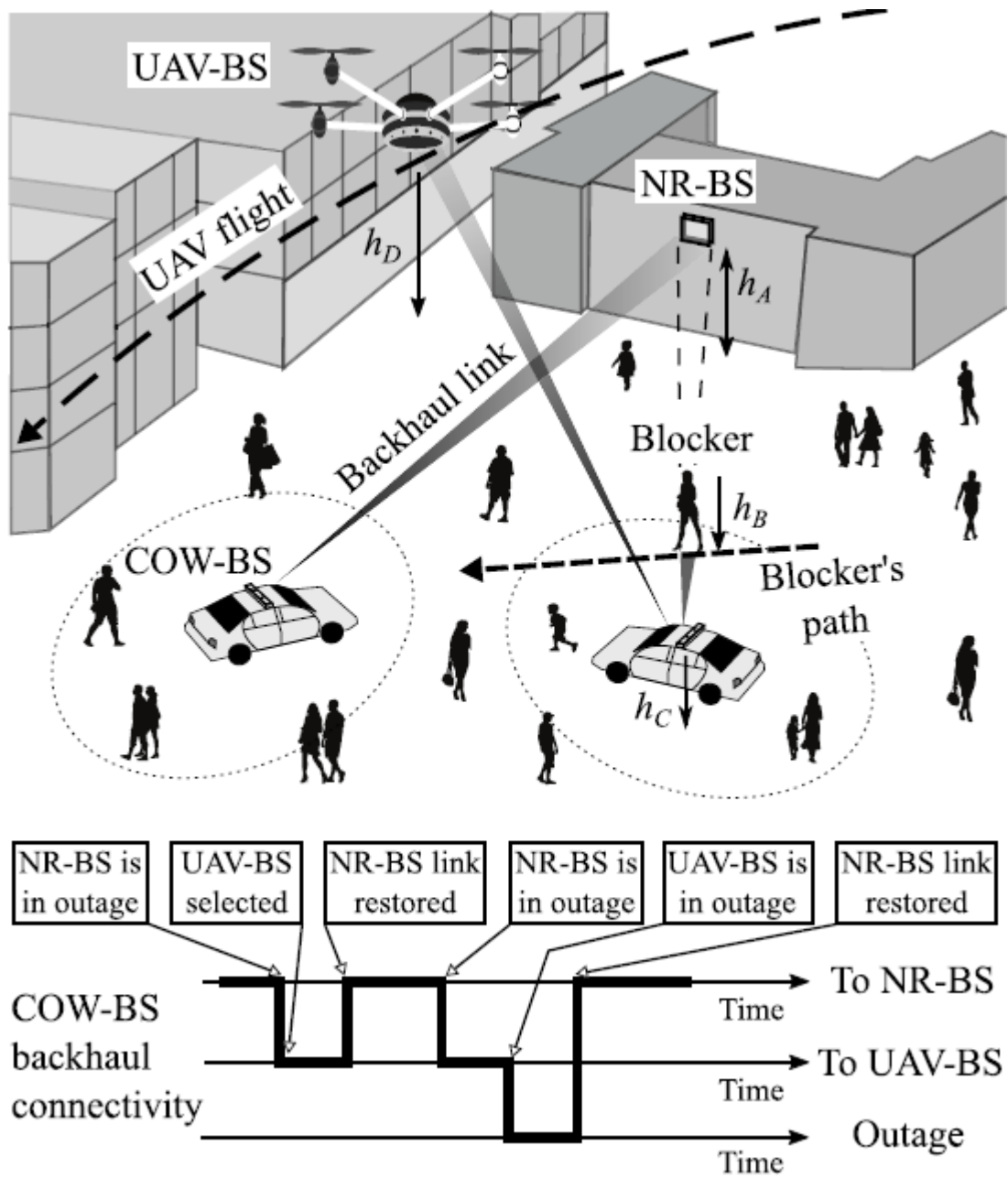
- 1) ευέλικτα πρωτόκολλα δικτύωσης και επικοινωνίας.
- 2) τεχνητή ευφυΐα
- 3) τυποποιημένη ψηφιοποίηση και κωδικοποίηση απτικών δεδομένων. [34]



Σχήμα 3.10: Αρχιτεκτονική υψηλού επιπέδου του Διαδικτύου των Δεξιοτήτων και απαιτούμενα δομικά στοιχεία [34]

H. Χρήση UAVs [Flexible and Reliable UAV-Assisted Backhaul.]

Τα δίκτυα 5G, μπορούν να υποστηρίξουν με αξιοπιστία ειδικές εφαρμογές, που χρησιμοποιούν UAVs, όπως για παράδειγμα χρήση drones για έλεγχο του επιπέδου συνωστισμού μιας περιοχής. Εκτός από αυτή την χρήση, τα UAVs, σχετίζονται και με άλλο τρόπο με τα δίκτυα 5G. Όταν η χρήση των συμβατικών BS δεν μπορούν να οδηγήσουν σε μια βέλτιστη χρήση πόρων, μια εναλλακτική λύση για την εξυπηρέτηση ορισμένων χρηστών, μπορεί να γίνει από τα UAV-BS. Και ιδιαίτερα εκείνα που έχουν τις νέες δυνατότητες 5G NR. Πιο συγκεκριμένα η χρήση UAVs, έχει πολλές θετικές επιπτώσεις στην λειτουργία της αρχιτεκτονικής- ραχοκοκαλιάς των mmWave, κυρίως σε εφαρμογές στην πόλη (σχήμα 3.11). Αυτό αποδεικνύεται από την μελέτη μετρήσιμων όρων, όπως η ταχύτητα, η ένταση και η ικανότητα εξυπηρέτησης, που πραγματοποίησε η ερευνητική ομάδα στην αναφορά. Καθώς η mmWave αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις, όπως η διάδοση σε πολλαπλές διαδρομές και ο δυναμικός αποκλεισμός συνδέσεων, χρειάζονται τα UAV-BS για να παρακολουθούν στενά τις χωροχρονικές κορυφές της κυκλοφορίας σε όλο το δίκτυο και να παρέχουν προηγμένες λύσεις για την βελτίωση της αξιοπιστίας του. [35]



Σχήμα 3.11: Σενάριο ενδιαφέροντος με τη βοήθεια UAV-BS [35]

Κεφάλαιο 4ο: Επισκόπηση Network slicing

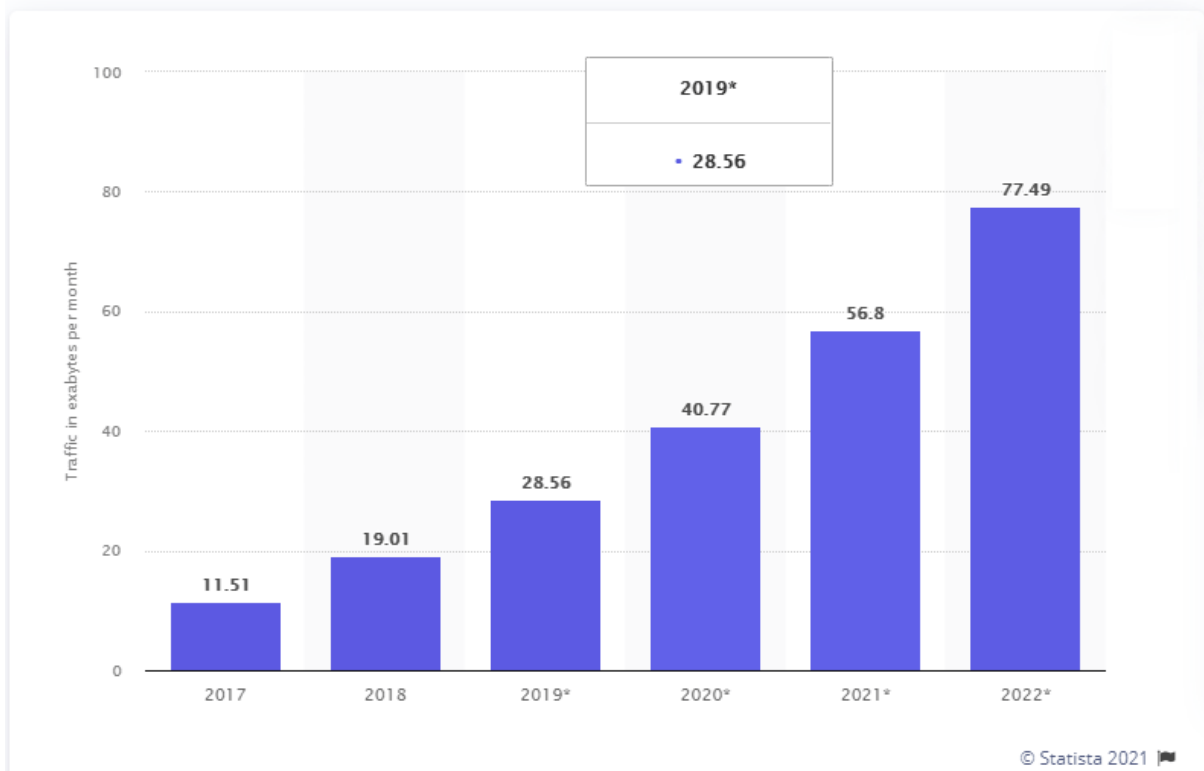
4.1 Αρχιτεκτονική Network slicing

Το 2018, η παγκόσμια κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας ανήλθε σε 19,01 exabytes ανά μήνα. Μέχρι το 2022, η κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας αναμένεται να φτάσει τα 77,5 exabytes ανά μήνα παγκοσμίως με σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 46%.

Τα κινητά αντιπροσωπεύουν περίπου το ήμισυ της επισκεψιμότητας του Παγκόσμιου ιστού παγκοσμίως. Το πρώτο τρίμηνο του 2019, οι κινητές συσκευές (εξαιρουμένων των tablet) παρήγαγαν το 48,71% της παγκόσμιας επισκεψιμότητας ιστότοπων, ποσοστό που παραμένει σχετικά σταθερό γύρω στο 50% από τις αρχές του 2017. Σε ορισμένες περιοχές εμφανίζεται ευρύτερη χρήση του διαδικτύου μέσω κινητού από άλλες. Πολλές αναπτυσσόμενες ψηφιακές αγορές είναι πρώτες στη χρήση του διαδικτύου μέσω των κινητών συσκευών, έχοντας ξεπεράσει την πρόσβαση στο διαδίκτυο μέσω επιτραπέζιων υπολογιστών λόγω κόστους και περιορισμών της υποδομής. Η Ασία και η Αφρική έχουν υψηλότερο μερίδιο κίνησης ιστού για κινητά από τον παγκόσμιο μέσο όρο και τον Μάρτιο του 2019, οι κινητές συσκευές αντιπροσώπευαν πάνω από το 73% της επισκεψιμότητας ιστού στη Νιγηρία. [36]

Global mobile data traffic from 2017 to 2022

(in exabytes per month)



Σχήμα 4.1: Παγκόσμια κίνηση δεδομένων κινητής τηλεφωνίας 2017-2022 [37]

Τα βίντεο για κινητά, τα παιχνίδια και οι λήψεις εφαρμογών είναι μόνο μερικά παραδείγματα δραστηριοτήτων διαδικτύου για κινητά που απαιτούν ευρυζωνική σύνδεση για κινητά με επαρκή ταχύτητα. Ωστόσο, η ταχύτητα των συνδέσεων κινητής τηλεφωνίας στο Διαδίκτυο είναι η μία διάσταση των αναγκών στα δίκτυα αυτά, η κάλυψη του δικτύου κινητής τηλεφωνίας είναι η άλλη. Το 2018, το 98 τοις εκατό του ευρωπαϊκού πληθυσμού είχε ευρυζωνικές συνδέσεις κινητής τηλεφωνίας, ενώ μόνο το

δύο τοις εκατό του πληθυσμού δεν είχε ευρυζωνική κάλυψη μέσω κινητής τηλεφωνίας. Αντίθετα, το χάσμα κάλυψης ευρυζωνικών συνδέσεων στην Υποσαχάρια Αφρική ανήλθε στο 47 τοις εκατό του πληθυσμού, υπογραμμίζοντας τις ανισότητες στην ψηφιακή πρόσβαση παγκοσμίως. [37]

Ωστόσο, η πιο προκλητική πτυχή στα δίκτυα 5G είναι πως υποστηρίζουν μια μεγάλη ποικιλία περιπτώσεων χρήσης καθώς μπαίνουμε στην εποχή του Internet of Everything (IoE). Ορισμένες εφαρμογές όπως το βίντεο εξαιρετικά υψηλής ευκρίνειας (UHD) και η επαυξημένη πραγματικότητα χρειάζονται επικοινωνίες υψηλής ταχύτητας και μεγάλης χωρητικότητας, ενώ άλλες όπως η αποστολή κρίσιμου Internet of Things (IoT) και τα αυτόνομα οχήματα απαιτούν εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και εξαιρετικά αξιόπιστες υπηρεσίες.

Τα παραδοσιακά δίκτυα κινητής επικοινωνίας χρησιμοποιούν την προσέγγιση one-size-fits-all, αυτή δηλαδή που ταιριάζει σε όλους, για την παροχή υπηρεσιών σε φορητές συσκευές, ανεξάρτητα από τις απαιτήσεις επικοινωνίας των κάθετων υπηρεσιών. Αυτή η φιλοσοφία σχεδίασης δεν μπορεί να προσφέρει διαφοροποιημένες υπηρεσίες. Ως εκ τούτου, ήταν απαραίτητο για την ερευνητική κοινότητα να διερευνήσει νέες τεχνικές για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με την υποστήριξη κάθετων βιομηχανιών σε δίκτυα 5G. Το 5G επιτρέπει την καινοτομία σε πολλούς κλάδους. Το network slicing θα διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στο να επιτρέψει στους παρόχους υπηρεσιών να προσφέρουν καινοτόμες υπηρεσίες για να εισέλθουν σε νέες αγορές και να επεκτείνουν τις δραστηριότητές τους.

Τα Software Defined Networking (SDN) και Network Functions Virtualization (NFV) έχουν προταθεί ως βασικές τεχνολογίες για την κατασκευή softwarized, virtualized και cloudized συστημάτων 5G τα τελευταία χρόνια. Το SDN αποσυνδέει τον έλεγχο δικτύου από την προώθηση δεδομένων. Οι λειτουργίες ελέγχου δικτύου μπορούν να εκτελούνται ως εφαρμογές ανεξάρτητα από τους κεντροποιημένους ελεγκτές. Το NFV αποσυνδέει συγκεκριμένες λειτουργίες του δικτύου από αποκλειστικές και δαπανηρές πλατφόρμες υλικού σε βασικής χρήσης (γενικού σκοπού) υλικού. Οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύου μπορούν να υλοποιήσουν μια ποικιλία εικονικών λειτουργιών δικτύου μέσω κοινών διακομιστών. Επιπλέον, το Mobile Edge Computing (MEC) ως βασική αναδυόμενη τεχνολογία στα δίκτυα 5G αναμένεται να εξυπηρετήσει επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης που είναι μία από τις περιπτώσεις χρήσης στα δίκτυα 5G. Μετακινεί υπολογιστικούς, αποθηκευτικούς και δικτυακούς πόρους από απομακρυσμένα δημόσια σύννεφα πιο κοντά στην άκρη του δικτύου. Έτσι, οι πελάτες κινητής τηλεφωνίας μπορούν να ζητήσουν εικονικούς πόρους μέσα στο δίκτυο πρόσβασης και να έχουν μικρή καθυστέρηση από άκρο σε άκρο. [36]

Στα δίκτυα 5G, εφαρμογές με διαφορετικές απαιτήσεις στην ποιότητα υπηρεσιών (QoS) προβλέπεται να εξυπηρετούνται στην ίδια υποδομή ταυτόχρονα. Ωστόσο, είναι πολύ περίπλοκο να επιτευχθεί η ικανοποίηση των απαιτήσεων QoS για μεμονωμένες εφαρμογές όπως για παράδειγμα για smartphone, αυτοκίνητα και μαζικές εφαρμογές διαδικτύου των πραγμάτων (massive - IoT) στην ίδια υποδομή δικτύου. Ο τεμαχισμός δικτύου επιτρέπει τη φυσική υποδομή να τεμαχιστεί σε λογικά δίκτυα (που ονομάζονται φέτες - slices), τα οποία έχουν τις δικές τους προσαρμοσμένες τοπολογίες και τους αποκλειστικούς πόρους και εκτελούν λειτουργίες δικτύου και πολιτικές διαχείρισης όπως δρομολόγηση, προγραμματισμός πόρων και έλεγχος εισόδου. Με τον νοητό τεμαχισμό του δικτύου, κάθε τύπος εφαρμογής μπορεί να εξυπηρετηθεί σε διαφορετική φέτα. Για παράδειγμα, ένα κομμάτι μπορεί να αφιερωθεί στην παροχή αξιόπιστων και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνιών σε διαδραστικές εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο, ενώ ένα άλλο κομμάτι να έχει διαμορφωθεί για την παροχή επικοινωνιών υψηλής απόδοσης για μαζικές εφαρμογές IoT. Δεδομένου ότι ένα κομμάτι επικεντρώνεται στην εξυπηρέτηση του ίδιου τύπου εφαρμογών με παρόμοια απαίτηση QoS, η διαμόρφωση ή η λειτουργία του τεμαχίου μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να ικανοποιεί την απαίτηση QoS. Αυτή η ευέλικτη διαμόρφωση μπορεί να υλοποιηθεί με δικτύωση (SDN), η οποία είναι ένας

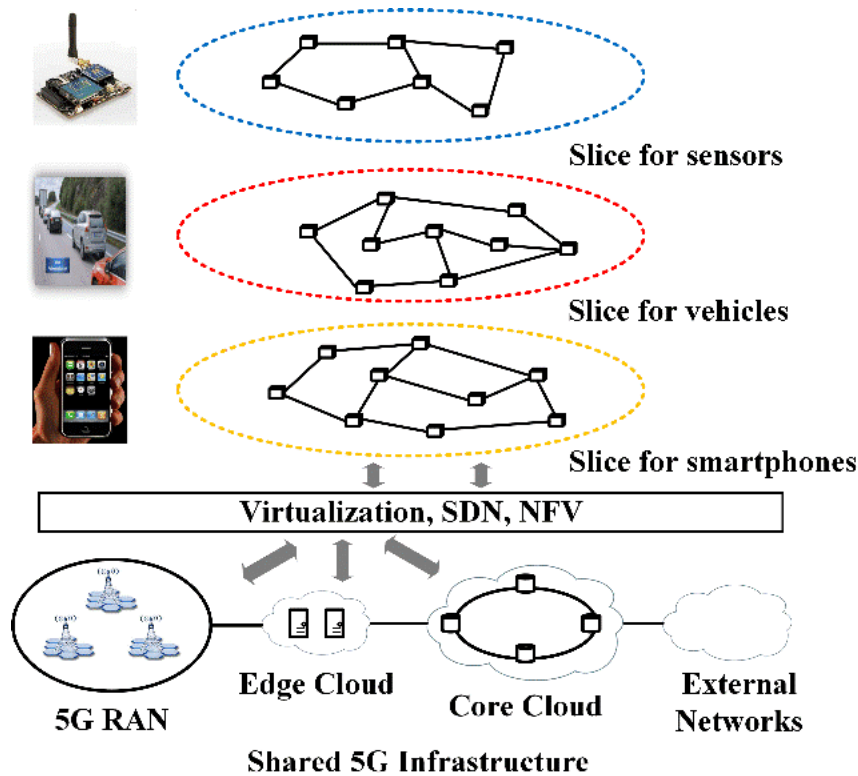
μηχανισμός που χωρίζει το επίπεδο ελέγχου από το επίπεδο δεδομένων σε ένα δίκτυο για ευέλικτη διαχείριση του επιπέδου δεδομένων. Χρησιμοποιώντας το SDN, οι φέτες μπορούν να κατασκευαστούν ως εικονικά δίκτυα στο επίπεδο δεδομένων και ένας ελεγκτής SDN συνδεδεμένος με διακόπτες στο επίπεδο δεδομένων μπορεί να διαχειριστεί τις ροές κίνησης των φέτων σε κεντρική προβολή. Ανάλογα με τις απαιτήσεις των χρηστών, οι φέτες μπορούν να αφιερωθούν σε ορισμένους συγκεκριμένους χρήστες. Αυτοί οι χρήστες ονομάζονται ενοικιαστές και πολλά κομμάτια που εξυπηρετούν τον ίδιο τύπο εφαρμογών μπορούν να ανήκουν σε διαφορετικούς ενοικιαστές. Ανάλογα με την προτεραιότητα μεταξύ ενοικιαστών ή περιορισμούς QoS στις συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών (Service Level Agreement - SLA) μεταξύ ενοικιαστών και παρόχων υποδομής, οι φέτες μπορεί να έχουν διαφορετικές προτεραιότητες. Για παράδειγμα, υψηλότερη προτεραιότητα μπορεί να δοθεί σε φέτες που ανήκουν σε ενοικιαστές που πληρώνουν περισσότερο για premium υπηρεσίες ή φέτες με αυστηρούς και αυστηρούς περιορισμούς QoS σε SLA. [38]

Η έννοια του «τεμαχισμού δικτύου» έχει προταθεί για την αντιμετώπιση των διαφοροποιημένων απαιτήσεων υπηρεσιών στο 5G υπό το φόντο των προαναφερθέντων τεχνολογιών. Επιτρέπει τη δημιουργία πολλαπλών λογικών δικτύων πάνω από την ίδια φυσική υποδομή που χρησιμοποιείται από κοινού. Είναι ένα λογικό δίκτυο από άκρο σε άκρο που διαθέτει ένα σύνολο απομονωμένων εικονικών πόρων στην κοινή φυσική υποδομή (με όχι δαπανηρές πλατφόρμες υλικού όπως προαναφέρθηκε). Αυτά τα λογικά δίκτυα παρέχονται ως διαφορετικές υπηρεσίες για να ικανοποιήσουν τις διαφορετικές απαιτήσεις επικοινωνίας των χρηστών. Ο τεμαχισμός δικτύου παρέχει ένα μοντέλο δικτύου ως υπηρεσία (NaaS), το οποίο μπορεί να είναι πολύ ευέλικτο για την κατανομή και την ανακατανομή πόρων σύμφωνα με τις δυναμικές απαιτήσεις, έτσι ώστε να μπορεί να προσαρμόσει τις φέτες δικτύου για ποικίλα και πολύπλοκα σενάρια επικοινωνίας 5G.

Ο τεμαχισμός δικτύου είναι το θεμελιώδες χαρακτηριστικό των δικτύων 5G. Το 5G που βασίζεται σε φέτες έχει τα ακόλουθα σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα παραδοσιακά δίκτυα:

1. Ο τεμαχισμός δικτύου μπορεί να παρέχει λογικά δίκτυα με καλύτερη απόδοση από δίκτυα one-size-fits-all (αυτά δηλαδή που ταιριάζουν σε όλα τα μεγέθη).
2. Μια φέτα δικτύου μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί καθώς οι απαιτήσεις υπηρεσιών και ο αριθμός των χρηστών αλλάζει.
3. Οι φέτες δικτύου μπορούν να απομονώσουν τους πόρους δικτύου μιας υπηρεσίας από τις άλλες. Οι διαμορφώσεις ανάμεσα σε διάφορες φέτες δεν επηρεάζουν η μία την άλλη. Επομένως, η αξιοπιστία και η ασφάλεια κάθε φέτας μπορεί να ενισχυθεί.
4. Τέλος, μια φέτα δικτύου προσαρμόζεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις υπηρεσιών, το οποίο μπορεί να βελτιστοποιήσει την κατανομή και τη χρήση των φυσικών πόρων ενός δικτύου.

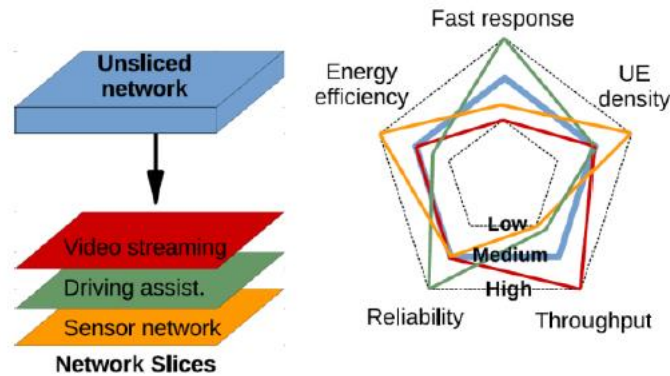
Ο τεμαχισμός δικτύου χρησιμοποιεί την έννοια που είναι γνωστή ως εικονικοποίηση δικτύου. Η εικονικοποίηση δικτύου επιτρέπει την ευέλικτη και δυναμική διαχείριση δικτύου, ανάλογα με τις απαιτήσεις και τα τυχόν προβλήματα. Ο τεμαχισμός δικτύου είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει στους χειριστές δικτύου να δημιουργούν πολλαπλά εικονικά δίκτυα σε μια κοινή υποδομή φυσικού δικτύου, όπου κάθε εικονικό δίκτυο εκτελεί ένα σύνολο λειτουργιών δικτύου και έχει στη διάθεσή του πόρους για την εκτέλεσή τους. Σε αντίθεση με τα στατικά δίκτυα στα οποία οι κόμβοι έχουν μόνο συγκεκριμένους πόρους για την εκτέλεση συγκεκριμένων λειτουργιών, τα εικονικά δίκτυα έχουν άπειρους πόρους υπολογισμού και αποθήκευσης στους κόμβους του δικτύου και είναι εφικτές υπηρεσίες με διαφορετικές δικτυακές απαιτήσεις καθυστέρησης, χωρητικότητας και ασφάλειας.



Σχήμα 4.2: Εννοιολογική απεικόνιση του τεμαχισμού δικτύου [36]

Η έννοια της εικονικοποίησης, εμφανίστηκε πρώτη φορά τη δεκαετία του 1960, όταν δημιουργήθηκε από την IBM το πρώτο λειτουργικό σύστημα (CP-40). Συγκεκριμένα το CP-40 λειτουργούσε στο σύστημα IBM 360/40, με κοινή χρήση χρόνου και εικονικής μνήμης, δίνοντας την ψευδαίσθηση της ατομικής εργασίας σε πολλούς χρήστες ταυτόχρονα. Έτσι ξεκίνησε η ιδέα της εικονικοποίησης και χρησιμοποιήθηκε τη δεκαετία του '70 και στις αρχές της δεκαετίας του '80, για ασφαλή σύνδεση σε απομακρυσμένους ιστότοπους.

Είναι μια τεχνολογία με πολλές προοπτικές ανάπτυξης και χρήσης, γι'αυτό απασχολεί τόσο την βιομηχανία όσο και για τον ακαδημαϊκό χώρο. Ασχολήθηκαν πολλοί φορείς τυποποίησης με το network slicing, όπως το 3GPP, το IETF - Internet Engineering Task Force και το ITU-T - International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector. Η τεχνολογία αυτή βρίσκεται και πίσω από το μοντέλο επεξεργασίας σε σύννεφο της Υποδομής ως Υπηρεσίας (Infrastructure as a Service - IaaS). Με την χρήση του Network slicing, οι πάροχοι υπηρεσιών μπορούν να αναπτύξουν τις εφαρμογές και τις υπηρεσίες τους με ευελιξία και ταχύτητα για να ικανοποιήσουν συγκεκριμένες απαιτήσεις διαφορετικών υπηρεσιών, όπως τις VR-AR, τα διαδικτυακά παιχνίδια, την τηλεϊατρική και άλλα.



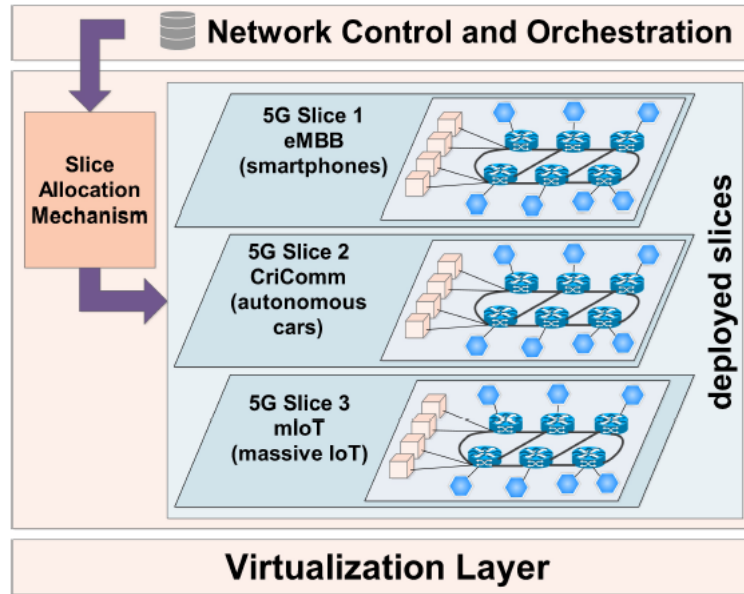
Σχήμα 4.3: Χρήση του Network slicing για ετερογενείς και εξειδικευμένες υπηρεσίες [39]

Η έννοια του τεμαχισμού δικτύου αναφέρεται στη δημιουργία και διατήρηση πολλών ανεξάρτητων λογικών δικτύων, δηλαδή "φέτες δικτύου", στην κορυφή μιας κοινής φυσικής υποδομής δικτύου. Κάθε φέτα είναι ένα λογικά διαχωρισμένο, αυτόνομο, ανεξάρτητο και ασφαλές μέρος του δικτύου, στοχεύοντας σε διαφορετικές υπηρεσίες με διαφορετικές απαιτήσεις ταχύτητας, καθυστέρησης και αξιοπιστίας. Τα χαρακτηριστικά του τμήματος δικτύου είναι για παράδειγμα χαμηλή καθυστέρηση, υψηλό εύρος ζώνης και εξαιρετικά αξιοπιστία για μια κρίσιμη περίπτωση χρήσης IoT ή μεγαλύτερη καθυστέρηση και χαμηλότερο εύρος ζώνης για μια τεράστια περίπτωση χρήσης IoT. Το χαρακτηριστικό των μεμονωμένων προδιαγραφών σε τεμαχισμό δικτύων παίζει κρίσιμο ρόλο στα δίκτυα 5G, λόγω της υψηλής ετερογένειας διαφορετικών τύπων υπηρεσιών 5G (που έχουν και διαφορετικές απαιτήσεις πόρων), δηλαδή ενισχυμένης ευρυζωνικής σύνδεσης για κινητά (eMBB), μαζικών επικοινωνιών τύπου μηχανής (mMTC) και εξαιρετικά αξιόπιστων και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνίες (URLLC). [39], [40]

Ένα κομμάτι δικτύου μπορεί να αφιερωθεί σε έναν εταιρικό πελάτη ή να μοιραστεί από πολλούς ενοικιαστές. Για παράδειγμα, ένα κομμάτι μπορεί να αποτελείται από αποκλειστικό ραδιόφωνο, μεταφορά και βασικούς πόρους, συμπεριλαμβανομένης μιας ειδικής λειτουργίας επιπέδου χρήστη στην άκρη. Ένα άλλο κομμάτι μοιράζεται πόρους ραδιοφώνου και μεταφοράς μεταξύ ενοικιαστών, αλλά παρέχει αποκλειστικές βασικές λειτουργίες δικτύου ανά ενοικιαστή. [40]

Στη διαδικασία της εικονικοποίησης του δικτύου ισχύουν τα εξής:

- Κάθε φέτα (slice) του δικτύου είναι ένα εικονικό δίκτυο (που έχει δημιουργηθεί πάνω από το φυσικό δίκτυο), που δίνει την αίσθηση στον χρήστη, πως του παρέχεται ένα δίκτυο το οποίο χρησιμοποιεί αποκλειστικά.
- Κάθε slice του δικτύου μπορεί να έχει τη δική του αρχιτεκτονική και τα δικά του πρωτόκολλα δικτύου λειτουργώντας ουσιαστικά σαν ένα αυτόνομο δίκτυο με τους δικούς του εικονικούς πόρους, τοπολογία και κανόνες παροχής.
- Ενώ τα slices λειτουργούν αυτόνομα, για την βελτιστοποίηση των προσφερόμενων υπηρεσιών οι πόροι που χρησιμοποιεί κάθε slice μπορούν να μοιραστούν και με άλλα slices.



Σχήμα 4.4: Αρχιτεκτονική Network slicing [41]

Η αρχιτεκτονική του Network slicing όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 4.4. Το επίπεδο ελέγχου του δικτύου και ενορχήστρωσης, λαμβάνει το αίτημα χρήστη και παρέχει το κατάλληλο slice, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4. Οι πόροι χρησιμοποιούνται στα slices, τα οποία αποτελούνται από εικονικές λειτουργίες δικτύου (Virtual Network Functions-VNFs). Κάθε slice έχει τους δικούς του μηχανισμούς ασφαλείας και προσπαθεί να διασφαλίζει τη λειτουργία του με τις αναμενόμενους παραμέτρους, έτσι ώστε να αποτραπεί η πρόσβαση σε μη εξουσιοδοτημένες οντότητες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα σφάλματα ή οι επιθέσεις που συμβαίνουν σε ένα slice να περιορίζονται εκεί και να μην επηρεάζουν άλλα slices. Τα slices χωρίζονται σε κατηγορίες με βάση τις απαιτήσεις των υπηρεσιών, όπως η καθυστέρηση, η αξιοπιστία, η διαθεσιμότητα κ.λπ. Για μια υπηρεσία, μπορούν να δημιουργηθούν slices, έτσι ώστε να εξυπηρετήσουν καλύτερα την υπηρεσία. [41]

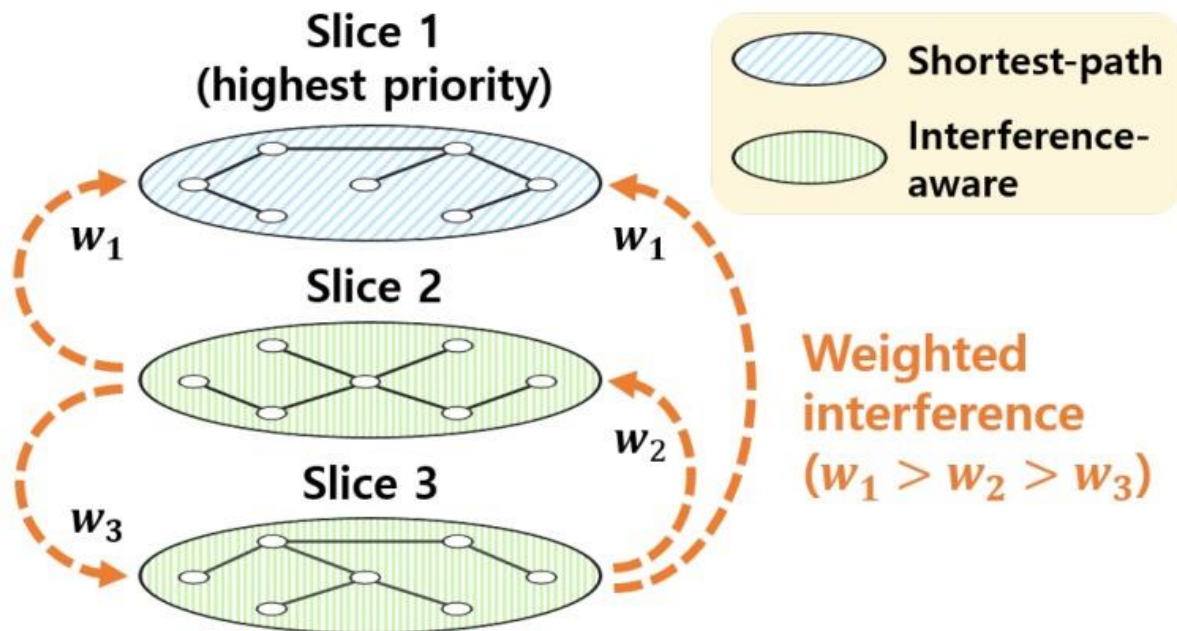
Η ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) ενός μισθωμένου slice, από κάποιο πάροχο δικτύου κινητής τηλεφωνίας (Mobile Network Operator - MNO) διασφαλίζεται από μια συμφωνία επιπέδου υπηρεσίας (Service Level Agreement-SLA) μεταξύ του MNO και του ενοικιαστή, το οποίο καθορίζει το ποσοστό κόστους, τις απαιτούμενες ελάχιστες επιδόσεις και την ποινή σε περίπτωση παραβίασης SLA. Αυτή η αρχιτεκτονική δικτύου πολλαπλών μισθώσεων, παρέχει τα slices του δικτύου, ως μια υπηρεσία cloud, η οποία είναι γνωστή ως "slice-as-a-service" (SlaaS). Το SlaaS διαφέρει από τις κλασσικές υπηρεσίες cloud ομοιογενών υπηρεσιών, τόσο στην πολυπλοκότητα της διαχείρισης πόρων, όσο και στην ετερογένεια των slices δικτύου.

Μπορούν να υπάρξουν διάφοροι τύποι υπηρεσιών για εξυπηρέτηση, όπως: η Enhanced Mobile Broadband – eMBB, η Critical Communication – CriComm, η Massive IoT – mIoT. Το πιο σημαντικό είναι να επιλεγεί το καταλληλότερο slice ανά υπηρεσία, ώστε να μπορεί να επιλέξει το VNF και να φιλοξενήσει μια αλυσίδα υπηρεσιών (Service Function Chain – SFC), από το firewall, τον μεταφραστή διεθνών δικτύου, τον router, τους web servers κ.α..

Να επισημανθεί στο σημείο αυτό ότι ένας από τους κύριους στόχους του network slicing είναι η καλύτερη αξιοποίηση του δικτύου από τον πάροχο με την συνεπακόλουθη αύξηση των εσόδων του και τη μείωση των συνολικών δαπανών του δικτύου. Επίσης ο περιορισμένος αριθμός πόρων, μπορεί να υπερφορτωθεί από ένα μεγάλο αριθμό αιτημάτων για slices από τους ενοικιαστές. Με βάση αυτές τις παραμέτρους γίνεται μια μελέτη της διαχείρισης του networkslicing και επιλέγεται η καλύτερη δυνατή.

Έτσι υιοθετείται η κατάλληλη στρατηγική, για την αποδοχή κάποιων αιτημάτων και για την απόρριψη κάποιων άλλων, με βάση τον τρόπο εισαγωγής slice. Ένα άλλο θέμα στη διαχείριση του network slicing είναι η κατανομή πόρων με cross-slice.

Η στρατηγική με βάση τον τρόπο εισαγωγής ενός slice, έχει σημαντικό αντίκτυπο στη συνολική αποδοτικότητα των πόρων και στο ποσοστό χρήσης των δικτύων σε φέτες. Προτείνονται κάποιες μέθοδοι για την εύρεση της καλύτερης στρατηγικής, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η μακροπρόθεσμη συνολική απόδοση του δικτύου. [42]



Σχήμα 4.5: Ένα παράδειγμα πολλαπλής δρομολόγησης με προτεραιότητα. [42]

Η κατανομή πόρων με cross-slice είναι η άλλη στρατηγική διαχείρισης του network slicing, που επικεντρώνεται στις ενεργές φέτες που έχουν ήδη δημιουργηθεί και μισθωθεί σε ενοικιαστές. Το φορτίο κίνησης σε πραγματικό χρόνο κάθε μεμονωμένου slice ποικίλλει παγκοσμίως και αλλάζει δυναμικά. Αυτό το φαινόμενο, γνωστό ως ελαστικότητα slice, δίνει τη δυνατότητα στο MNO να κάνει υπεράριθμη κράτηση σε μισθωτές με διαφορετικά έσοδα, γεγονός που βελτιώνει την αποδοτικότητα των πόρων και τα συνολικά έσοδα. Η προσέγγιση αυτή χρειάζεται μεθόδους που μοιράζουν αποτελεσματικά τους πόρους του δικτύου στα slices σε πραγματικό χρόνο και με δυναμικό τρόπο.

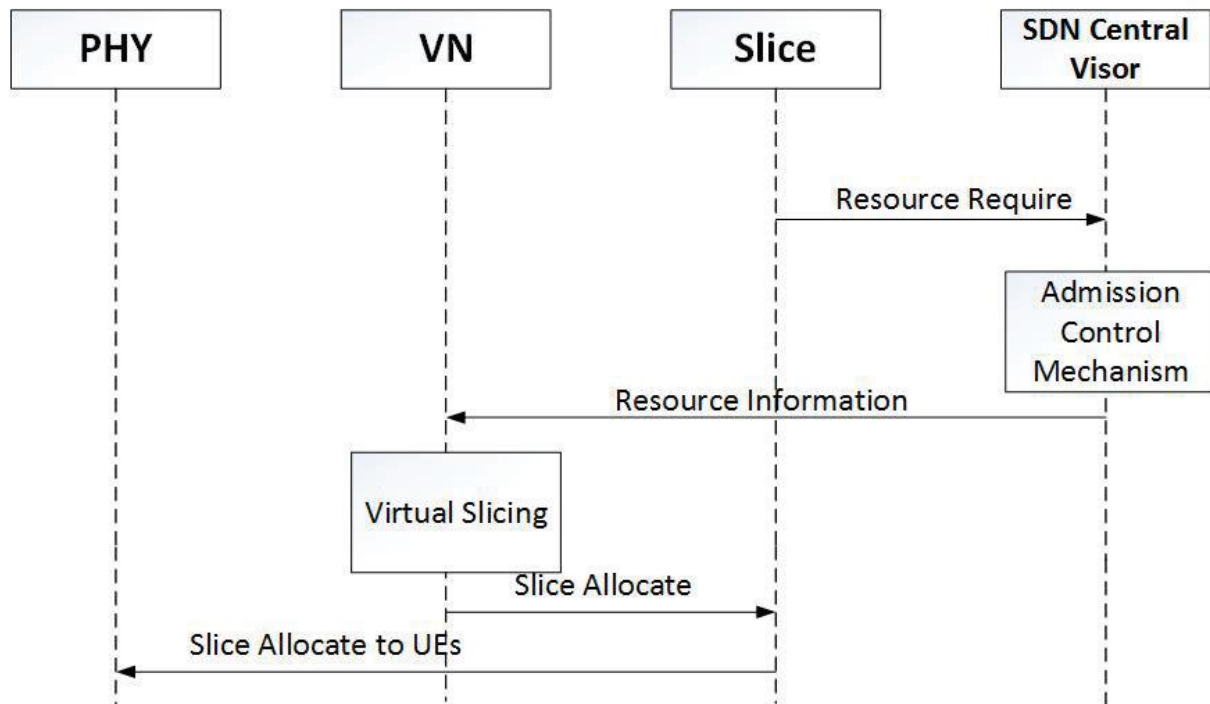
Στη λειτουργία του network slicing εμπλέκονται οι πάροχοι υποδομής, οι Virtual Network Operators (VNOs) και οι πάροχοι υπηρεσιών εφαρμογών.

Οι πάροχοι υποδομής διαθέτουν δίκτυα φυσικού υποστρώματος Network Functions Virtualization Infrastructure - NFVI, που περιέχουν το άκρο του δικτύου, τον πυρήνα του δικτύου και τα κέντρα δεδομένων. Τα δίκτυα υποστρώματος είναι εξοπλισμένα με δυνατότητες NFV και SDN έτσι ώστε μπορεί να τεμαχιστούν και να διατεθούν σε διαφορετικό εικονικό δίκτυο. Οι VNOs καθορίζουν τις λειτουργίες του δικτύου που απαιτούνται, τα πρωτόκολλα, το μητρώο πελατών και την πλατφόρμα λογισμικού που νοικιάζεται σε εικονικοποιημένους πόρους. Ελέγχουν την χρήση των πόρων και όταν κρίνεται απαραίτητο, στέλνουν αιτήματα ανακατανομής πόρων στο NFVI. Τέλος, ο πάροχος υπηρεσιών εφαρμογών προσφέρει τις εφαρμογές (π.χ. αυτόματη οδήγηση και έξυπνη μέτρηση) σε πελάτες μέσω των slice δικτύου.

Να αναφερθεί επίσης, ότι στα δίκτυα 5G, όλες οι υπηρεσίες ανατίθενται σε φέτες που χρησιμοποιούν αποτελεσματικά το VNF. Έτσι περιορίζεται ο λανθάνων χρόνος, η κινητικότητα IoT λειτουργεί καλύτερα και το περιορισμένο εύρος ζώνης αξιοποιείται αποτελεσματικά, με την χρήση των κατάλληλων slices.

Στη βιβλιογραφία, αναφέρονται αρκετές λύσεις για την αποτελεσματική υποστήριξη της εικονικοποίησης των πόρων δικτύου που έχουν σχεδιαστεί για τη βελτίωση της QoE (Quality of Experience) των UE (user equipment) και της χρήσης πόρων δικτύου [43].

Μια αποτελεσματική ασύρματη εικονικοποίηση δικτύου για συστήματα Long Term Evolution (LTE) έχει προταθεί με ένα σχήμα τεμαχισμού όπου κατανέμονται αποτελεσματικά μπλοκ φυσικών πόρων σε διαφορετικούς παρόχους υπηρεσιών (SP) προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η χρήση των πόρων. Το σχήμα είναι δυναμικό και ευέλικτο για την αντιμετώπιση με δίκαιο τρόπο απαιτήσεων διαφορετικών SP. Ομοίως, προτείνεται ένα πλαίσιο για την εικονικοποίηση ασύρματων πόρων στο σύστημα LTE που θα επιτρέψει την κοινή χρήση Εικ. 3.1 Ροή Ελέγχου Εισαγωγής των πόρων ραδιοφώνου μεταξύ φορέων εκμετάλλευσης δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Έχει προταθεί ένας επαναληπτικός αλγόριθμος για την επίλυση του Δυναμικού Ακέραιου Προγραμματισμού (BIP) με λιγότερα υπολογιστικά έξοδα.



Σχήμα 4.6: Ροή Ελέγχου Εισόδου [43]

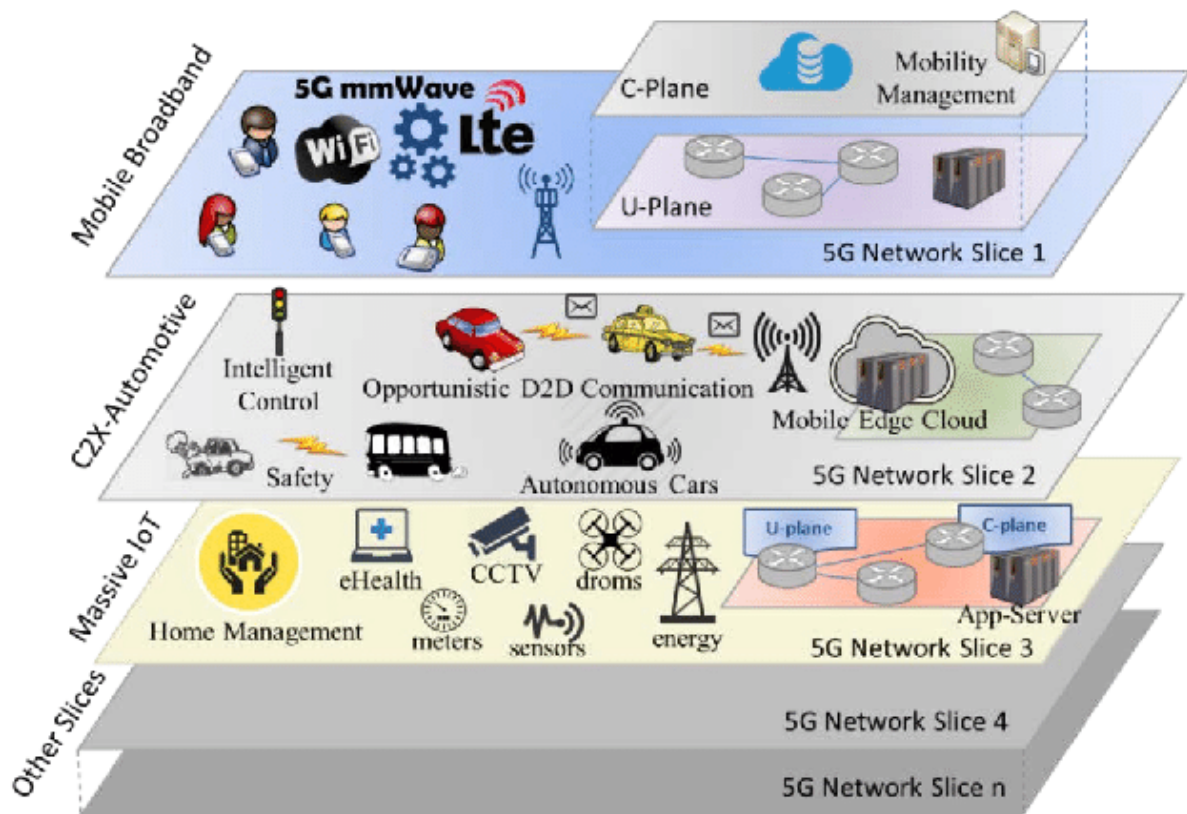
Παρ' όλα αυτά, τα προαναφερθέντα σχήματα δεν λαμβάνουν υπόψη την προτεραιότητα μεταξύ των διαφορετικών τεμαχίων, καθώς και την προτεραιότητα μεταξύ των χρηστών στο ίδιο κομμάτι.

Για τον περιορισμό των πόρων του δικτύου, ο μηχανισμός ελέγχου εισδοχής μπορεί να εφαρμοστεί για τη βελτίωση της αξιοπιστίας της επικοινωνίας και της χρήσης του δικτύου. Ένας κοινός μηχανισμός παροχής πόρων και ελέγχου εισαγωγής έχει προταθεί με στόχο τη μεγιστοποίηση του συνολικού ποσοστού εικονικών δικτύων με βάση τις πληροφορίες κατάστασης καναλιού τους. Ένας επαναληπτικός αλγόριθμος παροχής slice έχει προταθεί για την προσαρμογή των ελάχιστων απαιτήσεων slice με βάση τις πληροφορίες κατάστασης καναλιού, αλλά χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η συνολική χρήση πόρων του δικτύου καθώς και η προτεραιότητα μεταξύ και ενδομημάτων.

Έχει προταθεί επίσης ένας μηχανισμός για την κατανομή πόρων δικτύου downlink. Ο μηχανισμός αποφασίζει να αποδεχτεί μια νέα υπηρεσία μόνο εάν η παροχή αυτής της νέας υπηρεσίας δεν επηρεάζει την απόδοση των υπηρεσιών στην κυψέλη. Κατά συνέπεια, αυτή η εργασία δεν λαμβάνει υπόψη τη δυναμική τροποποίηση του QoE που βιώνουν οι χρήστες κινητής τηλεφωνίας προκειμένου να αυξηθεί η χωρητικότητα του δικτύου και η χρήση πόρων.

Ο κεντρικός μηχανισμός κοινής ισχύος και ελέγχου εισδοχής για προτεραιότητα κυψελοειδών δικτύων πολλαπλών επιπέδων έχει επίσης προταθεί. Ο μηχανισμός έχει αναπτυχθεί για την αποδοχή χρηστών με υψηλότερο επίπεδο προτεραιότητας προκειμένου να μεγιστοποιηθεί ο αριθμός των χρηστών. Σε αυτήν την περίπτωση, η προτεραιότητα λαμβάνεται υπόψη μόνο σε επίπεδο χρήστη και, επομένως, αυτή η εργασία αποτυγχάνει να εγγυηθεί τη διαφοροποίηση σε περίπτωση που οι χρήστες ανήκουν σε τμήματα με διαφορετικές προτεραιότητες [43]

4.2 Χρήσεις Network slicing



Σχήμα 4.7: Χρήσεις Networkslicing [44]

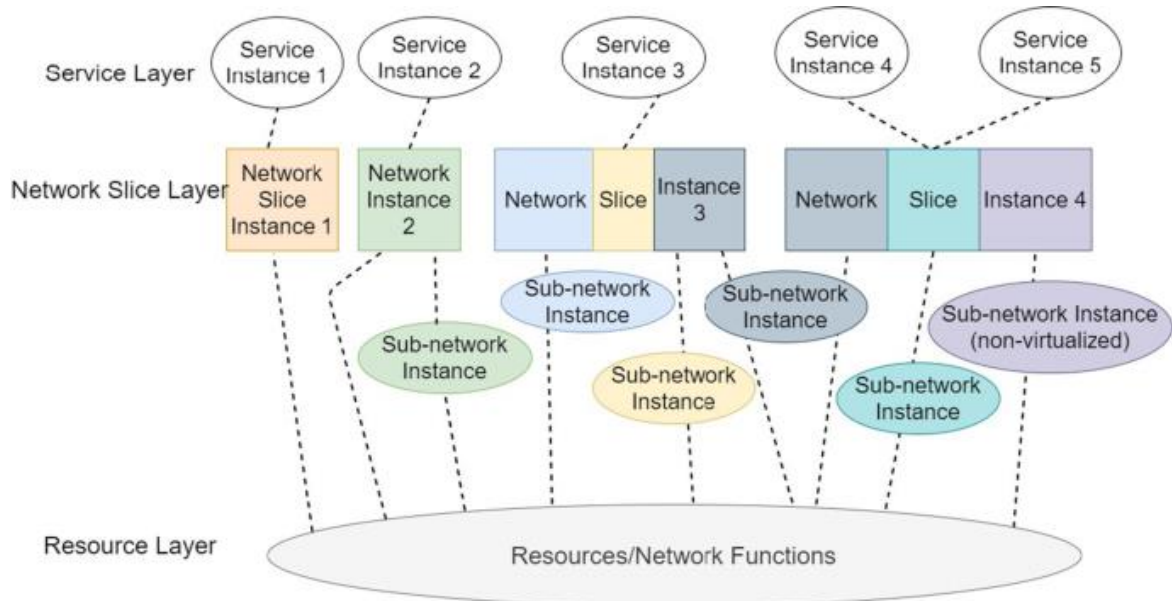
Το Network slicing μπορεί να οριστεί ως η τεχνολογία που επιτρέπει τη δημιουργία διαφορετικών εικονικών δικτύων πάνω από φυσικές υποδομές. Ο τεμαχισμός δικτύου είναι το κεντρικό σχήμα στο μοντέλο συστήματος. Αυτό το στοιχείο θα βοηθήσει στη δημιουργία τμημάτων δικτύου σύμφωνα με διάφορες απαιτήσεις, οι οποίες προέρχονται από ένα άλλο στοιχείο του μοντέλου συστήματος, δηλαδή τις περιπτώσεις χρήσης. Υπάρχουν διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης. Έτσι, οι απαιτήσεις από αυτές τις περιπτώσεις χρήσης είναι διαφορετικής φύσης. Αυτές οι ποικίλες απαιτήσεις πρέπει να ικανοποιηθούν από το σημερινό δίκτυο 5G, το οποίο παρέχεται με το προτεινόμενο στοιχείο κοπής δικτύου. Το στοιχείο Ολοκληρωμένης τεχνικής θα δημιουργήσει ένα εικονικοποιημένο σενάριο δικτύου στο οποίο η φυσική υποδομή του δικτύου 5G είναι δευτερεύουσα και τα λογικά στοιχεία που είναι οι

αφαιρέσεις της υποκείμενης φυσικής υποδομής είναι πρωταρχικής σημασίας και είναι κύρια στοιχεία. Αυτά τα κύρια ή λογικά στοιχεία μπορούν να εκπληρώσουν συγκεκριμένους σκοπούς ανάλογα με την ανάγκη από τις περιπτώσεις χρήσης. Η σημαντική πτυχή που πρέπει να ληφθεί υπόψη σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι το λογικό δίκτυο είναι προσαρμόσιμο και μπορεί να κάνει προσαρμογές ανάλογα με τις αλλαγές στις ανάγκες αφιερώνοντας περισσότερους/λιγότερους πόρους στη διαδικασία.

Με τον τεμαχισμό δικτύου, το δίκτυο 5G μπορεί πλέον να αναπτυχθεί πιο γρήγορα, δεδομένου ότι χρειάζεται να αναπτυχθούν μόνο λιγότερες λειτουργίες ανάλογα με την περίπτωση χρήσης (σε αντίθεση με όταν αναπτύσσονται όλες οι λειτουργίες) και οι χρήστες χρησιμοποιούν μόνο ό,τι χρειάζονται. Αυτό το στοιχείο κοπής δικτύου εξαρτάται από τους κόμβους δικτύου, οι οποίοι περιλαμβάνουν το κεντρικό δίκτυο, το RAN (Radio Access Network) και την τελική συσκευή. Ο λόγος για αυτήν την εξάρτηση είναι ότι ο διαχωρισμός δικτύου πρέπει να εφαρμοστεί σε αυτές τις υποδομές. Ο τεμαχισμός δικτύου μπορεί να αναπτυχθεί μόνο στο κεντρικό δίκτυο, μόνο στο RAN ή στο συνδυασμό και των δύο. Τα επιμέρους στοιχεία του τεμαχισμού δικτύου περιλαμβάνουν τη δημιουργία τμημάτων, η οποία επιτρέπει την ανάπτυξη τμημάτων δικτύου 5G. απομόνωση φέτας, η οποία απομονώνει τους διαφορετικούς τύπους φετών το ένα από το άλλο. και slice management, η οποία, όπως υποδηλώνει το όνομα, διαχειρίζεται τη συνολική διαδικασία από τη δημιουργία slice έως την παράδοση slice στην περίπτωση χρήσης.

Το Σχήμα 4.8 δείχνει τρία διαφορετικά επίπεδα: το επίπεδο πόρων, κοπής δικτύου και το επίπεδο υπηρεσιών. Το επίπεδο πόρων αποτελείται από τους φυσικούς πόρους ή τις λειτουργίες δικτύου, που χρησιμοποιούνται για την παροχή υπηρεσιών στους τελικούς χρήστες. Πριν παραδοθούν οι υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες, οι πόροι τεμαχίζονται πρώτα για να δημιουργηθούν διαφορετικές παρουσίες που ονομάζονται στιγμιότυπα υποδικτύου, οι οποίες στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για να σχηματίσουν τα στιγμιότυπα τμημάτων δικτύου. Πολλά στιγμιότυπα υποδικτύου μπορεί να συνενωθούν για να σχηματίσουν μια ενιαία παρουσία τμημάτων δικτύου όπως απεικονίζεται από το χρώμα των μπλοκ. Εναλλακτικά, ένα στιγμιότυπο τμήματος δικτύου μπορεί να παραδοθεί απευθείας από τις λειτουργίες δικτύου και να εμφανιστεί με το Στιγμιότυπο 1 τμήματος δικτύου, το οποίο δημιουργείται απευθείας από τη λειτουργία δικτύου και όχι με τη χρήση παρουσιών υποδικτύου. Τέλος, το στιγμιότυπο του τμήματος δικτύου χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του στιγμιότυπου υπηρεσίας, το οποίο παρέχει συγκεκριμένες υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες. Αυτές οι περιπτώσεις υπηρεσιών δημιουργούνται σύμφωνα με τις απαιτήσεις διαφορετικών περιπτώσεων χρήσης. Ο σκοπός της χρήσης του τεμαχισμού δικτύου ως μέρος του μοντέλου είναι να εντοπιστούν οι πτυχές του τεμαχισμού δικτύου που χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, το μεγαλύτερο μέρος της αναθεωρημένης βιβλιογραφίας χρησιμοποιεί την πτυχή δημιουργίας slice του τεμαχισμού δικτύου, αλλά δεν εξέτασαν όλες την πτυχή απομόνωσης slice του τεμαχισμού δικτύου. Αντίστοιχα, χρησιμοποιήσαμε τον τεμαχισμό δικτύου ως μέρος του μοντέλου. Επιπλέον, ο τεμαχισμός δικτύου είναι ο πυρήνας του ερευνητικού θέματος αυτής της εργασίας. Έτσι, η ταξινόμηση προηγούμενων μελετών σύμφωνα με τον τεμαχισμό δικτύου φαίνεται προφανής. Διαφορετικές πτυχές χρησιμοποιήθηκαν ως μέρος του μοντέλου στο πλαίσιο του τεμαχισμού δικτύου, συμπεριλαμβανομένης της δημιουργίας τμημάτων, της απομόνωσης τμημάτων και της διαχείρισης τμημάτων. Η δημιουργία τομέων χρησιμοποιείται κυρίως σε όλη την υφιστάμενη έρευνα, ενώ ελάχιστη επιλεγμένη βιβλιογραφία επικεντρώθηκε στην απομόνωση και τη διαχείριση τμημάτων. Η εξέταση της πτυχής της απομόνωσης και της διαχείρισης τμημάτων είναι ζωτικής σημασίας, επειδή αυτές οι πτυχές θα προσδιορίσουν την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα του τεμαχισμού δικτύου. Έτσι, χρησιμοποιούνται στο μοντέλο. Η δημιουργία απομόνωσης μεταξύ των διαφορετικών τύπων φετών είναι επίσης ζωτικής σημασίας, ώστε να μπορούν να παραδοθούν σε διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης, όπως απαιτείται. Επιπλέον, η διαχείριση slice θα διασφαλίσει ότι η συνολική διαδικασία του slice του δικτύου εκτελείται με ελεγχόμενο τρόπο και τα slices επεξεργάζονται μέσω της διαχείρισης slice και της μονάδας ενορχήστρωσης. Το πρόβλημα με τη διαχείριση και την

απομόνωση φέτας είναι ότι απαιτούν προηγμένο υπολογισμό και επεξεργασία που θα αυξήσει την πολυπλοκότητα του μοντέλου. Ωστόσο, η συμπερίληψη αυτών των πτυχών θα εξασφαλίσει πιθανώς το πλήρες πακέτο τεμαχισμού δικτύου. [44]



Σχήμα 4.8: Network slicing μοντέλο σε πολυεπίπεδη προσέγγιση [44]

4.3 Εφαρμογές τεμαχισμού δικτύου 5G

Είναι πολλοί τομείς της αγοράς που ενδιαφέρονται για την χρήση και τις θετικές επιπτώσεις του Network Slicing. Τέτοιοι τομείς είναι της υγείας, του τουρισμού, της ενέργειας, των Smart Cities, της δημόσιας ασφάλειας, των κατασκευών, των πολυμέσων, των χρηματοοικονομικών, της γεωργίας, της αυτοκινητοβιομηχανίας, του IoT και φυσικά των δικτύων 5G. Παρακάτω θα δούμε μερικά παραδείγματα.

4.3.1 Χειρουργική 5G

Με τη συνεχιζόμενη εμπορευματοποίηση του 5G, οι νέες τεχνολογίες σαρώνουν πάνω μας με γρήγορους ρυθμούς. Οι εξ' αποστάσεως χειρουργικές επεμβάσεις, ειδικότερα, είναι μια από τις πιο πρωτοποριακές περιπτώσεις 5G. Μικροσκοπικά ρομποτικά μπράτσα που εκτελούν χειρουργικές επεμβάσεις υψηλού κινδύνου, όλα ελεγχόμενα από ειδικούς χειρουργούς που μπορεί να βρίσκονται σε οποιαδήποτε μέρη του πλανήτη. Το 2019 πραγματοποιήθηκε, η πρώτη εξ' αποστάσεως εγχείρηση μέσω δικτύου 5G από τον Δρ Antonio de Lacy στην Ισπανία. Κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης, η σύνδεση 5G είχε χρόνο καθυστέρησης μόλις 0,01 δευτερολέπτων, σε σύγκριση με την περίοδο καθυστέρησης 0,27 δευτερολέπτων με τα ασύρματα δίκτυα 4G που κυριαρχούν επί του παρόντος στις αναπτυσσόμενες χώρες. Ο Γενικός Διευθυντής της GSMA (GSM Association), Mats Granryd, δήλωσε ότι «Εάν πρόκειται να κάνετε χειρουργική επέμβαση εξ' αποστάσεως, πρέπει να είστε σχεδόν εκεί αυτοπροσώπως. Δεν μπορείτε να έχετε περισσότερο από μερικά χιλιοστά του δευτερολέπτου καθυστέρηση. Και εκεί έρχεται η τεχνολογία 5G».

Προκειμένου να διασφαλιστεί η ανώτερη κάλυψη δικτύου σε απομακρυσμένες χειρουργικές επεμβάσεις, ο τεμαχισμός δικτύου γίνεται πρωταρχικής σημασίας για μια στρατηγική CSP 5G και απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό για την παροχή της καλύτερης δυνατής εμπειρίας πελατών. [45]

4.3.2 Παιχνίδι

Δεν υπάρχει τίποτα πιο τρομακτικό από έναν έφηβο που βρίσκεται στο κατώφλι να κερδίσει μια διαδικτυακή μάχη με τον μεγαλύτερο αντίπαλό του που βασίζεται στην άλλη άκρη του κόσμου και το δίκτυο καταρρέει. Η έκρηξη θυμού είναι βέβαιη. Αυτό μπορεί να φαίνεται λίγο υπερβολικό, αλλά στην πραγματικότητα η βιομηχανία τυχερών παιχνιδιών για κινητά αξίζει 69 δισεκατομμύρια δολάρια και αυξάνεται πάνω από 10% σε ετήσια βάση (σύμφωνα με το Techcrunch). Το Mobile Gaming δεν θεωρείται πλέον ως δραστηριότητα για νέους εφήβους. Έχει εξελιχθεί σε τρόπο ζωής για όλες τις ηλικιακές ομάδες. Επειδή αυτός ο τρόπος ζωής είναι διαδικτυακός, πρέπει να υπάρχει ένα αποκλειστικό τμήμα δικτύου ως σταθερή βάση. [45]

4.3.3 Αυτόνομα οχήματα

Περίπου το 40% των ενηλίκων Αμερικανών οδηγών κλίνει περισσότερο στην αγορά αυτοοδηγούμενων αυτοκινήτων, σύμφωνα με έρευνα του Reuters. Αυτή η αύξηση της δημοτικότητας ενθαρρύνει μεγάλες πολυεθνικές όπως η General Motors Co, η Uber Technologies Inc και η Apple Inc να επενδύσουν σε μεγάλο βαθμό σε οχήματα που μπορούν να οδηγούν αυτόνομα.

Αν και υπάρχει αυξανόμενη υποστήριξη για τα αυτόνομα οχήματα, υπάρχουν πολλοί παράγοντες που εμπλέκονται στην κυκλοφορία αυτών των οχημάτων στην αγορά, όπως η υποδομή, η τεχνολογία και οι κανονισμοί. Παρόλο που οι CSP πρέπει να διασφαλίζουν ανώτερη ποιότητα υπηρεσιών μέσω ενός αποκλειστικού τμήματος δικτύου, πρέπει επίσης να διασφαλίζουν ότι οι συνεργάτες τους στο οικοσύστημα τεχνολογίας υποστηρίζουν το ίδιο σημείο αναφοράς ή η εμπειρία των πελατών θα επηρεαστεί δραματικά. [45]

4.3.4 Αθλητισμός

Ο αθλητισμός είναι ένας άλλος κλάδος που χρησιμοποιεί γρήγορα το 5G προς όφελός του. Οι νέες τεχνολογίες έχουν κάνει δυνατή την αλληλεπίδραση με νέους τρόπους με ένα αθλητικό παιχνίδι. Η AT&T αποκάλυψε πώς θα χρησιμοποιηθεί το δίκτυό της 5G στο γήπεδο του Dallas Cowboys. Όπως ανέφερε, κατά τη διάρκεια της σεζόν, σχεδιάζει να προσφέρει τέσσερις μοναδικές ενεργοποιήσεις 5G που θα αρχίσουν να αλλάζουν τον τρόπο με τον οποίο οι θαυμαστές αλληλεπιδρούν με το παιχνίδι, συμπεριλαμβανομένων ψηφιακών εκδόσεων πρωταγωνιστών σε φυσικό μέγεθος και ζωντανών στατιστικών που επικαλύπτονται στο γήπεδο χρησιμοποιώντας το Samsung Galaxy S10 5G. Εκτός από το να βλέπουν από κοντά τους παίκτες και τους χορούς touchdown, τα άτομα με Galaxy S10 5G στο AT&T Stadium στο Ντάλας θα μπορούν να παρακολουθούν την απόδοση της ομάδας και να βλέπουν ζωντανά στατιστικά χρησιμοποιώντας την επαυξημένη πραγματικότητα.

Με ένα πυκνό πλήθος, τα στάδια πιθανότατα θα χρειαστούν το δικό τους κομμάτι ή κομμάτια, ίσως με πρόσθετη δυνατότητα φόρτισης σε πραγματικό χρόνο, εάν οι χρήστες θέλουν να αναβαθμίσουν τις υπηρεσίες εν κινήσει. [45]

4.3.5 IoT Network Slices

Οι CSP κατανέμουν επίσης αποκλειστικά τμήματα δικτύου στο IoT. Οι περιπτώσεις χρήσης IoT υψηλής αξίας, όπως η διαχείριση αποθεμάτων, οι έξυπνες μετρήσεις και τα ιατρικά wearables απαιτούν εξαιρετική ποιότητα υπηρεσιών και σε ορισμένες περιπτώσεις τη δυνατότητα ανάλογης χρέωσης για αυτήν την υπηρεσία. Ωστόσο, μια ολοένα και πιο ενδιαφέρουσα πτυχή του τεμαχισμού δικτύου είναι η ασφάλεια. Με τον τεμαχισμό δικτύου, είναι δυνατή η μαζική επιτήρηση των τμημάτων του IoT και θα μπορούσαν ενδεχομένως να ληφθούν παρεμβατικές μετρήσεις, π.χ. φορητές συσκευές γνωρίζοντας ότι

μια γυναίκα είναι έγκυος πριν το καταλάβει. Αυτό αποτελεί ανησυχία για τους τελικούς χρήστες, ιδιαίτερα εάν οι χάκερ έχουν πρόσβαση σε αυτές τις πληροφορίες. Οι επιχειρήσεις χρειάζονται διαβεβαιώσεις ότι εφαρμόζονται οι κατάλληλοι προμηθευτές και τα κατάλληλα εργαλεία παρακολούθησης δεδομένων για να ξεπεραστούν οι τρέχουσες και μελλοντικές προκλήσεις.

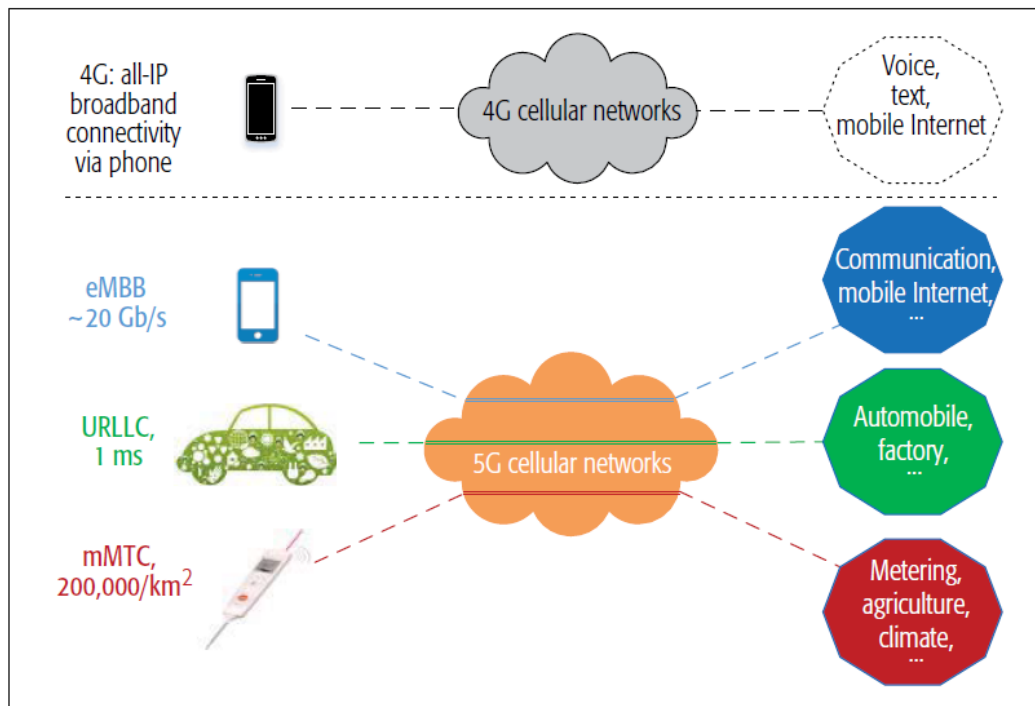
Η τεχνολογία 5G έχει ανοίξει έναν εντελώς νέο κόσμο δυνατοτήτων. Υπολογίζεται ότι ο κλάδος των υπηρεσιών 5G θα αξίζει 300 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2025, σύμφωνα με την Juniper Research. Ωστόσο, προκειμένου οι CSP να αξιοποιήσουν τις ευκαιρίες του 5G διασφαλίζοντας παράλληλα την ικανοποίηση των τελικών χρηστών, πρέπει να διασφαλίσουν ότι έχουν μελετήσει προσεκτικά τις στρατηγικές κοπής δικτύου τους. Οι ΚΟΤ πρέπει να αναρωτηθούν το πολύ δύσκολο ερώτημα «τα υπάρχοντα συστήματά μου μου επιτρέπουν να παρακολουθώ και να ελέγγω αποτελεσματικά για κάθε τμήμα δικτύου;» [45]

Κεφάλαιο 5ο: Η νοημοσύνη στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 5G

Η τεχνητή νοημοσύνη είναι σημαντική για το δίκτυο 5G επειδή παρέχει νέες έννοιες και δυνατότητες επικοινωνίας στη βιομηχανία, καθώς και στο πλαίσιο των ερευνών της ακαδημίας [8]. Το AI είναι σε θέση να αντιμετωπίσει τρία κύρια τεχνικά προβλήματα του 5G: βελτιστοποίηση (πρόβλημα κατανομής), ανίχνευση (ελαχιστοποιημένο ποσοστό σφάλματος) και εκτίμηση (πρόβλημα εκτίμησης καναλιού). Αυτό το είδος τεχνολογίας θα ανοίξει νέες δυνατότητες στη ρομποτική, επιτρέποντας στα ευφυή ρομπότ να λειτουργούν σε ένα ευρύτερο «έξυπνο» περιβάλλον. Αν και υπάρχουν ανησυχίες ότι αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για στρατιωτικούς σκοπούς και παρακολούθηση πληθυσμού, τα οφέλη που θα φέρει στην τεχνολογία υγείας δεν μπορούν να αγνοηθούν. Η συνδεσιμότητα 5G επιτρέπει σε διαφορετικές αυτοματοποιημένες λύσεις να έχουν πρόσβαση σε περισσότερα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, ενώ χρησιμοποιούν πολύ λιγότερη ενέργεια, χρησιμοποιώντας αισθητήρες IoT με διάρκεια ζωής πολλών ετών. [47]

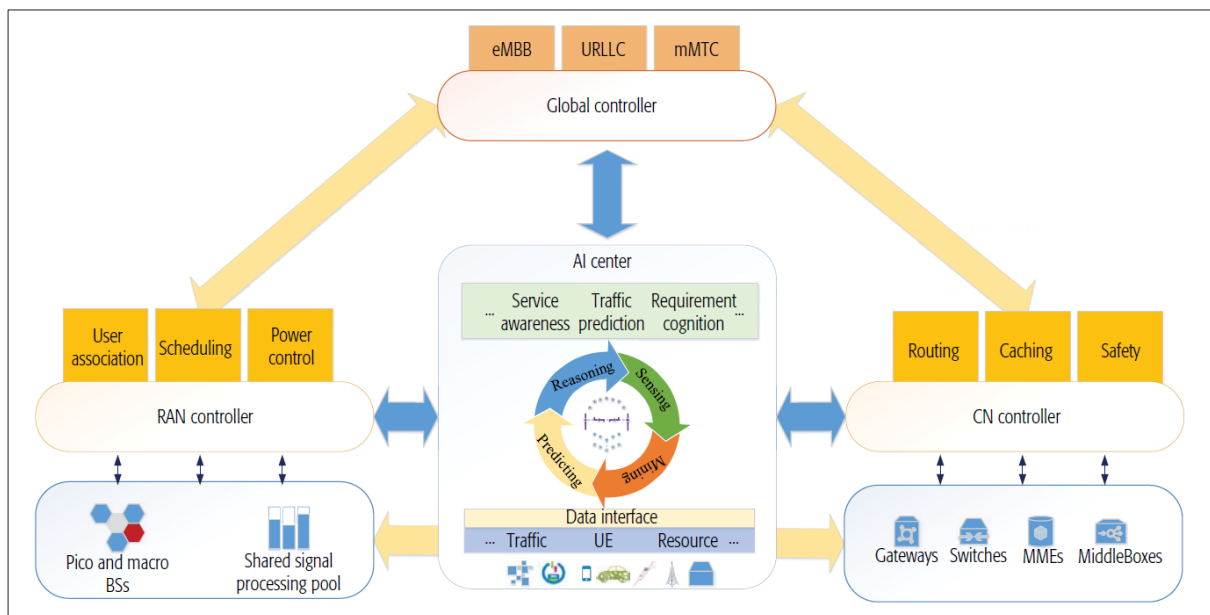
Η τεχνητή νοημοσύνη είναι η επιστήμη και η μηχανική της κατασκευής μηχανών τόσο έξυπνων όσο οι άνθρωποι και έχει εφαρμοστεί εδώ και καιρό για τη βελτιστοποίηση δικτύων επικοινωνίας σε διάφορες διαμορφώσεις. Ανάλογα με την έκταση της νοημοσύνης, η τεχνητή νοημοσύνη θα μπορούσε να χωριστεί σε δύο επίπεδα. Το πρώτο και βασικό επίπεδο της τεχνητής νοημοσύνης είναι ότι ένα μηχάνημα ή μια οντότητα μπορεί να παρέχει πολλαπλές προκαθορισμένες επιλογές και να ανταποκρίνεται στο περιβάλλον με διαφορετικό αλλά ντετερμινιστικό τρόπο. Για παράδειγμα, το 5G θα επιτρέπει τη μετάδοση χορηγούμενης και χωρίς επιχορηγήσεις για υπηρεσίες eMBB και mMTC, αντίστοιχα. Με άλλα λόγια, το δίκτυο θα προσαρμόσει έξυπνα τη διαμόρφωση αφού εντοπίσει διαφορετικούς προκαθορισμένους δείκτες υπηρεσίας.

Το δεύτερο και πλήρες επίπεδο της τεχνητής νοημοσύνης είναι ότι μια μηχανή ή μια οντότητα διαθέτει πλήρη ικανότητα αλληλεπίδρασης (π.χ. αίσθηση, πρόβλεψη και λογική) με το περιβάλλον. Το πιο σημαντικό, το μηχάνημα ή οντότητα είναι σε θέση να μάθει πώς να βρει τις κατάλληλες απαντήσεις, ακόμη και όταν αντιμετωπίζει περίεργα σενάρια ή εργασίες. Οι υποψήφιες τεχνολογίες των δικτύων 5G παρέχουν, κάποιου είδους, ευφυΐα (το βασικό επίπεδο AI) στα κυψελωτά δίκτυα και μετατρέπουν τα κυψελωτά δίκτυα από δικτυοκεντρικά σε χρηστοκεντρικά και πληροφοριακά με σημαντική βελτίωση στην αποδοτικότητα φάσματος (spectrum efficiency - SE) και στην ενεργειακή απόδοση (energy efficiency - EE).



Σχήμα 5.1: Δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 5G, ένας βασικός ενεργοποιητής για όλες τις κινητές συσκευές σε όλους τους κλάδους. [48]

Το Σχήμα 5.1 απεικονίζει μια πιθανή αρχιτεκτονική κυψελοειδούς δικτύου 5G με AI, στην οποία ένας ελεγκτής AI θα λειτουργεί ως εφαρμογή πάνω από το ONOS (open network operating system) ή μια ανεξάρτητη οντότητα δικτύου και θα επικοινωνεί με ελεγκτές RAN (Radio Access Network - Δίκτυο ραδιοκυματικής πρόσβασης) ή CN (Core Network - Δίκτυο κορμού) ή παγκόσμιους ελεγκτές SDN (software-defined networks - δίκτυα που ορίζονται από λογισμικό) χρησιμοποιώντας ανοιχτές διεπαφές. Συγκεκριμένα, το κέντρο τεχνητής νοημοσύνης θα διαβάξει συμφωνίες σε επίπεδο υπηρεσίας (π.χ. απαιτήσεις σχετικά με το ποσοστό, την κάλυψη, τη διάρκεια αποτυχίας, τον πλεονασμό κ.λπ.), τις πληροφορίες σε επίπεδο UE (user terminal – το τερματικό χρήστη, π.χ. κατηγορία δέκτη, περιορισμός μπαταρίας), πληροφορίες σε επίπεδο δικτύου (π.χ. φάσμα, αριθμός συνδρομητών εξυπηρέτησης, QoS (ποιότητα υπηρεσίας), βασικοί δείκτες απόδοσης λειτουργιών δικτύου, προγραμματισμένη περίοδος συντήρησης, κ.λπ.) και πληροφορίες σε επίπεδο υποδομής (π.χ. τύπος διακομιστή, CPU, μνήμη, αποθήκευση, πρότυπο δικτύου) από τους ελεγκτές SDN, ώστε να έρθουν σε επαφή με δεδομένα κυψελοειδούς δικτύου, όπως πληροφορίες κυκλοφορίας, UE και πόρους δικτύου. Στη συνέχεια, το κέντρο τεχνητής νοημοσύνης θα χρησιμοποιήσει τις ενσωματωμένες ενότητες του (π.χ. ανίχνευση, εξόρυξη, πρόβλεψη και συλλογιστική) για να επεξεργαστεί τις ληφθείσες πληροφορίες και τα αποτελέσματα εκμάθησης ανατροφοδότησης, τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν αναφορές ανάλυσης χαρακτηριστικών κυκλοφορίας (π.χ. πρόταση παροχής υπηρεσιών), UE - συγκεκριμένες πληροφορίες ελέγχου (π.χ. προτεραιότητα εξυπηρέτησης, εκχώρηση εύρους ζώνης, εντολή παρακολούθησης κινητικότητας) και ειδοποίηση διαμόρφωσης δικτύου (π.χ. προσαρμογή παραμέτρων, μέθοδος πρόσβασης, ειδοποίηση σφάλματος δικτύου), στους ελεγκτές SDN. Για παράδειγμα, η τεχνητή νοημοσύνη αξιοποιεί τη μονάδα ανίχνευσης για να παρακολουθεί τη θέση των UE και χρησιμοποιεί τη μονάδα πρόβλεψης για να προβλέψει την τάση κινητικότητας με βάση το ιστορικό κινούμενο μοτίβο. Στη συνέχεια, εκμεταλλεύεται τη μονάδα συλλογιστικής και ειδοποιεί προληπτικά τους UE να ενημερώσουν την εγγραφή τοποθεσίας, έτσι ώστε να προετοιμαστούν οι πόροι παράδοσης και να εξοικονομηθεί το κόστος σηματοδότησης της διαχείρισης κινητικότητας.

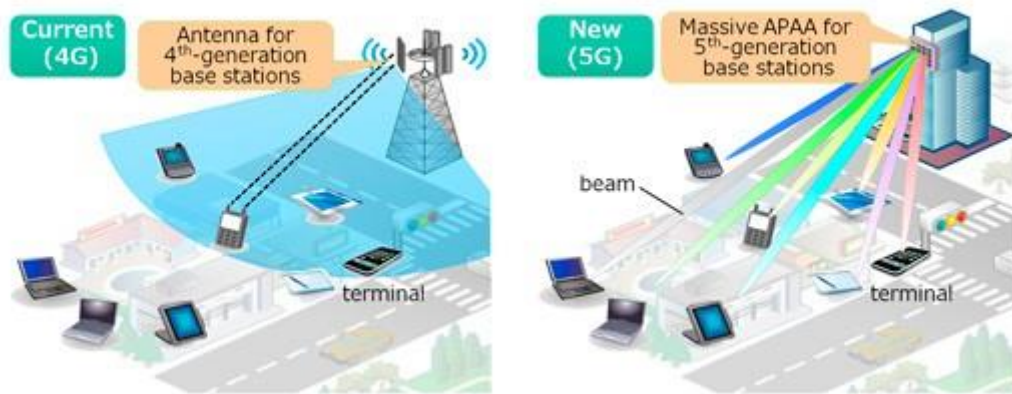


Σχήμα 5.2: Κυψελοειδή δίκτυα 5G ενεργοποιημένα από AI. [48]

Από την άλλη πλευρά, τα κυψελωτά δίκτυα 5G μπορούν να διατηρήσουν την κανονική κατάσταση λειτουργίας υπό την προϋπόθεση πιθανών ζημιών (π.χ. hacking) στο κέντρο AI. Εν τω μεταξύ, το κέντρο AI θα μπορούσε (ημι-)περιοδικά να ανταλλάσσει πληροφορίες με τους ελεγκτές SDN σε κανονικές καταστάσεις, ενώ ξεκινάει επείγουσες αποκρίσεις για να προγραμματίσει τους ελάχιστους απαιτούμενους πόρους, μόλις οι συμβατικοί ελεγκτές SDN αντιμετωπίσουν δυσλειτουργίες. Ως εκ τούτου, σε σύγκριση με την πλήρη κεντρική αρχιτεκτονική στα συμβατικά δίκτυα, το κέντρο AI και οι ελεγκτές SDN αποτελούν ουσιαστικά ένα σύστημα λήψης αποφάσεων πολλαπλών επιπέδων, με αποτέλεσμα να βελτιώνουν την ευρωστία του δικτύου. [48]

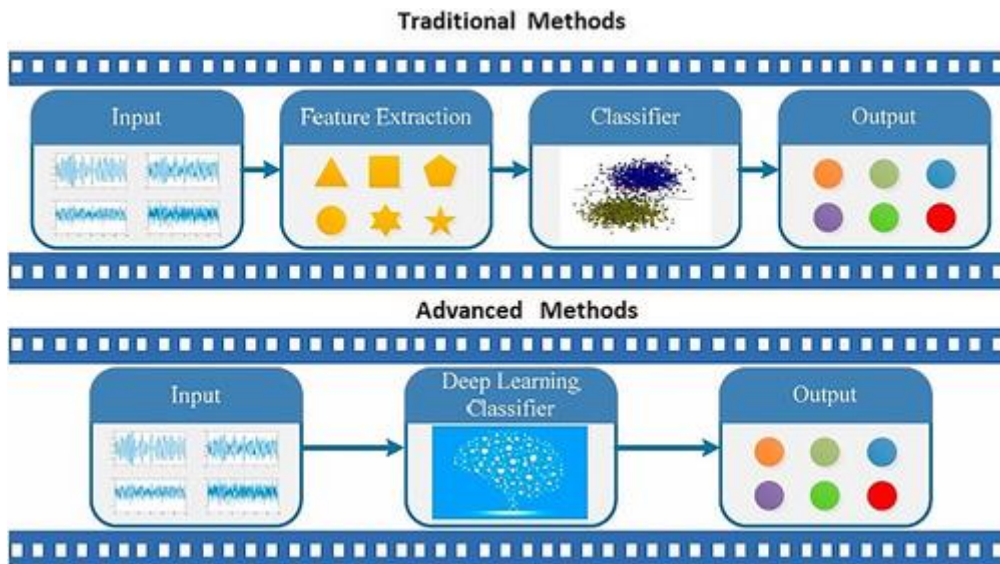
1. **Massive MIMO and Beamforming.** Σε αρκετές περιπτώσεις έχει μελετηθεί η δυνατότητα χρήσης σε ασύρματη επικοινωνία και δικτύωση 5G της μηχανικής μάθησης και της βαθιάς μάθησης. Για κάθε παράδειγμα, το Massive MIMO είναι ένα χαρακτηριστικό του 5G. Μέσω της χρήσης ενός τεράστιου αριθμού κεραιών, το 5G μπορεί να εστιάσει τη μετάδοση και τη λήψη ισχύος σήματος σε όλο και μικρότερες περιοχές του διαστήματος. Ωστόσο, πολλά ζητήματα σχετίζονται με αυτήν την τεχνολογία. Η μηχανική μάθηση/βαθιά μάθηση έχει εφαρμοστεί στο Massive MIMO για να ξεπεραστούν αυτά τα ζητήματα. Για παράδειγμα, μια ακριβής εκτίμηση του καναλιού με απλές μεθόδους εκτίμησης και λογικό αριθμό πιλότων αποτελεί πρόκληση στο τεράστιο MIMO: ο εκτιμητής ελαχίστων τετραγώνων χαμηλής πολυπλοκότητας (LS) δεν επιτυγχάνει ικανοποιητική απόδοση, ενώ το κανάλι ελάχιστου μέσου τετραγώνου σφάλματος (MMSE) η εκτίμηση είναι πολύ περίπλοκη. Η μηχανική μάθηση/ βαθιά μάθηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρακάμψει αυτό το ζήτημα. Για παράδειγμα, έχει προταθεί η βαθιά εκμάθηση για την εκτίμηση καναλιών. Η βαθιά εκμάθηση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση συμβόλων σε συστήματα MIMO καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη χαρτογράφηση καναλιών στο χώρο και τη συχνότητα. Επίσης, η βαθιά εκμάθηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατανομή ισχύος στο Massive MIMO. Η μηχανική μάθηση και η βαθιά μάθηση έχουν επίσης διερευνηθεί για τη βελτιστοποίηση των βαρών των στοιχείων κεραίας στο τεράστιο MIMO. Η βαθιά μάθηση και η μηχανική μάθηση μπορούν να προβλέψουν τη διανομή των χρηστών και, κατά συνέπεια, βελτιστοποιώντας τα βάρη των στοιχείων της κεραίας, μπορούν να βελτιώσουν την κάλυψη σε ένα σενάριο πολλαπλών κυψελών. Η βαθιά εκμάθηση στο τεράστιο MIMO παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα, η βαθιά εκμάθηση μπορεί να πραγματοποιήσει μια πιο ακριβή

εκτίμηση καναλιού της κατάστασης του καναλιού σε σύγκριση με τις παραδοσιακές τεχνικές. Ένα άλλο πλεονέκτημα της χρήσης βαθιάς μάθησης σε αυτό το πλαίσιο είναι η μείωση του αριθμού των πλότων που απαιτούνται για την επίτευξη ικανοποιητικής απόδοσης. Συμπερασματικά, το τεράστιο MIMO μπορεί να επωφεληθεί από τη δύναμη της βαθιάς μάθησης εάν η πολυπλοκότητα έχει αντιμετωπιστεί σωστά.



Σχήμα 5.3: Massive MIMO και 5G [46]

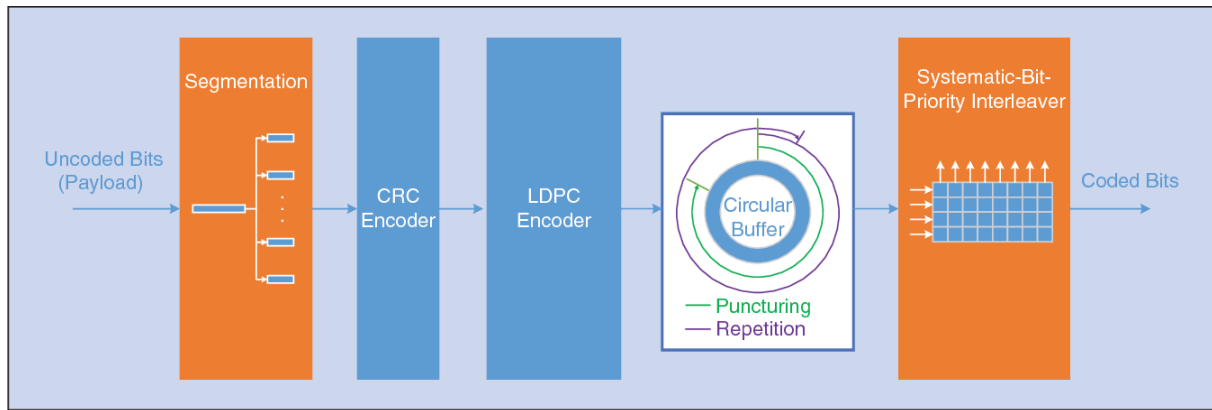
2. Automatic Modulation Classification. Η ταξινόμηση αυτόματης διαμόρφωσης (Automatic modulation classification - AMC) είναι μια βασική τεχνική σε μη συνεργατικά συστήματα επικοινωνίας. Η αναγνώριση διαμόρφωσης είναι μια εργασία που μπορεί να βοηθήσει στην ταξινόμηση του τύπου διαμόρφωσης ενός λαμβανόμενου σήματος, το οποίο είναι ένα απαραίτητο βήμα προς την κατανόηση και την αίσθηση του ασύρματου περιβάλλοντος. Η ανίχνευση και η προσαρμογή υψηλής ποιότητας βελτιώνουν τη φασματική απόδοση και τον μετριασμό των παρεμβολών. Τα συστήματα AMC που βασίζονται σε βαθιά μάθηση αποτελούνται από τρία κύρια μέρη: Το πρώτο μέρος είναι η επεξεργασία σήματος για τη βελτίωση της ποιότητας των δειγμάτων που λαμβάνονται, μια διόρθωση μετατόπισης συχνότητας, έλεγχος απολαβής, ενισχυτές και φιλτράρισμα. Το δεύτερο μέρος περιλαμβάνει την εξαγωγή χαρακτηριστικών όπως το πλάτος, η φάση και η συχνότητα του λαμβανόμενου σήματος. Το τελευταίο μέρος είναι ένας ταξινομητής σήματος: ταξινόμηση των τύπων διαμόρφωσης. Η βαθιά μάθηση μπορεί να επιτύχει υψηλή ακρίβεια ταξινόμησης διαμόρφωσης. Για παράδειγμα, έχει προταθεί ένα ANN (δύο κρυφά επίπεδα με 50 και 25 νευρώνες) που χρησιμοποιεί ένα σύστημα AMC, το οποίο αποτελείται από τον επιταχυνόμενο αλγόριθμο εκτίμησης προσαρμοστικής ροπής Nesteron για τη βελτίωση του χρόνου εκτέλεσης της εκπαίδευσης. Οι συγγραφείς μετέδωσαν διάφορες τεχνικές διαμόρφωσης όπως BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM, CPFSK, GFSK και GMSK με διαφορετικά επίπεδα ισχύος SNR, που κυμαίνονται από 5dB έως 45 dB. Τα συλλεγμένα σήματα έχουν υποστεί προεπεξεργασία και έχουν εξαχθεί χαρακτηριστικά όπως το πλάτος, η φάση, η συχνότητα, τα στατιστικά σήματος όπως οι ροπές και οι συσσωρευτές. Το προτεινόμενο μοντέλο αποδίδει ταξινόμηση διαμόρφωσης σχεδόν σε πραγματικό χρόνο με ακρίβεια 98%, αλλά είναι αναποτελεσματικό σε χαμηλό SNR. Επίσης, η μακροπρόθεσμη βραχυπρόθεσμη μνήμη (LSTM) θα μπορούσε να επιτύχει ακρίβεια ταξινόμησης κοντά στο 90% σε μεταβαλλόμενες συνθήκες αναλογίας σήματος προς θόρυβο (0dB έως 20dB). Έχει αποδειχθεί ότι το LSTM (Long Short-Term Memory) με δύο στρώματα υπερτερεί της μηχανής διανυσμάτων υποστήριξης, του τυχαίου δάσους, του αφελούς Bayes και των K-πλησιέστερων γειτόνων. Ωστόσο, η απόδοση αυτών των μοντέλων είναι μικρότερη από 20% σε SNR κάτω από -10dB.



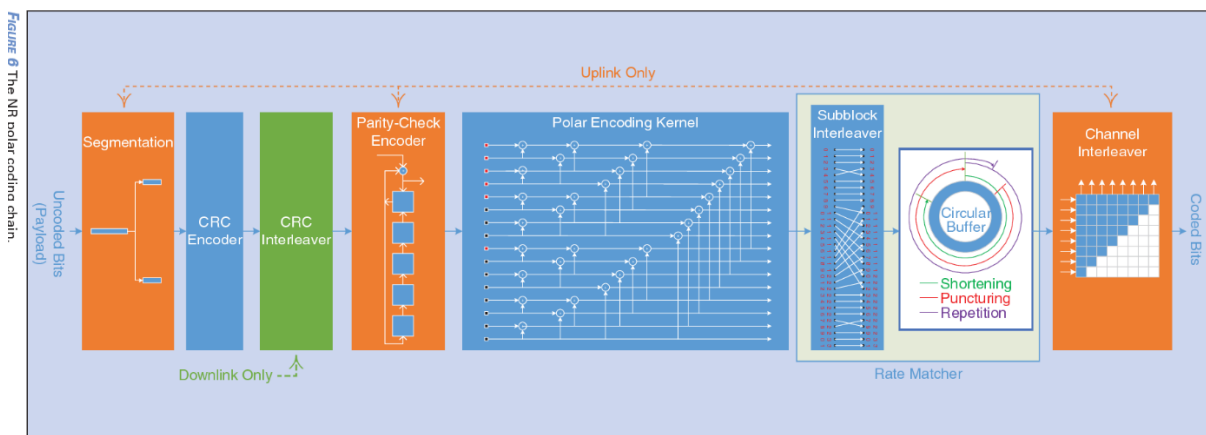
Σχήμα 5.4: Automatic modulation classification τεχνικές [49]

Ακόμη, έχει χρησιμοποιηθεί το AlexNet, το οποίο είναι ένα μεγάλο μοντέλο βασισμένο στο CNN που έχει οκτώ επίπεδα συνέλιξης και τρία πλήρως συνδεδεμένα επίπεδα, για να ταξινομήσουν 11 τύπους διαμόρφωσης που μπορούν να επιτύχουν μέση ακρίβεια 87%. Το AlexNet έχει αναπτυχθεί για την ταξινόμηση εικόνων, έτσι οι συγγραφείς πρότειναν τη μετατροπή των σύνθετων δειγμάτων του διαμορφωμένου σήματος σε ένα διάγραμμα αστερισμού. Δημιούργησαν 10.000 εικόνες και 1000 εικόνες διαγραμμάτων αστερισμών ανά τύπο διαμόρφωσης. Κάθε εικόνα αποτελείται από 1000 δείγματα του διαμορφωμένου σήματος και το SNR κυμαίνεται από -4dB έως 14dB. Το AlexNet ξεπερνά τις επιδόσεις του μηχανήματος διανυσμάτων υποστήριξης και του AMC που βασίζεται σε συσσωρευτικό και δεν απαιτεί κανένα βήμα επιλογής χαρακτηριστικών. Το Deep Learning παρουσιάζει μια ισχυρή μεθοδολογία για αυτόματη ταξινόμηση διαμόρφωσης. Αυτή η μεθοδολογία έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως ο μικρός χρόνος επεξεργασίας και η σταθερή απόδοση σε χαμηλό λόγο σήματος προς θόρυβο. [49]

3. Channel Coding. Ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό της διεπαφής αέρα του 5G είναι η χρήση νέων τεχνικών κωδικοποίησης καναλιών: Τα κανάλια δεδομένων χρησιμοποιούν κώδικες ελέγχου ισοτιμίας χαμηλής πυκνότητας (LDPC) και τα κανάλια ελέγχου χρησιμοποιούν πολικούς κώδικες. Ωστόσο, η χρήση αυτών των τεχνικών έχει ορισμένους περιορισμούς. Για παράδειγμα, οι πολικοί κώδικες μπορούν να επιτύχουν εξαιρετική απόδοση, αλλά χρειάζονται αρκετές επαναλήψεις για να επιτευχθεί αυτή η απόδοση και δεν υπάρχει τρόπος να προβλέψουμε πόσο γρήγορα οι πολικοί κώδικες μπορούν να φτάσουν αυτήν την επιθυμητή απόδοση. Επιπλέον, οι κωδικοί LDPC υποφέρουν από υψηλή πολυπλοκότητα αποκωδικοποίησης όταν είτε χρησιμοποιούνται με μεγάλο μπλοκ είτε το κανάλι είναι υπό έγχρωμο θόρυβο.



Σχήμα 5.5: Τεχνικές Κωδικοποίησης καναλιών [50]



Σχήμα 5.6: Τεχνικές Κωδικοποίησης καναλιών [51]

Η βαθιά εκμάθηση είναι γνωστή για τη δομή της υψηλής παραλληλίας, η οποία μπορεί να εφαρμόσει κωδικοποίηση/αποκωδικοποίηση μιας λήψης. Έτσι, πολλοί ερευνητές προβλέπουν ότι η κωδικοποίηση καναλιών που βασίζεται σε βαθιά μάθηση είναι μια ευνοϊκή μέθοδος για την ενεργοποίηση του 5G NR. Για παράδειγμα, έχει προταθεί η ενισχυτική μάθηση για αποτελεσματικές στρατηγικές αποκωδικοποίησης για δυαδικούς γραμμικούς κώδικες όπως οι κώδικες ReedMuller και BCH, και ως μελέτη περίπτωσης εξέτασαν την αποκωδικοποίηση με αναστροφή bit. Ως αποτέλεσμα, χαρτογράφησαν την αποκωδικοποίηση με αναστροφή μαθημάτων σε μια διαδικασία απόφασης Markov και αναδιατύπωσαν το πρόβλημα αποκωδικοποίησης χρησιμοποιώντας τόσο πρότυπα όσο και προσαρμοσμένη Q-learning με ένα νευρωνικό δίκτυο. Η αρχιτεκτονική του νευρωνικού δικτύου αποτελείται από δύο κρυφά επίπεδα με 500 και 1500 νευρώνες με λειτουργίες ενεργοποίησης ReLU. Για τις υπερπαραμέτρους εκπαίδευσης, δοκιμάστηκαν με δέκα επαναλήψεις και 0,99 ως συντελεστή έκπτωσης. Το SNR κυμαίνεται από -2dB έως 8dB. Εξετάστηκαν δύο τύποι καναλιών, το δυαδικό συμμετρικό κανάλι και το κανάλι Προσθετικού Λευκού Gaussian Noise (AWGN). Επιπλέον, έχουν προταθεί τρεις τύποι βαθιών νευρωνικών δικτύων για αποκωδικοποίηση καναλιών για 5G, perceptron πολλαπλών επιπέδων, συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο και επαναλαμβανόμενο νευρωνικό δίκτυο. Έχουν χρησιμοποιηθεί πολικοί κώδικες με ρυθμό 1/2 και τρία μήκη κωδικών λέξεων 8, 16 και 32. Ο λόγος σήματος προς θόρυβο είναι από -2 dB έως 20 dB. Αποδείχθηκε ότι το επαναλαμβανόμενο νευρωνικό δίκτυο έχει την καλύτερη απόδοση αποκωδικοποίησης αλλά με κόστος υψηλού χρόνου υπολογισμού. Ακόμη, έχει μελετηθεί ένας αποκωδικοποιητής συνελκτικού και LPDC βασισμένου σε συνελκτικό

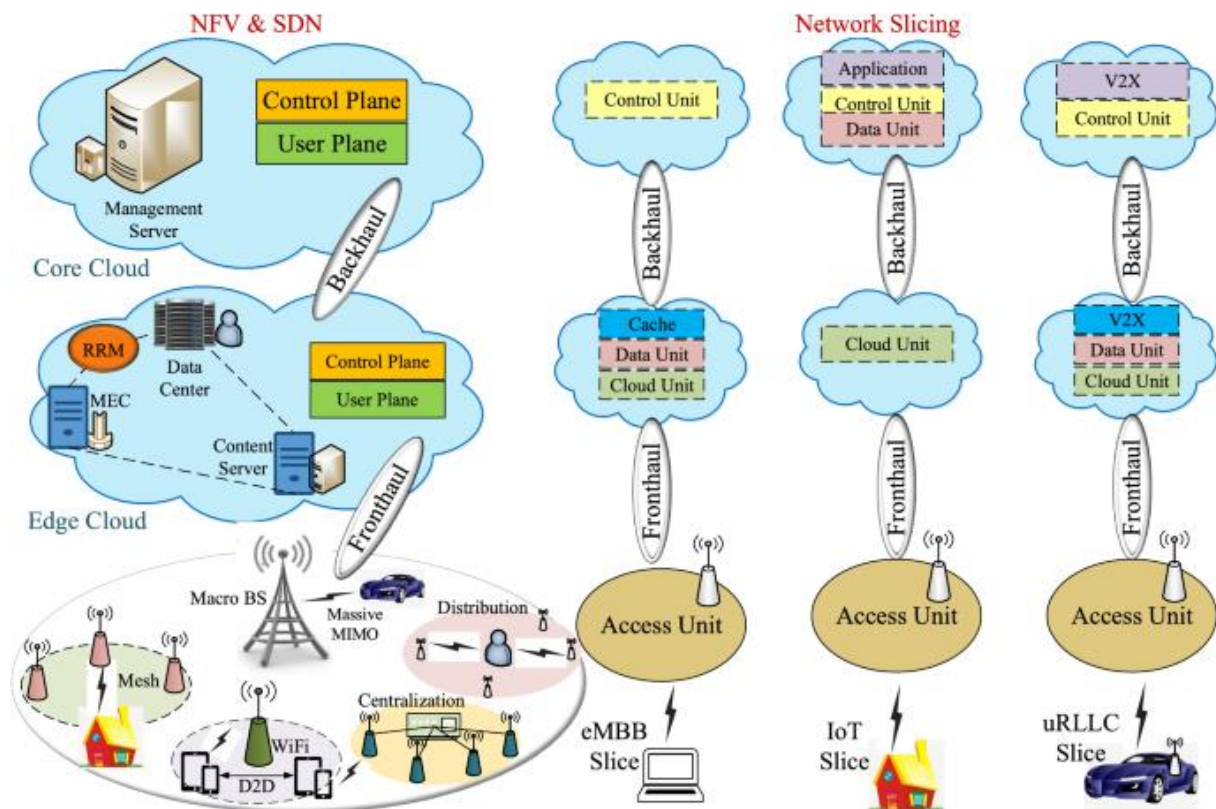
νευρωνικό δίκτυο χαμηλής καθυστέρησης, ισχυρό και επεκτάσιμο. Ο αποκωδικοποιητής συνέλιξης έχει εκπαιδευτεί να αποκωδικοποιεί σε μία λήψη χρησιμοποιώντας ανεξάρτητη δειγματοληψία Mixed-SNR. Ο αποκωδικοποιητής CNN ελέγχεται με διαφορετικά μήκη μπλοκ 100, 200 και 1000 κάτω από το κανάλι AWGN και με συνολικά δείγματα 109 δειγμάτων και το SNR κυμαίνεται από -4dB έως 4dB. Το προτεινόμενο μοντέλο συγκρίνεται με αποκωδικοποιητές Viterbi, BiGRY και bit flipping με βάση το ποσοστό σφαλμάτων bit και το ποσοστό σφάλματος μπλοκ. Το CNN υπερτερεί των προαναφερθέντων αποκωδικοποιητών όσον αφορά τα BER και BLER. Επίσης, ο αποκωδικοποιητής CNN είναι οκτώ φορές πιο γρήγορος από τους αποκωδικοποιητές RNN.

Ένα άλλο παράδειγμα αποκωδικοποιητή καναλιών που βασίζεται σε βαθιά μάθηση προτάθηκε από ερευνητές όπου τα προτεινόμενα μοντέλα βαθιάς μάθησης αποτελούνται από μια επαναληπτική διάδοση πεποιθήσεων που συνδέεται με ένα συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (BP-CNN) που αποκωδικοποιεί το LDPC υπό συσχετισμένο θόρυβο, το CNN για την απενεργοποίηση του λαμβανόμενου σήματος και το BP για την αποκωδικοποίηση. Στην περίπτωση αυτή εξέτασαν το κανάλι AWGN και τη διαμόρφωση BPSK. Απεδείχθη ότι το BP-CNN μειώνει το ποσοστό σφάλματος bit αποκωδικοποίησης με χαμηλή πολυπλοκότητα. Απαιτούνται περαιτέρω μελέτες για τη διερεύνηση της απόδοσης της βαθιάς μάθησης κάτω από κανάλια επικοινωνίας που παρουσιάζουν συσχετίσεις στο ξεθώριασμα. Η κωδικοποίηση καναλιού που βασίζεται σε βαθιά μάθηση μπορεί να επιτύχει ένα καλό εύρος αντισταθμίσεων απόδοσης-πολυπλοκότητας, εάν η εκπαίδευση εκτελείται σωστά καθώς η επιλογή του μήκους της κωδικής λέξης προκαλεί υπερβολική προσαρμογή και υπο-προσαρμογή. [52]

4. Intelligent Radio Resource and Network Management. Οι πόροι ραδιοσυχνότητας είναι σπάνιοι και υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση ασύρματης κίνησης. Η έξυπνη διαχείριση ασύρματου δικτύου είναι ο τρόπος για να ανταποκριθούμε σε αυτές τις αυξανόμενες απαιτήσεις. Η μηχανική εκμάθηση/βαθιά μάθηση μπορεί να είναι ένα πολλά υποσχόμενο χαρακτηριστικό για την κατανομή πόρων σε δίκτυα ασύρματης επικοινωνίας 5G. Η βαθιά εκμάθηση μπορεί να είναι μια καλή εναλλακτική για τη διαχείριση παρεμβολών, τη διαχείριση φάσματος, τη χρήση πολλαπλών διαδρομών, την προσαρμογή συνδέσμων, την πρόσβαση πολλών καναλιών και την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Για παράδειγμα, έχει προταθεί ένας χρονοπρογραμματιστής τεχνητής νοημοσύνης για να συμπεράνει τις ελεύθερες θυρίδες σε μια πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση χρόνου πολλαπλών συχνοτήτων για να αποφευχθεί η συμφόρηση και η υψηλή απώλεια πακέτων. Οι τέσσερις τελευταίες καταστάσεις πλαισίων τροφοδοτούνται σε ένα νευρωνικό δίκτυο, το οποίο αποτελείται από δύο πλήρως συνδεδεμένα κρυφά επίπεδα. Ο προτεινόμενος προγραμματιστής AI δοκιμάστηκε σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων 5 κόμβων και μπορεί να μειώσει τις συγκρούσεις με άλλα δίκτυα κατά 50%. Άλλοι ερευνητές πρότειναν την προσθήκη της μονάδας τεχνητής νοημοσύνης αντί της αντικατάστασης της συμβατικής μονάδας προγραμματισμού στα συστήματα LTE. Αυτή η ενότητα AI μπορεί να παρέχει συμβατικούς αλγόριθμους προγραμματισμού με την ευελιξία και να επιταχύνει το χρόνο σύγκλισης. Καθώς ο προγραμματισμός για τον συνεταιριστικό εντοπισμό είναι μια κρίσιμη διαδικασία για την αύξηση της κάλυψης και της ακρίβειας εντοπισμού, έχει επίσης παρουσιαστεί μια βαθιά ενισχυτική μάθηση για τον αποκεντρωμένο συνεταιριστικό προγραμματισμό εντοπισμού σε δίκτυα οχημάτων.

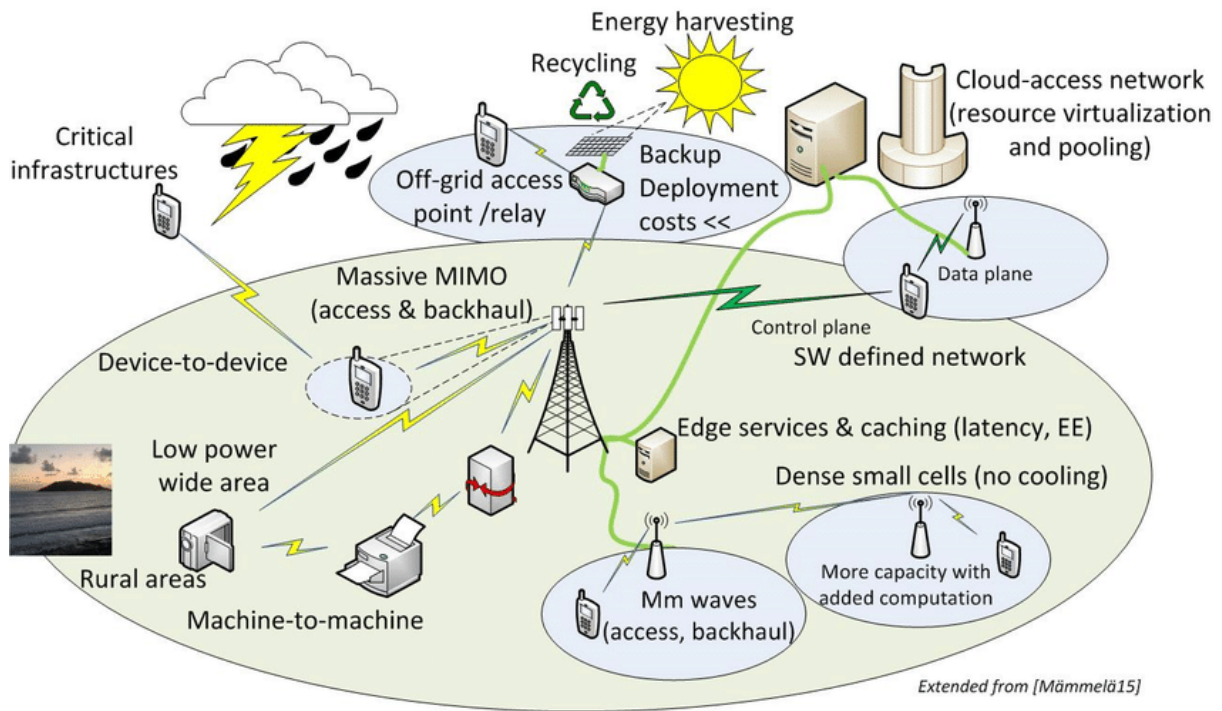
Σε ένα άλλο παράδειγμα εφαρμογής έχει προταθεί μια μάθηση βαθιάς ενίσχυσης (DRL) βασισμένη στο LSTM για να επιτρέψει στους μικρούς σταθμούς βάσης να εκτελούν δυναμική πρόσβαση φάσματος σε ένα φάσμα χωρίς άδεια. Το μοντέλο επιτρέπει τη δυναμική επιλογή ασύρματου καναλιού, συνάθροισης φορέα και πρόσβασης κλασματικού φάσματος. Η συνύπαρξη WLAN και άλλων τελεστών LTE-LAA που εκπέμπουν στο ίδιο κανάλι έχει διαμορφωθεί ως ένα παιχνίδι μεταξύ των δύο και καθένα από τους οποίους στοχεύει στη μεγιστοποίηση του ρυθμού του επιτυγχάνοντας μακροπρόθεσμη ισοσταθμισμένη δικαιοσύνη. Αυτό το παιχνίδι επιλύεται χρησιμοποιώντας το DRL-LSTM. Το προτεινόμενο πλαίσιο

παρουσίασε σημαντική βελτίωση. Σε μια άλλη περίπτωση προτάθηκε, ένα πλαίσιο τεχνητής νοημοσύνης για τη διαχείριση έξυπνων ασύρματων δικτύων με βάση το CNN και το RNN για την εξαγωγή τόσο των διαδοχικών όσο και των χωρικών χαρακτηριστικών από τα πρωτογενή σήματα. Αυτά τα χαρακτηριστικά χρησιμεύουν ως κατάσταση μάθησης βαθιάς ενίσχυσης που καθορίζει τη βέλτιστη πολιτική δικτύου. Το προτεινόμενο πλαίσιο δοκιμάστηκε χρησιμοποιώντας ένα πραγματικό πείραμα, ένα πείραμα που χρησιμοποιεί ένα ετερογενές ασύρματο δίκτυο σε πραγματικό χρόνο. Το προτεινόμενο πλαίσιο AI ενισχύει τη μέση απόδοση κατά περίπου 36%. Ωστόσο, το προτεινόμενο πλαίσιο είναι δαπανηρό όσον αφορά τον χρόνο εκπαίδευσης και τη χρήση μνήμης.



Σχήμα 5.7: Διαχείριση πόρων ραδιοφώνου: προσεγγίσεις και υλοποιήσεις από 4G σε 5G και πέρα [53]

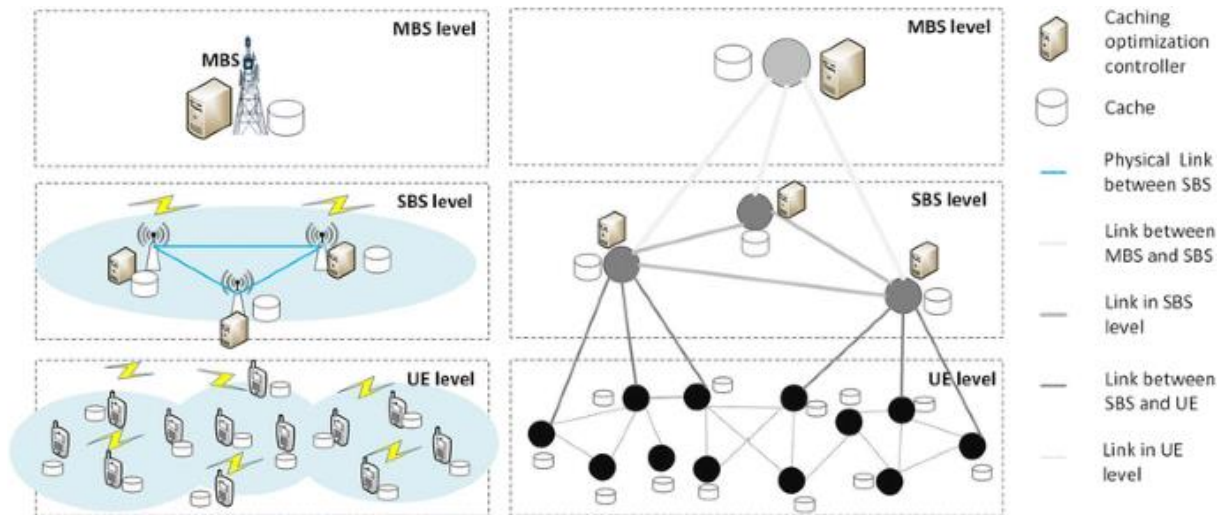
5. Energy Efficiency Maximization. Οι Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) ευθύνονται για το 2% έως 10% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας το 2007 και αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται. Επίσης, περισσότερο από το 80% των ΤΠΕ προέρχεται από δίκτυο ραδιοπρόσβασης (RAN), το οποίο αναπτύσσεται για να καλύψει το φορτίο αιχμής της κυκλοφορίας και παραμένει σε αυτό ακόμη και αν το φορτίο είναι ελαφρύ. Με κίνητρο την εξοικονόμηση ενέργειας για την πράσινη επικοινωνία, οι προδιαγραφές 5G απαιτούν ότι η χρήση ενέργειας πρέπει να μειωθεί στο 10% τοις εκατό των παραδοσιακών δικτύων 4G/LTE. Αυτός ο στόχος μπορεί να επιτευχθεί με τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας των σταθμών βάσης και των φορητών συσκευών. Πολλοί ερευνητές ερεύνησαν τη χρήση της θεωρίας βαθιάς μάθησης για την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας στα ασύρματα δίκτυα 5G. Για παράδειγμα, πρότειναν μια στρατηγική ενεργοποίησης σταθμών βάσης μικρών κυψελών (SBSs) βασισμένη στη μάθηση βαθιάς ενίσχυσης για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας χωρίς να συνυπολογίζεται η ποιότητα της υπηρεσίας. Ειδικότερα, το πρόβλημα ενεργοποίησης/απενεργοποίησης του SBS διαμορφώνεται σε μια διαδικασία απόφασης Markov και επιλύεται με χρήση DRL. Τα δίκτυα έχουν δύο κρυφά στρώματα με αριθμό νευρώνων 200 και 100, αντίστοιχα.



Σχήμα 5.8: Οι τεχνικές 5G έχουν σαφή αντίκτυπο στην ενεργειακή απόδοση [54]

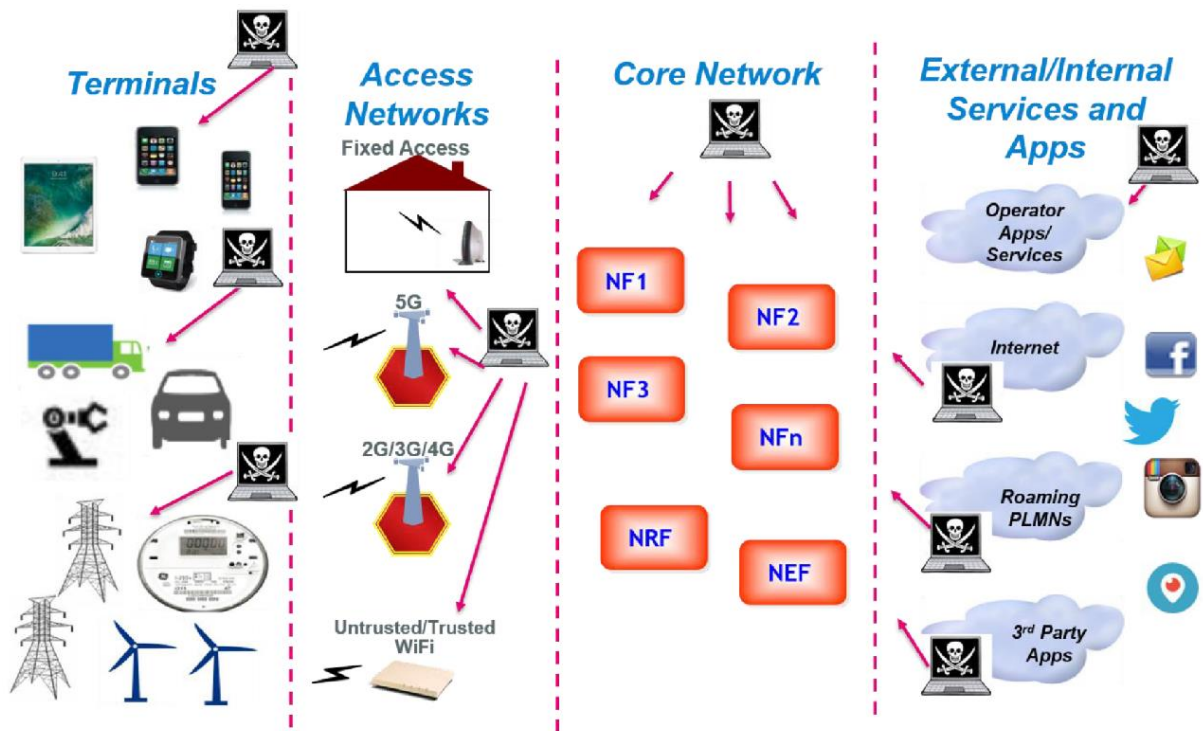
Η μηχανική μάθηση/η βαθιά μάθηση μπορεί επομένως να βοηθήσει στη δημιουργία ευφυών ασύρματων δικτύων που προβλέπουν προληπτικά την κίνηση και την κινητικότητα των χρηστών και τις υπηρεσίες παράδοσης μόνο όταν ζητηθούν — μειώνοντας στη συνέχεια την κατανάλωση ενέργειας στα δίκτυα ραδιοπρόσβασης. Ερευνητές ανέπτυξαν ένα πλαίσιο ελέγχου ισχύος βαθιάς μάθησης για μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης σε δίκτυα ασύρματων παρεμβολών. Σε όλα τα προαναφερθέντα παραδείγματα, η βαθιά εκμάθηση μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας σε δίκτυα ραδιοπρόσβασης 5G.

6. 5G Slicing and Caching. Δύο εξέχοντα χαρακτηριστικά του 5G είναι ο τεμαχισμός δικτύου και η προσωρινή αποθήκευση. Η πρώτη επιτρέπει στους χειριστές να παρέχουν διαφορετικούς τύπους υπηρεσιών μέσω της ίδιας υποδομής δικτύου. Το τελευταίο προβλέπει το περιεχόμενο που μπορεί να ζητήσουν οι χρήστες για αποτελεσματική χρήση της αποθήκευσης του σταθμού βάσης. Έτσι, το 5G απαιτεί ακριβείς προβλέψεις των απαραίτητων πόρων σε ένα κομμάτι και του μελλοντικού περιεχομένου των χρηστών. Αρκετές ερευνητικές εργασίες έχουν διερευνήσει την παροχή πόρων 5G και την προσωρινή αποθήκευση χρησιμοποιώντας τη θεωρία της μηχανικής μάθησης/ βαθιάς μάθησης. Υπάρχουν αλγόριθμοι που προβλέπουν τη διανομή αιτημάτων περιεχομένου για κάθε χρήστη με περιορισμένες πληροφορίες για την κατάσταση του δικτύου και το περιεχόμενο χρήσης.

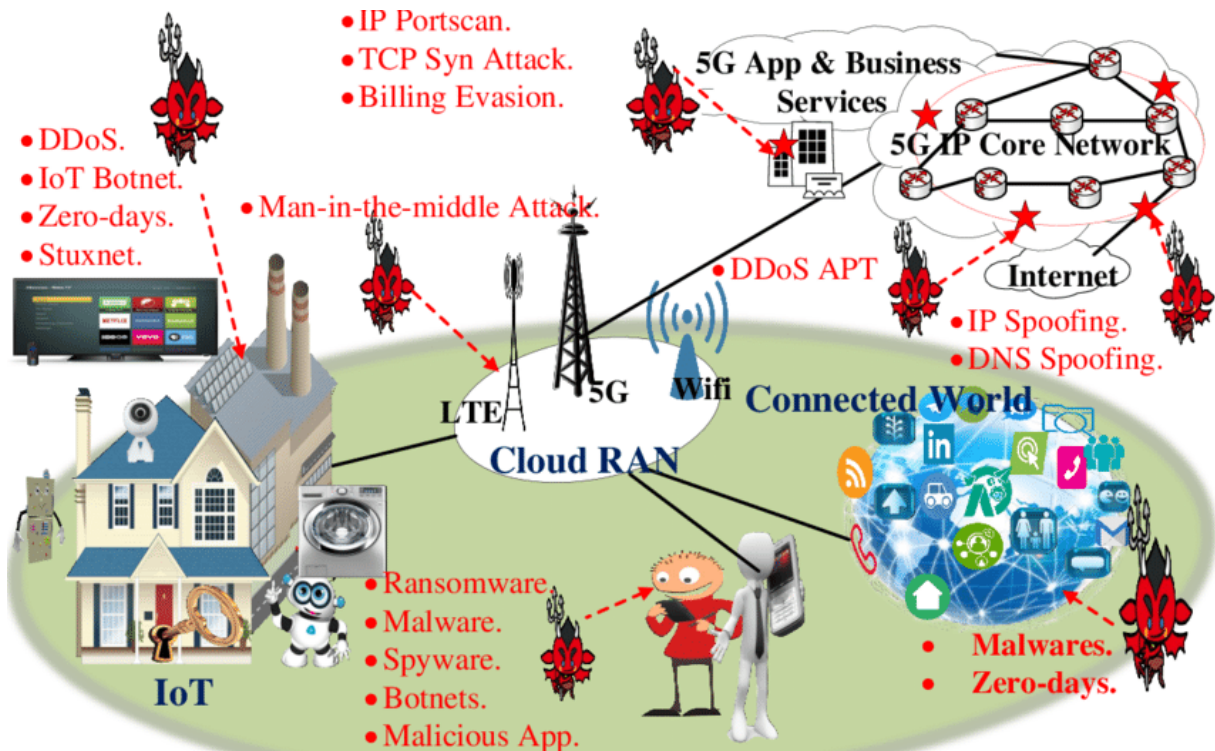


Σχήμα 5.9: Βελτιστοποίηση τεμαχισμού δικτύου με προσανατολισμό στο περιεχόμενο που βασίζεται σε υβριδικό δίκτυο ασύρματης πρόσβασης με δυνατότητα προσωρινής αποθήκευσης [55]

7. 5G Cybersecurity. Η βαθιά μάθηση έχει επίσης διερευνηθεί στην κυβερνοασφάλεια των ασύρματων επικοινωνιών 5G. Για παράδειγμα, ερευνητές πρότειναν ένα μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (UAVs) που υποστηρίζει ασύρματες επικοινωνίες 5G με βαθιά εκμάθηση ενίσχυσης έναντι επιθέσεων παρεμβολής. Τα UAV αναμετάδοσης χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία της επικοινωνίας των νόμιμων κόμβων. Για να καθοριστεί η βέλτιστη πολιτική του UAV αναμετάδοσης, οι ερευνητές πρότειναν μια εκμάθηση βαθιάς ενίσχυσης. Η μεθοδολογία μπορεί να αποκαταστήσει την επικοινωνία μεταξύ του σταθμού βάσης και των νόμιμων χρηστών, αλλά πολλά ζητήματα πρέπει να αντιμετωπιστούν για να ενεργοποιηθούν αυτές οι μέθοδοι κατά της εμπλοκής. Ακόμα, ερευνητές διερεύνησαν την χρήση της βαθιάς μάθησης σε συστήματα ασύρματων επικοινωνιών έναντι φυσικών αντίπαλων επιθέσεων. Άλλοι ερευνητές πρότειναν ένα μοντέλο μηχανικής μάθησης για έλεγχο ισχύος για το mmWave Massive MIMO ενάντια στις επιθέσεις παρεμβολής. Επίσης, άλλοι ερευνητές πρότειναν μια αρχιτεκτονική άμυνας στον κυβερνοχώρο 5G για τον εντοπισμό των απειλών στον κυβερνοχώρο στα ασύρματα δίκτυα 5G. Αυτή η αρχιτεκτονική άμυνας χρησιμοποιεί βαθιά εκμάθηση για να επιθεωρήσει την κυκλοφορία του δικτύου εξάγοντας χαρακτηριστικά από τη ροή κυκλοφορίας. [56]

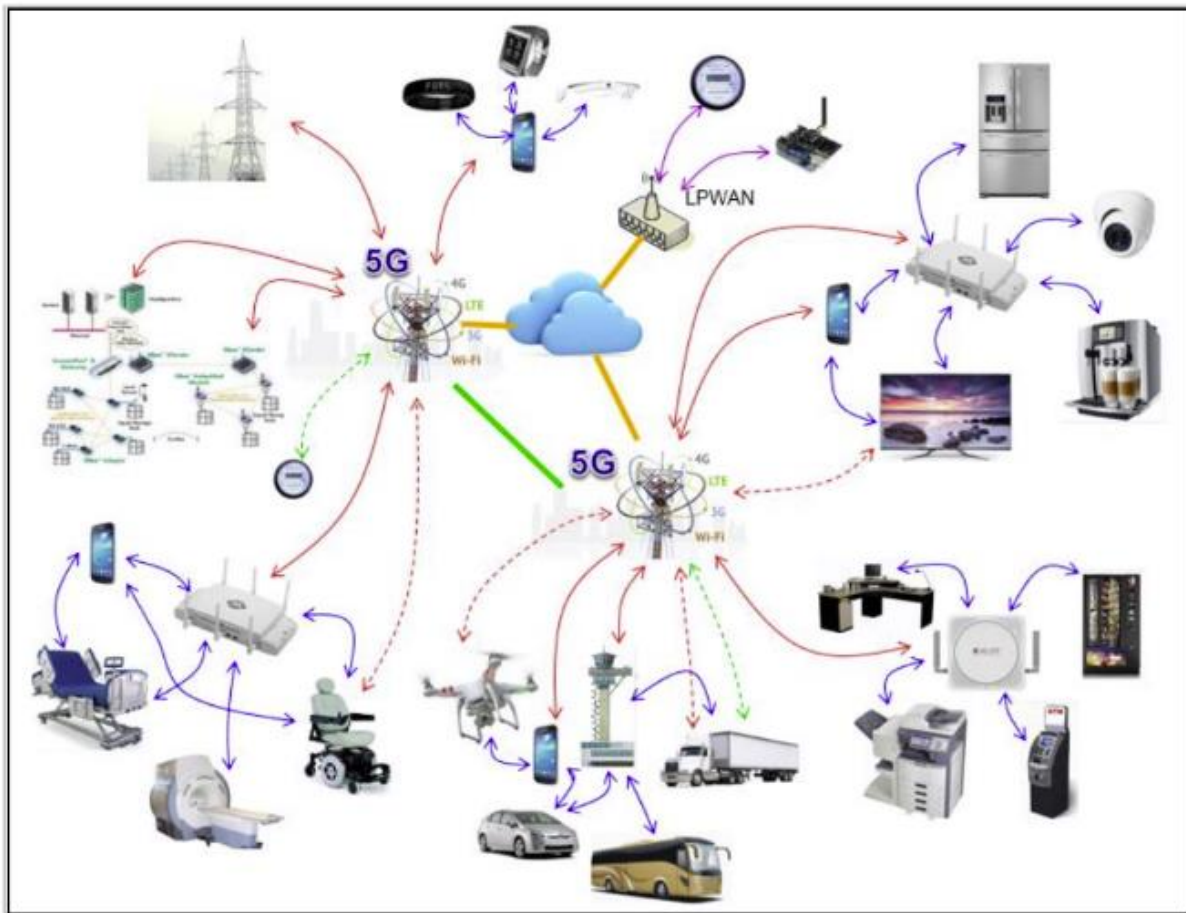


Σχήμα 5.10: Εξασφαλίζοντας το μέλλον μας στο 5G [57]



Σχήμα 5.11: Τοπίο απειλής ασφάλειας 5G για πολλές επιθέσεις στο IoT [58]

Κεφάλαιο 6ο: Η επίδραση των δικτύων 5G στη ζωή μας



Σχήμα 6.1: 5G και Internet of Things [59]

Το 5G έχει φέρει τρεις νέες πτυχές – υψηλότερη ταχύτητα, χαμηλότερη καθυστέρηση και σύνδεση πολλαπλών συσκευών τόσο ως αισθητήρες όσο και ως συσκευές IoT. Το σύστημα 5G είναι ένα μη αυτόνομο δίκτυο επειδή εξακολουθεί να χρειάζεται ενεργή υποστήριξη 4G για την αρχική σύνδεση. Χρειάζεται ακόμα λίγα χρόνια ανάπτυξης για να γίνει αυτόνομο σύστημα και θα περιμένουμε να έχουμε πολλά οφέλη για την καθημερινότητά μας. Σημαντικές βελτιώσεις θα υπάρξουν στους τομείς της τεχνητής νοημοσύνης (τεχνητής νοημοσύνης), των αυτοοδηγούμενων αυτοκινήτων, των συσκευών IoT, καθώς και της ασφάλειας. Επιτεύγματα που θα κάνουν τη ζωή ευκολότερη και πιο άνετη από πολλές απόψεις. Οι έξυπνες πόλεις είναι το μέλλον μας με την αποτελεσματική τους κυκλοφορία, τα λιγότερα ατυχήματα, τη λιγότερη ρύπανση, τις λιγότερες ευκαιρίες εγκληματικότητας και την ασφαλέστερη διαβίωση. Υπάρχουν πιθανές ανησυχίες για την υγεία με τα δίκτυα 5G, οι οποίες ελπίζουμε ότι θα αντιμετωπιστούν διεξοδικά στο εγγύς μέλλον, έτσι ώστε όλα τα οφέλη της κινητής τεχνολογίας πέμπτης γενιάς να μπορούν να εφαρμοστούν με ελάχιστους κινδύνους για την υγεία. Οι έξυπνες πόλεις βρίσκονται ήδη στη γειτονιά μας.

Με ένα νέο κύμα έξυπνων εφαρμογών που επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο προσεγγίζουμε τις καθημερινές δραστηριότητες, τους προσωπικούς βοηθούς όπως η Alexa της Amazon και το Google Home που δημιουργούν ευκαιρίες για πιο άνετη διαβίωση, τώρα η ίδια ιδέα επεκτάθηκε και στις Έξυπνες Πόλεις, οι οποίες θεωρούνται το μέλλον της αστικοποίησης. Αυτές οι πόλεις θα πρέπει να

συνδέσουν τις υποδομές και την τεχνολογία σε ένα ακόμη αόρατο επίπεδο, βελτιώνοντας τόσο την ποιότητα ζωής των πολιτών όσο και τον τρόπο που αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους. Υπάρχουν εννέα βασικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του επιπέδου ευφυΐας σε μια πόλη:

- υποδομή βασισμένη στην τεχνολογία
- φιλικές προς το περιβάλλον πρωτοβουλίες
- απρόσκοπτο σύστημα δημόσιων μεταφορών
- υπεύθυνος πολεοδομικός σχεδιασμός
- έξυπνη κυβέρνηση
- έξυπνο δίκτυο και ενεργειακές υπηρεσίες
- μηχανική μάθηση
- τηλεϊατρική και έξυπνη υγειονομική περίθαλψη
- απόρρητο προσωπικών δεδομένων.

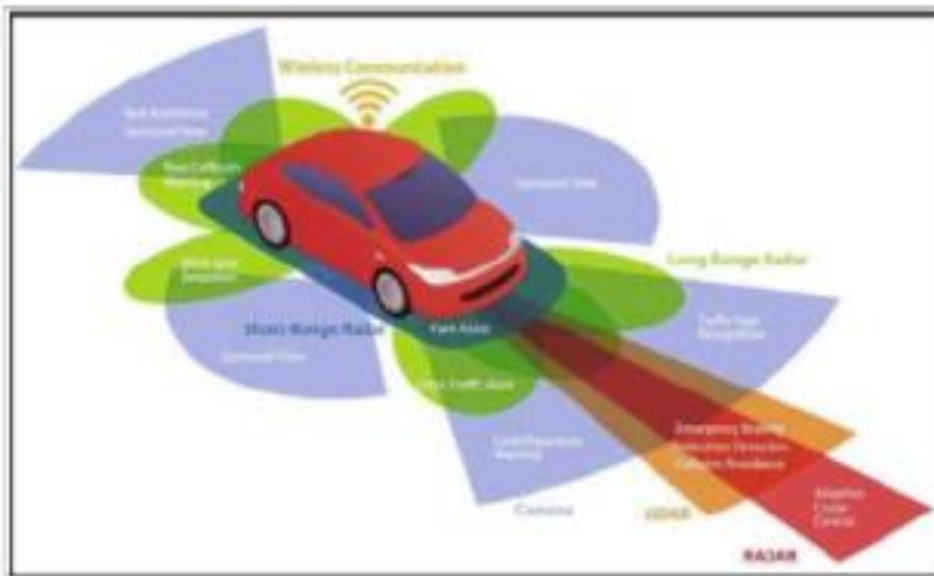
Ως τεχνολογία ενεργοποίησης για το IoT, το 5G είναι απαραίτητο για την ιδέα της έξυπνης πόλης. Θα παίξει σημαντικό ρόλο στη συλλογή πληροφοριών μέσω αισθητήρων, οι οποίες στη συνέχεια μεταδίδονται στην κεντρική θέση παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο. Η αρχιτεκτονική πολλαπλών άκρων στο υπολογιστικό νέφος (Multi-access edge computing - MEC) είναι μια άλλη τεχνολογία βασισμένη στο 5G που θα επηρεάσει τις εξελίξεις στην έξυπνη πόλη. Το MEC είναι μια αρχιτεκτονική που επιτρέπει δυνατότητες υπολογισμού και αποθήκευσης για εφαρμογές στην άκρη του εσωτερικού δικτύου, ενώ στις παραδοσιακές κεντρικές αρχιτεκτονικές δικτύων, οι καθυστερήσεις προκαλούνται από την κίνηση μια που τα δεδομένα διατρέχαν ολόκληρο το δίκτυο σε ένα κεντρικό σημείο και μετά έπρεπε να επιστρέψουν πίσω στον τελικό χρήστη.



Σχήμα 6.2: Η έξυπνη πόλη [59]

Το δίκτυο 5G θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στην ανάπτυξη των αυτοοδηγούμενων αυτοκινήτων καθιστώντας τα πιο γρήγορα, πιο έξυπνα και ασφαλέστερα. Η Tesla και η Toyota έχουν ήδη δοκιμάσει αυτόνομα οχήματα, ωστόσο εξακολουθούν να υπάρχουν κάποιες ανησυχίες εάν τα αυτοκίνητα χωρίς οδηγό θα είναι ποτέ αρκετά ασφαλή για τους επιβάτες, τους άλλους οδηγούς και τους πεζούς. Λόγω των γρήγορων αισθητήρων τους, η ιδέα είναι ότι το χρονικό πλαίσιο αντίδρασής τους θα είναι ελάχιστο,

ώστε να μπορούν να θεωρηθούν πολύ πιο ασφαλή από τα οχήματα που ελέγχονται από τον άνθρωπο. Επιπλέον, τα αυτόνομα αυτοκίνητα αναμένεται να λύσουν προβλήματα με τη στάθμευση, να βελτιώσουν την ασφάλεια της κυκλοφορίας, καθιστώντας την ταχύτερη, ελεγχόμενη και πιο αποτελεσματική. Αυτές οι αλλαγές αναμένεται να επηρεάσουν την υπόλοιπη οικονομία. Η Intel και η Qualcomm αναπτύσσουν μικροτσίπ που μετατρέπουν τα αυτόνομα αυτοκίνητα σε κινητά κέντρα δεδομένων που λαμβάνουν σύνθετες αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο. Η πιθανή επικοινωνία θα πραγματοποιηθεί μεταξύ οχημάτων και υποδομών, οχημάτων και δικτύου, οχημάτων και πεζών, οχημάτων και οχημάτων. Τα αυτόνομα οχήματα χρησιμοποιούν ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών, όπως ραντάρ, κάμερες, υπερήχους και κεραίες ραδιοφώνου για την ασφαλή πλοήγηση στους δρόμους μας. Όλη η επικοινωνία θα πραγματοποιηθεί μέσω μεταφοράς δεδομένων του υπολογιστικού νέφους.



Σχήμα 6.3: Αυτοκινούμενο Όχημα και 5G [59]

Η ασύρματη τεχνολογία πέμπτης γενιάς θα συνδέσει τα πάντα γύρω μας με ένα εξαιρετικά γρήγορο, εξαιρετικά αξιόπιστο και πλήρως αποκριτικό δίκτυο. Gadgets IoT – συσκευές που είναι ειδικά συνδεδεμένες μέσω εφαρμογών για κινητές συσκευές στο Διαδίκτυο δίνουν στα άτομα περισσότερο έλεγχο για το τι συμβαίνει γύρω τους. Το IoT περιλαμβάνει συσκευές παρακολούθησης μωρών, έξυπνα συστήματα ασφαλείας, έξυπνους θερμοστάτες, έξυπνες οικιακές συσκευές, αισθητήρες κίνησης και πολλά άλλα, τα οποία μπορούν να ελεγχθούν από οπουδήποτε στον κόσμο χρησιμοποιώντας ένα έξυπνο τηλέφωνο. Αυτές οι συσκευές θα πρέπει να κάνουν τη ζωή ευκολότερη και πιο άνετη, με τους ανθρώπους να έχουν περισσότερο χρόνο για τις οικογένειες και τους φίλους τους, τον ελεύθερο χρόνο, τα ταξίδια κ.λπ.. [59]

Σε αντίθεση με το 4G, το 5G λειτουργεί με συσκευές χαμηλής κατανάλωσης, καθιστώντας το χρήσιμο για μια ευρύτερη σειρά συνδεδεμένων προϊόντων. Το νέο δίκτυο ευρείας περιοχής θα επιτρέψει σε κάθε συνδεδεμένη συσκευή να συνδέεται απευθείας στο 5G, παρακάμπτοντας το Wi-Fi για πιο αξιόπιστη απόδοση. Αυτό σημαίνει επίσης ότι όλες οι συσκευές θα μπορούν να συνδέονται χρησιμοποιώντας το ίδιο πρωτόκολλο για να αρχίσουν να αλληλεπιδρούν πιο αποτελεσματικά.



Σχήμα 6.4: 5G στο Alba Iulia Smart City [60]

Η Alba Iulia Smart City έχει αναπτυχθεί στην πρώτη έξυπνη πόλη της Ρουμανίας, με την τεχνολογία 5G να βοηθάει στην παρακολούθηση της κυκλοφορίας των οχημάτων στους δρόμους της πόλης, στη χρήση αισθητήρων στάθμευσης και στην έξυπνη διαχείριση απορριμμάτων στη ρουμανική πόλη. [60]

Τα έξυπνα εργοστάσια θα ενεργοποιηθούν επίσης από το 5G και μπορεί να βελτιώσει τον έλεγχο σε ένα εργοστασιακό περιβάλλον σε μεγάλη κλίμακα συμπεριλαμβανομένων περισσότερων ρομπότ στις γραμμές παραγωγής, καλύτερη παρακολούθηση της λειτουργίας του εργοστασίου για έλεγχο επάρκειας προμηθειών, χρήση drones και αυτόνομων οχημάτων εντός εργοστασίου. Θα επιτρέψει την επικοινωνία του αυτοκινούμενου αυτοκινήτου με το περιβάλλον για αποφυγή κινδύνων και συμβάντων για την καλύτερη μεταφορά των προϊόντων. [61]

Όλοι γνωρίζουμε ότι τα έξυπνα σπίτια εξοικονομούν κόστος ενέργειας. Ωστόσο, η τεχνολογία 5G θα κάνει τη διαδικασία ακόμα καλύτερη. Υποστηρίζοντας περισσότερες συσκευές σε ένα δίκτυο, η τεχνολογία θα επιτρέπει στους χρήστες να προσθέτουν έξυπνες οικιακές συσκευές που λειτουργούν αυτόματα για τη διαχείριση της χρήσης ενέργειας χωρίς μη αυτόματο προγραμματισμό. Για παράδειγμα, η σύνδεση μετρητών υπηρεσιών σε ένα κεντρικό δίκτυο σημαίνει ότι οι προμηθευτές ενέργειας μπορούν να ανιχνεύουν και να ανταποκρίνονται σε διακυμάνσεις στη χρήση ενέργειας. Αυτό το νέο δίκτυο θα μπορεί επίσης να κάνει πράγματα όπως ο γρήγορος εντοπισμός διαρροής αερίου και η αποστολή κλήσης έκτακτης ανάγκης.

Η χαμηλότερη καθυστέρηση και οι πιο αξιόπιστες συνδέσεις θα κάνουν τις έξυπνες οικιακές συσκευές, όπως τα κουδούνια και τις κάμερες, πολύ πιο χρήσιμες, καθώς και θα διατηρήσουν τα πάντα στο σπίτι συνδεδεμένα ανεξάρτητα από το πόσο άνθρωποι χρησιμοποιούν το Διαδίκτυο ταυτόχρονα. Οι μεγαλύτερες ταχύτητες σημαίνουν ότι οι χρήστες μπορούν γρήγορα να επωφεληθούν από τα δεδομένα που παρέχουν οι έξυπνες συσκευές τους, όπως οι αισθητήρες χρήσης νερού, για να προσαρμόσουν τη συμπεριφορά τους.

Με τις δυνατότητες που προσφέρουν τα δίκτυα πέμπτης γενιάς είναι εφικτή η εξατομικευμένη λειτουργία των «έξυπνων» οικιακών συσκευών και η αναβάθμιση της εμπειρίας ψυχαγωγίας στο σπίτι. Οι αλλαγές που αναμένονται στο «έξυπνο» σπίτι, θα βελτιώσουν θεαματικά την καθημερινότητα, με το

5G να συνδυάζει όλες τις διαφορετικές τεχνολογίες αιχμής, από τις ευρυζωνικές επικοινωνίες μέχρι την τεχνητή νοημοσύνη για να διασυνδέσει σε πραγματικό χρόνο, δισεκατομμύρια ανθρώπους, συσκευές, υπηρεσίες κι αντικείμενα.

Θα μπορούμε να ξυπνάμε το πρωί σε έναν προκαθορισμένο χρόνο και με τον τρόπο που έχουμε ορίσει. Μόλις ξυπνάμε, θα μας παρέχονται πληροφορίες, όπως εάν πρέπει να ξεκινήσουμε νωρίτερα για τη δουλειά, γιατί έχει «κίνηση» στο δρόμο, τι καιρό θα κάνει, ποιες είναι οι συναντήσεις της ημέρας, ποιες ελλείψεις έχει το ψυγείο, τι έχουμε ξεχάσει να παραγγείλουμε και τόσα άλλα. Ναι, το 5G θα αλλάξει τον κόσμο μέσα από τις εντυπωσιακές εφαρμογές του στο σπίτι, αλλά και την ψυχαγωγία. Στον προσωπικό του χώρο, ο καθένας από εμάς έχει τις δικές του ανάγκες και προτιμήσεις, από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος μέχρι την ένταση του φωτισμού, ώστε να νιώθει άνετα και χαλαρά στον μικρόκοσμό του. Χάρη στο 5G, στο εγγύς μέλλον, θα υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας μιας ψηφιακής φουσαλίδας με παραμετροποιημένες τις λειτουργίες και τις ρυθμίσεις των συσκευών, η οποία θα μπορεί να μας «ακολουθεί» στο σπίτι, στο δρόμο, στη δουλειά, στα ταξίδια, δημιουργώντας ένα οικείο μικρόκοσμο.

Το 5G φέρνει μια πραγματική «επανάσταση» στην παρακολούθηση αθλητικών γεγονότων. Για παράδειγμα, και τι δεν θα δίναμε να ήμασταν σε έναν μεγάλο τελικό. Σύντομα, θα μπορούμε να επιλέξουμε τη θέση του γηπέδου απ' όπου θα θέλαμε να δούμε το παιχνίδι, από τον καναπέ μας. Οι κάμερες με δυνατότητα 5G εξαλείφουν την ανάγκη χρήσης καλωδίων, διευκολύνοντας την κάλυψη αθλημάτων που λαμβάνουν χώρα σε μεγάλη περιοχή, θα βρίσκονται παντού σε κάθε σημείο του αγωνιστικού χώρου, δίνοντάς μας απίστευτες οπτικές. Η αθλητική μετάδοση είναι αναμφισβήτητη η πιο ανεπτυγμένη περίπτωση χρήσης για το 5G μέχρι σήμερα, με έτοιμες καινοτομίες που οδηγούν στην αποτελεσματικότητα και ξεκλειδώνουν μια σειρά από επιλογές δημιουργικότητας. Η Fox Sports δοκίμασε το 5G στο US Open του γκολφ (με τις Intel, AT&T και Ericsson) επιτρέποντας στην ομάδα της να καλύψει μεγαλύτερο μέρος του μαθήματος, ενώ το 5G χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή ορισμένων γεγονότων στους Χειμερινούς Ολυμπιακούς Αγώνες του 2018. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, το BT Sport μπορεί να συμμετάσχει στους οπαδούς του ποδοσφαίρου στην παμπ πριν από τον αγώνα, να ταξιδέψει με το λεωφορείο της ομάδας, να απαθανατίσει τον αγώνα και να κάνει συνεντεύξεις μετά τον αγώνα χρησιμοποιώντας την ίδια κάμερα.

Εν τω μεταξύ, η απομακρυσμένη παραγωγή με δυνατότητα 5G επιτρέπει την αποστολή ροών βίντεο πίσω σε έναν κεντρικό κόμβο, αντί σε ένα εξωτερικό φορητό εκπομπής. Αυτό μειώνει μαζικά το κόστος και επιτρέπει στις ομάδες παραγωγής να εργάζονται σε πολλαπλές εκδηλώσεις σε μία μόνο ημέρα. Ήδη, εταιρείες όπως η Verizon και η Sony έχουν ενώσει τις δυνάμεις τους για να δείξουν πώς το 5G μπορεί να βελτιώσει τις ζωντανές αθλητικές μεταδόσεις. [62]

Επιπλέον, στο άμεσο μέλλον, θα είναι εφικτή κι η εμπειρία εμβύθισης (immersive sport) με ολογραφική προβολή των αθλητών, των γηπέδων και των σταδίων μέσα στο σαλόνι, μπροστά στο τραπέζι μας.

Ήδη, η πρώτη ζωντανή τηλεοπτική μετάδοση μέσω δικτύου πέμπτης γενιάς στην Ελλάδα, πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του τελικού Κυπέλλου Ελλάδος το 2021. Η COSMOTE TV προχώρησε σε πιλοτική εφαρμογή που περιελάμβανε την απομακρυσμένη διαχείριση 2 ρομποτικών καμερών και τη μετάδοση εικόνας και ήχου, μέσω COSMOTE 5G, σε απόλυτο συγχρονισμό, χωρίς καμία καθυστέρηση.

Η συνδεσιμότητα είναι ολοένα και πιο σημαντική στα αθλητικά γεγονότα, με, για παράδειγμα, τον μέσο αγώνα της Bundesliga να προσελκύει 43.000 θεατές, οι οποίοι καταναλώνουν κατά μέσο όρο 500 GB, αριθμός που έχει αυξηθεί κατά 50 τοις εκατό τους τελευταίους 12 μήνες.

Εξαιτίας αυτού, ορισμένοι αθλητικοί οργανισμοί φοβούνται ότι οι θεατές θα μείνουν στο σπίτι εάν δεν μπορούν να παραμείνουν συνδεδεμένοι. Ωστόσο, τα υπάρχοντα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και Wi-Fi δεν διαθέτουν την ικανότητα για τέτοια πυκνοκατοικημένα περιβάλλοντα, κάτι που είναι εφικτό με το 5G. Ήδη υπάρχει διαθέσιμότητα 5G σε επιλεγμένα στάδια του NFL στις ΗΠΑ.

Αυτό όχι μόνο θα αυξήσει την ικανοποίηση των θαυμαστών, αλλά θα επιτρέψει και νέες εμπειρίες. Η γερμανική FA σχεδιάζει να επιτρέψει στους θαυμαστές να βλέπουν πληροφορίες δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, όπως το πόσο γρήγορα ένας παίκτης κάνει σπριντ, χρησιμοποιώντας την Επαυξημένη Πραγματικότητα.

Το 5G θα αλλάξει θεμελιωδώς τα πάντα σχετικά με τον τρόπο δημιουργίας, διανομής και κατανάλωσης των μέσων ψυχαγωγίας. Για παράδειγμα, μεταδόθηκε μια συναυλία επαυξημένης πραγματικότητας (AR) της Βασίλης 360 μοιρών από τον σταθμό New Street του Birmingham στο Εδιμβούργο και το Λίβερπουλ. Τα μέλη του κοινού στο Εδιμβούργο και το Λίβερπουλ θα μπορούσαν να παρακολουθήσουν τη συναυλία σε συσκευές Samsung Galaxy Fold 5G και γυαλιά AR.

Σε μία άλλη περίπτωση, η Verizon παρουσίασε την τεχνολογία 5G της σε απόδοση εφέ σε πραγματικό χρόνο από το Star Wars: The Rise of Skywalker. Το δίκτυο συνεργάστηκε με το StudioLAB των Walt Disney Studios για ένα demo στο afterparty της πρεμιέρας στο Χόλιγουντ, όπου οι επισκέπτες μπορούσαν να αλληλεπιδράσουν με τους στρατιώτες των Sith σε πραγματικό χρόνο.

Δύο ηθοποιοί έπαιξαν τους στρατιώτες που εργάζονταν σε μια απομακρυσμένη τοποθεσία 15 μίλια μακριά. Όσοι συμμετείχαν στο demo μπορούσαν να πλησιάσουν μια οθόνη και να αλληλεπιδράσουν με τους δύο στρατιώτες των Sith. Οι στρατιώτες ήταν σε θέση να αντιδράσουν σε πραγματικό χρόνο. [63]

Επίσης το cloud gaming, δίνει τη δυνατότητα να παίξει κάποιος σε οποιαδήποτε συσκευή ένα game που δεν «τρέχει» τοπικά στο δίσκο του, το AR gaming, όπου ο πραγματικός κόσμος «μεταμορφώνεται» σε ψηφιακή πίστα, την δυνατότητα αυτονομίας που θα αποκτήσουν άτομα με αναπηρία, το online shopping με την live δοκιμή από το σπίτι σαν να βρίσκεται ο πελάτης στο κατάστημα, δοκιμάζοντας ρούχα και παπούτσια και νιώθοντας την υφή των υλικών αλλά και το Διαδίκτυο των Αισθήσεων (Internet of Senses), το οποίο φιλοδοξεί να μεταφέρει μυρωδιές, γεύσεις και την αίσθηση της επαφής. Θα μπορούμε δηλαδή αγγίζοντας το ολόγραμμα του σκύλου μας, να νιώσουμε το τρίχωμά του! [64], [65]

Παρακάτω περιγράφονται περιπτώσεις χρήσης των νέων δικτύων Πέμπτης Γενιάς.

6.1 Λιμάνι του Αμβούργου

Το λιμάνι του Αμβούργου αποτελεί το μεγαλύτερο θαλάσσιο λιμάνι της Γερμανίας, το τρίτο μεγαλύτερο λιμάνι εμπορευματοκιβωτίων στην Ευρώπη και 17ο στη λίστα με τα μεγαλύτερα λιμάνια εμπορευματοκιβωτίων στον κόσμο. Στο λιμάνι του Αμβούργου, η Λιμενική Αρχή του Αμβούργου (HPA), η Deutsche Telekom και η Nokia δοκίμασαν τις νέες δυνατότητες του προτύπου 5G με διαφορετικές εφαρμογές. Από τον Ιανουάριο του 2018 έως τον Ιούνιο του 2019, η έκταση περίπου 8.000 εκταρίων χρησίμευσε ως πεδίο δοκιμής για να αποδειχθεί ότι το 5G μπορεί να καλύψει τις απαιτήσεις για τους βιομηχανικούς κλάδους. Η επιτόπια δοκιμή στο πλαίσιο του έργου της EE 5G-MoNArch στο Αμβούργο ολοκληρώθηκε με επιτυχία. Δοκιμάστηκαν ποικίλες περιπτώσεις χρήσης που θέτουν πολύ διαφορετικές απαιτήσεις σε ένα δίκτυο 5G όπως διαχείριση φωτεινών σηματοδοτών, επεξεργασία δεδομένων από κινητούς αισθητήρες και εικονική πραγματικότητα.

Για παράδειγμα, η Αρχή Λιμένων επιθυμεί να χρησιμοποιήσει τις κινητές επικοινωνίες για τη διαχείριση των φωτεινών σηματοδοτών εντός της περιοχής λιμένων, καθώς και τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων περιβαλλοντικής μέτρησης σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, εφαρμογές εικονικής

πραγματικότητας μπορούν να εφαρμοστούν για την παρακολούθηση κρίσιμης υποδομής για την ενίσχυση της ασφάλειας στο λιμάνι.

Με τη χρήση εικονικών δικτύων, μέσω Network Slicing, δοκιμάστηκαν υπηρεσίες που είχαν διαφορετικές μεταξύ τους απαιτήσεις δικτύου όπως ο έλεγχος των φωτεινών σηματοδοτών και η μετάδοση περιβαλλοντικών μετρήσεων. Στα 5G δίκτυα, δεν θα υπάρχει πλέον «ένα μέγεθος δικτύου για όλους», αλλά πολλαπλά εικονικά δίκτυα που θα λειτουργούν ταυτόχρονα στην ίδια κοινή υποδομή. Κι αυτό γιατί τα slices του δικτύου που εξυπηρετούν μια υπηρεσία, μπορούν να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά προσαρμοσμένα για να ανταποκρίνονται στις συγκεκριμένες απαιτήσεις μιας συγκεκριμένης εφαρμογής ή ομάδας χρηστών. Ένα άλλο παράδειγμα είναι ένα κύκλωμα προτεραιότητας που δημιουργείται γρήγορα για υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης στην περιοχή του λιμανιού κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας.

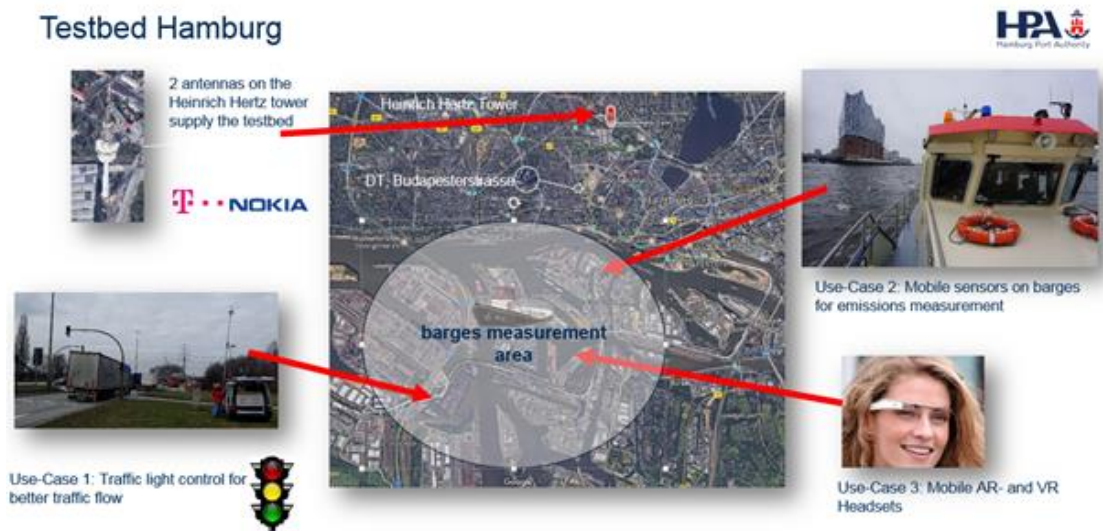


Σχήμα 6.5: 5G στο Λιμάνι του Αμβούργου [66]

Εντός του πεδίου εφαρμογής του 5G-MoNArch, η δοκιμαστική χρήση του 5G στο Έξυπνο Θαλάσσιο Λιμάνι του Αμβούργου εστιάζει σε τρεις επιλεγμένες περιπτώσεις χρήσης που μοιράζονται μια κοινή υποδομή δικτύου κινητής τηλεφωνίας. Ο ραδιοφωνικός σταθμός βάσης 5G είναι εγκατεστημένος στον τηλεοπτικό πύργο κοντά στην εμπορική έκθεση και το συνεδριακό κέντρο του Αμβούργου (εκτεταμένη κάλυψη).

Στη πρώτη περίπτωση χρήσης το Κέντρο Διαχείρισης Λιμενικών Οδών της HPA ελέγχει εξ αποστάσεως τις ροές κυκλοφορίας στο λιμάνι του Αμβούργου μέσω φαναριών συνδεδεμένων στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Αυτό θα βοηθήσει, για παράδειγμα, στην ταχύτερη και ασφαλέστερη καθοδήγηση των φορτηγών στην περιοχή του λιμανιού.

Testbed Hamburg



Σχήμα 6.6: Επισκόπηση περιπτώσεων χρήσης Smart Sea Port [67]

Για να υπάρξει ένα έξυπνο σύστημα μεταφορών (ITS) μέσω του ελέγχου φωτεινών σηματοδοτών πρέπει τα φανάρια να συνδέονται με τη διαχείριση του κεντρικού ελέγχου οδικής κυκλοφορίας του λιμανιού μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G με ένα αποκλειστικό τμήμα δικτύου. Γι' αυτό μια υπάρχουσα μονάδα ελέγχου φωτεινών σηματοδοτών είναι εξοπλισμένη με το απαραίτητο μόντεμ 5G που υποστηρίζει την κοπή δικτύου.



Σχήμα 6.7: Μετρήσεις ραδιοκάλυψης για έξυπνα φανάρια [67]

Το τμήμα 5G για τη μονάδα ελέγχου πρέπει να έχει πολύ υψηλή αξιοπιστία, καθώς μια αποτυχία σύνδεσης με τη διαχείριση του κεντρικού ελέγχου οδικής κυκλοφορίας θα σταματούσε τη σωστή λειτουργία του φαναριού. Για να διασφαλιστεί αυτή η αξιοπιστία, εφαρμόστηκε η δυνατότητα πολλαπλής συνδεσιμότητας. Με ασφαλή και αξιόπιστη σύνδεση μέσω 5G, η τροποποίηση των υπαρχόντων ή η εγκατάσταση νέων ή προσωρινών φωτεινών σηματοδοτών θα γίνει πολύ πιο εύκολη, ταχύτερη και οικονομικά αποδοτική.

Στο δεύτερη περίπτωση, γίνεται προσπάθεια βελτίωσης των λειτουργιών λιμένων χρησιμοποιώντας τεχνολογία 5G και εικονική ή επαυξημένη πραγματικότητα. Εφαρμογές επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας (AR/VR) για την ομάδα μηχανικών του λιμανιού, συνδεδεμένες μέσω κινητής ευρυζωνικότητας. το 5G-Slice για τη συσκευή AR/VR θα πρέπει να παρέχει υψηλή απόδοση δεδομένων για να επιτρέπει τη γρήγορη παράδοση τεκμηρίωσης και φωτογραφιών ή υλικού βίντεο. Μέχρι στιγμής, οι τεχνολογίες VR και AR χρησιμοποιούνται μόνο σε εσωτερικούς χώρους στο HPA. Όμως, η συντήρηση κτιρίων και τεχνικών εγκαταστάσεων καθώς και ο σχεδιασμός νέων υποδομών εντός της περιοχής του λιμανιού μπορούν να πραγματοποιηθούν πολύ πιο αποτελεσματικά και λιγότερο επιρρεπή σε σφάλματα εάν οι απαιτούμενες πληροφορίες είναι πανταχού διαθέσιμες.

Στο τρίτο παράδειγμα χρήσης, οι συνεργάτες εγκατέστησαν αισθητήρες σε τρία πλοία από τη θυγατρική της HPA Flotte Hamburg GmbH & Co. KG. Αυτοί οι κινητοί αισθητήρες επιτρέπουν μετρήσεις εκπομπών. Οι αισθητήρες περιβαλλοντικής μέτρησης που είναι εγκατεστημένοι σε τρία πλοία HPA του Flotte Hamburg παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την τρέχουσα ποιότητα του αέρα στην περιοχή του λιμανιού. Οι χρησιμοποιημένοι πρωτότυποι περιβαλλοντικοί αισθητήρες και μονάδες ελέγχου, οι οποίες δημιουργούν μια ροή δεδομένων ακατέργαστων δεδομένων μέτρησης, συνδέονται με το κέντρο δεδομένων HPA μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας 5G με ένα αποκλειστικό τμήμα δικτύου. Η επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων μέτρησης πραγματοποιείται εντός του κέντρου δεδομένων.



Σχήμα 6.8: Το πλοίο HPA σε λειτουργία, μπροστά από το κτίριο της Elbphilharmonie [67]

Το τμήμα δικτύου που χρησιμοποιείται από τον αισθητήρα και τη μονάδα ελέγχου πρέπει να παρέχει εγγυημένη χαμηλή απώλεια πακέτων για να διασφαλιστεί ότι οι μετρήσεις παρέχονται αξιόπιστα και έγκαιρα στο κέντρο δεδομένων. Τα κινητά στοιχεία του HPA είναι ενσωματωμένα με ασφάλεια στο ενδοδίκτυο HPA χωρίς χρήση VPN (Virtual Private Network) τούνελ.

Σήμερα, ορισμένα πλοία HPA συνδέονται μέσω σύνδεσης LTE και ασφαλών VPN τούνελ, ωστόσο, η διαμόρφωση και η συντήρηση αυτών των συνδέσεων και η ρύθμιση των συνδέσεων για νέους αισθητήρες απαιτεί κάποια προσπάθεια και στερείται ευελιξίας και αυτές οι συνδέσεις δεν είναι πάντα επαρκείς αξιόπistos. Εάν η δοκιμαστική κλίση δείξει ότι ένα αντίστοιχο τμήμα δικτύου μπορεί να παρέχει τη συνδεσιμότητα παντού, αξιόπιστα και αποτελεσματικά, και ότι συμμορφώνεται με

συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών για τη μετάδοση πρωτογενών δεδομένων, η εγκατάσταση αισθητήρων για περιβαλλοντικές μετρήσεις, αλλά και για άλλους σκοπούς, μπορεί να γίνει ξεκάθαρα διευκολύνεται για την HPA στο μέλλον.

Το τεστ 5G στο λιμάνι του Αμβούργου αποτελεί μέρος του διετούς ερευνητικού έργου «5G-MoNArch» (5G Mobile Network Architecture για διάφορες υπηρεσίες, περιπτώσεις χρήσης και εφαρμογές στο 5G και πέρα). Ο στόχος του 5G-MoNArch είναι να εφαρμόσει στην πράξη ιδέες για την αρχιτεκτονική κινητών επικοινωνιών 5G. Ενώ το πεδίο δοκιμών στο Αμβούργο εστιάζει στην ενσωμάτωση του 5G στον έλεγχο της κυκλοφορίας και της υποδομής, ένα δεύτερο πεδίο δοκιμής του έργου στο Τορίνο ασχολείται με εφαρμογές πολυμέσων. Το ερευνητικό πρόγραμμα πλαίσιο Horizon 2020 της Ευρωπαϊκής Ένωσης χρηματοδοτεί το 5G-MoNArch ως έργο Φάσης II της Σύμπραξης Δημόσιου Ιδιωτικού Τομέα 5G Infrastructure. [67]

6.2 Εφαρμογή στο Palazzo Madama του Τορίνο

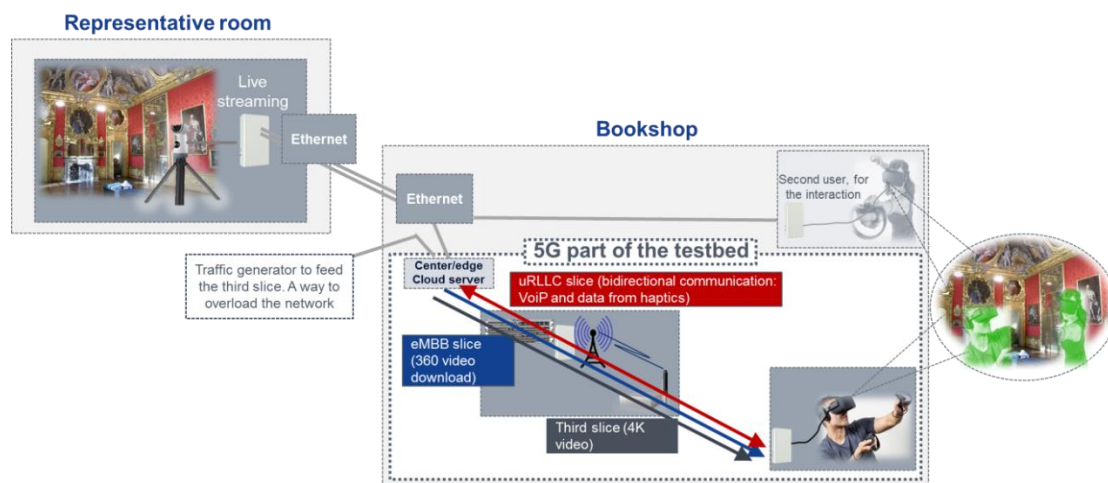
Το δοκιμαστικό σενάριο της Τουριστικής Πόλης αντιπροσωπεύει μια περίπτωση χρήσης μελλοντικών προηγμένων υπηρεσιών πολυμέσων και ψυχαγωγίας σε ένα περιβάλλον όπως ένα τουριστικό αξιοθέατο (μουσείο, ιστορικό παλάτι κ.λπ.), ιδιαίτερα κατάλληλο για αυτού του είδους τις υπηρεσίες. Πιο αναλυτικά, ασχολείται με την παροχή διαδραστικού περιεχομένου VR στους τελικούς χρήστες που επισκέπτονται τον τουριστικό χώρο. Για να παρέχουν μια ελκυστική και καθηλωτική εμπειρία χρήστη, τέτοιοι τύποι εφαρμογών απαιτούν την ανάπτυξη αποκλειστικών τμημάτων ικανών να παρέχουν περιεχόμενο με υψηλή ταχύτητα και χαμηλές καθυστερήσεις, σε συνδυασμό με την παροχή από την πλευρά της υποδομής της απαραίτητης ελαστικότητας για εκμετάλλευση και προσαρμογή στη διαθέσιμη υπολογιστική και πόρων δικτύου σύμφωνα με τις συγκεκριμένες ανάγκες.

Ο απώτερος στόχος του δοκιμαστικού σεναρίου της τουριστικής πόλης είναι να βελτιώσει την εμπειρία χρήστη των τουριστών που επισκέπτονται το Palazzo Madama. Παρέχοντας στους τουρίστες εφαρμογές VR, θα μπορούν να λάβουν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την ιστορία και άλλες πληροφορίες του κτιρίου με διαδραστικό τρόπο. Δεδομένων των ειδικών απαιτήσεων αυτού του τύπου εφαρμογών όσον αφορά τη διεκπεραίωση και τον λανθάνοντα χρόνο, αυτή η λειτουργία δεν θα μπορούσε να προσφερθεί χωρίς λειτουργίες 5G που αναπτύχθηκαν από το 5G-MoNArch όπως:

- 1) τεμαχισμός δικτύου προκειμένου να παρέχονται οι προσαρμοσμένες απαιτήσεις που απαιτούνται για την εικονική πραγματικότητα,
- 2) Multi-access edge computing (MEC – υπολογιστικό νέφος πολλαπλής πρόσβασης στα άκρα) προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις λανθάνοντος χρόνου των απτικών επικοινωνιών γιατί φέρνει τους τεχνολογικούς πόρους πιο κοντά στον τελικό χρήστη. Τα δεδομένα υποβάλλονται σε επεξεργασία και αποθηκεύονται στην άκρη του δικτύου, όχι σε κάποιο μακρινό κέντρο δεδομένων, μειώνοντας σημαντικά την καθυστέρηση, και
- 3) ελαστικότητα πόρων προκειμένου να ικανοποιηθούν όλες αυτές οι απαιτήσεις με αποτελεσματικό τρόπο.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά που αξιολογήθηκαν στο σενάριο ήταν η ανάπτυξη διαφορετικών τμημάτων προσαρμοσμένων σε συγκεκριμένες απαιτήσεις. Για παράδειγμα, στο πλαίσιο της εφαρμογής VR που αναφέρθηκε παραπάνω, ένα τμήμα δικτύου αφιερώθηκε στη μεταφορά περιεχομένου πολυμέσων, ενώ ένα άλλο τμήμα με αποδοτικό λανθάνοντα χρόνο στην αλληλεπίδραση με τον κόσμο της εικονικής πραγματικότητας και άλλους χρήστες μέσω, για παράδειγμα, απτικής ή/και φωνής διαβιβάσεις. Επιπλέον, μπορούν να δημιουργηθούν περαιτέρω τμήματα για την υποστήριξη άλλων υπηρεσιών/εφαρμογών (π.χ. τύπος eMBB) που μπορεί να συνυπάρχουν με τα τμήματα που χρησιμοποιούνται για την παροχή της εφαρμογής VR.

Η περίπτωση γενικής χρήσης είναι ένας εικονικός οδηγός πολλαπλών χρηστών σε πραγματικό χρόνο σε μια από τις πολλές αντιπροσωπευτικές αίθουσες του Palazzo Madama, όπου έχει τοποθετηθεί μια βιντεοκάμερα 360° για να παρέχει μια ροή βίντεο σε πραγματικό χρόνο του δωματίου. Σε ξεχωριστή τοποθεσία στον δημόσιο χώρο του μουσείου, ένα δωμάτιο παρουσίασης έχει αναπτυχθεί ώστε να είναι προσβάσιμο με φυσική παρουσία στους τελικούς χρήστες. Επιλέχθηκε να είναι η έξοδος του μουσείου μπροστά από το βιβλιοπωλείο, καθώς βρίσκεται σε καλή τοποθεσία για την επίδειξη στους επισκέπτες που μόλις ολοκλήρωσαν την επίσκεψη στο Palazzo. Σε αυτή την τοποθεσία, ένας χρήστης (ο επισκέπτης) μπορεί να συνδεθεί μέσω μιας διεπαφής ραδιοφώνου 5G και να αλληλεπιδρά με έναν δεύτερο χρήστη (σε ρόλο ξεναγού) που είναι συνδεδεμένος μέσω μιας κανονικής σύνδεσης Ethernet. Και οι δύο χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν ακουστικά Oculus Rift VR συν χειριστήρια αφής Oculus για να ελέγχουν εικονικά είδωλα που θα εμφανίζονται σε περιβάλλον 360° σε πραγματικό χρόνο, που καταγράφονται από τη βιντεοκάμερα 360° στο αντιπροσωπευτικό δωμάτιο. Το σενάριο θα περιλαμβάνει άμεση φωνητική επικοινωνία μεταξύ των δύο χρηστών (VoIP) καθώς και συντονισμένο συνεργατικό έλεγχο τρισδιάστατων σαρωμένων αναπαραστάσεων πολιτιστικών αντικειμένων στην αίθουσα αντιπροσωπείας. Για να παρέχουν μια πολύ καθηλωτική εμπειρία, οι χρήστες μπορούν επίσης να μετακινούνται στο εικονικό περιβάλλον μέσω φυσικών κινήσεων (απαιτείται επιφάνεια 3 τετραγωνικών μέτρων για κάθε χρήστη για βέλτιστη κάλυψη χώρου).



Σχήμα 6.9: Η εφαρμογή της Τουριστικής Πόλης [68]

Το σύστημα λειτουργεί ως σύστημα πελάτη-διακομιστή χρησιμοποιώντας 2 slice: 1 slice μεταφέρει τη ροή βίντεο 360° από το αντιπροσωπευτικό δωμάτιο, ενώ το δεύτερο τμήμα χειρίζεται όλες τις άλλες επικοινωνίες πελάτη-διακομιστή (VoIP, αλληλεπίδραση πολλών χρηστών, μοντέλο 3D εγγραφή και έλεγχος κ.λπ.). Ένα τρίτο τμήμα που σχετίζεται με τον τύπο επισκεψιμότητας eMBB (δηλαδή λήψη ενός βίντεο 4K) θα μπορούσε να προστεθεί δυναμικά. [68]

6.3 Μαστογραφίες εξ αποστάσεως στη Σουηδία

Οι εξετάσεις μαστογραφίας ανιχνεύουν δύο στις τρεις περιπτώσεις καρκίνου του μαστού. Αν και ο καρκίνος του μαστού είναι πιο συχνός σήμερα, η θνησιμότητα μειώνεται κατά περίπου 20 τοις εκατό χάρη στον μαστογραφικό έλεγχο. Αλλά πολλοί εξακολουθούν να μην κάνουν τους απαραίτητους ελέγχους με κυριότερο λόγο τις μεγάλες αποστάσεις. Με το 5G, η μαστογραφία θα μπορεί να πραγματοποιηθεί στην περιοχή διαμονής των γυναικών. Στη Σουηδία πραγματοποιούνται περίπου 700.000 μαστογραφίες κάθε χρόνο. Συχνά, για να εξεταστεί μια γυναίκα πρέπει να διανύσει μεγάλες αποστάσεις. Ως αποτέλεσμα, μία στις πέντε γυναίκες δεν πάει στο κρίσιμο ραντεβού μαστογραφίας της.

Ο βασικός λόγος που οι μαστογραφίες πραγματοποιούνται στα νοσοκομεία είναι γιατί οι επεξεργασμένες εικόνες των εξετάσεων φέρουν τόσο μεγάλο όγκο δεδομένων που δεν είναι δυνατόν να μεταδοθούν μέσω ενός συμβατικού δικτύου. Οι υφιστάμενες υποδομές δεν το αντέχουν.

Εδώ είναι που κάνει τη διαφορά το 5G: ένα βαν κατάλληλα εξοπλισμένο για μαστογραφίες φέρνει το περιβάλλον της εξέτασης στην περιοχή των πολιτών. Οι εικόνες της εξέτασης μεταδίδονται άμεσα μέσω του δικτύου 5G, μειώνοντας σημαντικά το χρόνο ταξιδιού και αναμονής πολλών γυναικών που, υπό διαφορετικές συνθήκες, απλά δεν θα πήγαιναν στο ραντεβού τους για την εξέταση. [69]

6.4 Έξυπνα κράνη για έξυπνη ασφάλεια στην Ιταλία

Bari Matera 5G: Η TIM, η Fastweb και η Huawei παρουσίασαν τις πρώτες εφαρμογές πεδίου που βασίζονται στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας πέμπτης γενιάς. Αποτελούν κάποιες από τις πρώτες συγκεκριμένες εφαρμογές του 5G στον τουριστικό τομέα και στη Βιομηχανία 4.0. Οι εξ αποστάσεως επισκέψεις στους αρχαιολογικούς χώρους της Ματέρα με χρήση εικονικής πραγματικότητας και η συντήρηση ναυτικών μηχανών στο Μπάρι με την υποστήριξη της Επαυξημένης Πραγματικότητας και της Επαυξημένη Πραγματικότητα στο πλαίσιο του πειραματισμού της τεχνολογίας 5G. Το Μπάρι και η Ματέρα είναι μεταξύ των πρώτων «5G πόλεων» στην Ευρώπη για καινοτόμες υπηρεσίες αφιερωμένες στους τομείς της υγείας, του πολιτισμού, της αυτοκινητοβιομηχανίας και της δημόσιας ασφάλειας

Το πρώτο σενάριο πραγματικής χρήσης από άκρο σε άκρο παρουσιάστηκε στο Matera, το οποίο αναπτύχθηκε από την Κοινοπραξία Bari-Matera 5G με την αριστεία τοπικών συνεργατών που δραστηριοποιούνται στον τομέα της τεχνολογικής καινοτομίας και έρευνας, καθώς και τοπικών ιδρυμάτων που υποστηρίζουν την ψηφιακή τουρισμός αφιερωμένος στον εμπλουτισμό της πολιτιστικής και καλλιτεχνικής κληρονομιάς της Ματέρας, Πολιτιστικής Πρωτεύουσας της Ευρώπης 2019.

Ειδικότερα, η λύση Εικονικής Πραγματικότητας που παρουσιάστηκε από τον Giorgio Castelli, Επικεφαλής του TIM Services Innovation, επιτρέπει στους ανθρώπους να επισκέπτονται εξ αποστάσεως ορισμένα από τα κύρια τουριστικά αξιοθέατα της Matera. ο επισκέπτης, φορώντας ένα γείσο, είναι ελεύθερος να κινηθεί στους ειδικούς χώρους, να πλησιάσει τους τοίχους και να αγγίξει αντικείμενα σε μια εντελώς καινοτόμο και καθηλωτική εμπειρία. Σε αυτόν τον νέο εικονικό κόσμο, ο επισκέπτης μπορεί να συναντήσει άλλα άτομα που βρίσκονται σε διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες και να αλληλεπιδράσει μαζί τους καθώς και να ακολουθήσει τις οδηγίες που δίνει ένας πραγματικός οδηγός της Matera.

Στο Μπάρι, παρουσιάστηκε η λύση επαυξημένης πραγματικότητας για τη συντήρηση κινητήρων πλοίων που αναπτύχθηκε από την Κοινοπραξία Bari-Matera 5G από τον Michele Gramegna, Διευθυντή Βιομηχανικών Δραστηριοτήτων για την Isotta Fraschini Motori. Χάρη στη χρήση ενός Έξυπνου Κράνους και στην απόδοση υψηλού επιπέδου του δικτύου υψηλής ταχύτητας και χαμηλής καθυστέρησης, μπορεί να παρασχεθεί απομακρυσμένη βοήθεια στους εργαζόμενους που συμμετέχουν στη συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση της μηχανής ενός πλοίου, μέσω υποβοήθησης και λήψης τρισδιάστατων ενδείξεων που επικαλύπτουν την εικόνα του κινητήρα. Συνεπώς, η εφαρμογή επιτρέπει μεγαλύτερη ταχύτητα, αποτελεσματικότητα και ποιότητα των δραστηριοτήτων συντήρησης και εκπαίδευσης του προσωπικού.

Το λιμάνι του Μπάρι στην Ιταλία έχει αγκαλιάσει μια νέα τεχνολογική εξέλιξη, με άμεσο θετικό αποτέλεσμα στην ασφάλεια των εργατών που εκτελούν επικίνδυνες εργασίες. Χάρη στα έξυπνα κράνη που είναι συνδεδεμένα με 5G, τώρα μπορεί να δοθεί εξ αποστάσεως βοήθεια και καθοδήγηση στους εργάτες που κατασκευάζουν ή διορθώνουν τις μηχανές των πλοίων.

Η τρισδιάστατη χαρτογράφηση που προβάλλεται πάνω στην εικόνα της μηχανής, σε συνθήκες επαυξημένης πραγματικότητας, προσφέρει πολύτιμη καθοδήγηση κατά τη διαδικασία συναρμολόγησης, με αποτέλεσμα οι εργασίες επιδιόρθωσης ή και συντήρησης να έχουν χαμηλότερο κίνδυνο για τους ειδικούς και ταυτόχρονα να ολοκληρώνονται πολύ πιο γρήγορα και αποτελεσματικά. [70]

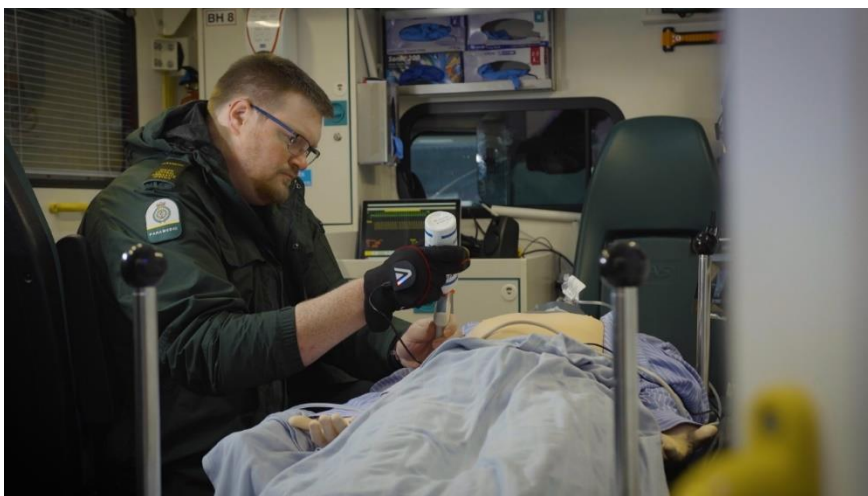
6.5 Ασθενοφόρα συνδεδεμένα με 5G στο Μπέρμινγκχαμ του Ηνωμένου Βασιλείου

Ένα σενάριο εφαρμογής στο Ηνωμένο Βασίλειο που συνδυάζει την εικονική και την επαυξημένη πραγματικότητα 5G με τη ρομποτική τεχνολογία στην υγειονομική περίθαλψη πραγματοποιήθηκε στο Μπέρμινγκχαμ, με την εταιρεία Τηλεπικοινωνιών του Ηνωμένου Βασιλείου BT να ισχυρίζεται ότι η τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να μεταμορφώσει τις υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης και να προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση κόστους μειώνοντας τον αριθμό των ταξιδιών ασθενών σε νοσοκομεία.

Για τις υπηρεσίες υγείας, κάθε δευτερόλεπτο που περνά είναι ζωτικής σημασίας, αφού το χάσιμο χρόνου μειώνει τις πιθανότητες του ασθενή ή του τραυματία να επιβιώσει. Το ίδιο και η έγκαιρη διαθεσιμότητα εξειδικευμένων χειρουργών. Μια καινοτόμα λύση έρχεται να βοηθήσει: στο Ηνωμένο Βασίλειο, ένα ασθενοφόρο συνδεδεμένο με 5G αποδεικνύει ότι η τεχνολογία πραγματικά σώζει ζωές.

Μετά την κυκλοφορία του δικτύου 5G της BT στο Μπέρμινγκχαμ, τα Πανεπιστημιακά Νοσοκομεία Birmingham NHS Foundation Trust (UHB) και η BT επιδεικνύουν σενάρια όπου η τεχνολογία θα μπορούσε να προσφέρει λύσεις στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Ο νοσηλευτής που βρίσκεται στο ασθενοφόρο που τρέχει στους δρόμους του Μπέρμινγκχαμ, είναι εξοπλισμένος με κράνος (headset) εικονικής πραγματικότητας, το οποίο μεταδίδει σε πραγματικό χρόνο εικόνες βίντεο στον αρμόδιο γιατρό που περιμένει στο νοσοκομείο. Ο χρόνος απόκρισης (latency) μεταξύ του τί βλέπει ο νοσηλευτής και ο γιατρός είναι σχεδόν μηδενικός, επιτρέποντάς τους να προσφέρουν κρίσιμη φροντίδα στον ασθενή ή τον τραυματία, χάρη στη φέτα δικτύου 5G που είναι αφιερωμένη ειδικά στις ανάγκες τους. Φορώντας ένα ειδικά εξοπλισμένο ακουστικό VR, ο κλινικός ιατρός μπορεί να οπτικοποιήσει τι ακριβώς βλέπει ο νοσηλευτής στο ασθενοφόρο. Χρησιμοποιώντας ένα joystick, μπορεί στη συνέχεια να κατευθύνει εξ αποστάσεως τον νοσηλευτή σε πραγματικό χρόνο για να εκτελέσει τυχόν απαραίτητες σαρώσεις, καθώς και να λάβουν κοντινό πλάνο των πληγών και των τραυματισμών ενός ασθενούς. Ο κλινικός ιατρός το κάνει αυτό μιλώντας στον νοσηλευτή να κοιτάξει προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση ή, στην περίπτωση σάρωσης, στέλνει σήματα ελέγχου μέσω του ζωντανού δικτύου 5G σε ένα ρομποτικό ή «απτικό» γάντι που φοράει ο νοσηλευτής.

Επιπρόσθετα, ο γιατρός μπορεί εξ αποστάσεως να καθοδηγήσει τον νοσηλευτή να πραγματοποιήσει εξετάσεις υπέρηχων (scans), μέσω ενός μοχλού που σηματοδοτεί το ρομποτικό γάντι που εφαρμόζει στο χέρι του ο νοσηλευτής. Ακόμα, στο ασθενοφόρο υπάρχει κάμερα που μεταδίδει σε υψηλή ευκρίνεια καθετί που συμβαίνει στο εσωτερικό, τον νοσηλευτή και τον ασθενή. Σε συνδυασμό με τη ζωντανή τροφοδότηση των πληροφοριών που λαμβάνονται από τα scans του ασθενή, ο γιατρός είναι σε θέση να αναγνωρίσει κρίσιμα συμπτώματα του ασθενή και να δει το ιατρικό ιστορικό του σε πραγματικό χρόνο, προσφέροντας μια πραγματικά ζωτική υπηρεσία.



Σχήμα 6.10: Έξυπνο ασθενοφόρο [71]

6.6 Αβείο – Η έξυπνη πόλη της Πορτογαλίας που τρέχει με 5G

Η πόλη του Αβείο διανύει μια περίοδο μεγάλης ψηφιακής ανάπτυξης. Η μικρή πόλη στα δυτικά παράλια της Πορτογαλίας, έχει αναλάβει τη φιλόδοξη αποστολή να γίνει μία από τις πρώτες πόλεις που υιοθετούν την τεχνολογία 5G. Το γεγονός έχει φέρει στη διάθεση του τοπικού Δήμου υποδομές για το «Διαδίκτυο των Πραγμάτων» και την τεχνολογία κοντά στους δημότες, το εργατικό δυναμικό και το πανεπιστήμιο. Στην καρδιά των νέων καινοτόμων αστικών υπηρεσιών διακίνησης (urban mobility services), περιβαλλοντικής διαχείρισης και διαχείρισης ενέργειας, βρίσκονται τεχνολογίες αιχμής, όπως μηχανική μάθηση (machine learning) και αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης.



Σχήμα 6.11: Tech Labs με το εκπαιδευτικό πλαίσιο STEAM (επιστήμη, τεχνολογία, μηχανικός, τέχνες και μαθηματικά), μέσω μεθοδολογιών Maker και ανάπτυξης έργων. [72]

Το έργο STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts & Mathematics – Επιστήμη, Τεχνολογία, Μηχανική, Τέχνες & Μαθηματικά) έφερε στην περιοχή 34 εταιρείες τεχνολογίας και πληροφορικής, οι οποίες εργοδοτούν πέραν των 1,300 υπαλλήλων και ωφελούν 300 φοιτητές μέσω σχετικών εκπαιδευτικών προγραμμάτων και τεχνικών εργαστηρίων.

Σύμφωνα με τον Δήμαρχο του Aveiro José Ribau Esteves, το έργο αυτό αποτελεί μια πολύ σημαντική ευκαιρία για την υποστήριξη της μετάβασης της πόλης του Αβείο σε μια οικονομία βασισμένη στη γνώση. Κι αυτό με στόχο να μπορεί να ανταγωνιστεί τα ισχυρότερα εθνικά οικονομικά κέντρα, να μπορεί να προσελκύσει και να διατηρήσει τα απαραίτητα talέντα για να αναπτυχθεί η οικονομία και να παράγει περισσότερη προστιθέμενη αξία, καθιστώντας το Aveiro μια πιο ανταγωνιστική πόλη παγκοσμίως. [73]

6.7 Γεωργικό ρομπότ για την καταπολέμηση ζιζανίων με 5G και AI

Η γεωργία είναι επίσης ένας τομέας όπου το 5G ανοίγει νέες ευκαιρίες. Οι εταιρείες Ekobot και Telia δοκίμασαν τη χρήση μιας σύνδεσης 5G με ένα αυτόνομο ρομπότ για τον έλεγχο των ζιζανίων, κάτι που μπορεί να σημαίνει τόσο αποτελεσματικότητα στην καταπολέμηση των ζιζανίων όσο και περιβαλλοντικά οφέλη.

Μαζί με διάφορους συνεργάτες, η Telia διερευνά ενεργά πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία 5G σε διάφορους τομείς της κοινωνίας και των επιχειρήσεων. Ένα τέτοιο πιλοτικό έργο με επίκεντρο

τη γεωργία πραγματοποιήθηκε στις αρχές του καλοκαιριού του 2021 στο Brunnby Gärd έξω από το Västerås, όπου η Telia μαζί με την εταιρεία Ekobot δοκίμασαν μια σύνδεση 5G με ένα αυτόνομο ρομπότ για τον έλεγχο των ζιζανίων.

Η Ekobot ανέπτυξε το ρομπότ, ενώ η Telia συνεισφέρει στην τεχνολογία και την τεχνογνωσία 5G. Άλλοι εταίροι στο έργο ήταν το ερευνητικό ινστιτούτο RISE, καθώς και η Axis Communications, η οποία συνέβαλε στην τεχνολογία βίντεο.

Η Telia είναι ο κατάλληλος συνεργάτης για την Ekobot. Ηγούνται της επένδυσης 5G στη Σουηδία και διαθέτουν τις δεξιότητες και την τεχνολογία που απαιτούνται για τη σύνδεση, την παρακολούθηση και τον έλεγχο του ρομπότ μέσω του δικτύου 5G υπό πραγματικές συνθήκες στη γεωργία. «Με τη μοναδική γνώση της RISE στη γεωργική τεχνολογία και την τεχνολογία βίντεο Axis, μπορούμε να κάνουμε σημαντικά βήματα προς τα εμπρός για τη βιομηχανοποίηση και την κλιμάκωση της λύσης», λέει ο Erik Jonuks, Διευθύνων Σύμβουλος της Ekobot.

Το αυτόνομο ρομπότ της Ekobot μπορεί να αναγνωρίσει και να αφαιρέσει τα ζιζάνια χρησιμοποιώντας προηγμένες αισθητήρες κάμερας και τεχνολογία AI. Το ρομπότ είναι εξοπλισμένο με πολυφασματικές κάμερες και ανιχνευτές ανάλυσης εδάφους που συλλέγουν δεδομένα που μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν ως υποστήριξη αποφάσεων στη λεγόμενη γεωργία ακριβείας.

Η διαδικασία δημιουργεί πολύ μεγάλες ποσότητες δεδομένων που αναλύονται σε υπηρεσίες cloud και στη συνέχεια ανατροφοδοτούνται σε ρομπότ και αγρότες. Ταυτόχρονα, το τηλεχειριστήριο απαιτεί μετάδοση βίντεο σε πραγματικό χρόνο. Όλα αυτά καθιστούν την τεχνολογία 5G με την υψηλή χωρητικότητα δεδομένων και τους χαμηλούς χρόνους απόκρισης κατάλληλη για την επιχείρηση.

Για τους αγρότες, η τεχνολογία σημαίνει την ευκαιρία να αυτοματοποιήσουν πιο δαπανηρή χειρωνακτική εργασία και επίσης να μειώσουν την εξάρτηση από χημικούς παράγοντες για τον έλεγχο των ζιζανίων.

«Αυτή η συνεργασία μας δίνει μια εικόνα του συναρπαστικού κόσμου της γεωργίας, όπου η τεχνολογία διαδραματίζει βασικό ρόλο στη βιώσιμη ανάπτυξη. Πιστεύουμε ότι ο συνδυασμός 5G και αυτοματισμού στη γεωργία ακριβείας έχει μεγάλες δυνατότητες», λέει ο Magnus Leonhardt, επικεφαλής καινοτομίας για την Telia Sweden. [74]

6.8 Συνδεδεμένες αγελάδες και τοκετός

Παραδοσιακές βιομηχανίες όπως η γεωργία θα χρησιμοποιούν αισθητήρες 5G για να συγκεντρώνουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τις ανάγκες λίπανσης, κτηνοτροφίας και υγρασίας, συμβάλλοντας στην εξοικονόμηση ενέργειας. Και ήδη βλέπουμε την εμφάνιση έξυπνων αγροκτημάτων, με υπηρεσίες όπως ο αισθητήρας και η εφαρμογή τοκετού MooCall να τροφοδοτούνται πλέον από 5G. Το MooCall είναι ένας αισθητήρας που προσκολλάται στην ουρά των αγελάδων και στη συνέχεια ειδοποιεί τους αγρότες όταν μια αγελάδα πρόκειται να γεννήσει (οι αγελάδες κινούν περισσότερο την ουρά τους λίγο πριν και κατά τη διάρκεια του τοκετού).

«Με την αυξανόμενη επικράτηση του IoT και του 5G, αναμένουμε να δούμε αυξανόμενη καινοτομία στον αγροτικό τομέα», λέει η Anne Sheehan, Διευθύντρια της Vodafone Business. «Με τη χρήση ψηφιακών εργαλείων, οι αγρότες μπορούν να αποκτήσουν καλύτερο έλεγχο σε διαδικασίες όπως η εκτροφή ζώων και η καλλιέργεια καλλιεργειών, η βελτίωση της συνολικής παραγωγικότητας, της αποδοτικότητας και της οικονομικής απόδοσης. Τεχνολογίες όπως το IoT και το 5G πρέπει να θεωρούνται προτεραιότητα για τον αγροτικό τομέα». [61]

Κεφάλαιο 7ο: Συμπεράσματα

Από την ανάλυση που έγινε παραπάνω προκύπτει ότι τα δίκτυα 5ης γενιάς φέρνουν μια νέα εποχή στο χώρο των δικτύων και συμβάλουν σε ένα άλλο επίπεδο υπηρεσιών. Δεν είναι μόνο οι ταχύτητες που προσφέρουν αλλά και η μεγάλη αξιοπιστία που θα βοηθήσει σε μια σειρά από ανθρώπινες δραστηριότητες. Ο κόσμος σήμερα εξαρτάται από τη διασύνδεση με το διαδίκτυο και η εμπειρία χρήσης θα αλλάξει. Επίσης μια σειρά από υπηρεσίες οι οποίες χρειάζονται σταθερή, γρήγορη, αξιόπιστη και με χαμηλή καθυστέρηση σύνδεση θα μπορούν να υλοποιηθούν.

Για παράδειγμα η παροχή φυσικών εμπειριών εξ αποστάσεως κάνοντας πραγματικότητα το Διαδίκτυο των Δεξιοτήτων. Άλλο παράδειγμα είναι τα αυτοκινούμενα οχήματα που χρειάζονται τις υπηρεσίες των δικτύων 5ης γενιάς. Ακόμη η Εικονική Πραγματικότητα και η Επαυξημένη Πραγματικότητα που θα οδηγήσουν σε πολλές εφαρμογές όπως το να γίνει πραγματικότητα το metaverse, ένας ψηφιακός χώρος τριών διαστάσεων με εικονικές περιηγήσεις που οδηγούν σε μια εμπειρία αγοραπωλησίας ψηφιακών αγαθών αλλά και υπηρεσιών. Στα δίκτυα 5ης γενιάς, θα μπορούν να εξυπηρετηθούν αποτελεσματικά ταυτόχρονα πολλοί χρήστες και συσκευές όπως και θα είναι δυνατό το γρήγορο ανέβασμα και κατέβασμα δεδομένων. Όλα αυτά θα αλλάξουν προς το καλύτερο τη ζωή των ανθρώπων. Στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων θα μπορούν ευκολότερα να συνδεθούν αντικείμενα προσφέροντας λύσεις αυτοματοποίησης σχεδόν σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης ζωής οδηγώντας στο Διαδίκτυο των Πάντων. Τα δίκτυα 5ης γενιάς βοηθούν στη συλλογή, στη μετάδοση, στην αποθήκευση και στην επεξεργασία δεδομένων καθιστώντας την υπολογιστική πανταχού παρούσα, ενσωματωμένη στο περιβάλλον του ανθρώπου. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα δίχως να είναι εμφανής η παρουσία της υπολογιστικής να υποστηρίζει τον άνθρωπο και να μπορεί να αλληλοεπιδρά με αυτόν. Τέλος μεγάλη η συμβολή και στην 4η Βιομηχανική Επανάσταση, με τις ταχύτητες που προσφέρουν, την κατάλληλη για καινοτομία υποδομή αλλά και για αποκέντρωση.

Οι ιδέες πληθαίνουν και νέες εφαρμογές έρχονται να αλλάξουν τη ζωή του ανθρώπου. Κλείνοντας όμως θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν και επιφυλάξεις για την χρήση του 5G, διότι προέκυψαν αμφιβολίες για παρεμβολές στο αεροδρόμιο σύμφωνα με πρόσφατα δημοσιεύματα. [74] Οι αμερικανικές αρχές της αεροπλοΐας (FAA) αναζητούν λύσεις με τους τηλεπικοινωνιακούς ομίλους AT&T και Verizon Communications, ούτως ώστε να αποτραπούν σοβαρά προβλήματα στη διεξαγωγή των πτήσεων από την έναρξη λειτουργίας των δικτύων 5ης γενιάς. Κι αυτό ώστε να προστατευθεί η ασφάλεια των πτήσεων και να μη διαταραχθούν οι αεροπορικές μετακινήσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] William Stallings, Data and Computer Communications (8th Edition). NJ, USA: Prentice-Hall, Inc., 2006.
- [2]"InfoCom", InfoCom, 2021. [Online]. Available: <https://www.infocom.gr/>. [Accessed: 16- Nov- 2021].
- [3] S. Movassaghi, M. Abolhasan, J. Lipman, D. Smith and A. Jamalipour, "Wireless Body Area Networks: A Survey," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 16, no. 3, pp. 1658-1686, Third Quarter 2014, doi: 10.1109/SURV.2013.121313.00064.
- [4] James F. Kurose, Keith W. Ross, Computer Networking - A Top-Down Approach (7th Edition). Pearson, 2017.
- [5] Kurose, and K. Ross. "Computer Networking: A Top-Down Approach," Pearson, Boston, MA, 7th edition, (2016).
- [6] Ms. Anju Uttam 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, no. 5, May 2015.
- [7] Duy Trong Ngo, Duy Huu Ngoc Nguyen, Tho Le-Ngoc, "Inter-cell Interference Coordination: Towards a Greener Cellular Network," Handbook of Green Information and Communication Systems, Chapter 6, pp. 147-181, 2013.
- [8] Islam, Md & Islam, Md. Rakibul & Amin, M., "Reverse Link Capacity of a CDMA Cellular System Based on General Path Loss Model", 3rd International Conference on Electrical & Computer Engineering ICECE 2004, 28-30 December 2004, Dhaka, Bangladesh, 2004.
- [9] Ms.Lopa J. Vora, "Evolution of Mobile Generation technology: 1G to 5G and Review of Upcoming Wireless Technology 5G," International Journal of Modern Trends in Engineering and Research, vol. 2, no. 10, October 2015.
- [10] Payal, Bhawna Dhruv, and Praveen Kumar, "A Research based study on Evolution of Cellular Generations (5G)," International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, vol. 3, Issue 7, July 2014.
- [11] Joseph Epstein, Scalable VoIP Mobility, Newnes, 2009, Chapter 7 - Voice over Cellular and Licensed Spectrum, Pages 289-322, ISBN 9781856175081, <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-508-1.00007-4>.
- [12] Allaboutcircuits.com, 2021. [Online]. Available: https://www.allaboutcircuits.com/uploads/articles/1g_5g_overview.jpg. [Accessed: 16- Nov- 2021].
- [13] Researchgate.net, 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/341332727/figure/fig2/AS:890572998983703@1589340557779/The-evolution-of-mobile-communication-from-1G-to-5G.ppm>. [Accessed: 16- Nov- 2021].
- [14] Allaboutcircuits.com, 2021. [Online]. Available: https://www.allaboutcircuits.com/uploads/articles/first_cell_phone_insides.jpg. [Accessed: 16- Nov- 2021].

- [15] Researchgate.net, 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/profile/Toktam-Mahmoodi/publication/327625766/figure/fig1/AS:672093729460224@1537251040125/The-evolution-of-mobile-network-architecture-from-2G-to-4G-This-drawing-highlights-the.ppm>. [Accessed: 16- Nov- 2021].
- [16] [blogspot.com](http://2.bp.blogspot.com/_kAW_ljR5Yk/SgTSQJHdrl/AAAAAAAAABM/2t7Pw5OXhRI/s400/umts.gif) [Online]. Available: http://2.bp.blogspot.com/_kAW_ljR5Yk/SgTSQJHdrl/AAAAAAAAABM/2t7Pw5OXhRI/s400/umts.gif. [Accessed: 16- Nov- 2021].
- [17] Researchgate.net, 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/profile/Evangelos-Gazis-4/publication/4019793/figure/fig1/AS:668995380318225@1536512336944/The-generic-4G-mobile-network-architecture.png>. [Accessed: 16- Nov- 2021].
- [18] Researchgate.net, 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/profile/Evangelos-Gazis-4/publication/4062764/figure/fig1/AS:651927528423434@1532443043308/The-heterogeneous-multi-standard-4G-mobile-network-architecture.png>. [Accessed: 16- Nov- 2021].
- [19] J. Liu, H. Liu, Y. Chen, Y. Wang and C. Wang, "Wireless Sensing for Human Activity: A Survey," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 3, pp. 1629-1645, thirdquarter 2020, doi: 10.1109/COMST.2019.2934489.
- [20] M. Fuentes et al., "5G New Radio Evaluation Against IMT-2020 Key Performance Indicators," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 110880-110896, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3001641.
- [21] [Wind.gr](https://www.wind.gr/ext_files/eshop/contenthub/im/5gmediaall/5Greece_Newsletter_vol.1.pdf), 2021. [Online]. Available: https://www.wind.gr/ext_files/eshop/contenthub/im/5gmediaall/5Greece_Newsletter_vol.1.pdf. [Accessed: 16- Nov- 2021].
- [22] [Carrier.huawei.com](https://carrier.huawei.com/~media/CNMG/Downloads/Program/5g_network_architecture_whitepaper_en.pdf). 2021. [online] Available at: "https://carrier.huawei.com/~media/CNMG/Downloads/Program/5g_network_architecture_whitepaper_en.pdf" [Accessed 20 November 2021].
- [23] [cdn-anritsu.com](https://dl.cdn-anritsu.com/images/tm/solutions/mt1000a-05/mt1000a-5g-ecpri-01e.jpg?la=zh-cn), 2021. [Online]. Available: <https://dl.cdn-anritsu.com/images/tm/solutions/mt1000a-05/mt1000a-5g-ecpri-01e.jpg?la=zh-cn>. [Accessed: 16- Nov- 2021].
- [24] X. Li et al., "Network Slicing for 5G: Challenges and Opportunities," in *IEEE Internet Computing*, vol. 21, no. 5, pp. 20-27, 2017, doi: 10.1109/MIC.2017.3481355.
- [25] Mattos, Willian & R. L. Gondim, Paulo. (2016). M-Health Solutions Using 5G Networks and M2M Communications. *IT Professional*. 18. 24-29. 10.1109/MITP.2016.52.
- [26] "5G Technology Components White Paper | Nokia", Nokia, 2021. [Online]. Available: <https://www.nokia.com/networks/5g/mobile/5g-resources/>. [Accessed: 16- Nov- 2021].
- [27] [Electronicproducts.com](https://www.electronicproducts.com/wp-content/uploads/RS-5G-use-cases-Fig1-.jpg?fit=1064,594), 2021. [Online]. Available: <https://www.electronicproducts.com/wp-content/uploads/RS-5G-use-cases-Fig1-.jpg?fit=1064,594>. [Accessed: 16- Nov- 2021].
- [28] M. Agiwal, A. Roy and N. Saxena, "Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, no. 3, pp. 1617-1655, thirdquarter 2016, doi: 10.1109/COMST.2016.2532458.
- [29] Kar, Udit Narayana and Debarshi Kumar Sanyal. "An overview of device-to-device communication in cellular networks." *ICT Express* 4 (2018): 203-208.

- [30] Ars.els-cdn.com, 2021. [Online]. Available: <https://ars.els-cdn.com/content/image/3-s2.0-B9780128053959000162-f16-01-9780128053959.jpg>. [Accessed: 16- Nov- 2021].
- [31] Researchgate.net, 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/profile/Mingzhe-Jiang-2/publication/281176022/figure/fig1/AS:614366558814216@1523487810183/The-IoT-based-health-monitoring-system-architecture.png>. [Accessed: 16- Nov- 2021].
- [32] Researchgate.net, 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/profile/Madhusanka-Liyanage/publication/344731493/figure/fig1/AS:948142371504128@1603066165430/General-Architecture-of-a-5G-MEC-based-Remote-Patient-Monitoring-System.jpg>. [Accessed: 16- Nov- 2021].
- [33] eonreality.com, 2021. [Online]. Available: https://eonreality.com/wp-content/uploads/2020/03/AdobeStock_159799700-scaled.jpeg. [Accessed: 16- Nov- 2021].
- [34] M. Dohler et al., "Internet of skills, where robotics meets AI, 5G and the Tactile Internet," 2017 European Conference on Networks and Communications (EuCNC), 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/EuCNC.2017.7980645.
- [35] M. Gapeyenko, V. Petrov, D. Moltchanov, S. Andreev, N. Himayat and Y. Koucheryavy, "Flexible and Reliable UAV-Assisted Backhaul Operation in 5G mmWave Cellular Networks," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 36, no. 11, pp. 2486-2496, Nov. 2018, doi: 10.1109/JSAC.2018.2874145.
- [36] X. Li et al., "Network Slicing for 5G: Challenges and Opportunities," in IEEE Internet Computing, vol. 21, no. 5, pp. 20-27, 2017, doi: 10.1109/MIC.2017.3481355.
- [37] "Global mobile data traffic 2022," Statista. <https://www.statista.com/statistics/271405/global-mobile-data-traffic-forecast> (accessed Nov. 16, 2021).
- [38] Al-khatib, Abdullah & Khelil, Abdelmajid & Balfaqih, Mohammed. (2021). Bandwidth Slicing with Reservation Capability and Application Priority Awareness for Future Vehicular Networks.
- [39] Han, Bin & Schotten, Hans. (2020). Machine Learning for Network Slicing Resource Management: A Comprehensive Survey.
- [40] "Network slicing – Give a slice of 5G," www.ericsson.com, Jun. 07, 2021. <https://www.ericsson.com/en/network-slicing>.
- [41] R. K. Gupta and R. Misra, "Machine Learning-based Slice allocation Algorithms in 5G Networks," 2019 International Conference on Advances in Computing, Communication and Control (ICAC3), 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICAC347590.2019.9036741.
- [42] N. An, Y. Kim, J. Park, D.-H. Kwon, and H. Lim, "Slice Management for Quality of Service Differentiation in Wireless Network Slicing," Sensors (Basel, Switzerland), vol. 19, no. 12, Jun. 2019, doi: 10.3390/s19122745.
- [43] An, Namwon et al. "Slice Management for Quality of Service Differentiation in Wireless Network Slicing." Sensors (Basel, Switzerland) vol. 19,12 2745. 19 Jun. 2019, doi:10.3390/s19122745
- [44] Samdanis, K. & Costa-Pérez, Xavier & Sciancalepore, Vincenzo. (2016). "From Network Sharing to Multi-tenancy: The 5G Network Slice Broker," IEEE Communications Magazine. 54. 10.1109/MCOM.2016.7514161.
- [45] A. McCabe, "Five 5G network slicing use cases | Read the Openet Blog," Openet.com <https://www.openet.com/blog/five-5g-network-slicing-use-cases-2-2/> (accessed Nov. 16, 2021).

- [46] Scene7.com, 2021. https://ni.scene7.com/is/image/ni/fig2_20170220104037?scl=1 (accessed Nov. 16, 2021).
- [47] Pisarov, Jelena & Mester, Gyula. (2020). IPSI TAR July 2020 "The Impact of 5G Technology on Life in the 21st Century," 16. 11-14.
- [48] Rongpeng Li, Zhifeng Zhao, Xuan Zhou, Guoru Ding, Yan Chen, Zhongyao Wang, and Honggang Zhang, "Intelligent 5G: When Cellular Networks Meet Artificial Intelligence," IEEE Wireless Communications, Volume: 24, Issue: 5, October 2017.
- [49] Wiley.com, 2021. <https://onlinelibrary.wiley.com/cms/asset/5aa46378-5ddb-4278-9809-bd615308209b/dac4762-fig-0003-m.png> (accessed Nov. 16, 2021).
- [50] cloudfront.net. 2021. [online] Available at: "https://d3i71xaburhd42.cloudfront.net/a18d68487d457f92cef35433adaa9edf4e2d9ec9/2-Figure1-1.png" [Accessed 20 November 2021].
- [51] gstatic.com. 2021. [online] Available at: "https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTl3YIrx6lWaFIbjexP03ePBAJl76XiO_2VMlUqXXsp-_mt45d8fz9jDvyshB9gDjZA&usqp=CAU" [Accessed 20 November 2021].
- [52] D. Hui, S. Sandberg, Y. Blankenship, M. Andersson and L. Grosjean, "Channel Coding in 5G New Radio: A Tutorial Overview and Performance Comparison with 4G LTE," in IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 13, no. 4, pp. 60-69, Dec. 2018, doi: 10.1109/MVT.2018.2867640.
- [53] Springernature.com, 2021. https://media.springernature.com/lw685/springer-static/image/art%3A10.1007%2Fs11276-020-02479-w/MediaObjects/11276_2020_2479_Fig7_HTML.png (accessed Nov. 16, 2021).
- [54] Researchgate.net, 2021. <https://www.researchgate.net/publication/326470455/figure/fig1/AS:649900404518914@1531959739936/5G-techniques-have-a-clear-impact-on-energy-efficiency-EE-Source-23-published.png> (accessed Nov. 16, 2021).
- [55] Springernature.com, 2021. https://media.springernature.com/lw685/springer-static/image/art%3A10.1186%2Fs13638-017-0995-z/MediaObjects/13638_2017_995_Fig1_HTML.gif (accessed Nov. 16, 2021).
- [56] Arjoune, Youness & Faruque, Saleh. "Artificial Intelligence for 5G Wireless Systems: Opportunities, Challenges, and Future Research Directions," 2020.
- [57] Rcrwireless.com, 2021. <https://www.rcrwireless.com/wp-content/uploads/2019/03/image1-1.png> (accessed Nov. 16, 2021).
- [58] Researchgate.net. 2021. [online] Available at: "https://www.researchgate.net/profile/Madhusanka-Liyanage/publication/334644935/figure/fig3/AS:784031247507457@1563939024094/5G-Security-Threat-Landscape-for-several-attacks-in-IoT-smart-phones-cloud-RAN-and.png" [Accessed 20 November 2021].
- [60] "5G in Alba Iulia Smart City," <https://albaiuliasmartcity.ro> (accessed Nov. 16, 2021).
- [61] N. B. 23 February 2021, "23 innovative 5G use cases: we reveal what 5G is actually capable of," 5gradar.com. <https://www.5gradar.com/features/what-is-5g-these-use-cases-reveal-all>.

- [62] 5gradar.com. 2021. Verizon and Sony trial 5G for live sports production. [online] Available at: "<https://www.5gradar.com/news/verizon-and-sony-trial-5g-for-live-sports-production>" [Accessed 20 November 2021].
- [63] 5gradar.com. 2021. Verizon 5G brings real-time rendering to Star Wars after-party. [online] Available at: "<https://www.5gradar.com/news/verizon-5g-brings-real-time-rendering-to-star-wars-after-party>" [Accessed 20 November 2021].
- [64] "5G and Smart Homes: What You Need To Know," Iotevolutionworld.com, 2019. <https://www.iotevolutionworld.com/smart-home/articles/442986-5g-smart-homes-what-need-know.htm>.
- [65] "Οι εντυπωσιακές εφαρμογές του 5G στο σπίτι και την ψυχαγωγία," ProtoThema, Jul. 12, 2021. <https://www.protothema.gr/technology/article/1140943/oi-eduposiakes-efarmoges-tou-5g-sto-spiti-kai-tin-psuhagogia> (accessed Nov. 16, 2021).
- [66] D. T. AG, "Port of Hamburg is ready for 5G," www.telekom.com. <https://www.telekom.com/en/media/media-information/archive/port-of-hamburg-is-ready-for-5g-574536> (accessed Nov. 16, 2021).
- [67] "Smart Sea Port Use Case – 5G Mobile Network Architecture." <https://5g-monarch.eu/smart-sea-port-use-case/> (accessed Nov. 16, 2021).
- [68] "Touristic City Use Case – 5G Mobile Network Architecture." <https://5g-monarch.eu/about-the-project/touristic-city-use-case> (accessed Nov. 16, 2021).
- [69] "Mammografi på väg," Telia.se. <https://www.telia.se/privat/om/5g/mammografi-pa-vag> (accessed Nov. 16, 2021).
- [70] "Bari Matera 5G: TIM, Fastweb and Huawei present the first field applications based on the fifth generation mobile network," www.gruppotim.it. <https://www.telecomitalia.com/en/press-archive/market/2018/2018-05-25-PR-BariMatera5G.html> (accessed Nov. 16, 2021).
- [71] "UHB and BT demonstrate UK's First Remote Diagnostic Procedure Using a 5G Connected Ambulance," UHB and BT demonstrate UK's First Remote Diagnostic Procedure Using a 5G Connected Ambulance. <https://newsroom.bt.com/uhb-and-bt-demonstrate-uks-first-remote-diagnostic-procedure-using-a-5g-connected-ambulance> (accessed Nov. 16, 2021).
- [72] "Zoom-In Aveiro Tech Labs: YOUNG MAKERS IN SCHOOLS!," UIA - Urban Innovative Actions, Nov. 02, 2021. <https://www.uia-initiative.eu/en/news/zoomin-aveiro-tech-labs-young-makers-schools> (accessed Nov. 16, 2021).
- [73] "AVEIRO STEAM CITY - Urban Network for Upgrading STEAM Skills and Increasing Jobs Added-Value through Digital Transformation in a new economic context," AVEIRO STEAM CITY - Urban Network for Upgrading STEAM Skills and Increasing Jobs Added-Value through Digital Transformation in a new economic context, Nov. 02, 2021. <https://www.uia-initiative.eu/en/uia-cities/aveiro> (accessed Nov. 16, 2021).
- [74] "Telia och Ekobot testar jordbruksrobot med 5G och AI," Telia.se. <https://www.telia.se/privat/om/5g/telia-och-ekobot-testar-jordbruksrobot-5g> (accessed Nov. 16, 2021).