

**Πανεπιστήμιο Πατρών,
Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής**

Θέμα διπλωματικής Εργασίας: Τεχνολογίες για 6G.

**Μελέτη και αξιολόγηση των προτεινόμενων τεχνολογιών στα δίκτυα
5G και μεταγενέστερα (6G)»**

Κακογιάννης Γεώργιος

ΑΜ: 234911

Επιβλέπων καθηγητής: Καθ. Χρήστος Ι. Μπούρας,

Πάτρα, 2020

© Copyright συγγραφέας Σταματόπουλος Δημήτριος, 2020

© Copyright θέματος Χρήστος Μπούρας

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών & Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Ευχαριστίες

Ξεκινώντας θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους εκείνους, που με μοναδικό τρόπο ο καθένας συντέλεσαν στην περάτωση των προπτυχιακών μου σπουδών.

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Μπούρα και τη συνεργάτιδά του Ε. Μπαρρή για τη συνεχή καθοδήγηση και ενθάρρυνση τους. Τα σχόλια και οι υποδείξεις τους αποτέλεσαν πολύτιμα εφόδια.

Ευχαριστώ όλους τους καθηγητές μου στο τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Πατρών και ιδιαίτερα τα μέλη της τριμελούς επιτροπής κ.κ. Χ. Μπούρα, Ι. Γαροφαλάκη και Κ. Μπερμπεριδη.

Ευχαριστώ όλους τους φίλους μου για τα ανεκτίμητα φοιτητικά χρόνια που πέρασα μαζί τους.

Πέρα και πάνω από όλα όμως, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την αμέριστη και ανιδιοτελή ψυχολογική και οικονομική στήριξη.

Περίληψη

Καθώς η δικτύωση 5G εισέρχεται στη φάση ανάπτυξης, η συζήτηση για το 6G σταδιακά αρχίζει να λαμβάνει χώρα. Είναι ακόμα ένα πρώιμο στάδιο για τον επίσημο ορισμό του 6G, και οποιαδήποτε τέτοια συζήτηση είναι περισσότερο ή λιγότερο μια εικασία. Παρόλα αυτά, δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η δικτύωση 6G παίρνει σχήμα. Βασιζόμενοι στο όραμα 5G, η 6G θα συνεχίσει να ενδυναμώνει τις πόλεις ώστε να είναι εξαιρετικά έξυπνες και πλήρως συνδεδεμένες με πληθώρα αυτόνομων υπηρεσιών για κινητά τηλέφωνα/tablet, συσκευές IoT, αυτοκίνητα χωρίς οδηγούς και πολλά άλλα. Μια πραγματικότητα του 6G είναι ότι θα ενισχυθεί με Τεχνητή Νοημοσύνη σε όλα σχεδόν τα επίπεδα, από την ολοκλήρωση και τη διαχείριση του δικτύου έως την κωδικοποίηση και την επεξεργασία σήματος στο φυσικό επίπεδο, το χειρισμό έξυπνων δομών και την εξόρυξη και επεξεργασία δεδομένων μεγάλου όγκου στο δίκτυο.

Χρησιμοποιώντας ηλεκτρομαγνητικές συχνότητες άνω των 95 Gigahertz, τα μελλοντικά κινητά τηλέφωνα θα μπορούν να χρησιμοποιούν τεράστια εύρος ζώνης καναλιού και κεραιές υψηλής κατεύθυνσης που επιτρέπουν εξαιρετική κάλυψη και επιτρέπουν νέες εφαρμογές. Αυτές οι συχνότητες, οι οποίες είναι 40 φορές μεγαλύτερες από τις σημερινές συχνότητες κινητών τηλεφώνων 4G και τρεις έως τέσσερις φορές μεγαλύτερες από τις νέες συχνότητες 5G. Η ακριβής τοποθέτηση και η εύρεση κατεύθυνσης σε συνδυασμό με την ανώτερη ανίχνευση και απεικόνιση, όπως οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τα μάτια τους για να δουν τα πράγματα καθαρά τόσο κοντά όσο και μακριά, θα καταστούν δυνατά με το 6G. Οι νέες συχνότητες στις ζώνες sub-Terahertz θα μεταδίδουν εξαιρετικά γρήγορους υπολογισμούς σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων, επιτρέποντας στα μελλοντικά κινητά τηλέφωνα να έχουν πολύ μεγαλύτερες δυνατότητες. Το τηλέφωνο 6G του μέλλοντος θα μπορεί να ελέγξει τον αέρα γύρω μας για αλλεργιογόνα, εκρηκτικά ή τοξικά χημικά και να προσδιορίσει εάν το φαγητό είναι ασφαλές για κατανάλωση. Η έρευνα δείχνει επίσης ότι το τηλέφωνο 6G του μέλλοντος θα παρέχει επίσης ακριβή ακρίβεια τοποθεσίας θέσης και εύρος που θα μας ενημερώνει ακριβώς πού βρισκόμαστε. Αυτή η ακρίβεια θα είναι σημαντική για την πλοήγηση ρομποτικών οχημάτων και αυτοκινήτων.

Λέξεις κλειδιά: 5G, 6G, τεχνητή νοημοσύνη, αυτοματισμός, πέρα από 5G, ρυθμός δεδομένων, μαζική συνδεσιμότητα, εικονική πραγματικότητα, terahertz

Abstract

As 5G networking enters the development phase, the discussion about 6G is gradually beginning to take place. It is still an early stage for the official definition of 6G, and any such discussion is more or less a guess. Nevertheless, there is no doubt that 6G networking is taking shape. Based on the 5G vision, 6G will continue to empower cities to be extremely smart and fully connected to a variety of standalone services for mobile phones / tablets, IoT devices, driverless cars and more. A reality of 6G is that it will be enhanced with Artificial Intelligence at almost all levels, from network integration and management to physical encoding and signal processing, handling intelligent structures, and mining and processing large volumes of network data.

Using electromagnetic frequencies above 95 Gigahertz, future mobile phones will be able to use huge channel bandwidth and high-end antennas that provide excellent coverage and allow new e-applications. These frequencies, which are 40 times higher than current 4G mobile phone frequencies and three to four times higher than the new 5G frequencies. Precise positioning and direction combined with superior detection and imaging, as people use their eyes to see things clearly both near and far, will be made possible by 6G. The new frequencies in the sub-Terahertz bands will transmit extremely fast calculations over a wide range of frequencies, allowing future mobile phones to have much greater capabilities. The 6G phone of the future will be able to check the air around us for allergens, explosives or toxic chemicals and determine if food is safe to eat. Research also shows that the 6G phone of the future will also provide accurate location and range accuracy that will tell us exactly where we are. This accuracy will be important for navigating robotic vehicles and cars.

Keywords: 5G, 6G, artificial intelligence, automation, over 5G, data rate, mass connectivity, virtual reality, terahertz

Keywords: 5G, 6G, artificial intelligence, automation, beyond 5G, data rate, massive connectivity, virtual reality, terahertz.

Περιεχόμενα

Λίστα Εικόνων	2
Λίστα Πινάκων.....	3
Ακρωνύμια	4
1. Εισαγωγή.....	7
2. Ιστορική αναδρομή στην κινητή τηλεφωνία.....	11
2.1 Δίκτυα 1G.....	11
2.2 Δίκτυα 2G - 2.5G	13
2.3 Δίκτυα 3G.....	16
2.3.1 Βασικά τμήματα δικτύου 3G.....	16
2.4 Δίκτυα 4G.....	18
3. Δίκτυα 5G.....	22
3.1 Κύριοι τεχνικοί στόχοι για τα συστήματα 5G.....	22
3.2 Τεχνολογία LTE	26
3.3 Τεχνολογίες NFV και SDN και NR για μη εξουσιοδοτημένο φάσμα (NR-U).....	29
3.3.1 Ενσωματωμένης πρόσβασης / Backhaul (IAB)	30
3.4 Προβλεπόμενες τεχνολογίες για 5G από ρυθμιστικούς φορείς	32
3.4.1 Δίκτυα ασύρματης πρόσβασης.....	32
3.5 Το 5G Διαδίκτυο	35
3.6 Τεχνολογίες mu – MIMO -AI και ML.....	40
3.6.1 Τεχνολογία mu – MIMO.....	40
3.6.2 Τεχνολογία AI.....	42
3.6.3 Τεχνολογία ML	45
4. Δίκτυα 6G.....	48
4.1 Εισαγωγή.....	48
4.2 Τεχνολογίες και οράματα 6G	52
4.3 Βελτιώσεις της τεχνολογίας 6G έναντι της 5G	54
4.4 Στόχοι τεχνολογίας 6G.....	66
4.6.1 Προδιαγραφές δικτύωσης 6G.....	75
4.6.2 Χρονοδιάγραμμα για την ανάπτυξη 6G	77
4.6.3 Αρχιτεκτονική 6G	78
4.6.4 Υπηρεσίες 6G δικτύωσης.....	86
4.7 Η επίδραση της τεχνολογίας 6G στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων	88
5. Μελλοντικές εξελίξεις.....	98
5.1 Η οδήγηση εφαρμογών πίσω από το 6G και οι απαιτήσεις τους.....	98
5.2. Τάσεις μετρήσεις απόδοσης 6G δικτύωσης	100
Βιβλιογραφία.....	104

Λίστα Πινάκων

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Π

Πίνακας 4: Η ροή "Νόμοι της Σκέψης" (δηλαδή ορθολογική σκέψη) απαιτεί ένα AI να καταλήξει

Ακρωνύμια

- 2.5G: 2,5 (Second and a half generation) γενιά τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας (GPRS)
- 2.75G: 2.75G γενιά τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας (EDGE)
- 3G: Τρίτη γενιά (Third generation) τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας
- 3CLS: Control, Localization, and Sensing
- 4G: Τέταρτη γενιά (Fourth generation) τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας
- 5G: Πέμπτη γενιά (Fifth generation) τεχνολογιών κινητής τηλεπικοινωνίας
- AMPS: Advanced Mobile Phone System – Προηγμένο Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας
- AP: Access Points – Σημεία πρόσβασης
- BS: Base Station – Σταθμός Βάσης
- BBS: Base Band Server – Διακομιστής Βασικής Ζώνης
- BCI: Brain Computer Interaction – Αλληλεπίδραση ανθρώπινου εγκεφάλου - υπολογιστή
- BSC: Base Station Controller – Ελεγκτής Σταθμού Βάσης
- CAPEX: Capital Expenditure
- CDMA: Code Division Multiple Access
- CPRI: Common Public Radio Interface
- D2D: Device to Device
- DAS: Distributed Antenna Systems
- DSL: Digital Subscriber Loop/Line
- EHF: Extremely High Frequency
- eMBB: Enhanced Mobile Broadband
- eNB: NodeB
- EPC: Εξελιγμένοι πυρήνες πακέτων
- FDMA: Frequency Division Multiple Access
- GSM: Groupe Special Mobile

- ICM - Intelligent Computing System
- i-DAS: Indoor DAS
- IoT: Internet of Things
- IoE Internet of Everything
- ITU: Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών
- IUSPC: Intelligent Ultra High-Speed Processing Core
- LPWA: Low-Power Wide-Area
- LSA: Αδειοδοτημένη κοινή πρόσβαση
- LTE: Long Term Evolution
- M2M: Machine to Machine
- MEC: Mobile Edge Computing
- MIMO: Multiple Input Multiple Output
- MME: Mobility Management Entity
- MMS: Multimedia Messaging Service
- MBRLLC: Mobile Broadband Reliable Low Latency Communication
- MTC: Machine Type Communications
- mMTC: massive machine-type communications
- MWS: Millimeter Wave Spectrum
- NFV: Network Function Virtualization
- NMT: Nordic Mobile Telephone
- NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access
- OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- OPEX: Operational Expenditure
- QoS: Quality of Service
- RAN: Radio Access Networks
- RRHs: Remote Radio Heads

- SA: Sensitivity Analysis
- SDN: Software Defined Network
- SD – BSs: Software-Defined Base Stations
- SD – CN: Software-Defined Core Network
- SD – RAN: Software-Defined Radio Access Network
- SD – switches: Software-Defined switches
- SEE - spectral and energy efficiency
- SON: Self Organized Networks – Δίκτυα αυτόματης οργάνωσης
- SSN - Self-Sustaining Network – Αυτοσυντηρούμενα δίκτυα
- SWOT: Strengths Weaknesses Opportunities and Threats
- TACS: Total Access Communications System
- TCO: Total Cost of Ownership
- VLC: Visible Light Communications
- VoIP: Voice over Internet Protocol
- VR: Virtual Reality – Εικονική Πραγματικότητα
- UE: User Equipment – Εξοπλισμός χρήστη
- URLLC: Ultra-reliable low-latency communications
- WiMax: Worldwide Interoperability for Microwave Access
- XR: Extended Reality – Εκτεταμένη Πραγματικότητα
- QoPE: Quality of physical experience

Εισαγωγή

Στις τελευταίες δεκαετίες, τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούνται μόνο για να πραγματοποιούν και να λαμβάνουν τηλεφωνικές κλήσεις μέσω ασύρματων ζεύξεων γύρω από μια ευρεία γεωγραφική περιοχή. Ξεκινήσαμε με τις τεχνολογίες 0G που προσφέρουν μόνο την βασική φωνητική επικοινωνία και η συνέχεια δόθηκε με την τεχνολογία 1G, η οποία επέτρεψε να πραγματοποιηθούν κλήσεις εντός της χώρας με ένα σήμα αναλογικής ταχύτητας έως 2.4 Kbps, γεγονός που έδωσε την ώθηση για ανταλλαγή μηνυμάτων κειμένου μέσω τηλε-ειδοποίησης. Η υπηρεσία μηνυμάτων πολυμέσων (MMS) ξεκίνησε αργότερα με την εισαγωγή της τεχνολογίας 2G που επέτρεψε στους χρήστες κινητών τηλεφώνων να στέλνουν πολυμέσα με εικόνα.

Μέχρι σήμερα, η εξέλιξη του ασύρματου δικτύου βασίστηκε κυρίως στην ανάγκη για υψηλότερα ποσοστά, που απαιτούσαν συνεχή αύξηση 1000x της χωρητικότητας του δικτύου. Ενώ αυτή η ζήτηση για ασύρματη χωρητικότητα θα συνεχίσει να αυξάνεται, η εμφάνιση του συστήματος Internet of Everything (IoE), που συνδέει εκατομμύρια ανθρώπους και δισεκατομμύρια μηχανές, δημιουργεί μια ριζική μετατόπιση παραδείγματος από τις υπηρεσίες κινητής ευρυζωνικής (Enhanced Mobile Broadband - eMBB¹) των προηγούμενων ετών προς εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες χαμηλού λανθάνοντος χρόνου (Ultra

r

e

1 Παρόλο που το κυψελοειδές σύστημα πέμπτης γενιάς (5G) κυκλοφόρησε ως βασικός ενεργοποιητής IoE, μέσω συντονισμένων προσπαθειών τυποποίησης 5G που οδήγησαν στο πρώτο ορόσημο 5G νέου ραδιοφώνου (5G NR) και επακόλουθες κυκλοφορίες 3GPP, η αρχική υπόθεση του 5G - ως πραγματικός φορέας υπηρεσιών IoE - δεν έχει ακόμη υλοποιηθεί. Κάποιος μπορεί να υποστηρίξει ότι το εξελικτικό τμήμα του 5G (δηλαδή, υποστηρίζει υπηρεσίες eMBB που είναι πεινασμένοι με ρυθμό) έχει αποκτήσει σημαντική δυναμική. Ωστόσο, η υποσχόμενη επαναστατική προοπτική του 5G, ενός συστήματος που

ο

¹

W Το Enhanced Mobile Broadband (eMBB) είναι ένα από τα τρία σύνολα περιπτώσεων χρήσης που ορίζονται για 5G. Ως επέκταση στις υπάρχουσες ευρυζωνικές υπηρεσίες 4G, θα είναι οι πρώτες εμπορικές υπηρεσίες 5G που θα κυκλοφορήσουν, αλλά θα προχωρήσουν πολύ πέρα απλώς επιτρέποντας ταχύτερες ταχύτητες λήψης

t Η εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλού λανθάνοντος χρόνου, ή το URLLC, είναι ένας από τους διάφορους τύπους περιπτώσεων χρήσης που υποστηρίζονται από το πρότυπο 5G New Radio (NR), όπως ορίζεται από την Έκδοση 15. 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Το URLLC θα καλύψει πολλές προηγμένες υπηρεσίες για συνδεδεμένες συσκευές με ευαίσθητη καθυστέρηση, όπως αυτοματισμός ερπυοστασίου, αυτόνομη οδήγηση, βιομηχανικό διαδίκτυο και έξυπνο δίκτυο ή ρομποτικές χειρουργικές επεμβάσεις.

c

y

c

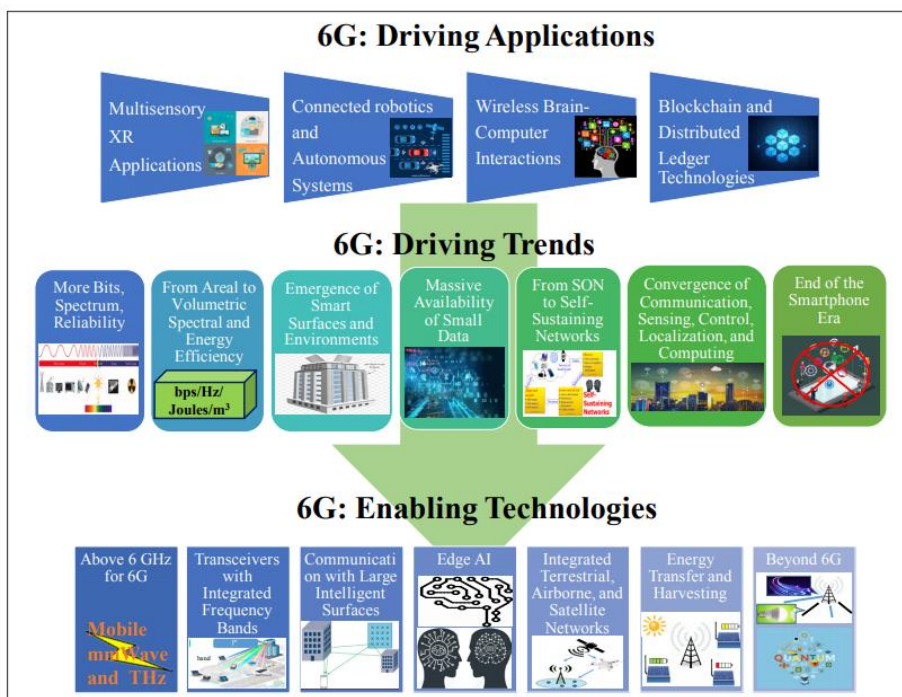
λειτουργεί σχεδόν αποκλειστικά σε συχνότητες κύματος χιλιοστών υψηλής συχνότητας (mmWave) και επιτρέπει ετερογενείς υπηρεσίες IoE, έχει παραμείνει ως τώρα αντικατοπτρισμός. Αν και τα συστήματα 5G που κυκλοφορούν επί του παρόντος θα υποστηρίξουν εύκολα βασικές υπηρεσίες IoE και ultra-reliable, low latency communications (URLLC) π.χ. εργοστασιακός αυτοματισμός, είναι αμφισβητήσιμο εάν μπορούν να παραδώσουν τις αυριανές έξυπνες εφαρμογές της πόλης. Επιπλέον, παρόλο που το 5G τελικά θα υποστηρίξει σταθερή πρόσβαση σε συχνότητες mmWave, είναι πιο πιθανό ότι οι πρώιμες 5G θα συνεχίσουν να χρησιμοποιούν sub-6 GHz για υποστήριξη της κινητικότητας.

Technology	1G	2G	2.5G	3G	4G
Design Began	1970	1980	1985	1990	2000
Implementation	1984	1991	1999	2002	2010?
Services	Analog voice	Digital voice	Higher capacity, packetized data	Higher capacity, broadband data up to 2mbps.	Completely IP based, speed up to hundreds of MBs
Standards	NMT, AMPS, Hicap, CDPD, TACS, ETACS.	GSM, iDEN, D-MPS	GPRS, EDGE etc.	WCDMA, CDMA 2000.	Single standard
Data Bandwidth	1.9 kbps	14.4 kbps	384 kbps	2 Mbps	200 Mbps
Multiplexing	FDMA	TDMA, CDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA?
Core Network	PSTN	PSTN	PSTN, packet network	Packet network	Internet

Εικόνα: Χαρακτηριστικά γενιών 1G-4G [1]

Εν τω μεταξύ, συνεχίζεται ένας άνευ προηγουμένου πολλαπλασιασμός νέων υπηρεσιών IoE. Τα παραδείγματα κυμαίνονται από υπηρεσίες εκτεταμένης πραγματικότητας (XR) (που περιλαμβάνουν επαυξημένη, μικτή και εικονική πραγματικότητα AR/MR/VR) έως Τηλεϊατρική, απτικά, ιπτάμενα οχήματα, διεπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή και συνδεδεμένα αυτόνομα συστήματα. Αυτές οι εφαρμογές θα διαταράξουν τον αρχικό στόχο 5G για την υποστήριξη υπηρεσιών URLLC μικρού πακέτου, που βασίζονται σε αισθητήρια. Για την επιτυχή λειτουργία υπηρεσιών IoE, όπως XR και συνδεδεμένων αυτόνομων συστημάτων, ένα ασύρματο σύστημα πρέπει ταυτόχρονα να παρέχει υψηλή αξιοπιστία, χαμηλό λανθάνοντα χρόνο και υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, για ετερογενείς συσκευές, σε άνω ζεύξη και κατερχόμενη ζεύξη.

Οι αναδυόμενες υπηρεσίες IoE θα απαιτήσουν επίσης έναν από κοινού σε άκρο σχεδιασμό λειτουργιών επικοινωνίας, ελέγχου και υπολογιστών, ο οποίος μέχρι σήμερα έχει παραμεληθεί σε μεγάλο βαθμό. Για να ανταποκριθεί σε αυτήν τη νέα κατηγορία υπηρεσιών, πρέπει να αντιμετωπιστούν μοναδικές προκλήσεις, από τον χαρακτηρισμό των θεμελιωδών αντισταθμίσεων αξιοπιστίας-καθυστερήσης που διέπουν την απόδοσή τους έως την εκμετάλλευση συχνοτήτων πέραν των υπο-6 GHz και τη μετατροπή ασύρματων συστημάτων σε ένα αυτοσυντηρούμενο, έξυπνο δίκτυο που ευέλικτες παροχές και ενορχηστρώνουν πόρους επικοινωνίας-υπολογιστών-ελέγχου-εντοπισμού-εντοπισμού προσαρμοσμένων στο απαιτούμενο σενάριο IoE (Internet of Everything). Για να ξεπεραστούν αυτές οι προκλήσεις, απαιτείται ένα ενοχλητικό ασύρματο σύστημα έκτης γενιάς (6G), του οποίου ο σχεδιασμός είναι εγγενώς προσαρμοσμένος στις απαιτήσεις απόδοσης των εφαρμογών IoE και των συνοδευτικών τεχνολογικών τάσεων τους.



Εικόνα 1: 6G όραμα: εφαρμογές, τάσεις και τεχνολογίες [1]

Οι οδηγοί του 6G θα είναι μια συμβολή των προηγούμενων τάσεων (π.χ., πυκνότητα, υψηλότερα ποσοστά και μαζικές κεραίες) και των αναδυόμενων τάσεων που περιλαμβάνουν νέες υπηρεσίες και την πρόσφατη επανάσταση στις ασύρματες συσκευές (π.χ. έξυπνα φορητά, εμφυτεύματα, συσκευές XR³ και ούτω καθεξής), τεχνητή νοημοσύνη

(AI), υπολογιστές και αίσθηση. Η κύρια συνεισφορά αυτής της εργασίας είναι ένα μελλοντικό όραμα συστημάτων 6G (Εικόνα 1) που προσδιορίζει τις εφαρμογές, τις τάσεις και τις αποδιοργανωτικές τεχνολογίες, που θα οδηγήσουν στην επανάσταση του 6G. Αυτό το όραμα στη συνέχεια θα οριοθετήσει νέες υπηρεσίες 6G και θα παρέχει έναν συγκεκριμένο χάρτη πορείας και συστάσεις για να διευκολύνει το άλμα από τα τρέχοντα συστήματα 5G προς 6G.

Η συνεχιζόμενη ανάπτυξη κυψελωειδών συστημάτων 5G αποκαλύπτει συνεχώς τους εγγενείς περιορισμούς αυτού του συστήματος, σε σύγκριση με την αρχική του προϋπόθεση ως ενεργοποιητής για εφαρμογές Internet of Everything. Αυτά τα μειονεκτήματα 5G προωθούν παγκόσμιες δραστηριότητες που εστιάζονται στον καθορισμό του ασύρματου συστήματος επόμενης γενιάς 6G που μπορεί πραγματικά να ενσωματώσει εκτεταμένες εφαρμογές που κυμαίνονται από αυτόνομα συστήματα έως εκτεταμένη πραγματικότητα. Παρά τις πρόσφατες πρωτοβουλίες 6G, τα βασικά στοιχεία αρχιτεκτονικής και απόδοσης του 6G παραμένουν σε μεγάλο βαθμό απροσδιόριστα. Σε αυτό το άρθρο, παρουσιάζουμε ένα ολιστικό όραμα που καθορίζει τις αρχές ενός συστήματος 6G. Θεωρούμε ότι το 6G δεν θα είναι μια απλή εξερεύνηση περισσότερου φάσματος σε ζώνες υψηλής συχνότητας, αλλά μάλλον θα είναι μια σύγκλιση των επερχόμενων τεχνολογικών τάσεων που οδηγούνται από συναρπαστικές, υποκείμενες υπηρεσίες [1].

Από αυτήν την άποψη, εντοπίζουμε πρώτα τους κύριους οδηγούς των συστημάτων 6G, όσον αφορά τις εφαρμογές και τις συνοδευτικές τεχνολογικές τάσεις. Στη συνέχεια, προτείνουμε ένα νέο σύνολο κατηγοριών υπηρεσιών και εκθέτουμε τις απαιτήσεις απόδοσης του στόχου 6G. Στη συνέχεια εντοπίζουμε τις τεχνολογίες που επιτρέπουν τις εισαγόμενες υπηρεσίες 6G και σκιαγραφούμε μια ολοκληρωμένη ερευνητική ατζέντα που αξιοποιεί αυτές τις τεχνολογίες. Ολοκληρώνουμε παρέχοντας συγκεκριμένες προτάσεις για τον χάρτη πορείας προς το 6G.

διαδικτυακών εικονικών κόσμων". Περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα υλικού και λογισμικού, συμπεριλαμβανομένων αισθητηριακών διεπαφών, εφαρμογών και υποδομών, που επιτρέπουν τη δημιουργία περιεχομένου για εικονική πραγματικότητα (VR), μικτή πραγματικότητα (MR), κινηματογραφική πραγματικότητα (CR). Με αυτά τα εργαλεία, οι χρήστες δημιουργούν νέες μορφές πραγματικότητας φέρνοντας ψηφιακά αντικείμενα στον φυσικό κόσμο και φέρνοντας αντικείμενα φυσικού κόσμου στον ψηφιακό κόσμο

2. Ιστορική αναδρομή στην κινητή τηλεφωνία

Τις τελευταίες δεκαετίες, τα δίκτυα κινητής ασύρματης επικοινωνίας έχουν βιώσει μια τεράστια αλλαγή. Η κινητή ασύρματη παραγωγή (G) αναφέρεται γενικά σε μια αλλαγή στη φύση του συστήματος, την ταχύτητα, την τεχνολογία και τη συχνότητα. 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, ακολουθούμενη από την έναρξη του συστήματος Nordic Mobile Telephone (NMT) στη Δανία, τη Φινλανδία, τη Νορβηγία και τη Σουηδία, το 1981. Μετά από αυτό ξεκινά η ανάπτυξη σε γενιά για ασύρματη επικοινωνία μέσω κινητού. Το δίκτυο ασύρματης επικοινωνίας κινητής πρώτης γενιάς (1G) ήταν αναλογικό μόνο για φωνητικές κλήσεις [2].

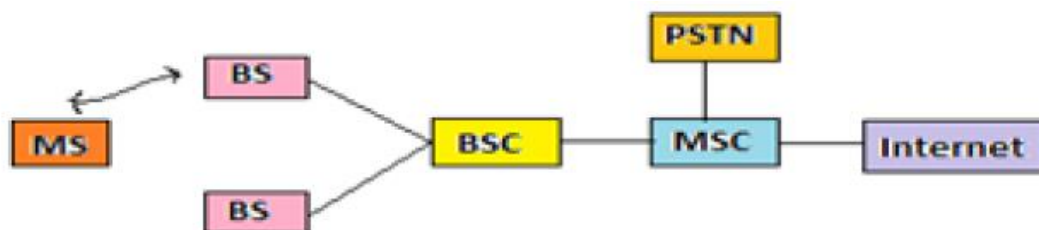
Η δεύτερη γενιά (2G) είναι μια ψηφιακή τεχνολογία και υποστηρίζει μηνύματα κειμένου. Μετά από αυτό ήταν 3G που παρείχε υποστήριξη πολυμέσων μαζί με υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και αυξημένη χωρητικότητα. Η τέταρτη γενιά (4G) ενσωματώνει 3G με σταθερό internet για υποστήριξη ασύρματου κινητού διαδικτύου, η οποία αποτελεί εξέλιξη για την υπέρβαση των περιορισμών του 3G και επίσης αυξάνει το QoS, αυξάνει το εύρος ζώνης και μειώνει το κόστος των πόρων. Το 5G παρουσιάζει έναν πραγματικό ασύρματο κόσμο- Wireless World Wide Web (WWW), ενώ το 6G προτείνεται να ενσωματώσει 5G με δορυφορικά δίκτυα για παγκόσμια κάλυψη. Το 7G ασχολείται με την περιαγωγή στο διάστημα.

2.1 Δίκτυα 1G

Το σύστημα ασύρματης κινητής επικοινωνίας πρώτης γενιάς είναι μια αναλογική τεχνολογία που αναπτύχθηκε το 1980. Χρησιμοποιήθηκε για υπηρεσίες φωνής και βασίστηκε σε τεχνολογία που ονομάζεται *Advanced Mobile Phone System* (AMPS). Το σύστημα AMPS διαμορφώθηκε με συχνότητα και χρησιμοποίησε πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (FDMA) με χωρητικότητα καναλιού 30KHz και ζώνη συχνότη-

των 824-894MHz. Υποστηρίζει ταχύτητα έως 2.4 kbps. Το 1988, το AMPS εκχωρήθηκε με επιπλέον εύρος ζώνης 10MHz που ονομάζεται Expanded Spectrum, το οποίο αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στο Σικάγο, με περιοχή εξυπηρέτησης 2100 τετραγωνικών μιλίων. Το AMPS κυκλοφόρησε για πρώτη φορά από τις ΗΠΑ το 1982. Το 1G είναι η 1^η γενιά ασύρματης κυψελοειδούς τεχνολογίας. Αναφέρεται στην πρώτη γενιά ασύρματης τεχνολογίας. Τα δίκτυα 1G ήταν αναλογικά και εκτελούσαν απλά τηλεφωνήματα. Αυτό το πρότυπο τηλεπικοινωνιών παραμένει μέχρι την έλευση του 2G. Την εποχή εκείνη το 1979, η NTT (Nippon Telegraph and Telephone) στην Ιαπωνία ξεκίνησε το πρώτο αυτοματοποιημένο κυψελοειδές δίκτυο παγκοσμίως για εμπορική χρήση. Οι ΗΠΑ εισάγουν το πρώτο δίκτυο 1G για το κινητό τηλέφωνο Motorola Dupλής πρόσβασης διαίρεσης συχνότητας (FDMA). Για τη μεταφορά της φωνητικής κίνησης, χρησιμοποιήθηκε διαμόρφωση συχνότητας (FM) ως σχήμα διαμόρφωσης [2]

Αναφορικά με τα συστήματα 1G κινητών τηλεφώνων της Σκανδιναβίας, το NMT είναι ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας που καλύπτει πρώτα τις πέντε σκανδιναβικές χώρες, τη Δανία, τη Φινλανδία, τη Νορβηγία, τη Σουηδία και την Ισλανδία και αργότερα μερικές άλλες χώρες. Το NMT έχει δύο παραλλαγές που βασίζονται στις ζώνες λειτουργικής συχνότητας, γνωστές ως NMT-450 και NMT-900 αντίστοιχα. Το NMT-450 αναπτύχθηκε για τη δημιουργία ενός συμβατού τηλεφωνικού συστήματος στις σκανδιναβικές χώρες (Nordic Mobile Telephone Group 1995). Αρχικά, η NMT-450 στοχεύει στην ανάπτυξη μακροκυψελών στη ζώνη των 450 MHz για να παρέχει μεγαλύτερη κυτταρική κάλυψη και αργότερα τροποποιήθηκε για να λειτουργεί στη ζώνη των 900 MHz λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος και τον περιορισμό της ισχύος μετάδοσης των φορητών ακουστικών. Τα συστήματα NMT ξεκίνησαν αρχικά στη Νορβηγία και τη Σουηδία ως εθνική υπηρεσία και αργότερα ενισχύθηκαν με υπηρεσίες περιαγωγής ανά χώρα.



Εικόνα 2: Αρχιτεκτονική AMPS [2]

Δίκτυα 2G- 2.5G

Οι περιορισμοί των κινητών τηλεφώνων και δικτύων 1G περιόρισαν την περαιτέρω διάδοση της τεχνολογίας. Προκειμένου να αυξηθεί η εξάπλωση και η εμβέλεια της υιοθέτησης της κινητής επικοινωνίας μεταξύ της μάζας, έπρεπε να είναι διαλειτουργική (π.χ.: διαμεταφορέας και διεθνής περιαγωγή) και προσιτή (δηλαδή: φθηνότερα κινητά τηλέφωνα και συνδρομές υπηρεσιών). Σε αντίθεση με τη σποραδική και ανταγωνιστική ανάπτυξη των κυψελοειδών δικτύων 1G, η εμφάνιση της τεχνολογίας κινητής επικοινωνίας 2G πραγματοποιήθηκε με προγραμματισμένο και συνεργατικό τρόπο. Οι προσπάθειες συνεργασίας προέκυψαν από ευρωπαϊκές χώρες με τη δημιουργία και το έργο [3]:

: Ήδη από το 1980, η Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών της CEPT, η Ομάδα Εργασίας Ραδιοεπικοινωνιών και η ομάδα υπο-εργασίας συχνοτήτων R21 κατάφεραν να προσθέσουν υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας στα 900 MHz στον Διεθνή Πίνακα Κατανομών Συχνότητας και να αφιερώσουν συνολική χωρητικότητα 1000 καναλιών. (2 x 25 MHz) για νέα πολιτική χρήση κινητού, ανοίγοντας το δρόμο για το φάσμα συχνοτήτων που θα χρησιμοποιηθεί για το κυψελοειδές δίκτυο 2G.

: Το 1982, η ομάδα εργασίας GSM (Groupe Special Mobile) συγκροτήθηκε από την Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών της CEPT για να εναρμονίσει τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά ενός δημόσιου συστήματος κινητών επικοινωνιών στη ζώνη των 900

: Ιδρύθηκε το 1988 για να καθορίσει τα πρότυπα και τις τεχνικές προδιαγραφές για την τεχνολογία GSM (Παγκόσμιο Σύστημα για Κινητές Επικοινωνίες).

Το GSM έγινε η κυρίαρχη τεχνολογία 2G που πέρασε στα περισσότερα μέρη του κόσμου και συνέχισε να εξυπηρετεί το 80% της αγοράς κινητής τηλεφωνίας τις επόμενες δεκαετίες. Το αντίστοιχο των ΗΠΑ είναι το IS-54, επίσης γνωστό ως Digital-AMPS, το οποίο αργότερα αντικαταστάθηκε από το IS-136. Το 1991 η Radiolinja (τόρα Elisa) ξεκίνησε το πρώτο δίκτυο GSM στη Φινλανδία. Σε περιπτώσεις όπου το εύρος συχνοτήτων 900 MHz χρησιμοποιήθηκε και για τα συστήματα 1G και 2G στην Ευρώπη, τα συστήματα 1G έκλεισαν για να δημιουργήσουν χώρο για τα συστήματα 2G.

1992, για πρώτη φορά, η υπηρεσία δεδομένων εισήχθη στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας εκτός από τη φωνή, δηλαδή την υπηρεσία σύντομων μηνυμάτων (SMS), η οποία υποστηρίζει ρυθμό δεδομένων 9,6kbps. Το πρώτο SMS εστάλη από τον μηχανικό Neil Papworth στις 3 Δεκεμβρίου 1992 όπου πληκτρολόγησε το "Merry Christmas" από έναν

υπολογιστή στον τότε διευθυντή της Vodafone, Richard Jarvis, σε ένα φορητό ακουστικό Orbitel 901.

Το σύστημα ασύρματης 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. Το εύρος ζώνης των 2G είναι 30-200KHz. Το 2G παρέχει υπηρεσίες όπως υπηρεσίες σύντομων μηνυμάτων (SMS), μηνύματα εικόνων και υπηρεσίες μηνυμάτων πολυμέσων (MMS). Χρησιμοποιεί σχήματα ψηφιακής διαμόρφωσης όπως το Time Division Multiple Access (TDMA) και το Code Division Multiple Access (CDMA). Το TDMA επιτρέπει τη διαίρεση των σημάτων σε χρονοθυρίδες. Το CDMA παρέχει σε κάθε χρήστη έναν ειδικό κωδικό για επικοινωνία μέσω ενός φυσικού καναλιού πολλαπλών πολυμέσων.

Χρησιμοποιούνται τεχνολογίες TMA όπως GSM, PDC, iDEN, IS-136 και τεχνολογία CDMA όπως το IS-95. Το GSM (Παγκόσμιο Σύστημα Κινητής Επικοινωνίας) είναι το πιο διαδεδομένο πρότυπο 2G για κινητά. Το 2G κυκλοφόρησε εμπορικά στο πρότυπο GSM στη Φινλανδία, το 1991. 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. Τα συστήματα βασισμένα στην τεχνολογία TDMA έχουν καταστεί οι κυρίαρχες τεχνολογίες ασύρματων τεχνολογιών 2G. Η τεχνολογία CDMA παρέχει πιο καθαρή ποιότητα φωνής με λιγότερους θορύβους στο περιβάλλον, λιγότερες μειωμένες κλήσεις, αυξημένη ασφάλεια, μεγαλύτερη αξιοπιστία και μεγαλύτερη χωρητικότητα δικτύου. Τα συστήματα 2G (δευτέρης γενιάς) που σχεδιάστηκαν στη δεκαετία του 1980 εξακολουθούσαν να χρησιμοποιούνται κυρίως για φωνητικές εφαρμογές, αλλά βασίζονταν στην ψηφιακή τεχνολογία, συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών επεξεργασίας ψηφιακού σήματος [3].

Αυτά τα συστήματα 2G παρείχαν υπηρεσίες επικοινωνίας δεδομένων κυκλικής μετάδοσης με χαμηλή ταχύτητα. Όλα τα πρότυπα που ανήκουν σε αυτή τη γενιά ήταν εμπορικά κεντρικά και ήταν ψηφιακά σε μορφή. Η δεύτερη γενιά ασύρματων συστημάτων κινητής επικοινωνίας αποτέλεσε τεράστια επιτυχία λόγω της επαναστατικής της τεχνολογίας και των υπηρεσιών που έφερε στους χρήστες της το Διεθνές Συνέδριο για

το μέλλον των υπολογιστών και της επικοινωνίας. Εκτός από την υπηρεσία ομιλίας υψηλής ποιότητας, η παγκόσμια κινητικότητα ήταν ένας ισχυρός και πειστικός λόγος για τους χρήστες να αγοράζουν τεμαχικά 2G. Τα πρότυπα δεύτερης γενιάς είναι GSM,

Τρία βασικά οφέλη των δικτύων 2G έναντι των προκατόχων τους, είναι τα εξής [3], [4]:

- Οι τηλεφωνικές συνομιλίες κρυπτογραφούνταν ψηφιακά.
- Πιο αποτελεσματική χρήση του φάσματος ασύρματων συχνοτήτων που επιτρέπει περισσότερους χρήστες ανά ζώνη συχνοτήτων.
- Υπηρεσίες δεδομένων για κινητά, ξεκινώντας με μηνύματα SMS.

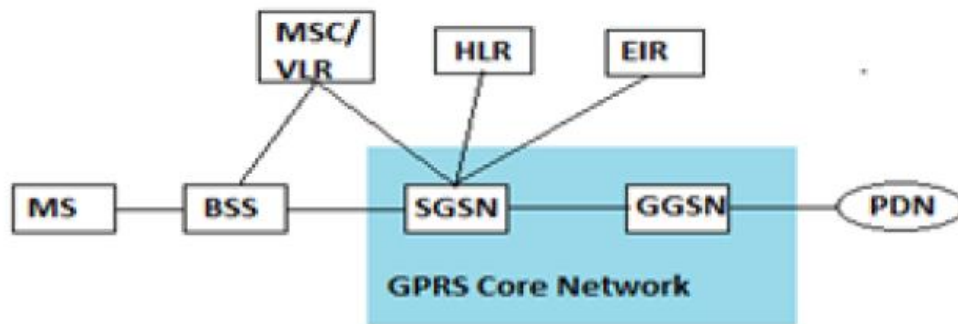
Οι τεχνολογίες 2G επέτρεψαν στα διάφορα δίκτυα να παρέχουν υπηρεσίες όπως μηνύματα κειμένου, εικονομηνύματα και μηνύματα πολυμέσων (MMS – Multimedia

M
e
s
s
a
g
i
n
g

Η τεχνολογία GSM βελτιώθηκε συνεχώς για να παρέχει καλύτερες υπηρεσίες που Service). Όλα τα μηνύματα κειμένου που αποστέλλονται μέσω 2G είναι ψηφιακά κρυπτογήσαν στην ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων που ονομάζονται συστήματα 2.5 προγραφημένα, επιτρέποντας τη μεταφορά δεδομένων με τέτοιο τρόπο ώστε μόνο ο Generation (2.5G). Το 2.5G βρίσκεται μεταξύ των τεχνολογιών 2G και 3G. Εκτός από προοριζόμενος δέκτης να μπορεί να τα λάβει και να τα διαβάσει. Μετά την εκτόξευση το πεδίο εναλλαγής κυκλώματος του συστήματος 2G, το 2.5G εφαρμόζει έναν τομέα του 2G, τα προηγούμενα συστήματα ασύρματων δικτύων κινητής τηλεφωνίας αναθεωμεταγωγής πακέτων και παρέχει ρυθμό δεδομένων 144kbps. Χρησιμοποιούμενες τεχνολογία 2G, όπως η υπηρεσία γενικού πακέτου ραδιοεπικοινωνιών (GPRS) και το EDGE τα ραδιοφωνικά σήματα σε δίκτυα 2G είναι ψηφιακά. Και τα δύο συστήματα χρησιμοποιούν ψηφιακή σηματοδότηση για να συνδέσουν τους πύργους εκπομπής (που ακούν ναλλαγής πακέτων, σύντομο χρόνο εγκατάστασης για συνδέσεις ISP και τη δυνατότητα τις συσκευές) με το υπόλοιπο κινητό σύστημα [3].

χρέωσης του συνδρομητή σύμφωνα με την ποσότητα των δεδομένων που αποστέλλονται αντί για το χρόνο σύνδεσης. Το GPRS υποστηρίζει ευέλικτους ρυθμούς μετάδοσης

δεδομένων και παρέχει συνεχή σύνδεση με το δίκτυο. Το GPRS είναι το σημαντικό βήμα προς το 3G.



Εικόνα 3: Αρχιτεκτονική GPRS [3]

Δίκτυα 3G

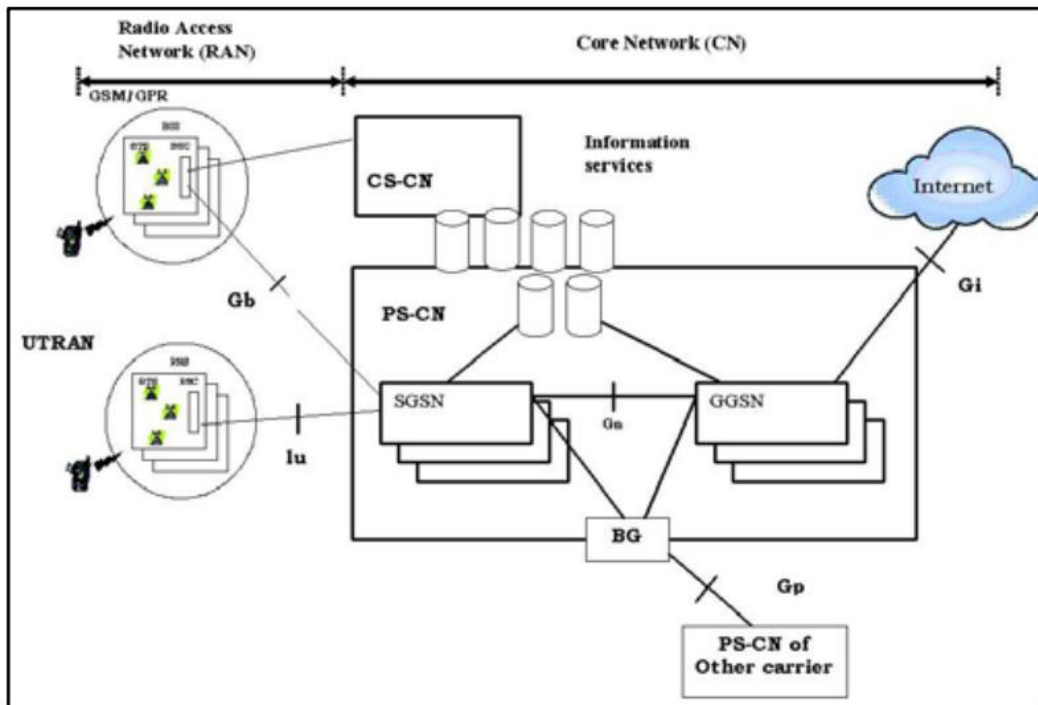
Βασικά τμήματα δικτύου 3G

Το σύστημα ασύρματης επικοινωνίας κινητής τηλεφωνίας τρίτης γενιάς παρουσιάστηκε το 2000. Ο στόχος των συστημάτων 3G ήταν να προσφέρουν αυξημένα ποσοστά δεδομένων από 144kbps σε 384kbps σε περιοχές ευρείας κάλυψης και 2Mbps σε περιοχές τοπικής κάλυψης. Το 3G προσφέρει προηγμένες υπηρεσίες στους χρήστες σε σύγκριση με 1G και 2G. Μαζί με τη φωνητική επικοινωνία περιλαμβάνει υπηρεσίες δεδομένων, πρόσβαση σε τηλεόραση / βίντεο, περιήγηση στο Web, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, τηλεδιάσκεψη, τηλεϊδοποίηση, φαξ και χάρτες πλοήγησης. Έχει εύρος ζώνης 15-20MHz που χρησιμοποιείται για internet υψηλής ταχύτητας, συνομιλία μέσω βίντεο κ.λπ.

Ένα σύστημα κινητής τηλεφωνίας 3G ορίστηκε από έναν οργανισμό που ονομάζεται 3rd Generation Partnership Project (3GPP) που πληροί τα πρότυπα IMT-2000. Ονομάστηκε UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) στην Ευρώπη, το οποίο βασίζεται σε TDD. Το IMT2000 είναι το όνομα ITU-T για το σύστημα τρίτης γενιάς, ενώ το CDMA2000 είναι το όνομα της αμερικανικής παραλλαγής 3G. Επίσης, το IMT2000 έχει αποδεχτεί ένα νέο πρότυπο 3G από την Κίνα, δηλαδή το TD-SCDMA. Το WCDMA είναι η τεχνολογία διεπαφής αέρα για το UMTS. Το πρώτο εμπορικό δίκτυο 3G κυκλοφόρησε από την NTT Do co mo στην Ιαπωνία, το 2001 και έλαβε υπόψη του [5]:

- Τον πληθυσμό των συνδρομητών και τον όγκο της κυκλοφορίας.

- Τερματικές δυνατότητες και σχετική διείσδυση στους διάφορους τύπους τερματικών (συσκευές χειρός, φορητοί υπολογιστές με κάρτα 3G κ.λπ.).
- Το χαρτοφυλάκιο υπηρεσιών και τα τιμολόγια που προσφέρουν οι φορείς εκμετάλλευσης.



Εικόνα 3: Βασικά τμήματα δικτύου 3G [4]

Το 3G καλείται επίσης τρίτη γενιά. Ονομάζεται έτσι, επειδή είναι η τρίτη γενιά των προτύπων του τηλεπικοινωνιακού υλικού. Είναι επίσης η γενική τεχνολογία για την κινητή δικτύωση, περνώντας τα πρόσφατα 2.5G. Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στην ομάδα προτύπων της ITU (Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών) που ανήκει στο IMT-2000. Τα δίκτυα 3G επιτρέπουν στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων να παρέχουν στους χρήστες μια μεγαλύτερη γκάμα από τις πιο πρόσφατες υπηρεσίες, καθώς αυξάνουν τη χωρητικότητα του δικτύου μέσω της αυξημένης φασματικής απόδοσης. Οι παρεχόμενες υπηρεσίες είναι οι βιντεοκλήσεις, το ασύρματο φωνητικό τηλέφωνο ευρείας ζώνης και οι ευρυζωνικές ασύρματες πληροφορίες, που συμπεριλαμβάνονται στο κινητό περιβάλλον [3]. Περισσότερες δυνατότητες που περιλαμβάνονται είναι οι δυνατότητες μετάδοσης δεδομένων HSPA, οι οποίες μπορούν να στείλουν ταχύτητες δεδομένων που φτάνουν τα 14.4 Mbit/s στην κατερχόμενη ζεύξη και στην ανερχόμενη ζεύξη στα 5.8 Mbit/s.

Δίκτυα 4G

Το σύστημα κινητής τέταρτης γενιάς εισήχθη στα τέλη της δεκαετίας του 2000 και ήταν όλο το σύστημα δικτύου που βασίζεται σε IP. Ο κύριος στόχος της τεχνολογίας είναι να παρέχει υπηρεσίες υψηλής ταχύτητας, υψηλής ποιότητας, υψηλής χωρητικότητας, ασφάλειας και χαμηλού κόστους για υπηρεσίες φωνής και δεδομένων, πολυμέσα και Διαδίκτυο μέσω IP. Ο λόγος για τη μετάβαση σε όλες τις IP είναι να υπάρχει μια κοινή πλατφόρμα για όλες οι τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί μέχρι τώρα. Έχει δυνατότητα 100 Mbps και 1 Gbps [4].

Για να χρησιμοποιήσουμε δίκτυο κινητής τηλεφωνίας 4G, τα τερματικά χρήστη πολλαπλών τρόπων πρέπει να μπορούν να επιλέγουν το ασύρματο σύστημα προορισμού. Για την παροχή ασύρματων υπηρεσιών οποτεδήποτε και οπουδήποτε, η κινητικότητα των τερματικών αποτελεί βασικό παράγοντα στο 4G. Η τερματική κινητικότητα συνεπάγεται αυτόματη περιαγωγή μεταξύ διαφορετικών ασύρματων δικτύων. 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 αδιάλειπτη περιαγωγή από τη μία τεχνολογία στην άλλη. LTE (ματα) θεωρείται τεχνολογίες 4G. Η πρώτη επιτυχημένη δοκιμή πεδίου για 4G πραγματοποιήθηκε στην Ιαπωνία, το 2005. Οι προκλήσεις για τη μετάβαση σε δίκτυα γενιάς

A. Τερματικά χρήστη πολλαπλών λειτουργιών: με το 4G χρειάζεται να σχεδιάσουμε ένα μόνο τερματικό χρήστη που να μπορεί να λειτουργήσει σε διαφορετικά ασύρματα δίκτυα και να ξεπεράσει τα προβλήματα σχεδιασμού, όπως είναι οι περιορισμοί στο μέγεθος της συσκευής, το κόστος και η κατανάλωση ενέργειας. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί χρησιμοποιώντας την προσέγγιση του ασύρματου λογισμικού, δηλ. το τερματικό χρήστη προσαρμόζεται στις ασύρματες διεπαφές του δικτύου.

B. Επιλογή μεταξύ διαφόρων ασύρματων συστημάτων: Κάθε ασύρματο σύστημα έχει μοναδικά χαρακτηριστικά και ρόλους. Ο πολλαπλασιασμός των ασύρματων τεχνολογιών περιπλέκει την επιλογή της καταλληλότερης τεχνολογίας για μια συγκεκριμένη υπηρεσία σε συγκεκριμένο τόπο και χρόνο. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί πραγ-

ματοποιώντας την επιλογή σύμφωνα με την καλύτερη δυνατή προσαρμογή της ποιότητας υπηρεσιών του χρήστη και των διαθέσιμων πόρων δικτύου.

Γ. Ασφάλεια: Η ετερογένεια των ασύρματων δικτύων περιπλέκει το ζήτημα της ασφάλειας. Πρέπει να αναπτυχθούν δυναμικοί επαναπροσδιορίσιμοι, προσαρμόσιμοι και ελαφροί μηχανισμοί ασφαλείας.

Δ. Υποστήριξη δικτύου και υποστήριξη QoS(Quality of Service): Η ενσωμάτωση των υφιστάμενων συστημάτων με ή χωρίς IP και η παροχή εγγύησης QoS για υπηρεσίες από άκρο σε άκρο που περιλαμβάνουν διαφορετικά συστήματα είναι επίσης μια μεγάλη πρόκληση.

Φόρτιση/χρέωση: συλλέγονται, υφίστανται διαχείριση και αποθήκευση πληροφοριών λογαριασμών πελατών από πολλούς παρόχους υπηρεσιών.

ΣΤ. Επίθεση σε επίπεδο εφαρμογής: 4G κυψελοειδείς ασύρματες συσκευές είναι γνωστές για εφαρμογές λογισμικού που παρέχουν καινοτόμο χαρακτηριστικό στο χρήστη, αλλά εισάγουν νέες τρύπες, με αποτέλεσμα περισσότερες επιθέσεις σε επίπεδο εφαρμογής.

Ζ. Εμπλοκή (spoofing) και πλαστογράφηση: Το Spoofing αναφέρεται σε αποστέλλοντα ψεύτικα σήματα GPS, οπότε ο δέκτης GPS θεωρεί ότι τα σήματα προέρχονται από ένα δορυφόρο και υπολογίζει τις λανθασμένες συντεταγμένες. Οι εγκληματίες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τέτοιες τεχνικές για να παρεμβαίνουν στην αστυνομική εργασία. Η εμπλοκή συμβαίνει όταν ένας πομπός που στέλνει σήματα στην ίδια συχνότητα μετατοπίζει ένα σήμα GPS.

Η. Κρυπτογράφηση δεδομένων: Εάν ένας δέκτης GPS πρέπει να επικοινωνήσει με τον κεντρικό πομπό, τότε ο δεσμός επικοινωνίας μεταξύ αυτών των δύο στοιχείων δεν είναι δύσκολο να σπάσει και υπάρχει ανάγκη χρήσης κρυπτογραφημένων δεδομένων.

Τα ακόλουθα είναι τα βασικά τεχνολογικά χαρακτηριστικά των δικτύων 4G [5].

Ι. Υψηλό ποσοστό μετάδοσης πληροφοριών: Μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης από δίκτυα 3G, με εύρος ζώνης 20-200 Mbps. Τα συστήματα 3ης γενιάς προσφέρουν έως και 2 Mbps σε εσωτερικούς χώρους και τουλάχιστον 144 kbps για περιβάλλοντα αυτοκινήτων ή χρήστες κινητής τηλεφωνίας. Τα ασύρματα δίκτυα LAN και τα συστήματα ασύρματης ευρυζωνικής πρόσβασης που λειτουργούν στη ζώνη των 5 GHz και

αναπτύσσονται στην Ιαπωνία (MMAC), στην Ευρώπη (Hyperlan 2) και στις ΗΠΑ (IEEE 802.11) έχουν ταχύτητα μετάδοσης 20-30 Mbps. Η ελάχιστη ταχύτητα που έχει οριστεί για τα συστήματα 4G θα είναι 10-20 Mbps για σταθερά περιβάλλοντα και 2 Mbps για κινούμενα οχήματα.

2. *Υψηλότερη χωρητικότητα και χαμηλότερο κόστος ανά bit*: Μεγαλύτερη χωρητικότητα, επομένως καλύτερη χρήση του διαθέσιμου φάσματος και χαμηλότερο κόστος ανά bit. Η χωρητικότητα των συστημάτων 3G δεν θα είναι αρκετή για να φιλοξενήσει την εκρηκτική αύξηση της κυκλοφορίας πολυμέσων γύρω στο 2010. Η χωρητικότητα για τα συστήματα 4G θα πρέπει να είναι τουλάχιστον δέκα φορές υψηλότερη από την 3G και το κόστος ανά bit θα πρέπει να μειωθεί δραματικά, έτσι ώστε η επιβάρυνση να μην είναι απαγορευτική.

3. *Ποιότητα εξυπηρέτησης (QoS)*: Τα ασύρματα συστήματα χρησιμοποιούν περιορισμένο φάσμα συχνοτήτων και μεταδίδουν ισχύ και υποφέρουν από συμφόρηση. Είναι επομένως απαραίτητο να παρέχεται ένα ικανοποιητικό επίπεδο QoS για την υποστήριξη διαφορετικών εφαρμογών, ειδικά εκείνων που απαιτούν επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

4. *Υποστήριξη Διαδικτύου νέας γενιάς*: Η υποστήριξη για πρωτόκολλα Internet νέας γενιάς (IPv6) και πολυεκπομπή είναι ιδιαίτερα σημαντική για εφαρμογές ηλεκτρονικού εμπορίου.

5. *Προσαρμογή φυσικής και MAC διεπαφής ανάλογα με το δίκτυο που χρησιμοποιείται κάθε φορά*. Μέχρι τώρα το λογισμικό που ήταν υπεύθυνο για αυτό (ασύρματοι ελεγκτές) ήταν αποκλειστικά σε μεγάλους Σταθμούς Βάσης, αλλά τώρα πρέπει να υπάρχει κάτι παρόμοιο μέσα στις φορητές συσκευές. Επίσης, βασική παράμετρος είναι η δημιουργία αλγορίθμων για την εξοικονόμηση ενέργειας από τη μπαταρία της συσκευής.

6. *Ομαλή διεπαφή με τα συστήματα 3G, WLAN και σταθερά δίκτυα*. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία Internet Protocol (IP) θα υπάρχει απρόσκοπτη διασύνδεση διαφορετικών τεχνολογιών. Ως αποτέλεσμα, κάθε χρήστης θα μπορεί να επιλέγει το καλύτερο δίκτυο ανά περίπτωση (ανάλογα με το χρόνο, το χώρο και το κόστος).

. *Καλή χωρική κάλυψη με μεταβλητή ταχύτητα μετάδοσης:* Καθώς οι ταχύτητες μετάδοσης αυξάνονται, το απαιτούμενο επίπεδο σήματος θα αυξηθεί αναλόγως. Λόγω του γεγονότος ότι η προβλεπόμενη ταχύτητα των συστημάτων 4G είναι μεγαλύτερη από δύο τάξεις μεγέθους υψηλότερη από τα υπάρχοντα συστήματα, η ακτίνα του κυττάρου θα μειωθεί και η κάλυψη μέσα στα κτίρια θα μειωθεί αν δεν προστεθεί μεγάλος αριθμός σταθμών. Κατά συνέπεια, χρειάζονται μικρότερα κύτταρα για να επιτευχθούν οι απαιτούμενοι υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης για τον ίδιο πληθυσμό. Η χρήση συστημάτων μετάδοσης μεγάλης εμβέλειας / μεταβλητής ταχύτητας είναι απαραίτητη για την ικανοποίηση του εσωτερικού χώρου και για τη μετακίνηση σε διαφορετικό κελί χωρίς προβλήματα ανεξάρτητα από την τεχνολογία των συστημάτων (3G, 4G).

Χρήση πολλαπλών κεραιών: χρησιμοποιούνται πολλαπλές κεραιές, τόσο σε σταθμούς βάσης όσο και σε κινητές συσκευές, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο ορθογώνιας πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας, (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing –⁴ και άλλες μεθόδους.

Πίνακας 1: Σύγκριση τεχνολογιών GSM και 3G

Parameters	GSM	3G
Modulation Technique	GMSK	QPSK
Channel Bandwidth	200-kHz	3.84-MHz
Channel Separation	200-kHz	5-MHz
Data Rate	270.8-kbs	3.84-Mbs

⁴

Στις τηλεπικοινωνίες, η ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM) είναι ένας τύπος ψηφιακής μετάδοσης και μια μέθοδος κωδικοποίησης ψηφιακών δεδομένων σε πολλαπλές συχνότητες φορέα. Το OFDM έχει εξελιχθεί σε ένα δημοφιλές σχήμα για ψηφιακή επικοινωνία ευρείας ζώνης, που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπως ψηφιακή τηλεόραση και μετάδοση ήχου, πρόσβαση στο Διαδίκτυο DSL, ασύρματα δίκτυα, δίκτυα γραμμών ισχύος και κινητές επικοινωνίες 4G / 5G

Δίκτυα 5G

Κύριοι τεχνικοί στόχοι για τα συστήματα 5G

Το δίκτυο κινητής και ασύρματης επικοινωνίας πέμπτης γενιάς είναι ο πραγματικός ασύρματος κόσμος που θα υποστηρίζεται από LAS-CDMA, OFDM, MC-CDMA, ματος κόσμος ή World Wide Wireless Web (WWWW) καθώς δεν έχει περιορισμούς. Το βασικό πρωτόκολλο για λειτουργία σε 4G και 5G είναι το IPv6.5G που στοχεύει στην παροχή απεριόριστης πρόσβασης σε πληροφορίες και τη δυνατότητα κοινοποίησης δεδομένων οπουδήποτε, οποτεδήποτε από οποιονδήποτε προς όφελος του κόσμου. Οι τεχνολογίες 5G καλύπτουν όλες τις προηγμένες δυνατότητες που καθιστούν το 5G κινητό τεχνολογία πιο ισχυρή και θα έχει τεράστια ζήτηση στο μέλλον. Το κινητό 5G βασίζεται σε όλα τα IP για διαλειτουργικότητα κινητού και ασύρματου δικτύου. Οι δραστηριότητες τυποποίησης για το 5G έχουν ήδη ξεκινήσει φέτος και ενδέχεται να οδηγήσουν σε εμπορική διαθεσιμότητα γύρω στο 2020 [6].

Η ταχεία ανάπτυξη ηλεκτρονικών συσκευών οδήγησε στην εμφάνιση διαφόρων αναδυόμενων εφαρμογών, όπως ανάλυση δεδομένων μεγάλου όγκου, Τεχνητή νοημοσύνη, τρισδιάστατα μέσα, το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) κ.λπ., που απαιτεί σημαντική κίνηση δεδομένων. Ενώ τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας είναι ήδη απαραίτητα για την κοινωνία μας για συνδέσεις οπουδήποτε και οποτεδήποτε, ένα βασικό χαρακτηριστικό των κινητών δικτύων 5G και Beyond (B5G) είναι ο τεράστιος όγκος δεδομένων, που απαιτεί πολύ υψηλή απόδοση (ρυθμός επεξεργασίας) ανά συσκευή, της τάξης των . Για παράδειγμα, η παγκόσμια μηνιαία κίνηση δεδομένων σε smartphone αναμένεται να είναι περίπου 50 petabytes έως το 2021 [10].

Μεταξύ των διαφόρων τύπων κυκλοφορίας δεδομένων, τα δεδομένα βίντεο είναι τα πιο διαδεδομένα. Η επισκεψιμότητα βίντεο αποτελεί ήδη σημαντικό ποσοστό του όγκου των κινητών και αναμένεται να φθάσει το 67% της συνολικής επισκεψιμότητας έως το 2017 και περισσότερο στο μέλλον. Η επισκεψιμότητα βίντεο έχει ήδη δημιουργήσει σοβαρές προκλήσεις στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, συμπεριλαμβανομένων των επερχόμενων δικτύων κινητής τηλεφωνίας 5G. Για παράδειγμα, αναμένεται ότι απαιτείται τουλάχιστον 10 Gbps επισκεψιμότητας για μια συσκευή εικονικής πραγματικότητας (VR). Επιπλέον, το βίντεο υψηλής ευκρίνειας (HD) καθίσταται όλο και πιο

σημαντικό για τις φορητές συσκευές. Επιπλέον, οι συσκευές που χρησιμοποιούν Ultra HD (UHD) (4K και 8K) και 3D φωτορεαλισμό αναμένεται να είναι ευρέως διαθέσιμες στο όχι πολύ μακρινό μέλλον. Ένα μη συμπίεσμένο βίντεο UHD μπορεί να φτάσει τα 24 Gbps, ενώ ένα μη συμπίεσμένο βίντεο 3D με UHD μπορεί να φτάσει τα 100 Gbps 5G θα είναι [7]:

- *Εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες δεδομένων ανά συσκευή* (πολλαπλάσιες δεκάδες
- *Υψηλές ταχύτητες δεδομένων ανά περιοχή και μεγάλος αριθμός συνδεδεμένων συσκευών.* Έτσι, η παρεμβολή μεταξύ των πομπών πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ελαχιστοποιημένη.
- *Εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση* (στρογγυλοποιημένοι χρόνοι μικρότεροι του ενός msec), ειδικά για πολυμέσα και διαδραστικές εφαρμογές βίντεο 3D/VR.
- *Εξαιρετικά αξιόπιστη υποστήριξη* για διάφορες κρίσιμες εφαρμογές όπως οι επικοινωνίες Vehicle - to-Vehicle (V2V), ο βιομηχανικός έλεγχος και η υγειονομική περίθαλψη.

Στο δίκτυο 5G, το στρώμα Physical and Data Link ορίζει την ασύρματη τεχνολογία 5G που την υποδεικνύει ως Open Wireless Architecture (OWA). Η τεχνολογία 5G διατηρεί επίσης εικονικό πολυσύρματο δίκτυο. Για να γίνει αυτό, το επίπεδο δικτύου υποδιαιρείται σε δύο επίπεδα. ανώτερο επίπεδο δικτύου για τερματικό κινητού και χαμηλότερο επίπεδο δικτύου για διασύνδεση. Εδώ όλη η δρομολόγηση θα βασίζεται σε διευθύνσεις IP που θα ήταν διαφορετικές σε κάθε δίκτυο IP παγκοσμίως. Στην τεχνολογία 5G η υψηλότερη απώλεια ρυθμού bit υπερνικάται χρησιμοποιώντας *το Open sion*. Το επίπεδο εφαρμογής είναι για διαχείριση ποιότητας υπηρεσιών σε διάφορους τύπους δικτύων. Το 5G είναι η ασύρματη τεχνολογία πέμπτης γενιάς για ψηφιακά κυψελοειδή δίκτυα που άρχισε να αναπτύσσεται ευρέως το 2019. Όπως με τα προηγούμενα μοντέλα, οι καλυμμένες περιοχές χωρίζονται σε περιοχές που ονομάζονται "κελιά" και εξυπηρετούνται από μεμονωμένες κεραιές. Σχεδόν κάθε μεγάλος πάροχος τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στον ανεπτυγμένο κόσμο αναπτύσσει κεραιές ή σκοπεύει

να τις αναπτύξει σύντομα. Το φάσμα συχνοτήτων 5G χωρίζεται σε κύματα χιλιοστών, μεσαία ζώνη και χαμηλή ζώνη. Το χαμηλό εύρος ζώνης χρησιμοποιεί μια παρόμοια ζώνη συχνοτήτων με τον προκάτοχό της, 4G.

Το κύμα των 5G είναι το γρηγορότερο, με τις πραγματικές ταχύτητες να είναι συνήθως 1-2 Gbit/s. Οι συχνότητες είναι άνω των 24 GHz και φτάνουν τα 72 GHz και υπερβαίνουν τα όρια της ζώνης εξαιρετικά υψηλής συχνότητας. Το εύρος είναι μικρό, επομένως απαιτούνται περισσότερα κελιά. Τα χιλιόμετρα των κυμάτων καθιστούν δύσκολη τη διέλευση πολλών τοίχων και παραθύρων, επομένως η εσωτερική κάλυψη είναι περιορισμένη.

Το 5G (μεσαία ζώνη 5G) είναι το πιο διαδεδομένο, σε περισσότερα από 20 δίκτυα. Οι ταχύτητες σε μια ευρεία ζώνη των 100 MHz είναι συνήθως 100-400 Mbit / s. Στο εργαστήριο και περιστασιακά στην πράξη, οι ταχύτητες μπορούν να ξεπεράσουν ένα gigabit ανά δευτερόλεπτο. Οι συχνότητες που αναπτύχθηκαν είναι από 2,4 GHz έως 4.2 GHz. Η Sprint και η China Mobile χρησιμοποιούν 2,5 GHz, ενώ άλλα είναι μεταξύ 3.3 και 4.2 GHz, μια περιοχή που προσφέρει μεγαλύτερη εμβέλεια. Πολλές περιοχές μπορούν να καλυφθούν απλώς με την αναβάθμιση υφιστάμενων πύργων, γεγονός που μειώνει το κόστος [8].

Το 5G low-band προσφέρει παρόμοια χωρητικότητα με το προηγμένο 4G. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η T-Mobile και η AT&T παρουσίασαν υπηρεσίες χαμηλού εύρους ζώνης την πρώτη εβδομάδα του Δεκεμβρίου 2019. Η AT&T, χρησιμοποιώντας 850 MHz, θα αποδώσει επίσης συνήθως λιγότερο από 100 Mbit/s το 2019. Η απόδοση θα βελτιωθεί, αλλά μπορεί να μην είναι σημαντικά υψηλότερη από την ισχυρή 4G στην ίδια περιοχή.

Η πρώτη έκδοση της τεχνολογίας ασύρματης πρόσβασης 5G/NR [3] ολοκληρώθηκε κατά την διάρκεια του έτους 2018. Σε σύγκλιση με την τεχνολογία 4G/LTE, το πιο χαρακτηριστικό γνώρισμα της τεχνολογίας NR είναι η επέκταση του εύρους του φάσματος, στο οποίο μπορεί να λειτουργήσει η τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης. Ενώ η LTE μπορεί να λειτουργήσει σε φάσμα μέχρι περίπου 3.5 GHz, η πρώτη έκδοση του NR υποστηρίζει την λειτουργία σε φάσμα έως 52.6 GHz, δηλαδή στην περιοχή της

ζ

ω

Η εξαιρετικά υψηλή συχνότητα (EHF) είναι η ονομασία της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU) για τη ζώνη

η

ς

m

Η λειτουργία σε ζώνες υψηλότερων συχνοτήτων ανοίγει ένα νέο φάσμα συχνοτήτων, που επιτρέπουν μεγαλύτερους όγκους κυκλοφορίας. Παρέχει επίσης την ευκαιρία για μεγαλύτερα εύρη ζώνης μετάβασης, με αντίστοιχη δυνατότητα υψηλότερων ρυθμών δεδομένων τελικού χρήστη. Τα χαρακτηριστικά του 5G είναι [9], [10]:

- Το 5G παρέχει μεγάλη μετάδοση δεδομένων.
- Τα τερματικά 5G διαθέτουν ραδιόφωνα καθορισμένα από λογισμικό.
- Το 5G χρησιμοποιεί διαφορετικές τεχνικές διαμόρφωσης και τεχνικές ελέγχου σφαλμάτων.
- Το 5G παρέχει εκατοντάδες κανάλια χωρίς ροή.
- Η τεχνολογία 5G προσφέρει πύλη κατηγορίας μεταφορέων με απaráμιλλη συνέπεια.
- Η τεχνολογία 5G υποστηρίζει εικονικό ιδιωτικό δίκτυο.
- Το 5G προσφέρει αμφίδρομο εύρος ζώνης και λιγότερη κίνηση
- Το 5G παρέχει ταχύτητα σύνδεσης 25Mbps με εύρος ζώνης δεδομένων υψηλότερο από 1Gb.
- Η απομακρυσμένη διάγνωση είναι ένα εξαιρετικό χαρακτηριστικό του 5G.
- Η ταχύτητα μεταφόρτωσης και λήψης 5G είναι πολύ υψηλή.

Το κλειδί για πιο αποτελεσματική χρήση ζωνών υψηλότερης συχνότητας είναι η χρήση προηγμένων συστημάτων κεραιών που χρησιμοποιούν μεγάλο αριθμό συστοιχιών κεραιών. Αν και η μετάδοση / λήψη πολλαπλών κεραιών είναι ένα σημαντικό εργαλείο για βελτιωμένη απόδοση εντός του LTE, για την τεχνολογία NR, είναι ένα ζωτικό στοιχείο για την αντιμετώπιση των αυξημένων απωλειών μετάδοσης και της λογικής κάλυψης δικτύου σε υψηλότερες συχνότητες, όπως τα 10 GHz. . Ταυτόχρονα, λόγω του μικρότερου μεγέθους δεδομένων ανά κεραία, η λειτουργία σε υψηλότερο εύρος ζώνης επιτρέπει μεγαλύτερο αριθμό κεραιών, χωρίς υπερβολή του συνολικού συστήματος κεραιών. Ως αποτέλεσμα, η τεχνολογία NR περιλαμβάνει ισχυρά εργαλεία για μετάδοση και λήψη με χρήση πολλαπλών κεραιών τόσο από την πλευρά του δικτύου όσο και από την πλευρά της συσκευής. Η πρώτη έκδοση της τεχνολογίας ασύρματης

ασύρματων συχνοτήτων στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα από 30 έως 300 GHz. Βρίσκεται ανάμεσα στη λωρίδα εξαιρετικά υψηλής συχνότητας και τη ζώνη υπέρυθρης ακτινοβολίας. Τα ραδιοκύματα σε αυτή τη ζώνη έχουν μήκη κύματος από δέκα έως ένα χιλιοστό, επομένως ονομάζεται επίσης ζώνη χιλιοστών και η ακτινοβολία σε αυτή τη ζώνη ονομάζεται χιλιοστομετρικά κύματα, γνωστά και με τη συντομογραφία MMW ή mmW ή mmWave

πρόσβασης 3GPP 5G/NR (New Radio) ολοκληρώθηκε το 2018. Σε σύγκριση με το 4G/LTE, το πιο ξεχωριστό χαρακτηριστικό του NR είναι η επέκταση του εύρους ζώνης στο οποίο μπορεί να λειτουργήσει η ασύρματη τεχνολογία. πρόσβαση. Ενώ το 4G/LTE μπορεί να λειτουργήσει στο εύρος ζώνης περίπου 3.5 GHz, η πρώτη έκδοση του NR υποστηρίζει λειτουργία στο εύρος ζώνης έως και 52.6 GHz, δηλαδή στο εύρος mmw. Η λειτουργία σε ζώνες υψηλότερης συχνότητας ανοίγει ένα νέο φάσμα, επιτρέποντας υψηλότερους όγκους κυκλοφορίας. Παρέχει επίσης την ευκαιρία για ευρύτερο εύρος ζώνης μετάδοσης, με την αντίστοιχη δυνατότητα υψηλότερων ποσοστών δεδομένων τελικού χρήστη.

Παρόλο που η μετάδοση ή/και λήψη πολλαπλών κεραιών είναι ένα σημαντικό εργαλείο για βελτιωμένη απόδοση ήδη εντός του LTE, είναι σημαντικό για την αντιμετώπιση των αυξημένων απωλειών μετάδοσης και της εύλογης κάλυψης δικτύου σε υψηλότερες συχνότητες, όπως τα 10 GHz. Ταυτόχρονα, λόγω μικρότερου μεγέθους δεδομένων ανά κεραία, η λειτουργία σε υψηλότερο εύρος συχνοτήτων επιτρέπει μεγαλύτερο αριθμό κεραιών χωρίς υπερβολική υπερβολή του συνολικού συστήματος κεραιών. Επομένως, το NR περιλαμβάνει ισχυρά εργαλεία για μετάδοση και λήψη χρησιμοποιώντας πολλαπλές κεραίες τόσο στην πλευρά του δικτύου όσο και στην πλευρά της συσκευής.

Για υψηλότερες συχνότητες, όπου οι ρυθμοί δεδομένων περιορίζονται συχνότερα από τη διαθέσιμη ισχύ λήψης παρά από το διαθέσιμο εύρος ζώνης, η κύρια εστίαση είναι στη διαμόρφωση πομπού και δέσμης δέκτη. Για χαμηλότερες συχνότητες, η χωρική πολυπλεξία που επιτρέπει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων σε περιορισμένο εύρος ζώνης είναι πιο σημαντική. Άλλα βασικά χαρακτηριστικά του NR περιλαμβάνουν σημαντικά χαμηλότερη καθυστέρηση και βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση δικτύου, επιτρέποντας σημαντικά χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος δικτύου. Το τελευταίο ενεργοποιείται από σχεδιασμό ασύρματης διεπαφής που μειώνει σημαντικά τις εκπομπές μετάδοσης, όπως μετάδοση σημάτων αναφοράς και μετάδοση πληροφοριών συστήματος.

Τεχνολογία LTE

Το Long Term Evolution, ή απλά το LTE, είναι η τελευταία λέξη της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για ασύρματη επικοινωνία υψηλής ταχύτητας και δικτύωση κινητών συσκευών. Βασίζεται σε προϋπάρχοντα δίκτυα GSM / EDGE και UMTS / HSPA,

αυξάνοντας την χωρητικότητα του δικτύου και την ταχύτητα χρησιμοποιώντας νέες τεχνικές διαμόρφωσης. Αυτό το πρότυπο αναπτύσσεται από το 3GPP.

Αυτή η τεχνολογία δημιουργήθηκε λόγω της ανάγκης για ταχύτερη πρόσβαση στο Διαδίκτυο μέσω κινητού καθώς και καλύτερης ποιότητας υπηρεσιών. Επέτρεψε στους χρήστες να περιηγηθούν στο Διαδίκτυο με υψηλές ταχύτητες 300Mb / s για downlink και 75Mb/s για Uplink. Η μελετημένη τεχνολογία χρησιμοποιεί την τεχνική OFDM της τεχνικής διαίρεσης πολλαπλών συχνοτήτων και η ιδέα της ήταν να διαιρέσει ένα μεγάλο υψηλό ποσοστό σε πολλά μικρότερα ποσοστά και να τα χρησιμοποιήσει για την αποστολή δεδομένων. Τα αργά κανάλια πολλαπλασιάζονται σε ένα γρήγορο κανάλι και μεταδίδονται. Αυτό επιτυγχάνει καλύτερη και πιο αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης για να διαχωρίσουν τα κανάλια το ένα από το άλλο. Τα κύρια χαρακτηριστικά της μελετημένης τεχνολογίας είναι τα ακόλουθα [11]:

- Βελτιωμένη υποστήριξη για κινητές συσκευές, ακόμη και αν κινούνται με ταχύτητες έως και 500km/h ανάλογα με τη συχνότητα που χρησιμοποιείται.
- Βελτιωμένη φασματική ευελιξία: τυποποίηση καναλιών στα 1,4MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz και 20MHz.
- Μικρές καθυστερήσεις μεταφοράς δεδομένων, δηλαδή καθυστέρηση πακέτου IP κάτω των 5 msec.
- Υποστήριξη κυψελών μεταβλητού μεγέθους από μερικές δεκάδες μέτρα έως 100 km. Το ιδανικό μέγεθος κελιού σε αγροτικές περιοχές, όπου χρησιμοποιούνται χαμηλότερες συχνότητες είναι στα 5 χλμ., Στο μέγεθος των 30 χλμ. η απόδοση είναι αρκετά καλή, ενώ με μέγεθος 100 χλμ. η απόδοσή του είναι ικανοποιητική. Σε αστικά περιβάλλοντα, οι υψηλές συχνότητες χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη μεταδόσεων υψηλού εύρους ζώνης. Σε αυτήν την περίπτωση, κάθε κελί του δικτύου έχει μέγιστο μέγεθος 1 km.
- Απλούστερη αρχιτεκτονική δικτύου.

για την ανοδική.

Στη συνέχεια ήρθε η LTE - προηγμένη τεχνολογία, η οποία προκάλεσε αρκετές αλλαγές στα ασύρματα δίκτυα και πιο συγκεκριμένα στον κάτω σύνδεσμο υπερέβη την ταχύτητα 1Gbit/sec, σε χρήστες με υψηλή κινητικότητα αυτή η ταχύτητα περιορίστηκε στα 100 Mbit/sec, ενώ στο το uplink ξεπέρασε τα 500 Mbps. Η μέγιστη ταχύτητα που υποστηρίζεται φτάνει τα 350 km/h σε ιδανικές συνθήκες υποστηρίζει ταχύτητες 30

b
p
s

Πίνακας 1: Σύγκριση τεχνολογίας LTE με άλλες τεχνολογίες
Hz στην κάτω ζεύξη και 15 bps/Hz στην άνω ζεύξη Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τη

Generation→/Features↓	1G	2G	3G	4G	5G	6G
Year	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010s	2015 onwards	After 5G
Speed	2.4Kbps	64Kbps	2Mbps	200Mbps to 1Gbps	1Gbps and Higher	10 to 11Gbps
Technology	Analog Cellular	Digital Cellular	Broadband CDMA, IP	Unified IP & seamless combination of broadband LAN, WAN, WLAN, PAN	4G+WWWW	5G+satellite
Standard	AMPS	GSM,PDC,IS-95,IS-136,EDGE,GPRS	CDMA 2000, UMTS,TD-SCDMA,WCDMA	LTE, WiMAX	LAS-CDMA, OFDM, MC-CDMA, UWB, Network-LMD S, IPv6	GPS,COMPASS, GLONASS, Galileo systems
Multiplexing	FDMA	TDMA,CDMA	CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Switching	Circuit	Circuit & Packet	Packet except circuit for air interface	Packet	Packet	Packet
Core Network	PSTN	PSTN and Packet network	Packet Network	Internet	Internet	Internet
Handoff	Horizontal	Horizontal	Horizontal & Vertical	Horizontal & Vertical	Horizontal & Vertical	Horizontal & Vertical
Services	Voice only	Digital voice and short messaging, packetized data	Integrated high quality audio, video and data	Dynamic information access, wearable devices	Dynamic information access, wearable devices with AI capabilities	Ultra fast Internet access

Το FDMA ενός φορέα (SC-FDMA) είναι ένα σύστημα πολλαπλής πρόσβασης με διαίρεση συχνότητας. Ονομάζεται επίσης γραμμικά προ-κωδικοποιημένο OFDMA (LP-OFDMA). Όπως και σε άλλα συστήματα πολλαπλής πρόσβασης (TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA), ασχολείται με την εκχώρηση πολλαπλών χρηστών σε έναν κοινόχρηστο πόρο επικοινωνίας. Η SC-FDMA μπορεί να ερμηνευτεί ως ένα γραμμικό πρόδρομο σχήμα OFDMA, με την έννοια ότι έχει ένα πρόσθετο βήμα επεξεργασίας DFT που προηγείται της συμβατικής επεξεργασίας OFDMA

Τεχνολογίες NFV και SDN και NR για μη εξουσιοδοτημένο φάσμα (NR-U)

Η τεχνολογία NFV στοχεύει στη μεταφορά εφαρμογών δικτύου / τηλεπικοινωνιών που λειτουργούν επί του παρόντος σε αποκλειστικές και εξειδικευμένες πλατφόρμες, σε εικονική υποδομή cloud NFV. Είναι μια αρχιτεκτονική δικτύου που επιτρέπει το διαχωρισμό υλικού και λογισμικού και έχει γίνει πραγματικότητα για τη βιομηχανία

κ
ι
ν
η
τ
ή
ς

Ορισμένοι φορείς εκμετάλλευσης που έχουν κατασκευάσει ή δημιουργήσει μέ-
τ
ρος ή όλα τα δίκτυα LTE χρησιμοποιούν τις τεχνολογίες NFV και SDN ως βάση. Επι-
η
πλέον, παρέχονται λύσεις διαχείρισης πόρων cloud για την υποστήριξη αναγκών εφαρ-
λ
μογών και την πλήρη αυτοματοποίηση της διεπαφής δικτύου στο κέντρο δεδομένων
ε
καθώς και στο WAN. Ιστορικά, οι τεχνολογίες ραδιοφώνου 3GPP περιορίστηκαν στη
φ
λειτουργία με άδεια φάσματος για την οποία, σε μια γεωγραφική περιοχή, μια συγκε-
ω
κριμένη ζώνη συχνοτήτων εκχωρείται σε έναν μόνο φορέα δικτύου κινητής τηλεφω-
ν
γίας. Η λειτουργία με άδεια χρήσης παρέχει εξοπλισμό ασύρματων παρεμβολών που
ι
επιτρέπει σε έναν χειριστή δικτύου να παρέχει υπηρεσίες υψηλής ποιότητας με οικο-
α
νομικά αποδοτικό τρόπο. Ταυτόχρονα, η δυνατότητα αξιοποίησης τεχνολογιών 3GPP
ς
σε μια περιοχή χωρίς άδεια παρέχει την ευκαιρία για επιπλέον χωρητικότητα δικτύου
και επιτρέπει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων τελικών χρηστών όταν το επιτρέπουν
λ
οι συνθήκες παρεμβολών.

γ
ω

τ
8

Τα εμπορικά προϊόντα off-the-shelf ή εμπορικά διαθέσιμα στο εμπόριο (COTS) είναι συσκευασμένες λύσεις οι οποίες στη συνέχεια προσαρμόζονται για να ικανοποιούν τις ανάγκες του οργανισμού προ-
βηθειών, αντί να αναθέτουν λύσεις επί παραγγελία ή επί παραγγελία. Οι αγορές COTS είναι εναλλα-
κτικές λύσεις για το προσαρμοσμένο λογισμικό ή για τις εξελίξεις - εξελίξεις που χρηματοδοτούνται
από την κυβέρνηση ή με άλλο τρόπο.

α
υ
ξ
η

Υπό το πρίσμα αυτό, το 4G / LTE έχει επεκταθεί για να υποστηρίξει τη λειτουργία σε μια περιοχή χωρίς άδεια κάτω από τη λεγόμενη άδεια πρόσβασης με υποβοήθηση (LAA). Με το LAA, ένας χειριστής LTE χωρίς άδεια χρήσης λειτουργεί πάντα με έναν αντίστοιχο φορέα εκμετάλλευσης άδειας χρήσης φάσματος, δηλαδή ο φορέας χωρίς άδεια χρήσης υποστηρίζεται από έναν φορέα εκμετάλλευσης με άδεια. Το γεγονός ότι μια σύνδεση περιλαμβάνει πάντα έναν φορέα εκμετάλλευσης σε άδεια φάσματος δείχνει ότι διατηρείται η αξιοπιστία της άδειας λειτουργίας. Ταυτόχρονα, ο αδειοδοτημένος μεταφορέας μπορεί να εκφορτώσει μέρος της κίνησης δικτύου, επιτρέποντας μεγαλύτερη συνολική ικανότητα μεταφοράς [13]. Η πρώτη έκδοση του NR περιορίζεται στη λειτουργία άδειας φάσματος, με υποστήριξη για μη εξουσιοδοτημένη λειτουργία φάσματος, μερικές φορές αναφέρεται ως NR-U, που παρουσιάστηκε ως μέρος της έκδοσης 16. Παρόμοια με τη μη εξουσιοδοτημένη λειτουργία LTE, το NR-U θα περιλαμβάνει υποστήριξη για LAA, δηλαδή λειτουργία όπου ο αδειοδοτημένος μεταφορέας NR λειτουργεί με αδειοδοτημένο φορέα. Στην περίπτωση NR-U, ο φορέας με άδεια χρήσης μπορεί να είναι φορέας NR σε συνάθροιση φορέα με τον φορέα χωρίς άδεια. Ωστόσο, ο εξουσιοδοτημένος χειριστής μπορεί επίσης να είναι χειριστής LTE που λειτουργεί με διπλή συνδεσιμότητα με τον μη εξουσιοδοτημένο χειριστή NR.

Εναλλακτικά, και σε αντίθεση με το LTE, ένας μη αδειοδοτημένος φορέας NR μπορεί επίσης να λειτουργεί αυτόνομα, δηλαδή χωρίς πρόσθετο φορέα σε άδεια φάσματος. Αυτό επιτρέπει τη χρήση NR, για παράδειγμα, από χειριστές που δεν έχουν πρόσβαση σε μια σειρά Ιστότοπων με άδεια. Το μεγαλύτερο μέρος της τρέχουσας λειτουργικότητας NR διατηρείται όταν λειτουργεί σε μια περιοχή χωρίς άδεια, με σημαντικές τροποποιήσεις / προσθήκες που σχετίζονται με τους μηχανισμούς που απαιτούνται για την εξασφάλιση καλής συνύπαρξης μεταξύ διαφορετικών ανεξάρτητων χειριστών NR-U, καθώς και μεταξύ φορέων και τεχνολογιών NR-U. χωρίς άδεια όπως το IEEE 802.11 (WiFi) καθώς και μη εξουσιοδοτημένο LTE.

Ενσωματωμένης πρόσβασης / Backhaul (IAB)

Η χρήση της ασύρματης τεχνολογίας είναι μια καθιερωμένη προσέγγιση στην

π

⁹ Το Backhaul έχει πολλές χρήσεις στον τομέα της πληροφορικής. Στην δορυφορική επικοινωνία χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει τη λήψη δεδομένων σε ένα σημείο από το οποίο μπορούν να διανεμηθούν μέσω ενός δικτύου. Οι κατασκευαστές εξοπλισμού μεταγωγής δικτύου χρησιμοποιούν τον όρο

ο

χ

ή

9

για δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Ιστορικά, μια τέτοια ασύρματη ανάκτηση βασίζεται συνήθως σε ιδιόκτητες τεχνολογίες που λειτουργούν στην περιοχή mmw (> 10 GHz) και με συνθήκες αναπαραγωγής οπτικών επαφών. Όπως περιγράφεται στην εισαγωγή, το NR επεκτείνει το εύρος ζώνης για τη σύνδεση πρόσβασης (από δίκτυο σε συσκευή) στο φάσμα mmw, δηλαδή το φάσμα των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος για ασύρματη ανάκτηση. Ταυτόχρονα, ένας αυξανόμενος αριθμός σταθμών βάσης χαμηλής ισχύος που βρίσκονται σε επίπεδο δρόμου έχουν δημιουργήσει μια ζήτηση για ασύρματες λύσεις backhaul που μπορούν να λειτουργήσουν σε συνθήκες χαμηλής ορατότητας. [6].

Με άλλα λόγια, οι δυνατότητες και οι απαιτήσεις πρόσβασης και ασύρματων συνδέσεων πρόσβασης είναι από πολλές απόψεις συγκλίνουσες. Αυτό μιλά υπέρ της τεχνολογίας ασύρματης πρόσβασης που υποστηρίζει την πρόσβαση και την ασύρματη πρόσβαση και με ένα κοινό εύρος που μπορεί να αντιστοιχιστεί είτε σε πρόσβαση είτε σε backhaul σε βάση που πρέπει να γνωρίζουμε [4]. Το Integrated Access/Backhaul (IAB) στοχεύει συγκεκριμένα στην επέκταση της τεχνολογίας NR, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ασύρματη backhaul. Με άλλα λόγια, με το IAB, η NR θα προσφέρει μια ολοκληρωμένη τεχνολογία ραδιοεπικοινωνιών που υποστηρίζει τόσο συμβατική πρόσβαση συσκευής όσο και ασύρματη αναδρομή. Καταρχήν, το IAB¹⁰ στοχεύει οποιοδήποτε φάσμα υποστηρίζεται επί του παρόντος από το NR. Ωστόσο, η κύρια εστίαση για το IAB είναι, τουλάχιστον αρχικά, το υψηλότερο φάσμα συχνοτήτων

- Η μεγάλη ποσότητα φάσματος υψηλότερης συχνότητας, σε σύγκριση με το πιο περιορισμένο φάσμα χαμηλών συχνοτήτων, καθιστά πιο δικαιολογημένη τη χρήση μέρους του συνολικού πόρου φάσματος για την αναστροφή.

Η διαμόρφωση εκτεταμένης δέσμης που ενεργοποιείται από μια λειτουργία υψηλότερης συχνότητας είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη σύνδεση IAB backhaul για την οποία και τα δύο τελικά σημεία είναι ακίνητα. Επιπλέον, λόγω περιορισμένων περιορισμών πολυπλοκότητας, πιο εκτεταμένες διαμορφώσεις κεραίας μπορούν να εφαρμοστούν σε

"λήψη δεδομένων στη ραχοκοκαλιά του δικτύου" (που είναι παρόμοια με τη χρήση του στη βιομηχανία δορυφορικής επικοινωνίας).

¹⁰ Αποτελεί την Ολοκληρωμένη Πρόσβαση και Backhaul. Υποστηρίζει ασύρματες συνδέσεις backhaul και relay in-band ή out-of-band με συνδέσμους πρόσβασης. Σημαντικό εύρος ζώνης 5G NR μπορεί να χωριστεί μεταξύ συνδέσεων πρόσβασης και backhaul, ειδικά σε mmWaves.

έναν κόμβο IAB σε σύγκριση με μια φορητή συσκευή.

Το NR IAB θα υποστηρίζει ασύρματη πρόσβαση εκτός της ζώνης όπου ο σύνδεσμος backhaul λειτουργεί σε διαφορετικό φορέα σε σύγκριση με τη σύνδεση πρόσβασης backhaul και οι σύνδεσμοι πρόσβασης θα κοινοποιούνται από τον ίδιο φορέα.

Προβλεπόμενες τεχνολογίες για 5G από ρυθμιστικούς φορείς

.1 Δίκτυα ασύρματης πρόσβασης

Τα τελευταία χρόνια, υπήρξε μια αυξανόμενη συναίνεση ότι τα ασύρματα συστήματα 5G θα υποστηρίζουν τρεις γενικές υπηρεσίες, οι οποίες, σύμφωνα με το ITU-R, ταξινομούνται ως Enhanced Broadband Mobile (eMBB), Machine Type Mass Communication (mMTC) (γνωστές ως κρίσιμες επικοινωνίες). Μια σύντομη περιγραφή αυτών των υπηρεσιών μπορεί να προταθεί ως εξής [12]:

(α) Το eMBB υποστηρίζει σταθερές συνδέσεις με πολύ υψηλούς ρυθμούς δεδομένων αιχμής καθώς και μέτριους ρυθμούς για χρήστες αιχμής.

(β) Το mMTC υποστηρίζει έναν τεράστιο αριθμό συσκευών Internet of Things (IoT), οι οποίες είναι σποραδικά ενεργές και στέλνουν μικρά φορτία δεδομένων.

(γ) Το URLLC υποστηρίζει μεταδόσεις χαμηλού λαθάνοντος χρόνου μικρού ωφέλιμου φορτίου με πολύ υψηλή αξιοπιστία από ένα περιορισμένο σύνολο τερματικών, τα οποία είναι ενεργά σύμφωνα με πρότυπα που ορίζονται συνήθως από εξωτερικά συμβάντα, όπως συναγερμοί.

Η κυκλοφορία του eMBB μπορεί να θεωρηθεί ως άμεση επέκταση της ευρυζωνικής υπηρεσίας 4G. Χαρακτηρίζεται από μεγάλα ωφέλιμα φορτία και ένα μοτίβο ενεργοποίησης της συσκευής που παραμένει σταθερή για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτό επιτρέπει στο δίκτυο να προγραμματίζει ασύρματους πόρους σε συσκευές eMBB, έτσι ώστε καμία συσκευή eMBB να έχει πρόσβαση στον ίδιο πόρο ταυτόχρονα. Ο στόχος της υπηρεσίας eMBB είναι η μεγιστοποίηση του ρυθμού δεδομένων, ενώ ταυτόχρονα εγγυάται μέτρια αξιοπιστία, με ποσοστό σφάλματος πακέτου (PER) 10^{-3} .

Αντιθέτως, μια συσκευή mMTC είναι ενεργή διαλείπουσα και χρησιμοποιεί έναν σταθερό, συνήθως χαμηλό ρυθμό μετάδοσης στον ανερχόμενο σύνδεσμο. Ένας τεράστιος αριθμός συσκευών mMTC μπορεί να συνδεθεί σε έναν δεδομένο σταθμό βάσης (BS), αλλά σε μια δεδομένη στιγμή μόνο ένα άγνωστο (τυχαίο) υποσύνολο αυτών ενεργοποιείται και προσπαθούν να στείλουν τα δεδομένα τους. Ο μεγάλος αριθμός πιθανώς ενεργοποιημένων mMTC καθιστά αδύνατη την εκχώρηση πόρων εκ των προτέρων σε μεμονωμένα mMTC. Αντ' αυτού, πρέπει να παρέχουν πόρους που μπορούν να μοιραστούν μέσω τυχαίας πρόσβασης. Το μέγεθος του ενεργού υποσυνόλου των συσκευών mMTC είναι μια τυχαία μεταβλητή της οποίας η μέση τιμή μετρά το ρυθμό άφιξης της κυκλοφορίας mMTC. Ο στόχος στη σχεδίαση mMTC είναι η μεγιστοποίηση του ποσοστού άφιξης που μπορεί να υποστηριχθεί σε έναν συγκεκριμένο ασύρματο πόρο.

Το χαρακτηριστικό της τεχνολογίας 5G είναι η εγγενής ευελιξία της, η οποία θα της επιτρέψει να υποστηρίζει διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης με βελτιστοποιημένο τρόπο, είτε χρησιμοποιώντας χαμηλό εύρος ζώνης κάτω από 1 GHz, είτε χρησιμοποιώντας μεσαίες συχνότητες από 1 GHz έως 6 GHz, ή υψηλές συχνότητες φάσματος πάνω από 6 GHz. Το φάσμα χαμηλού εύρους ζώνης θεωρείται απαραίτητο για περιπτώσεις χρήσης που απαιτούν απρόσκοπτη κάλυψη και υψηλή κινητικότητα, όπως συμβαίνει με τις εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες χαμηλού λανθάνοντος χρόνου (uRLLC) και τις επικοινωνίες τύπου μηχανής (mMTC). Το μεσαίο φάσμα θα χρησιμοποιηθεί από τα πρώτα δίκτυα 5G για την υποστήριξη βελτιωμένων κινητών ευρυζωνικών δικτύων (B), το οποίο είναι ζωτικής σημασίας για την επίδειξη επιχειρηματικών περιπτώσεων 5G και για την προώθηση επενδύσεων σε δίκτυα 5G. Όταν τα δίκτυα 5G ωριμάσουν, τα βελτιωμένα ευρυζωνικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (eMBB) θα πρέπει να προσφέρουν μέγιστους ρυθμούς δεδομένων 20 Gbps και ρυθμούς δεδομένων 100 Mbps σε πολύ μεγάλο αριθμό χρηστών.

Με επιτεύξιμες φασματικές αποδόσεις, τέτοιες ταχύτητες μετάδοσης μπορούν να παραδοθούν μόνο σε κανάλια με εύρος ζώνης αρκετών εκατοντάδων MHz, τα οποία είναι διαθέσιμα μόνο σε συχνότητες υψηλής συχνότητας σε mmWave. Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) έχει ήδη διαθέσει αρκετές ζώνες από 450 MHz έως 6

GHz για IMT (International Mobile Telecommunications) [6], όπως φαίνεται στον Πίνακα 3:

Πίνακας 2: Συχνότητες χαμηλής και μεσαίας ζώνης

ITU-R (IMT bands) [4]
450–470 MHz
698–960 MHz
1427–1518 MHz
1710–2025 MHz
2110–2200 MHz
2300–2400 MHz
2500–2690 MHz
3300–3400 MHz
3400–3600 MHz
3600–3700 MHz
4800–4990 MHz

Καταρχήν, η τεχνολογία 5G μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε από αυτές τις ζώνες, αν και έχουν οριστεί ορισμένες προτιμήσεις:

- Οι ΗΠΑ είναι πρόθυμες να χρησιμοποιήσουν την πρόσφατα εκκαθαρισμένη ζώνη 600 MHz (617-652/663-698 MHz), καθώς και την κοινόχρηστη ζώνη 3,5 GHz

M
H
z

MHz και 2155-2180 MHz [7], μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν εάν αυτό είναι επιθυμητό [8]. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, παρόλο που η ζώνη των 600 MHz δεν είναι ζώνη IMT, η ITU έχει ήδη αποφασίσει να επανεξετάσει την κατάσταση της τηλεοπτικής ζώνης (470-694 / 8 MHz) το 2023, με σκοπό την απελευθέρωση περισσότερου εύρους ζώνης κινητής τηλεφωνίας εάν είναι απαραίτητο.

- Η Ευρώπη επέλεξε 700 MHz (694-790 MHz) ως τη ζώνη κάτω από 1 GHz για 5G, ενώ η κορυφαία ζώνη 5G πρέπει να είναι 3,4-3,8 GHz. Σε αυτήν τη ζώνη, κάθε ευρωπαϊκή χώρα αναμένεται να προσφέρει υπηρεσίες 5G σε τουλάχιστον μία πόλη έως το 2020. Η ζώνη 1.5 GHz (1427-1452 / 1492-1518 MHz) μελετάται για την παροχή πρόσθετων συνδέσεων [6], [7], [8]. Το 5G μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε άλλη ζώνη εναρμονισμένη σε ευρωπαϊκό επίπεδο για υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας και

με άδεια σύμφωνα με το πρότυπο τεχνολογικής ουδετερότητας (800 MHz, 2 GHz, 2,3 GHz και 2,6 GHz).

- Η Ιαπωνία δοκιμάζει 5G στα 3600-4200 MHz και 4400-4900 MHz και η Κίνα δοκιμάζει 5G στις ζώνες 3300-3600 MHz και 4800-4990 MHz [9].

Όσον αφορά τις ζώνες υψηλής συχνότητας 11 mmWave, μεταξύ 24,25 GHz και 86 GHz, ορίστηκαν ως ζώνες 5G κατά τη διάρκεια του τελευταίου Παγκόσμιου Συνεδρίου Ραδιοεπικοινωνιών (WRC-2015) του 2015. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3, τρεις από αυτές είναι μόνο οι υποψήφιες ζώνες. διαθέσιμα μακροπρόθεσμα, καθώς δεν διατίθενται προς το παρόν σε κινητές επικοινωνίες σε πρωτογενή βάση. Στις ΗΠΑ, η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (FCC) επέλεξε 3,85 GHz της άδειας ζώνης στις ζώνες 27.5 - 28.35 GHz και 37 - 40 GHz (37-37.6 GHz μοιράζεται σε 5G σε κοινή βάση), μαζί με 7 GHz η μη εξουσιοδοτημένη ζώνη στη ζώνη 64 -71 GHz [10]. Αν και αυτές οι επιλογές δεν συμφωνούν πλήρως με τα σχέδια ITU, η FCC αναλύει τη δυνατότητα ανοίγματος ενός πρόσθετου εύρους ζώνης 18 GHz σε όλες τις υποψήφιες ζώνες ITU εκτός από 42,5-47,2 GHz [11], [12].

Το 5G Διαδίκτυο

Η εξέλιξη των τεχνολογιών του Διαδικτύου έχει συγκλίνει σε μια υπηρεσία πακέτων [13], η οποία έχει διαμορφώσει τον τρόπο που ζούμε, εργαζόμαστε, μαθαίνουμε και παίζουμε. Το σημερινό Διαδίκτυο παρέχει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών που περιλαμβάνουν, αλλά δεν περιορίζονται σε, ψυχαγωγία πολυμέσων (π.χ. παιχνίδια ήχου, βίντεο και υψηλής ευκρίνειας), εξατομίκευση (π.χ. εφαρμογές βάσει παρουσίας και υπηρεσίες βάσει τοποθεσίας) και εφαρμογές κρίσιμες για την ασφάλεια (π.χ. ηλεκτρονικό εμπόριο, ηλεκτρονική υγεία, πρώτοι ανταποκριτές, κ.λπ.). Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU), η πρόσβαση στον παγκόσμιο Ιστότοπο από περισσότερους από 2.4 δισεκατομμύρια χρήστες παγκοσμίως τον Ιούνιο του 2012 και αναπτύσσεται περαιτέρω. Μια μελέτη της Ericsson αναμένει αύξηση κατά 40 φορές στην κυκλοφορία δεδομένων από κινητά τηλέφωνα και φορητούς υπολογιστές / tablet μεταξύ του 2010 και του 2015 [14]. Επίσης, η πρόβλεψη της Cisco για τη χρήση δικτύων

IP έως το 2017 αποκάλυψε ότι η κίνηση στο Διαδίκτυο εξελίσσεται από ένα πιο σταθερό σε ένα πιο δυναμικό μοτίβο. Η παγκόσμια κίνηση IP θα ανέλθει σε 41 εκατομμύρια DVD ανά ώρα το 2017 και η επικοινωνία βίντεο θα συνεχίσει να κυμαίνεται από 80-90% της συνολικής κίνησης IP [15]. Σε αυτό το πλαίσιο, σχεδόν κάθε φυσικό αντικείμενο που βλέπουμε (π.χ. ρούχα, αυτοκίνητα, τρένα κ.λπ.) θα συνδεθεί επίσης μέχρι το τέλος της δεκαετίας, δημιουργώντας το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT). Ένα παράδειγμα είναι η επικοινωνία μεταξύ μηχανών (M2M) που εκμεταλλεύεται τη δικτύωση που βασίζεται σε αισθητήρες και οδηγεί σε ένα πρόσθετο πρόγραμμα οδήγησης για την αύξηση της κυκλοφορίας.

Αποδεικνύεται ότι οι οδηγοί του μελλοντικού Διαδικτύου είναι όλα τα είδη υπηρεσιών και εφαρμογών, από χαμηλές ταχύτητες (π.χ. αισθητήρες και δεδομένα IoT) έως υψηλότερες ταχύτητες (π.χ. ροή βίντεο υψηλής ευκρίνειας), που πρέπει να είναι συμβατές για την υποστήριξη διαφορετικών περιόδων καθυστέρησης και συσκευών. Για παράδειγμα, οι εφαρμογές Voice over IP (VoIP) απαιτούν μέγιστη καθυστέρηση 150ms,

3
0
m
s

j
i
t
t
e
r

(
π
α

ρ^{11}

Όταν υπάρχει σχετικά μεγάλη καθυστέρηση στα πακέτα (latency), πολλές εφαρμογές (που είναι ευαίσθητες σε αυτό) μπορούν να το πάρουν αυτό υπόψη τους και να προσαρμοστούν ανάλογα. Αλλά όταν γόμως το latency διαφέρει και αλλάζει συνεχώς, τότε το πρόβλημα γίνεται πολύπλοκο και δεν μπορεί η εφαρμογή να ανταποκριθεί. Το jitter παρουσιάζεται όταν έχουμε μεγάλες διακυμάνσεις υπερφόρτωσης των κυκλωμάτων.

α

γ

ή

(παρόχων) είναι γεμάτα με μια μεγάλη και αυξανόμενη ποικιλία ιδιόκτητων συσκευών υλικού.

Για το λόγο αυτό, η έναρξη μιας νέας υπηρεσίας δικτύου απαιτεί συχνά την εύρεση του σωστού χώρου και ισχύος για τη φιλοξενία νέων γραμματοκιβωτίων. Είναι εξαιρετικά δύσκολο να επιτευχθεί αυτό και να συμβαδίζει με τις νέες τάσεις, καθώς οι τεχνολογικές καινοτομίες και οι υπηρεσίες επιταχύνουν και καθιστούν τους υλικούς κύκλους ζωής συντομότερους από ποτέ. Η υποδομή δικτύου απαιτεί επίσης αυτοματοποιημένες δυνατότητες ελέγχου για κλιμάκωση, ευρωστία και διαθεσιμότητα, ειδικά σε μεγάλα περιβάλλοντα δικτύου [17], προκειμένου να μειωθεί ο αντίκτυπος της χειροκίνητης παρέμβασης που γίνεται ακριβό προϊόν. Άλλες ανησυχίες περιλαμβάνουν το αυξανόμενο ενεργειακό κόστος, τις προκλήσεις στις επενδύσεις κεφαλαίου και τα προβλήματα που δημιουργούνται από το σχεδιασμό, την ολοκλήρωση και τη λειτουργία ολοένα και πιο εξελιγμένων συσκευών που βασίζονται σε υλικό. Αυτοί οι αυξανόμενοι περιορισμοί στο Διαδίκτυο στη διαχείριση δικτύου, οι οποίοι είναι δύσκολο να αναπτυχθούν και η προώθηση της βέλτιστης προσπάθειας, η οποία δεν κατάφερε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS) για εφαρμογές προστιθέμενης αξίας, αναγνωρίζονται σαφώς στην ερευνητική κοινότητα, είτε στην ακαδημαϊκή ή τη βιομηχανία.

Επιπλέον, πρόσφατες ερευνητικές προσπάθειες υποστήριξαν ότι η υπερπροσφορά πόρων μπορεί να επιτύχει αποτελεσματική διαφοροποίηση QoS με κλιμάκιο τρόπο [18], η προσέγγιση της οποίας είναι θεμελιώδης για το μελλοντικό Διαδίκτυο. Παρόλο που αυτές οι τεχνολογίες (δηλ. SDN, εικονικοποίηση και υπερβάσεις προβλέψεων QoS) υπόσχονται να βελτιώσουν τις μελλοντικές επιδόσεις δικτύωσης, βρίσκονται ακόμη σε πρώιμο στάδιο και απαιτείται περαιτέρω ανάλυση και έρευνα. Για παράδειγμα, η υπερεκτίμηση πόρων πρέπει να σχεδιαστεί σχολαστικά για να αποφευχθεί η σπατάλη πόρων. Αυτές οι πτυχές καθοδηγούνται περαιτέρω από την αυξανόμενη εξάρτηση από το Cloud Computing, όπου διάφορα μοντέλα όπως το Software-as-a-Service (SaaS), το Platform και οι υπηρεσίες φιλοξενούνται σχεδόν μέσω του Διαδικτύου.

Συγκεκριμένα, το SaaS είναι ένα μοντέλο υπηρεσίας cloud computing για την παράδοση λογισμικού, όπου το λογισμικό και τα σχετικά δεδομένα φιλοξενούνται στο cloud (cloud computing) και μπορείτε να αποκτήσετε πρόσβαση απλώς με πλοήγηση σε

ένα πρόγραμμα περιήγησης ιστού (π.χ. Google Mail και Έγγραφα Google). Το μοντέλο PaaS επιτρέπει επίσης την παροχή υπηρεσιών χαμηλότερου επιπέδου, όπως το λειτουργικό σύστημα, ο διακομιστής ιστού ή ο διερμηνέας γλώσσας υπολογιστή ως υπηρεσίες. Αξιοποιώντας το μοντέλο PaaS, για παράδειγμα, οι προγραμματιστές μπορούν να αναπτύξουν προσαρμοσμένες εφαρμογές χωρίς να χρειάζεται να εγκαταστήσουν βαρύ λογισμικό σε υπολογιστές (π.χ. Google App Engine). Επιπλέον, το μοντέλο IaaS παρέχει υποδομή δικτύου, συμπεριλαμβανομένων διακομιστών κέντρου δεδομένων (DC), οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν από πελάτες cloud σε συνεχή βάση (π.χ. το Amazon

Επομένως, καθώς η εικονικοποίηση επιτρέπει την εξομοίωση του υλικού του υπολογιστή στο λογισμικό και πολλαπλοί υπολογιστές εξομοίωσης (εικονικοί υπολογιστές) μπορούν να εκτελούνται ταυτόχρονα σε έναν φυσικό υπολογιστή, ολόκληρη η υποδομή και η μεταφορά δικτύου μπορούν να αναπτυχθούν αποτελεσματικά ως υπηρεσία, ενισχύοντας διαφορετικά σενάρια από την ενίσχυση το επιχειρηματικό δίκτυο για τη διαχείριση ολόκληρου του Παρόχου υπηρεσιών Διαδικτύου. Όπως εξηγείται στο Σχήμα 3 παρακάτω, το cloud computing είναι ένας γενικός όρος που αντιπροσωπεύει το Διαδίκτυο και το Cloud Computing και επιτρέπει την τοποθέτηση περισσότερου cloud computing (cloud computing) και λιγότερο σε συσκευές πελάτη (π.χ. υπολογιστές, διακομιστές και τηλέφωνα). Αυτό ξεπερνά τα υπάρχοντα εμπόδια, όπως η αύξηση της χωρητικότητας της υπηρεσίας, η οποία, αντί να απαιτεί από τον πάροχο υπηρεσιών να επεκτείνει φυσικά πόρους, μπορεί μάλλον να βασίζεται σε ένα κοινό εικονικό δίκτυο, δίκτυο επεξεργασίας πόρων και αποθήκευσης.



Εικόνα 3: Υψηλού επιπέδου άποψη της υπηρεσίας cloud [18]

Ο χάρτης πορείας για τη μελλοντική συνέλευση Διαδικτύου (FIA) για το πρόγραμμα «Ορίζοντας 2020» της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (H2020) συνέλαβε τις ιδέες και

τη συμβολή της κοινότητας της FIA στα σημαντικά ερευνητικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν στο πλαίσιο των ερευνητικών προγραμμάτων H2020 [18]. Αυτά τα ζητήματα ομαδοποιούνται σε τρεις κύριες ανησυχίες [19]:

- α) Οικονομικά και επιχειρηματικά συμφέροντα.
- β) Κοινωνικά συμφέροντα
- γ) Προκλήσεις και τεχνικές διακοπές και δυνατότητες.

Από οικονομική και επιχειρηματική σκοπιά, οι προτεραιότητες για τη μελλοντική έρευνα στο Διαδίκτυο στο πλαίσιο του H2020 θα πρέπει να είναι ο αντίκτυπος σε προϊόντα, υπηρεσίες, δυνατότητες και οφέλη περίπου 10 χρόνια από τώρα. Από κοινωνική άποψη, πρέπει να οραματιστούμε ένα δίκτυο που θα παρέχει στους πολίτες επιχειρηματικά εργαλεία για να ελέγχουν τα δεδομένα τους, να διεκδικούν τα δικαιώματά τους και να εκπληρώνουν τις υποχρεώσεις τους και να ενεργούν με αυτοπεποίθηση σε έναν χώρο εμπνευσμένο από τον κυβερνοχώρο. δεδομένα για κάθε ζωή και κάθε πτυχή. Από τεχνικής απόψεως, εάν υποθέσουμε ότι έχει ήδη συμβεί σύγκλιση δικτύου και cloud και κοιτάζουμε το μέλλον, θα δούμε το μέλλον του Διαδικτύου όχι μόνο ως δίκτυο, σύννεφο, αποθήκευση ή συσκευή, αλλά ως περιβάλλον εκτέλεσης για έξυπνο εφαρμογές, υπηρεσίες, αλληλεπίδραση, εμπειρία και δεδομένα. Το μελλοντικό δίκτυο πρέπει να ενσωματώσει πολλές διαφορετικές δυνατότητες πέρα από τη συγκλίνουσα υποδομή - δίκτυα αισθητήρων, Διαδίκτυο, hotspots, ασύρματα, το κεντρικό δίκτυο - για να παρέχει το πολύ μεγαλύτερο δυναμικό και το εύρος των απαιτούμενων υπηρεσιών. .

Απαιτούνται νέες διεπαφές και τρόποι αλληλεπίδρασης με δικτυακά συστήματα-συσκευές και συσκευές, με άτομα και κοινότητες και με δεδομένα. Αυτές θα είναι η αφετηρία για νέους τρόπους και προοπτικές για την ενθάρρυνση προβληματικών και καινοτόμων λύσεων για την οικοδόμηση του μέλλοντος του Διαδικτύου. Τέλος, η ασφάλεια του Διαδικτύου και των χρηστών του απαιτείται διαδικτυακά. Δεδομένων όλων αυτών των ανησυχιών από την ερευνητική κοινότητα δικτύωσης, πιθανές μελλοντικές ερευνητικές ατζέντες έχουν συζητηθεί ευρέως στα [20] και [21]. Συγκεκριμένα:

- (i) Οι λύσεις πρέπει να είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον για εξοικονόμηση ενέργειας
- (ii) Η έννοια του «δικτύου ως υπηρεσίας» απαιτεί στενότερη συνεργασία μεταξύ

φορέων εκμετάλλευσης δικτύου και υπηρεσιών.

(iii) Η αυτοοργάνωση και η αυτονομία στη διαχείριση της πολυπλοκότητας των δικτύων είναι βασική απαίτηση.

(iv) η εικονικοποίηση που επιτρέπει ένα δίκτυο και η ανταλλαγή υποδομών πρέπει να διερευνηθεί διεξοδικά

(v) Το Mobile Cloud Computing απαιτεί μια πληρέστερη ερευνητική προσέγγιση.

Ως εκ τούτου, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) πρότεινε ένα πρόγραμμα δημόσιου-ιδιωτικού τομέα (ΣΔΙΤ), το οποίο στοχεύει στην παροχή λύσεων, αρχιτεκτονικών, τεχνολογιών και προτύπων για την πανταχού παρούσα υποδομή δικτύου 5G της επόμενης δεκαετίας. Αναμένεται ότι το 2020, το μελλοντικό Διαδίκτυο, δηλαδή το Διαδίκτυο 5G, θα είναι σε θέση να συνδέσει τα πάντα σύμφωνα με μια ποικιλία απαιτήσεων που σχετίζονται με την εφαρμογή: άτομα, πράγματα, διαδικασίες, κέντρα υπολογιστών, περιεχόμενο, γνώση, πληροφορίες και αγαθά, σε ευέλικτος, πραγματικά κινητός και ισχυρός τρόπος. Σε αυτό το περιβάλλον, με τις πρωτοφανείς αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών, πιστεύουμε ότι η δικτύωση απαιτεί επεκτάσιμες, αξιόπιστες λύσεις κόστους και ενεργειακής απόδοσης για τη δημιουργία υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας που παρέχονται μέσω διαφοροποιημένων εγγυήσεων QoS στους πελάτες.

Τεχνολογίες mu – MIMO-AI και ML

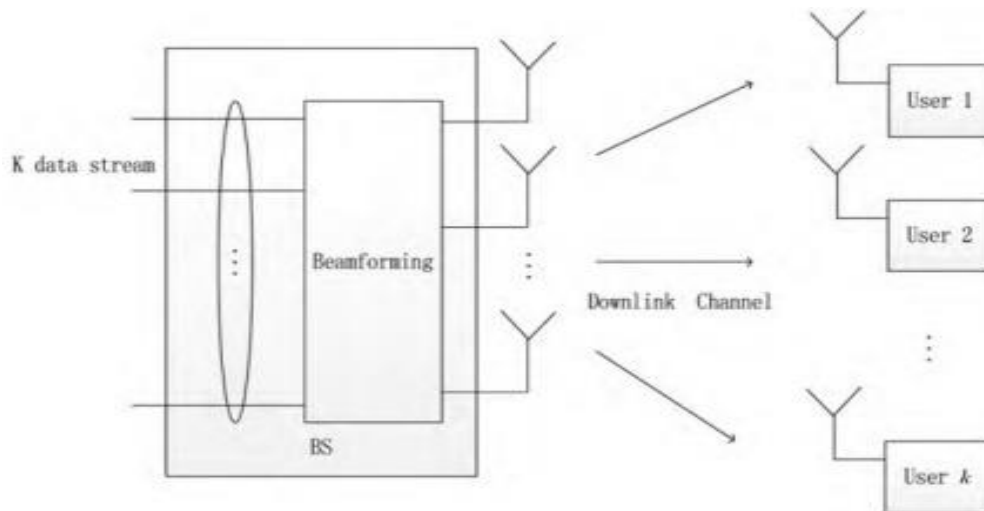
Τεχνολογία mu – MIMO

Η ταχεία ανάπτυξη της ασύρματης κινητής επικοινωνίας οδήγησε σε εκρηκτική αύξηση του αριθμού των χρηστών κινητών τηλεφώνων και της κλίμακας των σχετικών κλάδων. Επομένως, το σύστημα ασύρματης επικοινωνίας πρέπει να πληροί τον υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και την υψηλότερη χωρητικότητα συστήματος και το σύστημα επικοινωνίας πρέπει να χρησιμοποιεί τον πόρο εύρους ζώνης αποτελεσματικά. Λόγω της έλλειψης πόρων ασύρματου φάσματος, είναι πολύ σημαντικό να βελτιωθεί η χρήση του φάσματος του συστήματος. Η παραδοσιακή τεχνολογία MIMO μπορεί να χρησιμοποιήσει πόρους περιορισμένης εμβέλειας για να καλύψει τη ζήτηση των χρη-

στών για απόδοση του συστήματος. Αλλά υπάρχουν λιγότερες κεραιές στο σταθμό βάσης του παραδοσιακού συστήματος MIMO και έχει περιορισμένη απόδοση συστήματος. Ως μία από τις βασικές τεχνολογίες του μελλοντικού 5G, η μάζα MIMO μπορεί να καλύψει τις ανάγκες των μελλοντικών ασύρματων εταιρειών, να βελτιώσει την αποδοτικότητα του φάσματος και την ικανότητα καναλιών του συστήματος επικοινωνίας και να βελτιώσει αποτελεσματικά την αξιοπιστία των συνδέσεων και του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων.

Το MIMO πολλαπλών χρηστών ή "mu-MIMO", επιτρέπει στα μηνύματα για διαφορετικούς χρήστες να ταξιδεύουν με ασφάλεια στα ίδια κανάλια δεδομένων και στη συνέχεια να ομαδοποιούνται σε μεμονωμένους χρήστες όταν τα δεδομένα φτάνουν στις κινητές συσκευές τους. Η εξυπηρέτηση πολλών χρηστών με την ίδια μετάδοση αυξάνει τη χωρητικότητα και επιτρέπει την καλύτερη χρήση πόρων. Αυτό αυξάνει τη δυνατότητα λήψης ή ροής με βελτιωμένη εμπειρία χρήστη, ακόμη και σε πολυσύχναστη περιοχή. Αυτή η κοινή μεταφορά δεδομένων σημαίνει ταχύτερο και πιο αποτελεσματικό σύστημα για όλους τους χρήστες. Αυτό αυξάνει τη δυνατότητα λήψης ή ροής με βελτιωμένη εμπειρία χρήστη, ακόμη και σε πολυσύχναστες περιοχές. Επίσης, τα δίκτυα μπορούν να αλλάξουν δυναμικά μεταξύ ενός ή πολλών χρηστών. Η τεχνολογία MIMO αναφέρεται στο γεγονός ότι ο σταθμός βάσης είναι εξοπλισμένος με μεγάλο αριθμό κεραιών, συνήθως εκατό ή αρκετές εκατοντάδες κεραιές, οι οποίες είναι μερικές τάξεις μεγέθους υψηλότερες από τον αριθμό κεραιών στο υπάρχον σύστημα επικοινωνίας. Εξυπηρετεί πολλούς χρήστες ταυτόχρονα στον ίδιο πόρο συχνότητας και τα κινητά τερματικά υιοθετούν γενικά τον τρόπο με τον οποίο επικοινωνεί ένας δέκτης κεραιάς. Το βασικό μοντέλο της μάζας MIMO φαίνεται στην Εικόνα 4, που ακολουθεί.

Η ισχύς που καταναλώνεται από την κεραιά είναι εξαιρετικά χαμηλή. Στην ιδανική περίπτωση, κάτω από μια ορισμένη συνολική ισχύ μετάδοσης, η μεταδιδόμενη ισχύς που χρησιμοποιείται από κάθε κεραιά είναι αντιστρόφως ανάλογη με τον αριθμό των κεραιών και υπό ορισμένη αναλογία σήματος προς θόρυβο, η συνολική ισχύς μετάδοσης είναι αντιστρόφως ανάλογη σε αριθμό κεραιών. Επομένως, η ισχύς μετάδοσης που απαιτείται για κάθε κεραιά είναι αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο του αριθμού των κεραιών. Έτσι, η ισχύς που καταναλώνεται σε μια μαζική εφαρμογή MIMO μειώνεται αποτελεσματικά.



Εικόνα 4: Βασικό διάγραμμα μοντέλου μαζικού MIMO [19]

Τεχνολογία AI

Το αντικείμενο της τεχνητής νοημοσύνης (AI) βασίζεται σε διάφορους ερευνητικούς κλάδους, όπως η επιστήμη των υπολογιστών, η φιλοσοφία ή η μελέτη των μελλοντικών εξελίξεων. Σε αυτό το έργο επικεντρωνόμαστε κυρίως στον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών, καθώς είναι το πιο σχετικό για τον καθορισμό της συμβολής της μηχανικής μάθησης στην τεχνητή νοημοσύνη και για τη διαφοροποίηση των δύο όρων. Η έρευνα της τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να χωριστεί σε διαφορετικές ροές έρευνας. Αυτά τα ρεύματα διαφέρουν, αφενός, ως προς τον σκοπό της εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης (σκέψη και δράση), και ως προς τον τύπο λήψης αποφάσεων (στοχεύοντας σε μια ανθρώπινη απόφαση έναντι μιας ιδανικής και ορθολογικής απόφασης). Η τεχνητή νοημοσύνη προσφέρει αξιοπιστία, οικονομική σχέση, επιλύει πολύπλοκα προβλήματα και λαμβάνει αποφάσεις.

Το AI εφαρμόζεται επί του παρόντος στους περισσότερους τομείς, είτε για επιχειρήσεις είτε για μηχανικούς. Ένα από τα σπουδαία εργαλεία στο AI ονομάζεται «βελτίωση της μάθησης», το οποίο βασίζεται στην επιτυχία και την αποτυχία στην πραγματική ζωή για να αυξήσει την αξιοπιστία των εφαρμογών. Δυστυχώς, το AI περιορίζεται στις δυνατότητες και τη λειτουργικότητά του. Αν και η Τεχνητή Νοημοσύνη έχει κάνει τη ζωή μας πολύ πιο εύκολη και μας έσωσε περισσότερο χρόνο από ποτέ, οι επιστήμονες προβλέπουν ότι η ανθρωπότητα θα μπορούσε να εξαφανιστεί από την τεράστια εξάρτησή της από την τεχνητή νοημοσύνη. Οι επιστήμονες ισχυρίζονται ότι με την κατοχή

μηχανών τεχνητής νοημοσύνης, οι άνθρωποι θα είναι άνεργοι και αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια μιας αίσθησης ζωής. Ορισμένες τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης δεν σχετίζονται στενά με συγκεκριμένες εφαρμογές, αλλά έχουν σχεδιαστεί για γενικότερο σκοπό, όπως εξαγωγή χαρακτηριστικών, ομαδοποίηση, αναγνώριση προτύπων, μηχανική μάθηση, έξυπνος έλεγχος, αναπαράσταση γνώσης, εξόρυξη γνώσης και πολλά άλλα

A. Εξαγωγή χαρακτηριστικών: Η εξαγωγή χαρακτηριστικών ή η επιλογή χαρακτηριστικών είναι η διαδικασία επιλογής του πιο αποτελεσματικού από τον μεγάλο αριθμό πρωτότυπων χαρακτηριστικών, η κατασκευή του διανύσματος χαρακτηριστικών για αναγνώριση προτύπων και μοντελοποίηση. Μια σημαντική λειτουργία της εξαγωγής χαρακτηριστικών είναι η μείωση της απαίτησης πόρων για την περιγραφή ενός μεγάλου συνόλου δεδομένων. Οι εξαντλημένες συναρτήσεις περιέχουν επαρκείς πληροφορίες, αλλά δεν είναι περιττές. Οι δυνατότητες εξαγωγής θα μπορούσαν να βελτιστοποιήσουν τις επόμενες διαδικασίες μοντελοποίησης και να φέρουν καλύτερες ανθρώπινες ερμηνείες σε ορισμένες περιπτώσεις. Έχουν προταθεί πολλές μέθοδοι για εξαγωγή χαρακτηριστικών, για παράδειγμα, γραμμικός μετασχηματισμός, ανάλυση βασικών συστατικών (PCA), ανάλυση γραμμικής διάκρισης (LDA), ανάλυση κύματος και ούτω καθεξής. Η επιλογή της μεθόδου εξαγωγής χαρακτηριστικών θα μπορούσε να επηρεάσει την απόλυτη απόδοση σε εφαρμογές AI, όπως αναγνώριση προσώπου και αναγνώριση ομιλίας [24].

B. Αναγνώριση προτύπων: Η αναγνώριση προτύπων επικεντρώνεται στον εντοπισμό συγκεκριμένων προτύπων ή προτύπων στα δεδομένα, επιτρέποντας στο AI να κρίνει ως ανθρώπινο. Ταξινόμηση Bayesian, δέντρο αποφάσεων, μέθοδος γραμμικής διάκρισης, μέθοδος ταξινόμησης γειτονιάς, μέθοδος μη γραμμικής χαρτογράφησης χρησιμοποιούνται συχνά στην αναγνώριση προτύπων. Τα θέματα στην αναγνώριση προτύπων περιλαμβάνουν ελαφριά κυματομορφή, σεισμικό κύμα, ΗΚΓ, EEG, φωτογραφίες, κείμενο, σύμβολα, βιοαισθητήρες και άλλα αντικείμενα, όπως διαγνωστικά υπολογιστών (CAD) στην ανίχνευση και την ταξινόμηση του καρκίνου του μαστού.

Γ. Μηχανική εκμάθηση: Η μηχανική εκμάθηση αναφέρεται στην τεχνολογία AI που μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του συστήματος AI μόνο σύμφωνα με τα δεδομένα χωρίς να ακολουθεί τις οδηγίες του προγράμματος. Η εποπτευόμενη μάθηση, η μη εποπτευόμενη μάθηση είναι βασικοί τύποι μηχανικής μάθησης σύμφωνα με τον τρόπο μάθησης. Η μηχανική μάθηση είναι ένας έξυπνος τρόπος για να αφαιρέσετε το σύστημα

ΑΙ και είναι η υποστηρικτική τεχνολογία πολλών εφαρμογών ΑΙ, επομένως η μηχανική μάθηση έχει εξελιχθεί ως ο βασικός πυρήνας της έρευνας τεχνητής νοημοσύνης. Σήμερα καταβάλλονται μεγάλες προσπάθειες από πολλούς κορυφαίους ερευνητές τεχνητής νοημοσύνης για τη βελτίωση της ικανότητας της μηχανικής μάθησης μέσω διαφόρων μεθόδων, όπως η μεταφορά μάθησης, η μικρή δειγματοληψία, η βελτίωση της μάθησης, η διαδραστική μάθηση, η ανοιχτή μάθηση και ούτω καθεξής.

Δ. Εξόρυξη γνώσης: Η εξόρυξη γνώσης είναι η υπολογιστική διαδικασία της ανακάλυψης υποκείμενων γνώσεων από ένα τεράστιο ποσό δεδομένων και καθιστώντας την κατανοητή για περαιτέρω χρήση. Η εξόρυξη γνώσης είναι η αναζήτηση κρυφών πληροφοριών μέσω ενός αυτόματου ή ημι-αυτόματου αλγορίθμου, όπως η εξόρυξη κανόνων σύνδεσης, η εξόρυξη διαδοχικών προτύπων. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στη διαχείριση σχέσεων πελατών, εμπορευμάτων, αποφάσεων μάρκετινγκ και ούτω καθεξής.

Συνολικά, η τεχνητή νοημοσύνη περιέχει πολλά υποπεδία, όπως [57], [58]:

Η μηχανική εκμάθηση αυτοματοποιεί την ανάπτυξη αναλυτικών μοντέλων. Χρησιμοποιεί μεθόδους από νευρωνικά δίκτυα, στατιστικές, έρευνα επιχειρήσεων και φυσική για να βρει κρυμμένες πληροφορίες στα δεδομένα χωρίς να έχει προγραμματιστεί ρητά πού να κοιτάξει ή τι να συμπεράνει.

Ένα νευρικό δίκτυο είναι ένα είδος μηχανικής μάθησης εμπνευσμένο από τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου. Είναι ένα υπολογιστικό σύστημα που αποτελείται από διασυνδεδεμένες μονάδες (όπως νευρώνες) που επεξεργάζεται πληροφορίες ανταποκρινόμενη σε εξωτερικές εισόδους, μεταδίδοντας πληροφορίες μεταξύ κάθε μονάδας. Η διαδικασία απαιτεί πολλαπλά περάσματα στα δεδομένα για να βρει συνδέσεις και να αντλήσει νόημα από απροσδιόριστα δεδομένα.

Η βαθιά μάθηση χρησιμοποιεί τεράστια νευρωνικά δίκτυα με πολλά επίπεδα μονάδων επεξεργασίας, εκμεταλλευόμενοι τις εξελίξεις στην υπολογιστική ισχύ και βελτιωμένες τεχνικές εκπαίδευσης για να μάθουν περίπλοκα μοτίβα σε μεγάλες ποσότητες δεδομένων. Οι κοινές εφαρμογές περιλαμβάνουν την αναγνώριση εικόνας και ομιλίας.

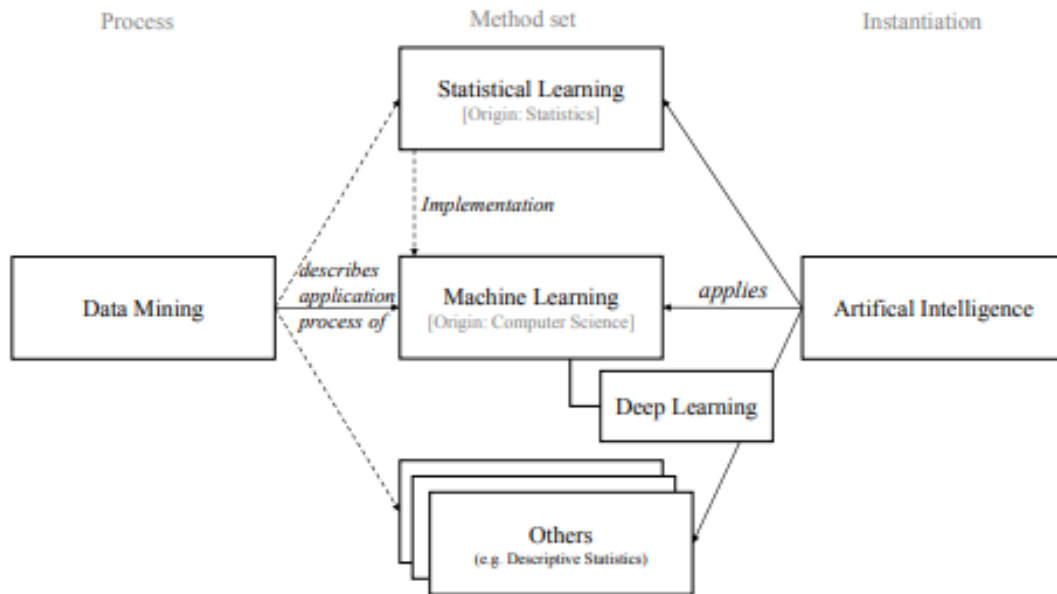
Το όραμα του υπολογιστή βασίζεται στην αναγνώριση προτύπων και τη βαθιά μάθηση για να αναγνωρίσει τι υπάρχει σε μια εικόνα ή ένα βίντεο. Όταν τα μηχανήματα μπορούν να επεξεργαστούν, να αναλύσουν και να κατανοήσουν εικόνες, μπορούν να

τραβήξουν εικόνες ή βίντεο σε πραγματικό χρόνο και να ερμηνεύσουν το περιβάλλον τους.

Η επεξεργασία φυσικής γλώσσας είναι η ικανότητα των υπολογιστών να αναλύουν, να κατανοούν και να δημιουργούν ανθρώπινη γλώσσα, συμπεριλαμβανομένης της ομιλίας. Το επόμενο στάδιο του NLP είναι η αλληλεπίδραση φυσικής γλώσσας, η οποία επιτρέπει στους ανθρώπους να επικοινωνούν με υπολογιστές χρησιμοποιώντας κανονική, καθημερινή γλώσσα για την εκτέλεση εργασιών.

Τεχνολογία ML

Η Μηχανική Εκμάθηση περιγράφει ένα σύνολο τεχνικών που χρησιμοποιούνται συνήθως για την επίλυση ποικίλων πραγματικών προβλημάτων με τη βοήθεια συστημάτων υπολογιστών που μπορούν να μάθουν να επιλύουν ένα πρόβλημα αντί να προγραμματίζονται σαφώς. Σε γενικές γραμμές, μπορούμε να κάνουμε διάκριση μεταξύ μη εποπτευόμενης και εποπτευόμενης μάθησης. Όσον αφορά την εποπτευόμενη μηχανική μάθηση, η εκμάθηση σημαίνει ότι μια σειρά παραδειγμάτων ("προηγούμενη εμπειρία") χρησιμοποιείται για τη δημιουργία γνώσεων για ένα συγκεκριμένο έργο. Αν και χρησιμοποιούνται στατιστικές μέθοδοι κατά τη διάρκεια της μαθησιακής διαδικασίας, δεν απαιτείται χειροκίνητη προσαρμογή ή προγραμματισμός κανόνων ή στρατηγικών για την επίλυση ενός προβλήματος. Αναλυτικότερα, οι τεχνικές μηχανικής μάθησης (εποπτευόμενες μηχανές) στοχεύουν πάντα στη δημιουργία ενός μοντέλου εφαρμόζοντας έναν αλγόριθμο σε ένα σύνολο γνωστών σημείων δεδομένων για να αποκτήσουν γνώση ενός άγνωστου συνόλου δεδομένων. Η Εικόνα 5 περιγράφει την τεχνολογία ML στην Τεχνητή Νοημοσύνη.



Εικόνα 5: Τεχνολογία ML στην Τεχνητή Νοημοσύνη [19]

Αν και χρησιμοποιούνται στατιστικές μέθοδοι κατά τη διάρκεια της μαθησιακής διαδικασίας, δεν απαιτείται χειροκίνητη προσαρμογή ή προγραμματισμός κανόνων ή στρατηγικών για την επίλυση ενός προβλήματος. Αναλυτικότερα, οι τεχνικές μηχανικής μάθησης (εποπτευόμενες μηχανές) στοχεύουν πάντα στη δημιουργία ενός μοντέλου εφαρμόζοντας έναν αλγόριθμο σε ένα σύνολο γνωστών σημείων δεδομένων για να αποκτήσουν γνώση ενός άγνωστου συνόλου δεδομένων.

Το θέμα της τεχνητής νοημοσύνης (AI) έχει τις ρίζες του σε διάφορους ερευνητικούς κλάδους, όπως η επιστήμη των υπολογιστών, η φιλοσοφία ή οι μελλοντικές μελέτες. Σε αυτό το έργο, εστιάζουμε κυρίως στον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών, καθώς είναι το πιο σχετικό για τον προσδιορισμό της συμβολής της μηχανικής μάθησης στην ΑΠ και στη διαφοροποίηση και των δύο όρων. Η έρευνα της τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να χωριστεί σε διαφορετικά ερευνητικά ρεύματα. Αυτές οι ροές διαφέρουν αφενός ως προς τον στόχο της εφαρμογής AI (σκέψη έναντι δράσης), αφετέρου ως προς το είδος της λήψης αποφάσεων (στοχεύοντας μια ανθρώπινη απόφαση έναντι μιας ιδανικής, ορθολογικής απόφασης). Αυτή η διάκριση οδηγεί σε τέσσερα ερευνητικά ρεύματα που απεικονίζονται στον Πίνακα 4. Σύμφωνα με τη ροή «Γνωστική Μοντελοποίηση» (δηλ. Σκέψη ανθρώπινη), η AI πρέπει να είναι μια μηχανή με νόηση. Αυτό περιλαμβάνει επίσης την εκτέλεση της ανθρώπινης σκέψης, όχι μόνο με βάση την ίδια έξοδο με τον

άνθρωπο όταν έχει την ίδια συμβολή, αλλά και στα ίδια βήματα συλλογιστικής που οδήγησαν στο ίδιο συμπέρασμα.

Πίνακας 3: Η ροή "Νόμοι της Σκέψης" (δηλαδή ορθολογική σκέψη) απαιτεί ένα AI να καταλήξει στην ορθολογική απόφαση παρά το τι μπορεί να απαντήσει ένας άνθρωπος.

Objective Application to	Humanly	Rationally
Thinking	Cognitive Modeling	"Laws of thought"
Acting	Turing Test	Rational Agent

Επομένως, ένα AI πρέπει να ακολουθεί τους νόμους της σκέψης χρησιμοποιώντας υπολογιστικά μοντέλα που αντανακλούν τη λογική. Η ροή "Turing Test" (δηλαδή ενεργώντας ανθρώπινα) υπονοεί ότι μια AI πρέπει να ενεργεί έξυπνα όταν αλληλεπιδρά με ανθρώπους. Για να επιτύχει αυτά τα καθήκοντα, μια AI πρέπει να εκτελεί ανθρώπινες εργασίες τουλάχιστον τόσο καλά όσο οι άνθρωποι. Αυτές οι απαιτήσεις μπορούν να δοκιμαστούν από το Turing Test.

Τέλος, η ροή "Rational Agent" θεωρεί την τεχνητή νοημοσύνη ως λογικό ή έξυπνο παράγοντα. Αυτός ο πράκτορας δεν ενεργεί μόνο αυτόνομα αλλά και με σκοπό να επιτύχει το ορθολογικά ιδανικό αποτέλεσμα. Ένας εναλλακτικός τρόπος για την οριοθέτηση της τεχνητής νοημοσύνης είναι ο ορισμός της νοημοσύνης γενικά και η χρήση των συναφών πληροφοριών για τη δημιουργία ευφών μηχανών. Οι Legg και Hutter χρησιμοποιούν τεστ νοημοσύνης, θεωρίες ανθρώπινης νοημοσύνης και ψυχολογικούς ορισμούς για να καθορίσουν μια μέτρηση της νοημοσύνης. Με βάση τον ορισμό τους, χρησιμοποιούν ένα πλαίσιο παράγοντα-περιβάλλοντος για να περιγράψουν τη νοημοσύνη γενικά και - σε περίπτωση που ο πράκτορας είναι μια μηχανή - συγκεκριμένα η τεχνητή νοημοσύνη. Το πλαίσιο τους εμφανίζει πολλές ομοιότητες με τη ροή «λογικής δράσης».

Δίκτυα 6G

.1 Εισαγωγή

Η βιομηχανία ασύρματων επικοινωνιών είναι ένας από τους λίγους κλάδους της βιομηχανίας που έχουν διατηρήσει μια ταχέως αναπτυσσόμενη τάση με δημιουργικά χαρακτηριστικά για αρκετές δεκαετίες. Τα τρέχοντα δίκτυα 4G LTE οδήγησαν στην ανάπτυξη του κινητού Διαδικτύου, επιτρέποντας διάφορες καινοτόμες εφαρμογές, όπως αγορές για κινητά και πληρωμές, έξυπνο σπίτι / πόλη, παιχνίδια για κινητά κ.ο.κ. Η μεγάλη επιτυχία του κινητού Διαδικτύου με τη σειρά της ήταν η κινητήρια δύναμη πίσω από την εξέλιξη των ασύρματων τεχνολογιών. Το επερχόμενο δίκτυο 5G θα υποστηρίξει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων των eMBB (ενισχυμένη ευρυζωνική κινητή), uRLLC (εξαιρετικά αξιόπιστες και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνίες) και mMTC (μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανικής). Ενώ το 5G βρίσκεται ακόμη σε αρχικό στάδιο, για να διατηρηθεί η βιωσιμότητα και η ανταγωνιστικότητα των συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας, είναι καιρός τόσο για τη βιομηχανία όσο και για τον ακαδημαϊκό χώρο να σκεφτούν τι θα είναι το 6G. Υπάρχουν ήδη πρωτοβουλίες που περιγράφουν τον χάρτη πορείας προς το 6G [3] μαζί με τις αναδυόμενες τάσεις και απαιτήσεις, καθώς και διάφορες τεχνικές και αρχιτεκτονικές ενεργοποίησης [19].

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενιές, το 6G θα είναι μετασχηματιστικό και θα φέρει επανάσταση στην ασύρματη εξέλιξη από «συνδεδεμένα πράγματα» σε «συνδεδεμένη νοημοσύνη» με πιο αυστηρές απαιτήσεις που ορίζονται ως εξής:

- Πολύ υψηλά ποσοστά δεδομένων, έως 1 Tb/s.
 - Πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση, με δυνατότητα υποστήριξης συσκευών IoT χωρίς μπαταρία.
 - Μαζικός έλεγχος χαμηλού λανθάνοντος χρόνου (λιγότερο από 1 msec end to end)
 - Παντού ευρυζωνική παγκόσμια κάλυψη δικτύου ευρείας ζώνης ενσωματώνοντας επίγεια ασύρματα με δορυφορικά συστήματα.
 - Συνδεδεμένη νοημοσύνη με ικανότητα μηχανικής μάθησης.
- Το 6G θα απαιτήσει επίσης την υποστήριξη τριών νέων τύπων υπηρεσιών πέρα από

τις υπηρεσίες eMBB, uRLLC και mMTC, όπως περιγράφεται παρακάτω.

C

o

m

p

u

t

a

g

t

e

n

Προκαθορισμένο συμβάν uRLLC (EDuRLLC): Σε αντίθεση με το σενάριο εφαρμογής 5G uRLLC όπου υπάρχουν περιττοί πόροι για την αντιστάθμιση πολλών αβεβαιοτήτων, το 6G θα χρειαστεί να υποστηρίξει το uRLLC σε ακραία ή έκτακτα συμβάντα με χωρικές και χρονικά μεταβαλλόμενες πυκνότητες συσκευών, μοτίβα κυκλοφορίας και φάσμα και διαθεσιμότητα υποδομής.

n

t

m

m

u

n

h

a

t

t

o

c

n

a

t

i

o

e

s

c

h

e

με βάση τα συμφραζόμενα: Η παροχή υπηρεσιών 6G eMBB αναμένεται να είναι πιο ευέλικτη και προσαρμοσμένη στο περιβάλλον του δικτύου, συμπεριλαμβανομένου του περιβάλλοντος δικτύου επικοινωνίας, όπως συμφόρηση συνδέσμου και τοπολογία δικτύου. το φυσικό περιβάλλον, όπως η γύρω τοποθεσία και η κινητικότητα και το πλαίσιο κοινωνι-

2009. Ωστόσο, τα ακριβή χαρακτηριστικά των 5G καθορίστηκαν από την ITU σε συνεργασία με άλλους φορείς τυποποίησης πολύ αργότερα το 2015. Παρόμοιες αβεβαιότητες παρατηρήθηκαν επίσης για τις προβλέψεις μέσω 3G και 4G την εποχή αρχές τους. Εάν δεν συμφωνηθούν τα πλήρη πρότυπα από τις ομάδες εμπειρογνομένων σε όλο τον κόσμο, δεν είναι δυνατόν να προβλεφθούν τα ακριβή χαρακτηριστικά. Ωστόσο, από τις προηγούμενες εμπειρίες, μπορούμε να προβλέψουμε τα ακόλουθα χαρακτηριστικά του 6G [21].

Το 6G θα είναι καλύτερο από το 5G σε όλες τις πτυχές που σχετίζονται με την απόδοση.

2. Οι μέγιστοι ρυθμοί δεδομένων που προτείνονται για το 5G είναι 20 Gb/s και οι μέγιστοι ρυθμοί ασύρματων δεδομένων των 6G θα είναι περίπου 100 Gb/s. Στην πραγματικότητα, για την ταχύτητα δεδομένων 6G δεν θα είναι το κύριο αξιοθέατο. Αντίθετα, η συνολική ποιότητα των επιδόσεων θα είχε σημασία.

3. Η καθυστέρηση 5G του 1 ms θα μειωθεί περαιτέρω στη σειρά μς.

Οι πυκνότητες των συσκευών και η σύνδεση IoT θα είναι πολύ πιο πυκνές από τις 5G. Το πραγματικό ψηφιακό οικοσύστημα θα υλοποιηθεί στο 6G.

5. Η ενεργειακή απόδοση θα είναι σίγουρα καλύτερη από την 5G.

6. Η φασματική απόδοση θα είναι καλύτερη από αυτή της 5G.

7. Περισσότερες εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης (AI) και μηχανικής μάθησης θα βρεθούν στο 6G. Στην πραγματικότητα, τα κινητά τηλέφωνα δεν θα χρησιμοποιούνται μόνο για επικοινωνία. μάλλον θα γίνουν προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί των ατόμων.

8. Το 6G θα είναι ένα υβριδικό πανταχού παρόν δίκτυο το οποίο θα ενσωματώνει όλες τις εξελίξεις στις σύγχρονες τεχνολογίες στο πεδίο του [22]. Στο 6G, η οπτική δικτύωση θα έπαιζε μεγαλύτερους ρόλους σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές.

Σήμερα, οι ασύρματες τεχνολογίες παραμένουν χρήσιμες καθώς βοηθούν τους χρήστες να μεταφέρουν πληροφορίες από έναν σταθμό βάσης σε έναν άλλο και να επικοινωνούν με άλλους χρήστες σε μικρές και μεγάλες αποστάσεις. Με τη βοήθεια της ασύρματης επικοινωνίας, οι χρήστες μπορούν να επικοινωνούν απευθείας.

A) Πολλές ασύρματες τεχνολογίες είναι ήδη διαθέσιμες, όπως το 1G-5G και έχουν προσφέρει υψηλή διαθεσιμότητα, καλή απόδοση και κάλυψη δικτύου. Οι φορητές τεχνολογίες 6G επιτρέπουν στις συσκευές να συνδέονται μέσω Διαδικτύου σε άλλες ασύρματες συσκευές χρησιμοποιώντας τεχνολογίες όπως Wi-Fi, WiMax, Bluetooth

κ.λπ.

Β) Εξέλιξη: Σήμερα, οι ασύρματες τεχνολογίες 4G και 5G είναι διαθέσιμες σε όλες σχεδόν τις φορητές συσκευές. Ωστόσο, η ταχύτητα και η κάλυψη των δεδομένων δικτύου παραμένει μια πρόκληση. Η τεχνολογία 6G έχει τη δυνατότητα να προσφέρει στους χρήστες περισσότερα από ό, τι αναμένουν με αυξημένο ρυθμό δεδομένων 1000 Mbps. Επί του παρόντος, οι τεχνολογίες 4G προσφέρουν ταχύτητες Διαδικτύου ίσες με

Γ) Οικονομικός αντίκτυπος: Στα δίκτυα 6G, οι ρυθμοί δεδομένων και το κόστος μειώνονται λόγω της συμπίεσης των ραδιοκυμάτων ως λειτουργία μετάδοσης δεδομένων. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες του δικτύου να χρησιμοποιούν την αποτελεσματική και αποτελεσματική συνδεσιμότητα που προσφέρει ο δρομολογητής Wi-Fi ή τα δεδομένα κινητής τηλεφωνίας, γεγονός που βοηθά σημαντικά την πληρωμή μεγάλων ποσών σε ISP. Επιπλέον, υπάρχει η κατάργηση της προστασίας προσωπικών δεδομένων: δεδομένου ότι η πλειονότητα των ατόμων εξυπηρετείται σε χαμηλές ταχύτητες, απαιτείται ευκολότερος τρόπος λήψης από διαφορετικούς Ιστότοπους.

Καθώς τα δίκτυα 6G διευκολύνουν έναν πολύ υψηλό ρυθμό δεδομένων, οι χρήστες κινητών τηλεφώνων μπορούν εύκολα να παρακολουθούν ταινίες στο διαδίκτυο ακόμα και όταν ταξιδεύουν, οποτεδήποτε, οπουδήποτε, χωρίς την ταλαιπωρία της αποθήκευσης ταινιών πριν από την προβολή τους. Αυτή η τεχνολογία ωφελεί τη βιομηχανία ταινιών παρέχοντας μια νέα τεχνική ροής ταινιών στο Διαδίκτυο, η οποία μειώνει το κόστος παρακολούθησης ταινιών. Αυτή η οικονομικά αποδοτική μέθοδος αυξάνει τον αριθμό των πελατών σε υπηρεσίες ροής, γεγονός που θα αυξήσει αυτόματα τα κέρδη των παραγωγών ταινιών. Το internet υψηλής ταχύτητας 6G θα μειώσει επίσης σημαντικά την πειρατεία ταινιών, καθώς με αυτά τα υψηλά ποσοστά δεδομένων οι χρήστες προτιμούν να παρακολουθούν ταινίες στο διαδίκτυο αντί να τις κατεβάζουν. Ως εκ τούτου, το δίκτυο 6G εμφανίζεται ως κατάλληλη λύση για την αποφυγή της συνεχώς αυξανόμενης απειλής της πειρατείας ταινιών.

Δ) Χωρητικότητα αποθήκευσης, ταχύτητα και βελτιωμένη ασφάλεια: Τα δίκτυα Internet υψηλής ταχύτητας 6G είναι ικανά να αποθηκεύουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων και αυτή η διαδικασία καταλαμβάνει περισσότερο χώρο μνήμης. Η τεχνολογία 6G επιτρέπει στους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα και εφαρμογές με ασφάλεια.

Τεχνολογίες και οράματα 6G

Οι κυριότερες 6G τεχνολογίες είναι οι εξής [24]:

Πάνω από 6 GHz για 6G - από μικρά κελιά έως μικροσκοπικά κελιά: Σύμφωνα με τις τάσεις 1 και 2, η ανάγκη για υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, ανά πάσα στιγμή σε 6G παρακινεί την εξερεύνηση ζωνών υψηλότερης συχνότητας πέρα από τα υπο-6 GHz. Ως πρώτο βήμα, αυτό περιλαμβάνει την περαιτέρω ανάπτυξη τεχνολογιών mmWave για να κάνουν το κινητό mmWave πραγματικότητα στα πρώτα συστήματα 6G. Καθώς εξελίσσεται το 6G, θα είναι απαραίτητη η εκμετάλλευση συχνοτήτων πέρα από το mmWave, στη ζώνη terahertz (THz) [26]. Για να εκμεταλλευτείτε υψηλότερες συχνότητες mmWave και THz, το μέγεθος των κυττάρων 6G πρέπει να συρρικνωθεί από μικρά κύτταρα σε «μικροσκοπικά κύτταρα» των οποίων η ακτίνα είναι μόνο μερικές δεκάδες μέτρα. Αυτό παρακινεί νέα αρχιτεκτονικά σχέδια που χρειάζονται πολύ πιο πυκνές εφαρμογές μικροκυττάρων και νέες τεχνικές διαχείρισης κινητικότητας υψηλής συχνότητας.-

Πομποδέκτες με ενσωματωμένες ζώνες συχνοτήτων: Από μόνοι τους, τα πυκνά μικροκύματα υψηλής συχνότητας ενδέχεται να μην είναι σε θέση να παρέχουν την απρόσκοπτη συνδεσιμότητα που απαιτείται για κινητές υπηρεσίες 6G. Αντ' αυτού, απαιτείται ένα ολοκληρωμένο σύστημα που μπορεί να αξιοποιήσει πολλαπλές συχνότητες στα φάσματα μικροκυμάτων/mmWave /THz (π.χ., χρησιμοποιώντας σταθμούς βάσης πολλαπλών λειτουργιών) για να παρέχει απρόσκοπτη συνδεσιμότητα τόσο σε επίπεδο ευρείας όσο και σε τοπική περιοχή.

Επικοινωνία με μεγάλες ευφείς επιφάνειες: Το Massive MIMO θα είναι ενσωματωμένο τόσο στα 5G όσο και στα 6G λόγω της ανάγκης για καλύτερη SEE, υψηλότερες ταχύτητες δεδομένων και υψηλότερες συχνότητες. Ωστόσο, για συστήματα 6G, σύμφωνα με την Trend 3, οραματιζόμαστε ένα αρχικό άλμα από το παραδοσιακό τεράστιο MIMO προς μεγάλες έξυπνες επιφάνειες (LIS) και έξυπνα περιβάλλοντα [9] που μπορούν να παρέχουν τεράστιες επιφάνειες για ασύρματες επικοινωνίες και για ετερογενείς συσκευές. Τα LIS επιτρέπουν καινοτόμους τρόπους επικοινωνίας, όπως χρησιμοποιώντας ολογραφική ραδιοσυχνότητα (RF) και ολογραφικό MIMO.

Το AI παρακολουθεί ένα άνευ προηγουμένου ενδιαφέρον από την ασύρματη κοινότητα [1] που οφείλεται σε πρόσφατες ανακαλύψεις στη βαθιά μάθηση, την αύξηση των διαθέσιμων δεδομένων και την άνοδο των έξυπνων συσκευών. Οι επικείμενες περιπτώσεις χρήσης 6G για AI (ειδικά για μάθηση ενίσχυσης) περιστρέφονται γύρω από τη δημιουργία SSN που μπορούν να διατηρήσουν αυτόνομα υψηλά KPI και να διαχειριστούν πόρους, λειτουργίες και έλεγχο δικτύου. Το AI θα επιτρέψει επίσης στο 6G να παρέχει αυτόματα MPS στους χρήστες του και να στέλνει και να δημιουργεί τρισδιάστατους χάρτες περιβάλλοντος ραδιοφώνου. Αυτές οι βραχυπρόθεσμες λειτουργίες 6G με δυνατότητα AI θα συμπληρωθούν από μια λεγόμενη «συλλογική νοημοσύνη δικτύου» στην οποία η νοημοσύνη δικτύου ωθείται στην άκρη, εκτελώντας αλγόριθμους AI και εκμάθησης σε συσκευές αιχμής για να παρέχει κατανεμημένη αυτονομία. Αυτό το νέο άκρο AI edge θα δημιουργήσει ένα σύστημα 6G που μπορεί να ενσωματώσει τις παραπάνω υπηρεσίες, να πραγματοποιήσει 3CLS και ενδεχομένως να αντικαταστήσει κλασικές δομές πλαισίων.

Ολοκληρωμένα επίγεια, αερομεταφερόμενα και δορυφορικά δίκτυα: Πέρα από τον αναπόφευκτο ρόλο τους ως χρήστες 6G, τα drones μπορούν να αξιοποιηθούν για να συμπληρώσουν τα επίγεια δίκτυα παρέχοντας συνδεσιμότητα σε hotspots και σε περιοχές με σπάνια υποδομή. Εν τω μεταξύ, τόσο τα αεροσκάφη όσο και οι επίγειοι σταθμοί βάσης ενδέχεται να απαιτούν σύνδεση μέσω δορυφόρου με δορυφόρους χαμηλής τροχιάς (LEO) και CubeSats για να παρέχουν υποστήριξη backhaul και επιπλέον κάλυψη ευρείας περιοχής. Η ενσωμάτωση των επίγειων, αερομεταφερόμενων και δορυφορικών δικτύων [26] και [27] σε ένα μόνο ασύρματο σύστημα θα είναι απαραίτητη για το 6G.

Μεταφορά και συγκομιδή ενέργειας: Το 6G θα μπορούσε να είναι το κυψελοειδές σύστημα που μπορεί να παρέχει ενέργεια, μαζί με το 3CLS. Καθώς η ασύρματη μεταφορά ενέργειας ωριμάζει, προβλέπουμε σταθμούς βάσης 6G που παρέχουν βασική μεταφορά ισχύος για συσκευές, ιδιαίτερα εμφυτεύματα και αισθητήρες. Οι συμπληρωματικές ιδέες που εστιάζουν στην ενέργεια, όπως η συλλογή ενέργειας και η οπίσθια διασπορά, θα είναι επίσης ένα στοιχείο του 6G.

Πέρα από το 6G: Μια πληθώρα τεχνολογιών θα ωριμάσει ταυτόχρονα με το 6G, και

ως εκ τούτου ενδεχομένως να διαδραματίσει ρόλο στο τέλος της διαδικασίας τυποποίησης και έρευνας 6G. Ένα εμφανές παράδειγμα είναι ο κβαντικός υπολογισμός και οι επικοινωνίες που μπορούν να παρέχουν ασφάλεια και δικτύωση μεγάλων αποστάσεων. Επί του παρόντος, οι σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες επικεντρώνονται στο κβαντικό βασίλειο και περιμένουμε από αυτές να τέμνονται με το 6G. Άλλες παρόμοιες τεχνολογίες πέραν των 6G περιλαμβάνουν ενσωμάτωση συνδέσμων RF και εκτός RF (συμπεριλαμβανομένων οπτικών, νευρικών, μοριακών και άλλων καναλιών).

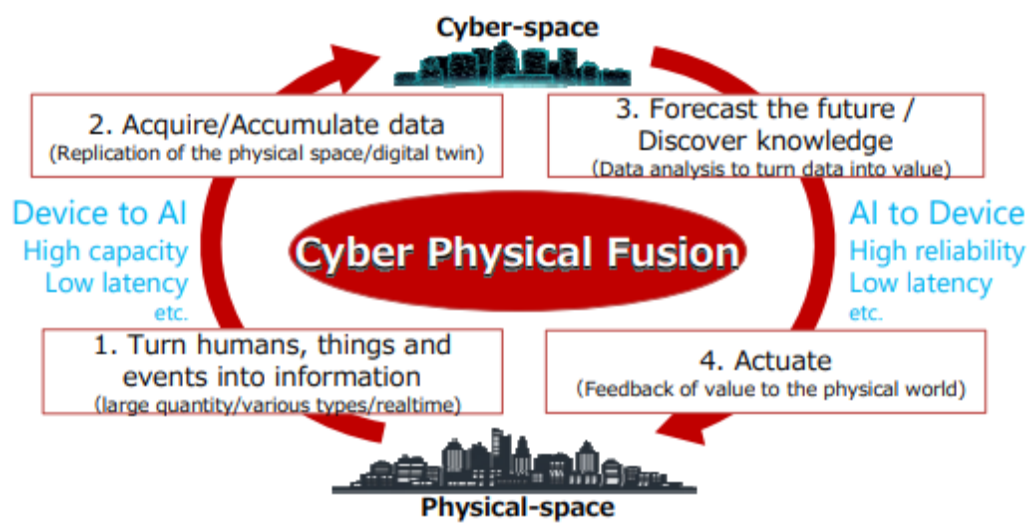
Βελτιώσεις της τεχνολογίας 6G έναντι της 5G

Το 5G είναι το σύστημα κινητής επικοινωνίας πρώτης γενιάς που υποστηρίζει ζώνες υψηλής συχνότητας, όπως η ζώνη κύματος χιλιοστών που υπερβαίνει τα 10 GHz, και είναι μια τεχνολογία που πραγματοποιεί ασύρματες επικοινωνίες δεδομένων υψηλής ταχύτητας αρκετών gigabit ανά δευτερόλεπτο χρησιμοποιώντας εύρος ζώνης συχνοτήτων αρκετών- εκατό megahertz, το οποίο είναι εξαιρετικά ευρύτερο από αυτό που είχε επιτευχθεί προηγουμένως

Ωστόσο, υπάρχει πολύ περιθώριο για μελλοντική βελτίωση της τεχνολογίας κυμάτων χιλιοστών στις κινητές επικοινωνίες. Ειδικότερα, η βελτίωση της κάλυψης και της απόδοσης ανερχόμενης ζεύξης σε περιβάλλοντα χωρίς οπτική επαφή (NLOS) είναι ζητήματα που μπορούν να διακριθούν από δοκιμές που σχετίζονται με 5G. Η 5G έχει προσελκύσει μεγάλη προσοχή ως τεχνολογία που υποστηρίζει τη μελλοντική βιομηχανία και κοινωνία, και συχνά απαιτούνται ειδικές απαιτήσεις και ιδιαίτερα υψηλές επιδόσεις σε περιπτώσεις βιομηχανικής χρήσης.

Στην Ιαπωνία, η συζήτηση για το «Τοπικό 5G», που ειδικεύεται σε περιπτώσεις χρήσης της βιομηχανίας, βρίσκεται σε εξέλιξη και είναι ένα θέμα ενδιαφέροντος στη βιομηχανία. Στο μέλλον, θα χρειαστεί περαιτέρω ενίσχυση της τεχνολογίας 5G για να ανταποκρίνεται ευέλικτα σε τόσο μεγάλες απαιτήσεις σε περιπτώσεις βιομηχανικής χρήσης. Στο αρχικό 5G, δηλαδή στο NR Release 15, οι τυποποιημένες τεχνολογίες ραδιοφώνου 3GPP επικεντρώθηκαν σε βελτιωμένες κινητές ευρυζωνικές συνδέσεις (eMBB) και ένα μέρος εξαιρετικά αξιόπιστων και επικοινωνιών χαμηλού λανθάνοντος χρόνου (URLLC).

Όπως και με το LTE, οι υπηρεσίες βέλτιστης προσπάθειας που εστιάζονταν σε ρυθμούς δεδομένων κατερχόμενης ζεύξης πραγματοποιήθηκαν κυρίως. Στην περίπτωση της εξέλιξης 5G, λαμβάνεται υπόψη μια κατεύθυνση για την προώθηση μιας εξαιρετικά αξιόπιστης ασύρματης τεχνολογίας για βιομηχανικές εφαρμογές, βελτιώνοντας παράλληλα την απόδοση της ζεύξης. Συγκεκριμένα, υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις της βιομηχανίας στις οποίες θεωρείται η αποστολή μεγάλου όγκου δεδομένων εικόνας και απαιτείται εγγυημένος ρυθμός δεδομένων σε μια υπηρεσία, και οι βελτιώσεις uplink και η τεχνολογία για τη διασφάλιση της απόδοσης είναι πιο σημαντικές από την υπηρεσία επικοινωνίας γενικά χρήστες.



Εικόνα 6: Cyber - φυσική σύντηξη και ασύρματες επικοινωνίες [27]

Όλα γύρω μας θα είναι πολύ έξυπνα, οδηγώντας στην ιδέα του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT), με τεράστιο όγκο δεδομένων και πληροφοριών. Λίγοι θα υποστηρίξουν ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα είναι αναπόσπαστο μέρος του 6G λόγω της διαθεσιμότητας δεδομένων μάζας που μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία και της προόδου της υπολογιστικής ισχύος. Το πρόσφατο ενδιαφέρον έχει επίσης μετατοπιστεί στην ανίχνευση ακμής και την πρόσβαση στην ομίχλη ραδιοφώνου (RAN), η οποία φέρνει το περιεχόμενο πιο κοντά στον εξοπλισμό των χρηστών (UE), επιτρέποντας πολύ χαμηλότερη καθυστέρηση και κατανάλωση ενέργειας. Στο 6G, αναμένουμε να δούμε τεχνητή νοημοσύνη σε λειτουργία με κατανομημένη εκπαίδευση στα άκρα του δικτύου, συμπεριλαμβανομένων των σταθμών μικροβάσεων (SBS) και των UE, το οποίο εξα-

κ
ο
λ
ο
υ

Για να εξετάσουμε τις απαιτήσεις, πρέπει να διερευνήσουμε τις περιπτώσεις χρήσης 6G, την τεχνολογική εξέλιξη, την κοινωνία και την κοσμοθεωρία τη δεκαετία του 2030, όταν θα εισαχθεί το 6G. Οι περιπτώσεις χρήσης και οι λύσεις προβλημάτων που αναμένονται στο 5G θα πραγματοποιηθούν ως επί το πλείστον στη δεκαετία του 2020 και θα επεκταθούν από εκεί. Θεωρείται ότι απαιτείται ευρύτερη και βαθύτερη διάχυση ως είδος περαιτέρω ανάπτυξης στη δεκαετία του 2030. Επιπλέον, θα υπάρχει ανάγκη για πιο προηγμένες υπηρεσίες, ενοποίηση πολλαπλών περιπτώσεων χρήσης και νέων περιπτώσεων χρήσης μαζί με την επιτάχυνση της επεξεργασίας σήματος και την εξέλιξη διαφόρων συσκευών.



Εικόνα 7: Εικόνα της κοσμοθεωρίας στην εποχή 6G [28]

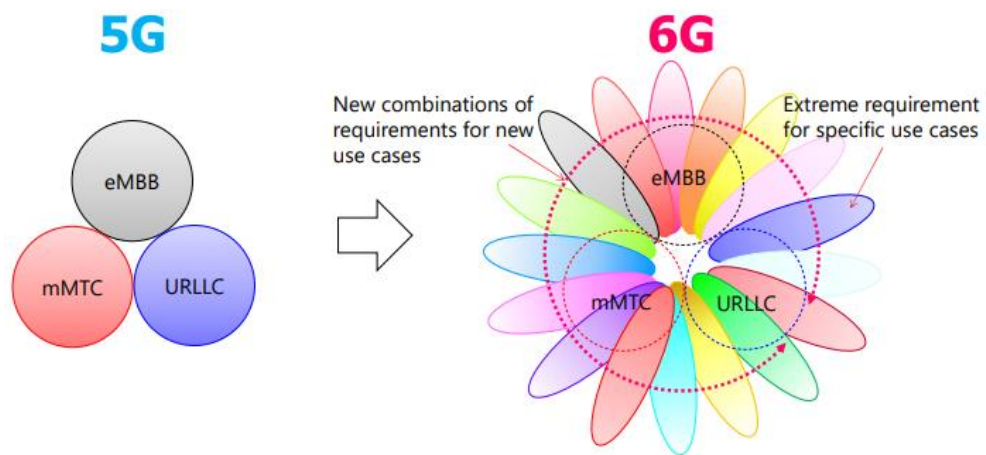
Επίλυση κοινωνικών προβλημάτων: Πολλά κοινωνικά ζητήματα και ανάγκες που αναμένονται στο 5G θα επιλυθούν στη δεκαετία του 2020. Αναμένεται ότι διάφορες λύσεις όπως τηλεργασία, τηλεχειριστήριο, τηλεϊατρική, εξ αποστάσεως εκπαίδευση και αυτόνομη λειτουργία διαφόρων εξοπλισμών, συμπεριλαμβανομένων των αυτοκινήτων, θα παρέχονται από δίκτυα επικοινωνίας υψηλής ταχύτητας και χαμηλής καθυστέρησης για κοινωνικά προβλήματα όπως η περιφερειακή δημιουργία, το χαμηλό ποσοστό γεννήσεων, γήρανση και έλλειψη εργασίας στη δεκαετία του 2020. Η περαιτέρω διάδοση των λύσεων και η πιο προηγμένη αλληλογραφία στη δεκαετία του 2030 θα απαιτήσουν πλήρη επίλυση προβλημάτων και ανάπτυξη. Ο κόσμος αναμένεται να γίνει ένα μέρος όπου όλοι οι άνθρωποι, οι πληροφορίες και τα αγαθά μπορούν να έχουν πρόσβαση οπουδήποτε σε μια εξαιρετικά πραγματική εμπειρία, και οι περιορισμοί του χώρου εργασίας και του χρόνου εξαλείφονται εντελώς. Αυτό θα εξαλείψει

δραματικά τις κοινωνικές και πολιτιστικές ανισότητες μεταξύ αγροτικών και αστικών περιοχών, θα αποφύγει την αστική συγκέντρωση ανθρώπων και θα προωθήσει την τοπική ανάπτυξη. Μπορεί επίσης να κάνει τη ζωή των ανθρώπων πιο χωρίς άγχος.

Επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων και πραγμάτων: Προηγμένες λειτουργίες φορητών συσκευών, συμπεριλαμβανομένων συσκευών XR (VR, AR, MR), εικόνων υψηλής ευκρίνειας και ολογράμμων άνω των 8K και νέες επικοινωνίες πέντε αισθήσεων, συμπεριλαμβανομένης της αίσθησης αφής, θα πολλαπλασιαστούν και επικοινωνίες μεταξύ ανθρώπων και μεταξύ ανθρώπων και πραγμάτων θα γίνει εξαιρετικά πραγματικός και πλούσιος. Ως αποτέλεσμα, θα παρέχονται καινοτόμες υπηρεσίες ψυχαγωγίας και επιχειρηματικές υπηρεσίες για παιχνίδια, παρακολούθηση αθλητικών κλπ. Χωρίς περιορισμούς χρόνου και τόπου. Μέσω της ταχείας διάδοσης και ανάπτυξης των υπηρεσιών IoT, η ζήτηση για επικοινωνία πραγμάτων θα γίνει πολύ μεγάλη. Απαιτείται υψηλή ταχύτητα και απόδοση χαμηλού λανθάνοντος χρόνου που υπερβαίνει κατά πολύ την ανθρώπινη ικανότητα για επικοινωνία, διότι η επεξεργασία δεδομένων θα περιλαμβάνει μεγάλες εικόνες υψηλής ευκρίνειας και τον έλεγχο εξοπλισμού με εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση.

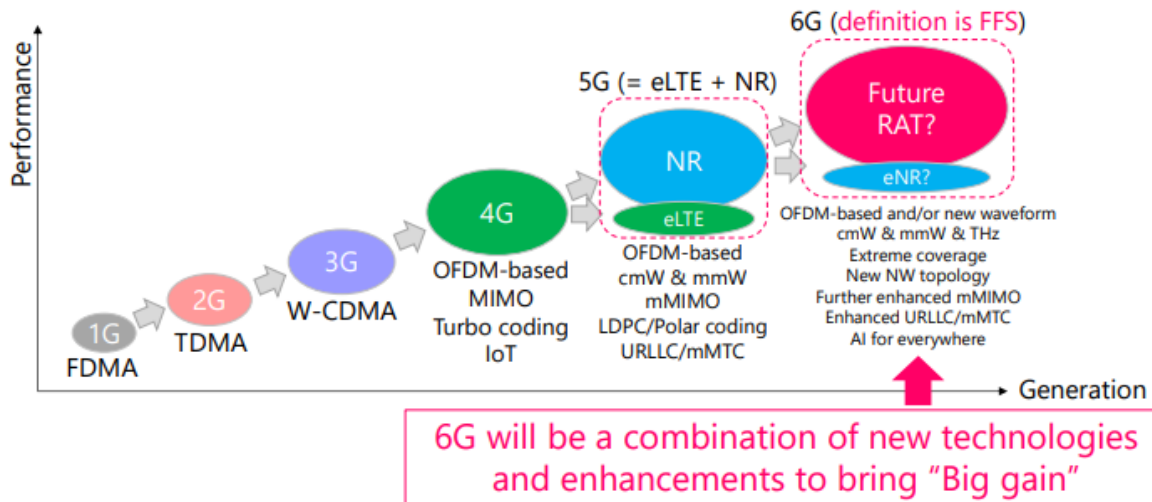
Επέκταση του περιβάλλοντος επικοινωνίας: Οι επικοινωνίες είναι τώρα τόσο πανταχού παρούσες όσο ο αέρας γύρω μας και τόσο ζωτικής σημασίας όσο ο ηλεκτρισμός και το νερό. Επομένως, οι χρήστες δεν χρειάζεται να γνωρίζουν τις ρυθμίσεις επικοινωνίας και την περιοχή υπηρεσιών επικοινωνίας. Ένα περιβάλλον επικοινωνίας θα απαιτείται σε όλα τα μέρη με την επέκταση της περιοχής δραστηριότητας των ανθρώπων και των πραγμάτων. Τα πολυώροφα κτίρια, τα αεροσκάφη, τα ιπτάμενα αυτοκίνητα, τα αεροπλάνα, ακόμη και ο χώρος θα είναι περιοχές φυσικής δραστηριότητας, και όχι μόνο το έδαφος αλλά και ο ουρανός και ο χώρος θα είναι απαραίτητοι χώροι επικοινωνίας. Η ανάγκη αυξάνεται για περιοχές επικοινωνίας στη θάλασσα και κάτω από τη θάλασσα. Λόγω των αναγκών διάφορων δικτύων αισθητήρων, μη επανδρωμένων εργοστασίων και μη επανδρωμένων εργοταξίων, είναι επίσης απαραίτητο να κατασκευαστεί μια περιοχή επικοινωνίας σε ένα περιβάλλον χωρίς ανθρώπινα όντα. Ως αποτέλεσμα, κάθε μέρος του εδάφους, του ουρανού και της θάλασσας θα γίνει χώρος επικοινωνίας.

Η Εικόνα 8 παρουσιάζει την τεχνολογική ανάπτυξη προς το 6G για την υλοποίηση της παραπάνω ιδέας. Στο μέλλον, θα υπάρχουν περιπτώσεις χρήσης που απαιτούν εξαιρετική απόδοση που δεν μπορούν να επιτύχουν ακόμη και 5G, καθώς και νέοι συνδυασμοί απαιτήσεων που δεν εμπίπτουν στις τρεις κατηγορίες 5G: eMBB, URLLC και μαζική επικοινωνία τύπου μηχανήματος (mMTC).



Εικόνα 8: Τεχνολογική ανάπτυξη προς το 6G [29]

Η Εικόνα 9 παρουσιάζει δείχνει μια εικόνα της τεχνολογικής εξέλιξης από τις προηγούμενες γενιές κινητής επικοινωνίας έως 6G. Στις προηγούμενες γενιές, υπήρχε μια αντιπροσωπευτική τεχνολογία σε κάθε γενιά. Ωστόσο, από το 4G, η τεχνολογία ασύρματης πρόσβασης (RAT) περιλαμβάνει έναν συνδυασμό πολλαπλών νέων τεχνολογιών που βασίζονται στην ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνοτήτων (OFDM) και σε 6G, τα τεχνικά πεδία πιστεύεται ότι γίνονται πιο διαφοροποιημένα. Αυτό συμβαίνει επειδή η ποιότητα επικοινωνίας κοντά στο όριο Shannon έχει ήδη επιτευχθεί με τεχνολογία βασισμένη στο OFDM. Επομένως, στο 6G, απαιτήσεις υψηλού επιπέδου όπως περιγράφονται στο προηγούμενο κεφάλαιο θα ικανοποιηθούν μέσω ενός συνδυασμού πολλών τεχνολογιών. Επιπλέον, ο ορισμός του 6G RAT πρέπει επίσης να αποσαφηνιστεί. Τα τεχνικά πεδία που θεωρούνται υποψήφια για εξέλιξη 5G και 6G περιγράφονται παρακάτω.

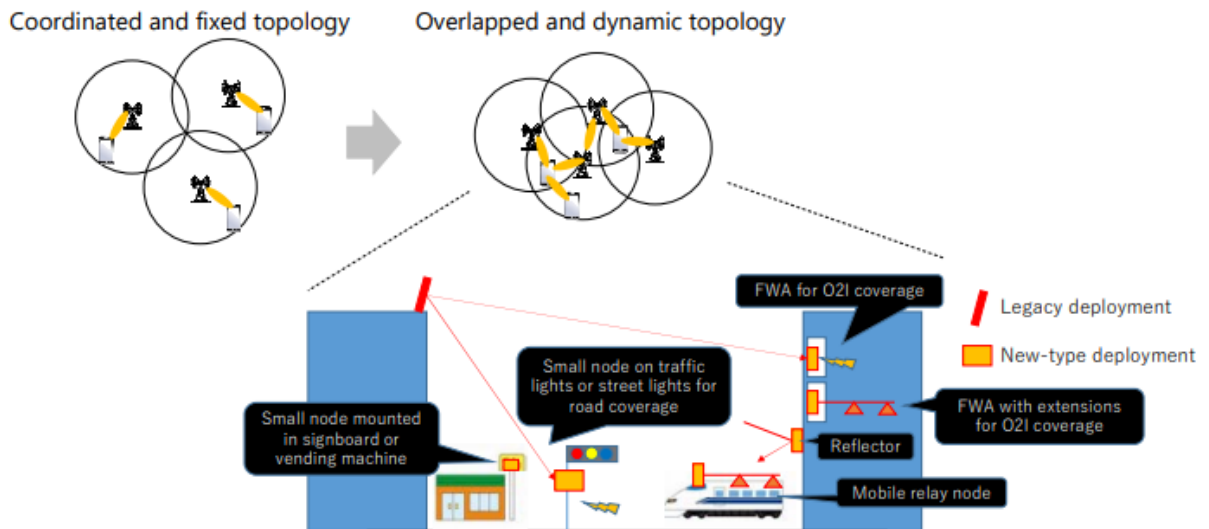


Εικόνα 9: Τεχνολογική εξέλιξη έως 6G στις κινητές επικοινωνίες [30]

Όταν επιδιώκεται η εξαιρετικά υψηλή ταχύτητα, η υψηλή χωρητικότητα (ειδικά η ανερχόμενη ζεύξη) και η βελτίωση της αξιοπιστίας των ασύρματων επικοινωνιών, είναι ιδανικό να επικοινωνείτε όσο το δυνατόν πιο κοντά και σε ένα ανεμπόδιο περιβάλλον (διαδρομή χαμηλής απώλειας) και να δημιουργήσετε όσο το δυνατόν περισσότερες διαδρομές επικοινωνίας για να αυξήσετε τους υποψηφίους επιλογής διαδρομής (αύξηση πλεονασμού). Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτείται τοπολογία δικτύου που διανέμεται στον χώρο του χώρου. Στην προηγούμενη γενιά, θεωρήθηκε ιδανικό να κατασκευαστεί ένα κυψελοειδές δίκτυο με εξαγωνικά κύτταρα έτσι ώστε τα κύτταρα να μην αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Ωστόσο, προκειμένου να αυξηθεί η επιλογή της διαδρομής, θα επιδιωχθεί μια τοπολογία χωρικά μη ορθογωνίων κατανεμημένων δικτύων εγκαταλείποντας την έννοια των κυττάρων.

Η τοπολογία ενός τέτοιου κατανεμημένου δικτύου θεωρείται εξοικειωμένη με την ανάπτυξη ζωνών υψηλής συχνότητας, ασύρματης ανίχνευσης και ασύρματης τροφοδοσίας. Από την άλλη πλευρά, σύμφωνα με τη συμβατική κοινή λογική, αυτή η νέα τοπολογία δικτύου δεν είναι καλή διαμόρφωση δικτύου επειδή συμβαίνει παρεμβολή μεταξύ κυττάρων και εγκαθίστανται πολλές πλεονασματικές κεραίες. Φαίνεται ότι οι παρεμβολές μπορούν να αποφευχθούν τεχνικά με τον έλεγχο δέσμης και την επιλογή διαδρομής, αλλά παραμένει το θεμελιώδες πρόβλημα του πώς να επιτευχθεί αυτό με χαμηλό κόστος. Εξετάζονται διάφορες προσεγγίσεις, αλλά η λύση θα είναι αυτή που δεν χρησιμοποιεί συμβατικές κεραίες σταθμών βάσης.

Υπάρχουν διάφορες έρευνες όπως η χρήση γυάλινων κεραιών, ανακλαστήρων, ενσωμάτωσης αισθητήρων και κεραιών επικοινωνίας, συνεργασία μεταξύ τερματικών, τερματικών σταθμών βάσης, μια νέα τεχνολογία διανομής οπτικών ινών και οπτικής μετάδοσης που επιτρέπει την τοπολογία του κατανεμημένου δικτύου, την επέκταση των μπροστινών αποστάσεων και τεχνολογία backhaul, συμπεριλαμβανομένης της ολοκληρωμένης πρόσβασης και backhaul (IAB), και ένας κόμβος λήψης μόνο για σύνδεση. Προκειμένου να καταστεί η νέα τοπολογία δικτύου αποτελεσματικότερη και αποτελεσματικότερη, η τεχνολογία τοπολογίας διαχείρισης και ελέγχου χρησιμοποιώντας AI κ.λπ. θα είναι σημαντικό στοιχείο. Επιπλέον, η εξέταση μιας τοπολογίας δικτύου που τις χρησιμοποιεί σε συνδυασμό με τη συμβατική κυτταρική σύνθεση φαίνεται να είναι απαραίτητη.



Εικόνα 10: Έννοια της νέας τοπολογίας δικτύου [31]

Στα 5G NR, υποστηρίζονται ζώνες συχνοτήτων έως 52.6 GHz και εξετάζεται η επέκταση σε περίπου 100 GHz για μελλοντική κυκλοφορία. Επιπλέον, η FCC των Η.Π.Α. συνιστά συχνότητες υψηλότερες από 5G, όπως 95 GHz έως 3 THz, για 6G. Σε τέτοιες ζώνες υψηλής συχνότητας από το άνω μέρος της ζώνης κύματος χιλιοστών έως τη ζώνη «terahertz wave», ένα εξαιρετικά μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και σε σύγκριση με το 5G και βρίσκεται υπό διερεύνηση για εξαιρετικά υψηλούς ρυθμούς δεδομένων άνω των 100 Gbps. Προς το παρόν, όπως

φαίνεται στην Εικόνα, υποθέτουμε ότι τα ραδιοκύματα έως περίπου 300 GHz θεωρούνται στο εύρος εξέτασης για 6G. Ωστόσο, τα «κύματα terahertz» έχουν το πρόβλημα στο ότι το ευθύγραμμο ραδιοκύμα¹² είναι ευθύγραμμο.

Η ιδιότητα είναι υψηλότερη από αυτήν του κύματος χιλιοστών και δεν διαδίδεται πολύ. Είναι απαραίτητη η τεχνολογική εξέταση, όπως η πρόοδος στην τεχνολογία συσκευών ραδιοσυχνοτήτων (RF) και η χρήση με βάση την προαναφερθείσα νέα τοπολογία δικτύου. Το σχήμα 4-4 δείχνει την έννοια της τεχνολογίας ασύρματης πρόσβασης που λαμβάνει υπόψη την ανάπτυξη τέτοιων ζωνών υψηλής συχνότητας και την προαναφερθείσα επέκταση κάλυψης συμπεριλαμβανομένου του ουρανού, της θάλασσας και του χώρου. Παρόλο που αυτές είναι διαφορετικές κατευθύνσεις ανάπτυξης, υπάρχουν κοινά τεχνικά προβλήματα με την έννοια ότι η κάλυψη και η απόδοση ισχύος καθίστανται πιο σημαντικά από την απόδοση του φάσματος.

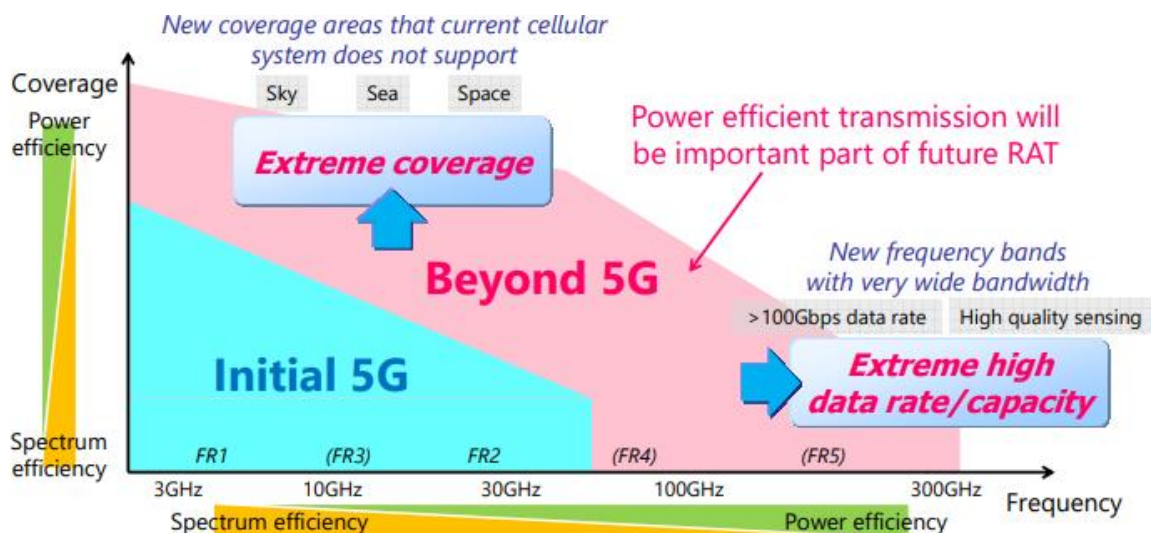
Όσον αφορά την ασύρματη τεχνολογία, η κυματομορφή σήματος ενός απλού φορέα γίνεται κυρίαρχη σε σύγκριση με το OFDM, και καθώς η περιοχή εφαρμογής για την ασύρματη τεχνολογία επεκτείνεται συμπεριλαμβανομένου του IAB στο μέλλον, η σημασία της ασύρματης τεχνολογίας, όπως από την άποψη ενός ενεργειακά αποδοτικού μεμονωμένου φορέα μπορεί αυξάνουν. Επιπλέον, όταν νέες ζώνες συχνοτήτων όπως το κύμα χιλιοστομέτρου και οι ζώνες κυμάτων terahertz προστίθενται στην υπάρχουσα ζώνη συχνοτήτων, θα χρησιμοποιηθούν πολύ ευρείες ζώνες συχνοτήτων σε σύγκριση με το παρελθόν. Επομένως, φαίνεται να υπάρχουν πολλά σχετικά πεδία μελέτης, όπως η βελτιστοποίηση της επιλεγμένης εφαρμογής πολλαπλών ζωνών σύμφωνα με την εφαρμογή, η επανεξέταση της μεθόδου επαναχρησιμοποίησης συχνότητας μεταξύ κυττάρων, η αναβάθμιση της μεθόδου εκτύπωσης διπλής όψης στο uplink και downlink και η επανεξέταση της μεθόδου αξιοποίησης του χαμηλού ζώνη συχνοτήτων.

Εκτός από αυτά, η τεχνολογία 6G θα χρησιμοποιήσει έξυπνες δομές για να προσφέρει ένα επιπλέον βαθμό ελευθερίας (DoF – Degree of Freedom) για τη βελτίωση

12

Ραδιοκύματα είναι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με συχνότητα από περίπου 3 Hz έως 300 GHz. Ειδικότερα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με συχνότητες μεταξύ 0.3 GHz και 300 GHz ονομάζονται μικροκύματα. Μεγαλύτερες συχνότητες εμπίπτουν στο φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας.

των ασύρματων ζεύξεων, παρέχοντας μια άνευ προηγουμένου χωρητικότητα. Σε μεγάλη κλίμακα, θα εγκατασταθούν έξυπνες ανακλαστικές επιφάνειες σε κτίρια. Οι έξυπνες επιφάνειες θα αυξήσουν αποτελεσματικά το άνοιγμα της κεραίας για να συλλέξουν όσο το δυνατόν περισσότερα ασύρματα σήματα που δεν ήταν δυνατά πριν για βελτιωμένη ενέργεια και φασματική απόδοση. Στη μικρότερη κλίμακα, το 6G θα δει επίσης την ευέλικτη δομή της κεραίας στα UE. Οι κεραίες με μεταμετρικό υλικό μπορούν επίσης να υλοποιηθούν για να καταστούν ακόμη πιο συμπαγείς οι ευρυζωνικές κεραίες. Τέτοιες έξυπνες δομές επιδιώκουν να διαμορφώσουν το περιβάλλον για να καλύψουν διάφορες εφαρμογές, για παράδειγμα, να βελτιώσουν την ποιότητα των συνδέσεων, να μπλοκάρουν τις παρεμβολές, να ενισχύσουν την ιδιωτικότητα και την ασφάλεια, να αποφύγουν αντιφατικές επιθέσεις και πολλά άλλα.



Εικόνα 11: Επέκταση της τεχνολογίας ασύρματης πρόσβασης για εκμετάλλευση νέων συχνοτήτων και κάλυψης [33]

Υπάρχει επίσης πιθανότητα επιτυχίας σε άλλες αναδυόμενες περιοχές που δεν έχουν ακόμα μεγάλη επίδραση στο 5G αλλά θα μπορούσαν να γίνουν πραγματικότητα στο 6G, συμπεριλαμβανομένης της ασύρματης μεταφοράς ενέργειας (WPT) και της συγκομιδής ενέργειας RF, των οπτικών ασύρματων επικοινωνιών ή του Li-Fi. Επιπλέον, υπάρχει η πιθανότητα ότι το 6G θα είναι κάτι περισσότερο από ασύρματο και θα πρέπει να χειριστεί τη συνύπαρξη παραδοσιακών κινητών επικοινωνιών και διασυνδέσεων εντός των υπολογιστών, καθώς οι υπολογιστές πολλών πυρήνων μπορούν να χρησιμοποιούν ψηφιακές επικοινωνίες επιφανειακών κυμάτων για διασυνδέσεις οι οποίες μπορεί να καταλαμβάνουν την ίδια ζώνη με το 6G. Συνολικά, προβλέπουμε ότι

η τεχνητή νοημοσύνη θα διεισδύσει σε όλα τα επίπεδα και θα είναι η υπογραφή για το 6G για πιο έξυπνα και ισχυρότερα δίκτυα.

Το 6G αναμένεται επίσης να ολοκληρωθεί μέσα σε δορυφόρους για την παροχή παγκόσμιας κινητής κάλυψης. Η φασματική απόδοση του όγκου (σε bps/Hz/m³), σε αντίθεση με την συχνά χρησιμοποιούμενη φασματική απόδοση περιοχής (bps/Hz/m²), θα είναι πιο κατάλληλη στο 6G για να μετρήσει σωστά την χωρητικότητα του συστήματος σε έναν τρισδιάστατο χώρο λειτουργίας. Η εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης (URLLC), ένα βασικό χαρακτηριστικό στο 5G NR, θα είναι και πάλι ένας βασικός οδηγός στο 6G που ωθεί το όριο περαιτέρω για να απαιτεί λανθάνουσα κατάσταση μικρότερη από 1ms.

Η ενεργειακή απόδοση θα είναι εξαιρετικά σημαντική για την παράταση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας των μονάδων UE. Οι βασικοί δείκτες απόδοσης του 6G συγκριτικά με το 5G φαίνονται στον πίνακα 4. Όπως φαίνεται σε αυτό τον πίνακα, η τεχνολογία 6G αναζητά διάφορες βελτιώσεις σε σχέση με την 5G σε όλες τις πτυχές. Εδώ, επισημαίνουμε μερικά εμπόδια, όπου θα χρειαστούν μεγάλες προσπάθειες. Ορισμένες από αυτές εξετάζονται ήδη και αντιμετωπίζονται εν μέρει στην τεχνολογία 5G.

Επιπλέον, η τεχνολογία 6G θα χρησιμοποιεί έξυπνες δομές για να προσφέρει έναν επιπλέον βαθμό ελευθερίας (DoF) για τη βελτίωση των ασύρματων συνδέσεων, παρέχοντας μια άνευ προηγουμένου χωρητικότητα. Σε μεγάλη κλίμακα, έξυπνες ανακλαστικές επιφάνειες θα εγκατασταθούν σε κτίρια. Οι έξυπνες επιφάνειες θα αυξήσουν αποτελεσματικά το διάφραγμα της κεραίας για τη συλλογή όσο το δυνατόν περισσότερων ασύρματων σημάτων που δεν ήταν δυνατό πριν για βελτιωμένη ισχύ και φασματική απόδοση. Σε μικρότερη κλίμακα, το 6G θα δει επίσης την ευέλικτη δομή κεραίας στην EE. Οι κεραίες με μετρικό υλικό μπορούν επίσης να εφαρμοστούν για να κάνουν τις ευρυζωνικές κεραίες ακόμα πιο συμπαγείς. Τέτοιες έξυπνες δομές επιδιώκουν να διαμορφώσουν το περιβάλλον ώστε να καλύπτουν διάφορες εφαρμογές, για παράδειγμα, να βελτιώσουν την ποιότητα των συνδέσεων, να μπλοκάρουν τις παρεμβολές, να ενισχύσουν το απόρρητο και την ασφάλεια, να αποφύγουν συγκρουόμενες επιθέσεις και πολλά άλλα.

Υπάρχει επίσης μια πιθανότητα επιτυχίας σε άλλες αναδυόμενες περιοχές που δεν έχουν ακόμη μεγάλο αντίκτυπο στο 5G, αλλά θα μπορούσαν να γίνουν πραγματικότητα στα 6G, συμπεριλαμβανομένης της ασύρματης μεταφοράς ισχύος (WPT) και της συλλογής ισχύος RF, του οπτικού ασύρματου ή του Li-Fi. Επιπλέον, υπάρχει η πιθανότητα ότι το 6G θα είναι κάτι περισσότερο από ασύρματο και θα πρέπει να χειριστεί τη συνύπαρξη παραδοσιακών κινητών επικοινωνιών και διεπαφών εντός υπολογιστών, καθώς οι υπολογιστές πολλαπλών πυρήνων μπορούν να χρησιμοποιούν ψηφιακές επικοινωνίες επιφανειακών κυμάτων για διασυνδέσεις που μπορούν να καταλάβουν το ίδιο μπάντα ως 6G. Συνολικά, αναμένουμε ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα διεισδύσει σε όλα τα επίπεδα και θα είναι η υπογραφή του 6G για πιο έξυπνα και πιο ισχυρά δίκτυα.

Το 6G αναμένεται επίσης να ενσωματωθεί σε δορυφόρους για να παρέχει παγκόσμια κινητή κάλυψη. Η φασματική απόδοση έντασης (σε bps/Hz/m^3), σε αντίθεση με την από κοινού χρησιμοποιούμενη απόδοση εύρους ζώνης (bps/Hz / m^2), θα είναι πιο κατάλληλη στα 6G για την ακριβή μέτρηση της χωρητικότητας του συστήματος σε έναν λειτουργικό χώρο 3D. Η εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης (URLLC), ένα βασικό χαρακτηριστικό στο 5G NR, θα είναι και πάλι βασικός οδηγός στο 6G, ωθώντας το όριο περαιτέρω για να απαιτήσει καθυστέρηση μικρότερη από 1ms. Η ενεργειακή απόδοση θα είναι εξαιρετικά σημαντική για την παράταση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας των μονάδων UE. Οι βασικοί δείκτες απόδοσης του 6G σε σύγκριση με το 5G φαίνονται στον Πίνακα 4. Όπως φαίνεται σε αυτόν τον πίνακα, η τεχνολογία 6G αναζητά διάφορες βελτιώσεις σε σχέση με το 5G σε όλες τις πτυχές. Εδώ, επισημαίνουμε ορισμένα εμπόδια, όπου θα χρειαστεί πολλή προσπάθεια. Ορισμένα από αυτά ήδη δοκιμάζονται και αντιμετωπίζονται εν μέρει στην τεχνολογία 5G.

Πίνακας 4: Βασικοί δείκτες απόδοσης (KPI's) τεχνολογίας 5G έναντι 6G

Characteristics	5G	6G
Individual data rate	1 Gbps	100 Gps
DL data rate	20 Gbps	> 1 Tbps
U – plane latency	0.5 ms	< 0.1 ms
C – plane latency	10 ms	< 1 ms
Mobility	up to 500 km/h	up to 1000 km/h
DL spectral efficiency	30 bps/Hz	100 bps/Hz
Operating frequency	3 – 300 GHz	Up to 1 THz

A. Πρόσβαση στο δίκτυο για επιστροφή κυκλοφορίας: Οι νέες τεχνολογίες FG NET-2030 της ITU (FG NET-2030) έχουν εκφράσει την ανησυχία τους ότι οι δυνατότητες των δικτύων σταθερής πρόσβασης έχουν ήδη καθυστερήσει σε αναδυόμενα συστήματα 5G. Τα δίκτυα πρόσβασης κυκλοφορίας Backhaul αναμένεται να δυσκολευτούν να αντιμετωπίσουν την άνευ προηγουμένου αύξηση δεδομένων και άλλες απαιτήσεις ποιότητας, εκτός εάν ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα για την ενίσχυση των ερευνητικών προσπαθειών. Υπάρχει άφθονο διαθέσιμο φάσμα στις υψηλότερες ζώνες, και μια τέτοια επιλογή είναι η D - band (ζώνη), όπου η ζώνη 60GHz είναι διαθέσιμη. Οι οπτικές επικοινωνίες ελεύθερου χώρου και οι κβαντικές επικοινωνίες είναι πολλά υποσχόμενες για το backhaul 6G για την κάλυψη των απαιτήσεων. Ωστόσο, βρίσκονται ακόμη στα αρχικά στάδια ανάπτυξης και πώς αυτές οι τεχνολογίες, ακόμη και αν υπάρχουν, θα ενσωματωθούν με άλλους τύπους εξοπλισμού δικτύου πρέπει επίσης να αντιμετωπιστούν.

B. Κύματα και συχνότητες κάτω από το χιλιοστόμετρο THz: Ένας προφανής τρόπος για την υποστήριξη της μαζικής αύξησης της ζήτησης ρυθμού δεδομένων είναι η αύξηση του εύρους ζώνης. Η αρχική συζήτηση δείχνει ότι οι συχνότητες στη ζώνη THz και άνω θα ληφθούν υπόψη για 6G, καθώς σε αυτές τις ζώνες υπάρχουν πολλές ελεύθερες ζώνες κατάλληλες για την κάλυψη αυτής της απαίτησης. Μια πρόσφατη μελέτη [26] δείχνει ότι το φάσμα 5G δεν μπορεί να υπερβεί τα 140GHz λόγω αρκετών προκλήσεων, όπως έλλειψη κατανόησης της μοντελοποίησης και της ενίσχυσης καναλιών, της αδυναμίας της συσκευής να λειτουργεί σε τέτοιες υψηλές συχνότητες κ.λπ. Αντίθετα, το 6G θα χρησιμοποιήσει φάσμα πέραν των 140GHz με συγκεκριμένη εφαρμογή σε επικοινωνία πολύ μικρής εμβέλειας.

Ωστόσο, η ευαισθησία της ζώνης THz σε παρεμβολές, μοριακή απορρόφηση, δειγματοληψία και κυκλώματα για την κλίμακα επικοινωνίας A/D και D/A είναι μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν τα επόμενα χρόνια. Ένα άλλο ζήτημα είναι ότι σε υψηλότερες συχνότητες, το μέγεθος της κεραίας και των σχετικών κυκλωμάτων γίνεται μικροσκοπικό και δύσκολο να κατασκευαστεί με ολοκληρωμένα κυκλώματα, διασφαλίζοντας παράλληλα την καταστολή θορύβου και παρεμβολών μεταξύ των εξαρτημάτων. Από την άλλη πλευρά, τα ακριβή χαρακτηριστικά διάδοσης σε αυτές τις ζώνες δεν είναι καλά κατανοητά, αν και ορισμένες πρό-

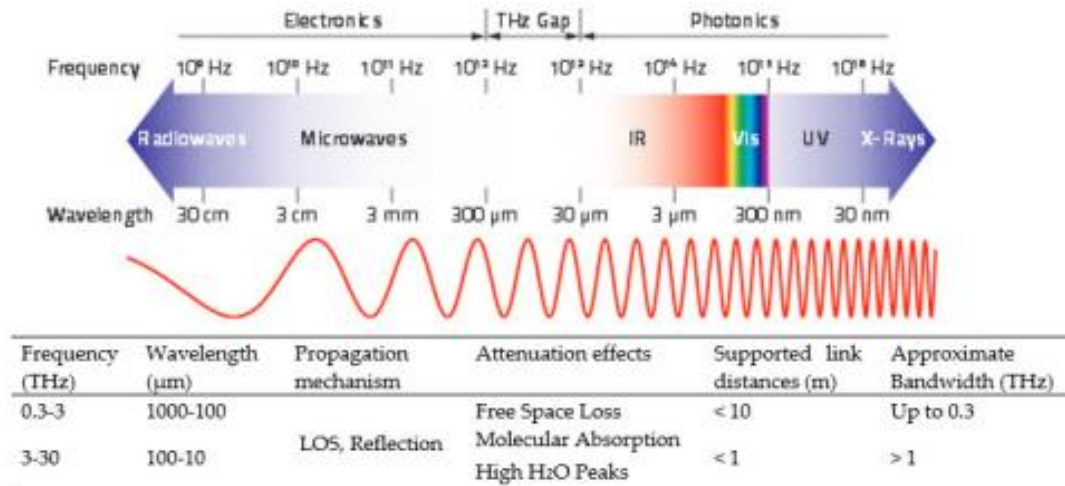
σφατες προσπάθειες για την αντιμετώπιση αυτών των σημείων συμφόρησης έχουν αναφέρει ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Σε ένα επιτυχημένο παράδειγμα, δείχνει ότι είναι δυνατό να σχεδιαστεί ένα κύκλωμα διαμόρφωσης βασισμένο σε CMOS που λειτουργεί στα 300GHz για να επιτευχθεί σημαντική αύξηση της απόδοσης.

Γ. Cloud computing και φορητός υπολογιστής: Το cloud computing και ο υπερσύγχρονος υπολογιστής έχουν εισαχθεί στο 5G για να μειώσουν σημαντικά την απόσταση του εξοπλισμού χρήστη (UE) από σταθμούς βάσης και διακομιστές περιεχομένου υπηρεσίας / εφαρμογών, αντίστοιχα. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η προσωρινή αποθήκευση διασπά το δίκτυο σε μια καταναμημένη δομή υπολογιστικού νέφους, όπου τα εκπαιδευτικά δεδομένα βρίσκονται στα άκρα του δικτύου, εμποδίζοντας την πλήρη λειτουργία τεχνικών Τεχνητής Νοημοσύνης. Είναι αναπόφευκτο το δίκτυο να μετακινηθεί σε ακόμη μικρότερα κελιά για περισσότερη χωρητικότητα και λιγότερη καθυστέρηση σε δίκτυα 6G και αυτή η κατάσταση θα επιδεινωθεί.

Στόχοι τεχνολογίας 6G

A. Εξαιρετικά μεγάλο εύρος ζώνης (κύματα THz)

Ο όγκος της ασύρματης κυκλοφορίας δεδομένων και το μέγεθος των συνδεδεμένων πραγμάτων αναμένεται να πηδήξουν πολλές φορές σε 6G, ειδικά στην περιοχή των εκατοντάδων εξοπλισμού σε ένα δεδομένο κυβικό μέτρο. Επιπλέον, οι εφαρμογές που είναι πεινασμένες με δεδομένα, όπως η αποστολή ολογραφικών βίντεο, χρειάζονται εύρος ζώνης φάσματος που δεν είναι διαθέσιμος στο φάσμα των χιλιοστών. Αυτή η κατάσταση παρουσιάζει δύσκολες προκλήσεις που σχετίζονται με την αποτελεσματικότητα της περιοχής ή του χωρικού φάσματος και τις απαιτούμενες ζώνες φάσματος συχνοτήτων για συνδεσιμότητα.



Εικόνα 12: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και μήκος κύματος terahertz και χιλιοστών κύματα [27]

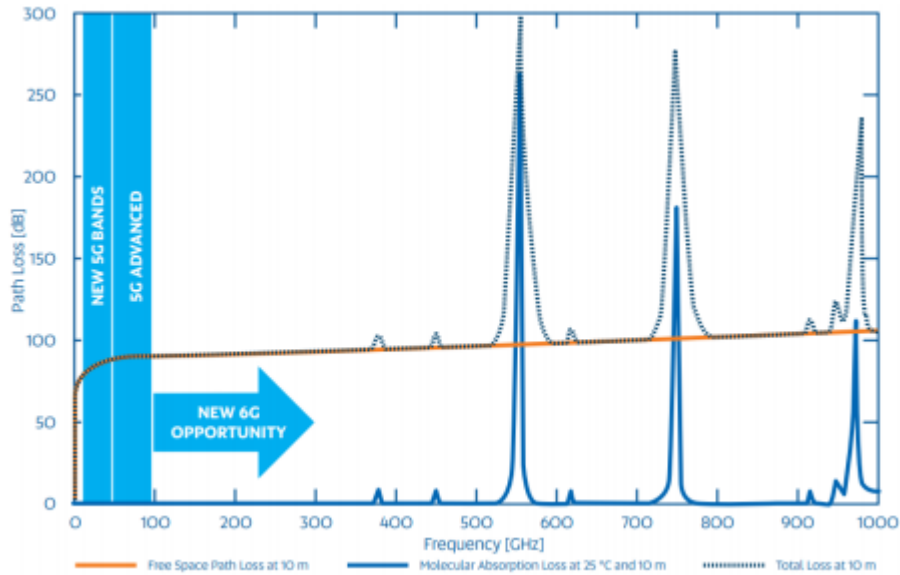
Ως εκ τούτου, έχει γίνει απαραίτητο μεγαλύτερο εύρος ζώνης φάσματος ραδιοσυχνοτήτων και μπορεί να βρεθεί μόνο στις ζώνες sub-THz και THz, που συχνά αναφέρονται ως ζώνη διακένου μεταξύ των μικροκυμάτων και των οπτικών φασμάτων, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 12. Χρησιμοποιώντας βασικές εξισώσεις κυμάτων, τα κύματα THz δηλώνονται ότι έχουν μικρά μήκη κύματος και ραδιοσυχνότητες υψηλότερες από τα κύματα χιλιοστών. Έτσι, τα κύματα THz μεταφέρουν κυρίως περισσότερα δεδομένα γρηγορότερα, αλλά πρέπει να επινοηθεί μια στρατηγική για να ξεπεραστούν οι εγγενείς δυνατότητες μικρής διάδοσης. Ως εκ τούτου, η έλευση των κυμάτων THz σε ένα χαρτοφυλάκιο δικτύου κινητής τηλεφωνίας θα μπορούσε να παρέχει λύσεις για εκείνες τις εφαρμογές όπου η τεχνολογία 5G απέτυχε να ικανοποιήσει την απαίτηση υψηλής απόδοσης δεδομένων ή εξαιρετικά αξιόπιστα καθεστάτα χαμηλού λανθάνοντος χρόνου [30]. Κατά συνέπεια, οι πάροχοι υπηρεσιών που χρησιμοποιούν κύματα THz αναμένεται για επικοινωνίες σε περιοχές με πολλές συσκευές ή μεγάλες ποσότητες δεδομένων.

Ειδικά με την αυξανόμενη υιοθέτηση έξυπνων σπιτιών, κτιρίων, πόλεων και κοινωνιών, το 6G θα εκπληρώσει την ανάγκη για επικοινωνίες από άνθρωπο σε μηχανή και M2M που θα προκύψουν, ιδίως με την ανάπτυξη ρομποτικών και αυτοκατευθυνόμενων, μη επανδρωμένων συστημάτων εναέριων οχημάτων. Αυτή η τεχνολογία κατοχυρώνεται στην έννοια του Διαδικτύου των πάντων (IoE). Κάποιος μπορεί να συμπεράνει ότι το 6G θα μεταδώσει μια εξαιρετικά πυκνή ικανότητα δικτύου που θα ενθαρρύνει την ευελιξία του σούπερ δικτύου με την ικανότητα να εξομοιώνει έξυπνα τις

αποκλίνουσες τεχνικές ώστε να πληρούν στιγμιαία τις πολλές συνθήκες εφαρμογής. Αντίθετα, μια εκτεταμένη τεχνολογία επικοινωνιών ζώνης THz είναι εξοπλισμένη με την ικανότητα να βοηθά ταυτόχρονα υπηρεσίες μακρο-κλίμακας και μικρο-κλίμακας, όπως δίκτυα terabit WLAN και νανο-αισθητήρες [31, 45].

Οι αναφορές [28, 32] παρουσιάζουν μια εκτενή και διεξοδική ανασκόπηση της ζώνης THz εντός του εύρους 0,1-10 THz για την υποστήριξη επικοινωνιών υψηλής ταχύτητας Tbps. Ωστόσο, η χρήση αυτού του φάσματος παρουσιάζει πολλές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Μία από τις πιθανές τεχνικές συνεπάγεται τη ρύθμιση του εύρους ζώνης φάσματος THz με βάση τα χαρακτηριστικά απορρόφησης και ανάκλασης των υποζωνών του για βελτιστοποίηση και επαναχρησιμοποίηση για επικοινωνίες και παροχή υποστήριξης για πολλές άλλες υπηρεσίες. Για παράδειγμα, σε σενάρια που βοηθούν διάφορες αποκλίνουσες εφαρμογές, θα πρέπει να επιτρέπεται η επέκταση αρμονικών χαρακτηριστικών και αυτή η προϋπόθεση μπορεί να ικανοποιηθεί με σχολαστικό σχεδιασμό συχνότητας. Η ανίχνευση ασθενών σημάτων καθώς μειώνεται η ευαισθησία είναι εξαιρετικά δύσκολη στις περιοχές THz. Κατά συνέπεια, το ραδιοφάσμα THz μπορεί να χωριστεί με τόλμη σε ευνοϊκά παράθυρα φάσματος μεταξύ των κορυφών της ατμοσφαιρικής απορρόφησης άνω των 500 GHz (Εικόνα 11) και κάτω από τις ζώνες των 500 GHz [32, 33]. Η Εικόνα 13 παρουσιάζει ότι η αύξηση της απώλειας ελεύθερου χώρου είναι αμελητέα όταν μετακινούμαστε στην περιοχή THz από 30 GHz και μετά. Εάν υποθέσουμε ότι διατηρείται η περιοχή κεραίας μετάδοσης και λήψης, η απώλεια ελεύθερου χώρου μπορεί να μειωθεί με την ανάπτυξη κεραίας με υψηλό κέρδος.

Εκτός από την απώλεια ελεύθερου χώρου, ένα άλλο ζήτημα στις υψηλότερες συχνότητες που πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα και παραλληλισμός στο υλικό RF και το μειωμένο πλάτος δέσμης που δημιουργεί προβλήματα με την απόκτηση σήματος και την παρακολούθηση δέσμης σε εφαρμογές για κινητές συσκευές [34]. Επιπλέον, η δυνατότητα διείσδυσης σήματος και ανάκλασης διαφόρων επιφανειών είναι δύο από τις βασικές παραμέτρους που απαιτούν περαιτέρω εξέταση κατά την κατηγοριοποίηση του ραδιοφάσματος παρουσία τεχνολογικών ορίων.



Εικόνα 13: Επίδραση της απώλειας ελεύθερου χώρου και της απορρόφησης υδρατμών σε απόσταση 10m [34]

Η συναίνεση μεταξύ των ερευνητών ασύρματης επικοινωνίας είναι ότι το φάσμα υψηλής συχνότητας πρέπει να αξιοποιηθεί περαιτέρω με την υιοθέτηση πολυκυψελικής τοπολογίας για την επίτευξη βελτιωμένων ασύρματων συστημάτων επικοινωνίας. Η προηγούμενη προσέγγιση είναι σύμφωνη με την παγκόσμια τάση μετανάστευσης από το κυψελοειδές φάσμα RF στο κύμα mm, το ραδιοφάσμα THz και το φάσμα ορατού φωτός. Για να αξιοποιήσετε πλήρως τους τομείς φάσματος υψηλής συχνότητας, τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα όπως τα προγράμματα οδήγησης πρέπει να είναι άμεσα διαθέσιμα.

Πρόσφατες εξελίξεις στις επικοινωνίες μικροκυμάτων που οδηγούν στο σχεδιασμό ηλεκτρονικών THz. Οι φωτονικές και οι υβριδικές ηλεκτρονικές - φωτονικές τεχνολογίες είναι ενθαρρυντικές. Πιθανότατα, το 6G θα παρακολουθήσει την εξέλιξη ενός υβριδίου THz / ελεύθερου χώρου-οπτικού που αναπτύσσεται σε υβριδικούς ηλεκτρονικούς - φωτονικούς πομποδέκτες. Σε αυτήν τη διαμόρφωση, το οπτικό λέιζερ μπορεί είτε να παράγει σήμα THz είτε να μεταδώσει ένα οπτικό σήμα [36]. Μερικά από τα πλεονεκτήματα της χρήσης ενός υβριδικού συνδέσμου περιλαμβάνουν την εκμετάλλευση του πλάτους ζώνης THz για μετάδοση σήματος και ασυλία έναντι δυσμενών καιρικών συνθηκών [37]. Επιπλέον, η μετάδοση THz έχει μια κρίσιμη λειτουργία για να εκτελέσει στον ανερχόμενο σύνδεσμο, καθώς ο σύνδεσμος οπτικής ορατότητας δεν είναι απαραίτητη προϋπόθεση.

Με την υιοθέτηση των THz, εξασφαλίζεται ένας αξιόπιστος σύνδεσμος επικοινωνίας uplink στα δίκτυα επικοινωνίας ορατού φωτός (VLC) σε αντίθεση στην υπέρυθη λύση που απαιτεί σύστημα εντοπισμού και εντοπισμού θέσης. Ένα σύστημα αποτελούμενο από υβριδικό σύστημα VLC / terahertz εισάγει μια ανθεκτική τεχνολογία επικοινωνίας που μπορεί να αντέξει το φως περιβάλλοντος, οδηγώντας τελικά σε μείωση του λόγου σήματος προς θόρυβο του συστήματος VLC. Επιπλέον, οι εξαιρετικά αποδοτικές λύσεις συνδεσιμότητας μικρής εμβέλειας θα είναι η κινητήρια δύναμη για το 6G, ένας τομέας στον οποίο οι ζώνες υψηλότερης συχνότητας θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο μέλλον. Η μοριακή απορρόφηση έχει σημαντικό αντίκτυπο στην απώλεια διαδρομής, ειδικά σε μεγαλύτερες αποστάσεις ($\sim 1.10 \text{ dB / km}$ σε συ-

χ

ν

ό

τ

B. Ενεργειακά αποδοτική επικοινωνία

Το 6G θα ανταποκριθεί και θα εκπληρώσει πολλές προσδοκίες, συμπεριλαμβανομένης παράδοσης μιας υψηλής ενεργειακής απόδοσης, κυρίως από την προοπτική της διεισδυτικής χρήσης του Internet-of-Things (IoTs) και με ένα οικοσύστημα πολλών λεπτών αισθητήρων. Επιπλέον, πρέπει να αντιμετωπιστεί η επέκταση της ικανότητας επαναφόρτισης της μπαταρίας των smartphone, σύμφωνα με την αντίληψη ότι οι δυνατότητες και οι ικανότητές τους να αντιμετωπίζουν εξελιγμένο άλμα επεξεργασίας σήματος πολυμέσων σε κβαντικές αυξήσεις καθώς αυξάνεται η κατανάλωση ισχύος τους [40]. Έτσι, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η επιμήκυνση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας είναι δύο ερευνητικά θέματα στο 6G για να ξεπεραστούν οι καθημερινές δυσκολίες επαναφόρτισης για τον μεγαλύτερο εξοπλισμό επικοινωνίας και να ενισχυθούν οι ανάγκες επικοινωνίας. Κατά συνέπεια, το 6G πρέπει να δημιουργήσει μια ολοκληρωμένη στρατηγική ασύρματης επικοινωνίας με ενεργειακή απόδοση Βασικός στόχος της επικοινωνίας 6G είναι η εκτέλεση όποτε και όπου είναι δυνατόν με επικοινωνίες χωρίς μπαταρία, με στόχο την αποδοτικότητα επικοινωνίας 1 pico-Joules ανά bit [41].

Η επικοινωνία 6G έχει τα πλεονεκτήματα των κυμάτων υψηλής ισχύος THz, εκτός από την επικοινωνία κατευθυντικής δέσμης με συστοιχίες κεραιών MIMO, επιτρέποντας έτσι στις συσκευές να στέλνουν δέσμες ισχύος σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Αυτή η τεχνική μπορεί ενδεχομένως να παρέχει επαρκή ενέργεια σε συσκευές υπό την κάλυψη του δικτύου. Το όραμα και οι κατευθύνσεις 6G, όπως δημοσιεύθηκαν στο [41], δείχνουν ότι η

ερευνητική προσοχή θα πρέπει να δίνει προτεραιότητα στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και στις κατηγορίες υπηρεσιών σε 6G παρά στο ρυθμό δεδομένων και στον λανθάνοντα χρόνο. Για να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας, οι υπολογιστικές λειτουργίες των κόμβων χρήστη πρέπει να μεταφερθούν σε έξυπνους σταθμούς βάσης εξοπλισμένοι με αξιόπιστη τροφοδοσία ή καθολικό έξυπνο χώρο ραδιοφώνου [42].

Οι συνεταιριστικές επικοινωνίες αναμετάδοσης και η συμπίκνωση του δικτύου μπορούν επίσης να έχουν ύψιστη σημασία σε μια προσπάθεια μείωσης της ισχύος μετάδοσης κινητών κόμβων μειώνοντας το κενό διάδοσης σήματος ανά hop [43, 44]. Η επίτευξη μακράς διάρκειας μπαταρίας σε 6G απαιτεί συσσώρευση διαφορετικών στρατηγικών συλλογής ενέργειας που όχι μόνο συλλέγουν ενέργεια από σήματα RF περιβάλλοντος αλλά και εξαγουν ενέργεια από μικρο-δονήσεις και ηλιακό φως [45, 46]. Η ασύρματη φόρτιση μεγάλης εμβέλειας θα ήταν επίσης πολλά υποσχόμενη υποψήφια για παράταση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας [47, 48]. Επιπλέον, η κατανεμημένη φόρτιση με λέιζερ είναι μια τεχνολογία που μπορεί να παρέχει με ασφάλεια την ισχύ 2-W και να φτάσει σε απόσταση 10 m για κινητές συσκευές [49]. Ο Πίνακας 6 που ακολουθεί στη συνέχεια, παρουσιάζει μια σύγκριση των κύριων τεχνικών ασύρματης φόρτισης (δηλ. επαγωγικής ζεύξης, ζεύξης μαγνητικού συντονισμού, ακτινοβολίας μικροκυμάτων και κατανεμημένης φόρτισης λέιζερ).

Πίνακας 5: Διαφορετικές τεχνικές ασύρματης φόρτισης

Technique	Advantage	Disadvantage	Effective Charging Distance	Applications
Magnetic inductive coupling	<ul style="list-style-type: none"> Simple implementation. Safe for human. 	<ul style="list-style-type: none"> Short charging distance. Needs tight alignment between chargers and charging devices. Heating effect. 	From a few millimetres to a few centimeters.	<ul style="list-style-type: none"> Mobile electronics (e.g. smartphones and tablets). RFID tags, contactless. Smartcards.
Magnetic resonance coupling	<ul style="list-style-type: none"> Loose alignment. Nonline-of-sight charging. Charging multiple devices simultaneously on different power. High charging efficiency. 	<ul style="list-style-type: none"> Limited charging distance. Complex implementation. 	From a few centimeters to a few meters.	<ul style="list-style-type: none"> Mobile electronics. Home appliances (e.g. TV and desktop). Electric vehicle charging.
Microwave radiation (Non-directive RF radiation)	<ul style="list-style-type: none"> Long effective charging distance. Suitable for mobile applications. 	<ul style="list-style-type: none"> Line of-sight charging. Low charging efficiency. Not safe when the RF density exposure is high. 	Typically, within several tens of meters, up to several kilometers. Suitable for mobile applications.	<ul style="list-style-type: none"> RFID cards. Wireless sensors, implanted body devices. LEDs
Distributed laser charging	<ul style="list-style-type: none"> High power, safe. Multiple-Rx charging. Compact size. EMI-free. SWIPT-ready. Suitable for mobile applications. 	<ul style="list-style-type: none"> Line of-sight required. Low charging efficiency. 	Up to 10 m.	<ul style="list-style-type: none"> Mobile devices (e.g., cell phone, laptop, tablet, wearable devices, drone). Consumer electronics (e.g., projector, speaker). Wireless sensors. LEDs.

Γ. Τεχνητή νοημοσύνη

Η μηχανική εκμάθηση (ML), μαζί με την Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) και τα βαθιά νευρωνικά δίκτυα (DNNs), φέρνουν επανάσταση στην τεχνολογία που οδηγεί νέες ερευνητικές ευκαιρίες σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των επικοινωνιών

6G και των IoT [49]. Οι λύσεις συνδέσμου και επιπέδου συστήματος για επικοινωνία 6G κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας AI και ML. Το 6G που υποστηρίζεται από την Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) αναμένεται να επεκτείνει διάφορες δυνατότητες, όπως αυτορρυθμίσεις, συγκεντρωτική, ευκαιριακή ρύθμιση και ευαισθητοποίηση περιβάλλοντος [50]. Τα πλεονεκτήματα των έξυπνων λειτουργιών 6G σε ασύρματες και μη ασύρματες υπηρεσίες επικοινωνίας περιγράφονται λεπτομερώς στις ακόλουθες τρεις ταξινομήσεις:

Λειτουργική νοημοσύνη (OI): Αυτή η τεχνολογία κατανέμει πόρους (π.χ. ζώνες και ισχύ) αποτελεσματικά για να επιτύχει ικανοποιητικές λειτουργίες δικτύου αντί να περιλαμβάνει παραδοσιακές μεθόδους, χρησιμοποιώντας πολλαπλές αντικειμενικές βελτιστοποιήσεις που μπορούν να λειτουργήσουν στον εξαιρετικά πολύπλοκο και δυναμικό χαρακτήρα του 6G λόγω της ετερογένεια, πυκνότητα και επεκτασιμότητα. Τέτοιες βελτιστοποιήσεις που μετρούν την ιεράρχηση πολλαπλών αντικειμενικών επιδόσεων είναι τυπικά σκληρά προβλήματα NP και είναι δύσκολο να μετρηθούν σε πραγματικό χρόνο [51]. Σήμερα, οι εξελίξεις στις τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης και στις τεχνικές ML, συμπεριλαμβανομένης της εκμάθησης βαθιάς ενίσχυσης (DRL) μπορούν να βοηθήσουν τον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων να βελτιώσει επαναληπτικά και τελικά να βελτιστοποιήσει τις αποφάσεις του χρησιμοποιώντας τα σχόλια που δημιουργήθηκαν μέσω ενός βρόχου που καθιέρωσε η DRL, η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως η κύρια εφαρμογή της AI στο 6G [52]. Με τη βοήθεια της βελτιστοποίησης, αυτοί οι αλγόριθμοι μάθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποτελεσματική κατανομή πόρων [53].

Περιβαλλοντική νοημοσύνη (EI): Η διάχυτη και κατανεμημένη νοημοσύνη μπορεί να γίνει πραγματικότητα στην ολιστική τεχνολογία, συμπεριλαμβανομένων των ασύρματων περιβαλλόντων επικοινωνίας με τις εξελίξεις σε έξυπνους ραδιοφωνικούς χώρους και υλικά [54]. Οι υπηρεσίες που βασίζονται στη νοημοσύνη θα μπορούσαν να πραγματοποιήσουν πολλά σενάρια εφαρμογών, όπως κέντρα δεδομένων, συσκευές IoT όπως μη επανδρωμένα εναέρια και οδικά οχήματα και αυτόματα ρομπότ με ιδιότητες αυτοοργάνωσης και αυτοθεραπείας, αυξάνοντας παράλληλα την αξιοπιστία στην επικοινωνία D2D για ένα 6G δίκτυο που χρησιμοποιεί έξυπνα πλαίσια [55]. Για DNNs, οι εξαγόμενες αρχικές δυνατότητες μεταφέρονται στην άκρη ή/και στις συσκευές cloud. Ωστόσο, η επεξεργασία αυτών των δυνατοτήτων είναι μια δύσκολη εργασία

λόγω των δυνατοτήτων υπολογισμού και επικοινωνίας και της ετερογένειας των συσκευών [56].

Υπηρεσίες πληροφοριών (SI): Υπηρεσίες επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτρονικής υγείας, η τοποθέτηση (εσωτερική και εξωτερική), η διαχείριση πολλαπλών συσκευών, η αναζήτηση πληροφοριών και η ασφάλεια είναι οι κύριες πλατφόρμες δικαιούχων για ανάπτυξη πληροφοριών 6G σε ένα ανθρώπινο-κεντρικό δίκτυο. Το SI μπορεί να βοηθήσει στην επέκταση όλων αυτών των ανθρωποκεντρικών εφαρμογών με έξυπνο και εξατομικευμένο τρόπο για να βελτιώσει την ικανοποίηση των χρηστών, όπως οι τεχνικές βαθιάς μάθησης που μπορούν να βελτιώσουν την ακρίβεια της θέσης. Παρομοίως, η έξυπνη συλλογή δεδομένων και δεδομένων που χρησιμοποιεί μια υποδομή βασισμένη σε πολλαπλά μοντέλα μπορεί να βοηθήσει στην εξατομικευση της ηλεκτρονικής υγείας. Η βελτίωση του SI μπορεί να επιτευχθεί μέσω των βασικών δικτύων υψηλής απόδοσης κάτω από το 6G.

Δ. Υψηλή ασφάλεια, απόρρητο και απόρρητο

Μέχρι σήμερα, η ερευνητική προσοχή στις επικοινωνίες 4G και 5G έχει επικεντρωθεί στις βασικές μετρήσεις δικτύου της απόδοσης, της αξιοπιστίας, του λανθάνοντος χρόνου και του αριθμού των εξυπηρετούμενων χρηστών με λίγη προσοχή σε θέματα ασφάλειας, απορρήτου και απορρήτου. Όπως αναγνωρίστηκε και αφομοιώθηκε, τα δύο πιο αποτελεσματικά σχήματα για την ενίσχυση αυτών των παραμέτρων περιλαμβάνουν την αύξηση της πυκνότητας του δικτύου και την ανάπτυξη υψηλότερης συχνότητας για την αποστολή διαμορφωμένων συμβόλων. Σε δίκτυα 5G, παραδοσιακοί αλγόριθμοι κρυπτογράφησης που βασίζονται στα κρυπτοσυστήματα δημόσιου κλειδιού Rivest Shamir – Adleman (RSA) εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται για την παροχή ασφάλειας και μυστικότητας μετάδοσης [56]. Τα κρυπτοσυστήματα RSA έχουν γίνει ανασφαλή υπό την πίεση των τεχνολογιών Big Data και AI, αλλά οι νέοι μηχανισμοί προστασίας της ιδιωτικής ζωής παραμένουν μακριά από το να είναι πλήρεις στην εποχή των 5G. Έτσι, βελτιώσεις στην ασφάλεια, το απόρρητο και το απόρρητο στα δίκτυα 6G αναμένονται μέσω αυτών των νέων τεχνολογιών.

Οι τεχνικές ασφάλειας PHY και η κυκλοφορία κβαντικών κλειδιών μέσω VLC θα πρέπει να αντιμετωπίζουν ζητήματα ασφάλειας δεδομένων σε δίκτυα 6G. Τα εξελιγμένα συστήματα κβαντικής πληροφορικής και κβαντικής επικοινωνίας μπορεί να είναι αποτελεσματικά στην παροχή μιας ολοκληρωμένης ασπίδας ενάντια σε διάφορες κυβερνοεπιθέσεις. Παρόλα αυτά, οι πάροχοι υπηρεσιών επικοινωνίας/δεδομένων έχουν συγκεντρώσει νομικά μια τεράστια κρυφή μνήμη πληροφοριών χρηστών και τα περιστατικά διαρροής ιδιωτικών δεδομένων συνέβησαν σποραδικά. Όπως ήταν αναμενόμενο, αυτή η πτυχή θα καταστεί ένα ισχυρό σημείο στην ανθρώπινη-κεντρική τεχνολογία 6G και θα μπορούσε να παράγει ένα καταστροφικό αποτέλεσμα χωρίς κατάλληλα αντίμετρα. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα, αναμένεται να επιτευχθεί ολική ανωνυμοποίηση, μη διανεμημένη και μη ιχνηλασιμότητα σε συστήματα 6G μέσω της χρήσης τεχνολογίας blockchain.

E. Υψηλή νοημοσύνη έναντι απορρήτου και πολυπλοκότητας

Η ισορροπία μεταξύ της ιδιωτικής ζωής και της νοημοσύνης θα ήταν σημαντική στα δίκτυα 6G, καθώς είναι δίκτυα ανθρωποειδών. Αντίθετα, οι αλγόριθμοι AI πρέπει να αλληλεπιδρούν με ιδιωτικά δεδομένα και να τους τελειοποιούν για να βελτιώσουν τη λειτουργικότητα του δικτύου, να αλλάξουν τα στοιχεία του δικτύου και να παρέχουν υπηρεσίες ανώτερης ποιότητας [57]. Επομένως, η προστασία της ιδιωτικής ζωής θα ξεχαστεί σε βάρος της ανώτερης νοημοσύνης. Μια υποψήφια λύση είναι η χρήση ενός ενδιάμεσου διαπραγματευτή μεταξύ των δεδομένων τελικού χρήστη και των αλγορίθμων AI. Ένας τέτοιος διαπραγματευτής πρέπει να είναι τρίτος, ανεξάρτητος εάν είναι δυνατόν, και να λειτουργεί με κατανεμημένο τρόπο. Όλα τα προσωπικά και ευαίσθητα δεδομένα θα ανωνυμοποιηθούν από έναν ενδιάμεσο διαπραγματευτή.

Ομοίως, η ανώτερη ευφυΐα που προσφέρει αλγόριθμοι AI και έξυπνοι κόμβοι μειώνει την ελευθερία που προσφέρεται στους ανθρώπους. Πιθανότατα, η κλίση του χρήστη δεν θα συντονίζεται συνεχώς με τη βελτιωμένη εναλλακτική λύση που δημιουργείται από αλγόριθμους AI. Η κατάσταση διένεξης γίνεται πιο περίπλοκη όταν λαμβάνονται υπόψη πολλοί χρήστες. Αυτό το ζήτημα μπορεί να μοντελοποιηθεί ως εντοπισμός του μεσαίου σημείου μεταξύ προσαρμογής και νοημοσύνης σε επικοινωνίες 6G [58]. Σίγουρα, η προσαρμογή προσελκύει αυξημένη προσοχή, και η ευφυΐα

έναντι των υπερβολικών ρουτινών και η νοημοσύνη έναντι των δευτερευουσών ρουτινών απαιτούνται για αλγόριθμους ΑΙ και έξυπνους κόμβους. Τέτοιες ρουτίνες και υπορουτίνες πρέπει να προσδιορίζονται στις πιο θεμελιώδεις διαδικασίες των δικτύων 6G. Χρησιμοποιώντας αυτήν την προσέγγιση, τα έξυπνα χαρτοφυλάκια μπορούν απλώς να παραδοθούν εντός του επιτρεπόμενου ορίου.

Η υψηλή ευφυΐα έχει κόστος σε σχέση με την πολυπλοκότητα του δικτύου [59] και θα μπορούσε να μεταφραστεί σε υψηλότερους προϋπολογισμούς παρόχων δικτύων και παραγωγών gadget. Τέτοιες εξελίξεις θα οδηγούσαν σε υψηλότερο κόστος συσκευής για τους καταναλωτές και θα αναιρούσαν το όνειρο της παροχής προσιτών συσκευών. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, οι τεχνολογικές καινοτομίες σε έξυπνες δομές είναι απαραίτητες. Το πιο σημαντικό είναι ότι τα νέα επιχειρηματικά σχέδια είναι ζωτικής σημασίας. Μόλις διασφαλιστεί η ασφάλεια, το απόρρητο και το απόρρητο, οι καταναλωτές επιτρέπεται να ανταλλάσσουν τα διαθέσιμα ανώνυμα δεδομένα με μειωμένη τιμή δεδομένων. Ανάλογο με αυτό το σχέδιο είναι η ιδέα του έξυπνου δικτύου, μέσω της οποίας οι καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας ανταλλάσσουν την ηλεκτρική τους παραγωγή που παράγεται με εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας και η οποία θα δανείζεται από δίκτυα επικοινωνίας 6G.

Προδιαγραφές δικτύωσης 6G

Οι προδιαγραφές 5G είναι αρκετά ικανοποιητικές για μεμονωμένες ανάγκες. Έτσι, πολύ λίγοι άνθρωποι θα ενδιαφερόταν για το 6G. Υπάρχουν ομάδες ειδικών ενδιαφερόντων που θέλουν την επόμενη γενιά για κινητά. Πρώτα απ' όλα, οι πωλητές τηλεπικοινωνιών είναι αυτοί που επωφελούνται περισσότερο από τις νέες γενιές κινητών. Είναι οι ειδικοί που σχεδιάζουν και αναπτύσσουν τα δίκτυα για τις νέες γενιές. Χωρίς νέες γενιές κινητών, οι επιχειρήσεις τους δεν αναπτύσσονται γρήγορα. Επομένως, είναι πάντα καλή κατάσταση για τους πωλητές τηλεπικοινωνιών να αναπτύξουν μια νέα τεχνολογία. Νέες τεχνολογίες προσφέρονται με νέες τεχνικές και εξοπλισμό, που αποτελούν την άμεση πηγή εσόδων για αυτές.

Οι επόμενοι δικαιούχοι είναι οι φορείς τηλεπικοινωνιών. Οι χειριστές κερδίζουν χρήματα από τις υπηρεσίες τους. Οι νέες γενιές έρχονται με νέες υπηρεσίες και επομένως νέες πηγές εισοδήματος για αυτές. Φυσικά, είναι αλήθεια ότι ορισμένες από τις

παλιές υπηρεσίες είναι επίσης ξεπερασμένες ή δεν αποφέρουν έσοδα. Ωστόσο, στον ανταγωνιστικό επιχειρηματικό χώρο, οι φορείς εκμετάλλευσης θέλουν να κερδίσουν τους ανταγωνιστές τους μέσω προηγμένων τεχνολογιών. Οι κυβερνήσεις θέλουν επίσης οι νέες τεχνολογίες να δημιουργούν νέους φόρους και έσοδα. Η πολυπλοκότητα των τεχνολογιών επικοινωνίας 6G και της ανάπτυξης δικτύου είναι πιθανό να αποτρέψει τη βελτιστοποίηση κλειστών φορμών. Ενώ οι έξυπνες κυψελοειδείς τεχνικές δικτύωσης συζητούνται ήδη για 5G, αναμένουμε ότι οι εφαρμογές 6G θα είναι πολύ πιο πυκνές (όσον αφορά τον αριθμό των σημείων πρόσβασης και των χρηστών), πιο ετερογενείς (όσον αφορά την ενσωμάτωση διαφορετικών τεχνολογιών και λειτουργιών εφαρμογών) και με αυστηρότερες απαιτήσεις απόδοσης από 5G. Ως εκ τούτου, η νοημοσύνη θα διαδραματίσει σημαντικότερο ρόλο στο δίκτυο, ξεπερνώντας τις εργασίες ταξινόμησης και πρόβλεψης που εξετάζονται για συστήματα 5G. Συγκεκριμένα, η έρευνα 6G θα επικεντρωθεί στις ακόλουθες πτυχές [60]:

Τεχνικές εκμάθησης για την επιλογή δεδομένων και εξαγωγή χαρακτηριστικών:

Η μεγάλη ποσότητα δεδομένων που δημιουργούνται από μελλοντικές συνδεδεμένες συσκευές (π.χ. αισθητήρες σε αυτόνομα οχήματα) θα ασκήσει πίεση στις τεχνολογίες επικοινωνίας, οι οποίες δεν θα μπορούσαν να εγγυηθούν την απαιτούμενη ποιότητα υπηρεσίας. Επομένως, είναι θεμελιώδες να διακρίνουμε την αξία των πληροφοριών για τη μεγιστοποίηση της χρησιμότητας για τους τελικούς χρήστες με (περιορισμένους) πόρους δικτύου. Σε αυτό το πλαίσιο, οι στρατηγικές *μηχανικής μάθησης* (ML - μπορούν να εκτιμήσουν το βαθμό συσχέτισης στις παρατηρήσεις ή να εξαγάγουν τα χαρακτηριστικά των παραγόντων εισόδου και να προβλέψουν την εκ των υστέρων πιθανότητα μιας ακολουθίας δεδομένης ολόκληρης της ιστορίας. Στη δικτύωση 6G, οι μη εποπτευόμενες και βελτιωμένες μαθησιακές προσεγγίσεις, επιπλέον, δεν χρειάζεται να επισημαίνονται και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λειτουργία του δικτύου με έναν πραγματικά αυτόνομο τρόπο.

Ανταλλαγή γνώσεων μεταξύ χρηστών: Η κοινή χρήση ασύρματων συχνοτήτων και υποδομών είναι επωφελής για τα κυψελοειδή δίκτυα, προκειμένου να μεγιστοποιηθούν οι δυνατότητες πολυπλεξίας. Με τα δίκτυα εκμάθησης, οι χειριστές και οι χρήστες μπορούν επίσης να μοιράζονται αναπαραγωγές/επεξεργασμένες αναπαραστάσεις συγκεκριμένων αναπτύξεων δικτύου ή/και περιπτώσεις χρήσης, για παράδειγμα, για την επιτάχυνση της διαμόρφωσης του δικτύου σε νέες αγορές ή την καλύτερη προσαρμογή

σε νέα απροσδόκητα σενάρια λειτουργίας. Οι καθυστερήσεις, η κατανάλωση ενέργειας, τα γενικά συστήματα και οι συμφωνίες κόστους θα ληφθούν υπόψη στη δικτύωση 6G, τόσο για ενσωματωμένες όσο και για cloud υποστηριζόμενες λύσεις.

Κεντρική αρχιτεκτονική δικτύου: Τα δίκτυα που βασίζονται στη μηχανική μάθηση εξακολουθούν να βρίσκονται στην παιδική τους ηλικία, αλλά θα αποτελέσουν θεμελιώδες συστατικό των σύνθετων συστημάτων 6G, τα οποία παρέχουν κατανεμημένη Τεχνητή Νοημοσύνη για την εφαρμογή μιας πλήρως προσανατολισμένης στο χρήστη αρχιτεκτονικής δικτύου. Με αυτόν τον τρόπο, τα τερματικά θα μπορούν να λαμβάνουν αυτόνομες αποφάσεις δικτύου βάσει των αποτελεσμάτων προηγούμενων λειτουργιών, χωρίς γενικό κόστος επικοινωνίας από και προς τους κεντρικούς ελεγκτές. Οι κατανεμημένες μέθοδοι μπορούν να επεξεργαστούν αλγόριθμους μηχανικής μάθησης σε πραγματικό χρόνο.

Χρονοδιάγραμμα για την ανάπτυξη 6G

Το χρονοδιάγραμμα για το 6G αναμένεται να ακολουθήσει τα προηγούμενα πρότυπα χρονικών ορίων των προηγούμενων γενεών. Παρατηρήθηκε ένα χρονικό χάσμα περίπου 10 ετών μεταξύ δύο γενεών κινητής ξεκινώντας από 2G έως 5G. Ένα παρόμοιο χρονικό χάσμα αναμένεται να φτάσει και για μια προκαταρκτική έκδοση του 6G. Όπως αναμενόταν, το 5G δεν θα μεταφερθεί σε όλο τον κόσμο το 2020, αλλά μόνο μερικές πόλεις σε όλο τον κόσμο θα το έχουν. Γύρω στο έτος 2025, η τεχνολογία 5G θα αναπτυχθεί σε ολόκληρο τον κόσμο και μάλιστα η ανάπτυξη σε αγροτικές περιοχές των αναπτυσσόμενων χωρών, μπορεί να διαρκέσει ακόμη περισσότερο.

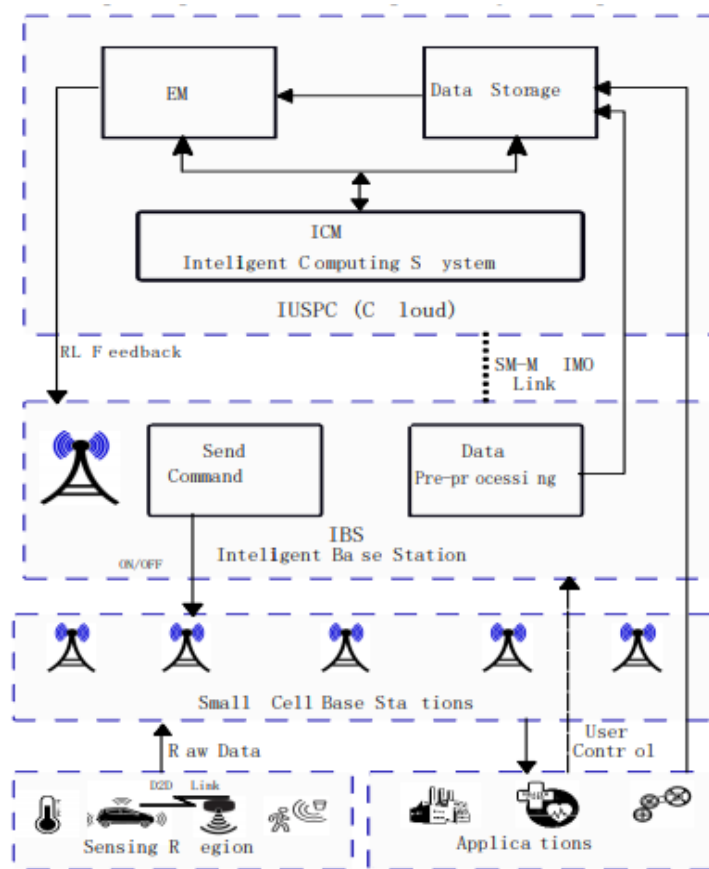
Αυτή η σταδιακή διαδικασία καινοτομίας θα έθετε την τεχνολογία 6G έτοιμη για ανάπτυξη γύρω στο 2030. Όπως συνέβη και με τις άλλες γενιές, η ευρεία ανάπτυξη των 6G δεν θα συμβεί αμέσως. Αντίθετα, θα υιοθετηθεί αργά. Δεν μπορεί να αποτελέσει έλξη για πολλές αναπτυσσόμενες χώρες τη δεκαετία του 2030, καθώς η ίδια η 5G θα είναι πολύ προχωρημένη για αυτούς. Οι ατομικές απαιτήσεις επικοινωνίας μπορούν να ικανοποιηθούν εύκολα με τις προδιαγραφές 5G. Έτσι, το 6G και οι επακόλουθες εκδόσεις του ενδέχεται να παραμείνουν περιορισμένες μόνο στις εφαρμογές επιχειρηματικών εφαρμογών και υψηλής απόδοσης.

Είναι πολύ δύσκολο να προβλέψουμε πώς μια προηγμένη τεχνολογία θα επηρέαζε την κοινωνία. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, παρατηρήσαμε πολλές διαταραχές μέσω των κινητών τεχνολογιών. Παρόμοιες διαταραχές είναι εξίσου δυνατές μέσω του 6G. Ωστόσο, το 5G είναι πιθανό να κάνει πολλές αλλαγές στην κοινωνία. Επομένως, η άφιξη του 6G δεν μπορεί να αποτελεί έκπληξη για πολλές κοινωνικές δραστηριότητες. Η Τεχνητή Νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση θα παίξουν μερικούς ρόλους στο 5G. Ωστόσο, αυτό δεν θα είναι πολύ ώριμο σε μια μόνο δεκαετία. Ως εκ τούτου, το 6G θεωρείται ως η πραγματική κινητή γενιά Τεχνητής Νοημοσύνης. Μεγάλης κλίμακας δορυφορική και κινητή σύζευξη είναι μια προσδοκία στο 6G. Μπορεί να ενισχύσει τις επιδόσεις επικοινωνίας στους ωκεανούς και στις πτήσεις. Η δορυφορική σύζευξη με την κινητή υποδομή δεν είναι αυτή τη στιγμή ιδιαίτερα εφικτή. Μπορεί να ξεκινήσει στο καθεστώς 5G. Ωστόσο, αναμένεται ότι μόνο στη 6G, δορυφορική και κινητή υποδομή θα είναι πολύ συμβατή. Μέσω δορυφορικής σύζευξης θα είναι δυνατή η πραγματική πανταχού παρούσας επικοινωνίας. Τα δίκτυα IoT θα λάβουν επίσης ώθηση μέσω της δορυφορικής σύνδεσης. Η τεχνολογία 6G είναι ίσως η σωστή φορητή τεχνολογία για να φέρει όλες αυτές τις νέες εφαρμογές και δυνατότητες.

Αρχιτεκτονική 6G

Μια νέα αρχιτεκτονική: Η ανάγκη υποστήριξης σχεδόν ντετερμινιστικών υπηρεσιών, όπως στην κατασκευή υψηλής ακρίβειας, η εγγύηση πολύ στενών φυσικών περιορισμών, όπως η καθυστέρηση ή η κατανάλωση ενέργειας, απαιτεί μια νέα αρχιτεκτονική Διαδικτύου που συνδυάζει διαφορετικούς πόρους, όπως πόρους επικοινωνίας και υπολογισμού, μέσα σε ενιαίο πλαίσιο. Η αρχιτεκτονική θα περιλαμβάνει: ένα νέο επίπεδο δεδομένων, ικανό να προσαρμόζεται, δυναμικά, σε διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας και να επιτρέπει την ολογραφική επικοινωνία. ένα νέο επίπεδο ελέγχου, που επιτρέπει, για παράδειγμα, τον συγχρονισμό ταυτόχρονων ροών για ολογραφικές επικοινωνίες, και προτιμώμενα πρωτόκολλα δρομολόγησης διαδρομής για τη δημιουργία σχεδόν ντετερμινιστικών (δηλαδή, με πολύ χαμηλό jitter) συνδέσμων, για να επιτρέπεται η κατασκευή υψηλής ακρίβειας ένα νέο επίπεδο διαχείρισης, που ενσωματώνει δυνατότητες αυτο-διαμόρφωσης και αυτο-βελτιστοποίησης, αξιοποιώντας την ισχυρή υποστήριξη της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI).

Η Εικόνα 14 παρουσιάζει την αρχιτεκτονική του έξυπνου IoT 6G, το οποίο βασίζεται σε υπάρχον δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Πρόκειται για ένα γενικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας με τις τελευταίες τεχνολογίες συγχώνευσης, όπως, εξαιρετικά τεράστια MIMO, υπερσύγχρονα στατικά και κινητά δίκτυα κυψελών. Παρουσιάζει επίσης τα BS και ένα cloud σε έξυπνο παράδειγμα 6G IoT. Η ιδέα της επικοινωνίας μεταξύ συσκευών (D2D) και μικρών σημείων πρόσβασης κυψελών ενσωματώνονται επίσης σε αυτήν την αρχιτεκτονική. Το 6G έξυπνο πρότυπο IoT αποτελείται από τρία βασικά συστατικά.



Εικόνα 14: 6G έξυπνη αρχιτεκτονική IoT

Έξυπνος πυρήνας επεξεργασίας εξαιρετικά υψηλής ταχύτητας (IUSPC - In- για αυτόνομες, έξυπνες και χωρίς εφαρμογές ανθρώπινης παρέμβασης. Για να γίνει αυτό το στοιχείο πιο έξυπνο και να αποφευχθεί η επανάληψη για τη μείωση του χρόνου καθυστέρησης, χρησιμοποιείται κύκλος γνώσης (CC) για μάθηση και προηγούμενη μνήμη. Τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης, όπως σμήνος ευφυΐας, γενετικός αλγόριθμος,

εκμάθηση ενίσχυσης και πολυστρωματικό (ή αλλιώς πολυεπίπεδο) perceptron χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή CC. Τα άλλα δύο στοιχεία του cloud περιλαμβάνουν έξυπνη υπολογιστική μονάδα (ICM – Intelligent Computing System) και μονάδα εκτέλεσης (EM – Execution System). Το ICM αποτελείται από αρκετά ευφυή υπολογιστικά συστήματα και είναι γνωστά ως το κέντρο των νευρών. Η τεχνική της AI (deep learning) μαθαίνει και χρησιμοποιείται για έξυπνη επεξεργασία τεράστιων δεδομένων. Αυτή η ρύθμιση επιτρέπει στο ICM να λειτουργεί ανεξάρτητα και αποτελεσματικά. Η ICM είναι επίσης υπεύθυνη να επεξεργάζεται τα δεδομένα έξυπνα από τον σταθμό έξυπνης βάσης (IBS) και να διαβιβάζει τις οδηγίες στο IBS αναλόγως. Το CC διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στο σχήμα, προκειμένου να μειωθεί ο ρυθμός καθυστέρησης, καθώς μαθαίνει από τις προηγούμενες εμπειρίες, εξοικονομώντας χρόνο επεξεργασίας που απαιτείται για τον υπολογισμό.

Ένας έξυπνος σταθμός βάσης (IBS - Intelligent Base Station) αποτελείται από όλες τις απαραίτητες απαιτήσεις για τη σύνδεση του IUSPC με τις περιοχές ανίχνευσης. Τα ακατέργαστα δεδομένα υποβάλλονται σε επεξεργασία στο IBS και, στη συνέχεια, τα επεξεργασμένα δεδομένα μεταδίδονται στο IUSPC. Με βάση τα σχόλια που ελήφθησαν από το IUSPC, εφαρμόζονται πιο έξυπνα σχήματα. Αναμένεται ότι στις μελλοντικές επικοινωνίες, ιδίως σε ετερογενές λειτουργικό περιβάλλον, απαιτείται τεράστια επεξεργασία τεράστιων μη επεξεργασμένων δεδομένων, που μεταδίδονται στο BS μέσω πολύ πυκνών δικτύων μικρών κυψελών. Ως εκ τούτου, τα μη επεξεργασμένα δεδομένα πρέπει να υποβάλλονται σε προεπεξεργασία περιττά. Το IBS λαμβάνει τις οδηγίες από το IUSPC για έξυπνη εκτέλεση, ωστόσο, εάν το κανάλι αποσυνδεθεί, η περιοχή ανίχνευσης θα σταματήσει τη μετάδοση. Το CC, είναι ενσωματωμένο στο IBS και βοηθά στην επιλογή (μέσω της εκμάθησης από την προηγούμενη εμπειρία) του σωστού μη κατειλημμένου καναλιού την κατάλληλη στιγμή για την αποφυγή περιττής μετάδοσης. Αυτό θα μειώσει το φορτίο κίνησης, θα βελτιώσει την ταχύτητα επεξεργασίας δεδομένων και θα βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση.

Περιοχή ανίχνευσης: Αυτή η περιοχή διαθέτει αισθητήρες σε μεγάλο αριθμό,

οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό ή τον προσδιορισμό της φυσικής ποσότητας και τη μετατροπή σε ψηφιακό σήμα για επεξεργασία. Το 6G terahertz (THz) θα υποστηρίξει αποτελεσματικότερα τις αναδύμενες εφαρμογές όπως η επικοινωνία D2D και το Διαδίκτυο του οχήματος (IoV). Αυτές οι εφαρμογές εμφανίζονται στον φυσικό κόσμο ή στην περιοχή της αίσθησης. Η κύρια λειτουργία της περιοχής ανίχνευσης είναι η παρατήρηση της κατάστασης του συγκεκριμένου τομέα. Με βάση τη φύση της ανάθεσης, αυτές οι περιοχές χωρίζονται σε περιοχή κινητών αισθητήρων (ασχολείται με κινητές συσκευές) και σταθερές ή στατικές περιοχές αισθητήρων. Αυτές οι περιοχές βοηθούν τις συσκευές IoT να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον και να συλλέγουν τις πληροφορίες ανίχνευσης. Αυτές οι πληροφορίες μεταδίδονται στη συνέχεια σε δίκτυα μικρών κυττάρων THz και στη συνέχεια στο IBS για περαιτέρω επεξεργασία σε περιβάλλον 6G.

Μια διεισδυτική εισαγωγή της τεχνητής νοημοσύνης στην άκρη του δικτύου: Οι αλγόριθμοι κατανεμημένης τεχνητής νοημοσύνης, που εκτελούνται πιθανώς υπό περιορισμένους περιορισμούς καθυστέρησης, αναμένεται να διαδραματίσουν βασικό ρόλο σε διάφορες πτυχές: αυτο-βελτιστοποίηση της κατανομής πόρων δικτύου, ενδεχομένως υιοθετώντας προληπτικές στρατηγικές βάσει δικτύου μάθηση και πρόβλεψη ανάπτυξη έξυπνων εφαρμογών για φορητές συσκευές, που εκτελούνται είτε απευθείας στις κινητές συσκευές είτε εξ αποστάσεως μέσω υπολογιστικών μηχανισμών εκφόρτωσης, που μαθαίνουν από τη συμπεριφορά των χρηστών και ενεργούν ως εικονικός έξυπνος βοηθός με γνώμονα το περιβάλλον. ανάπτυξη αλγορίθμων σημασιολογικών συμπερασμάτων και στρατηγικών σημασιολογικής επικοινωνίας για την ενσωμάτωση της αναπαράστασης γνώσης στις στρατηγικές επικοινωνίας. Αυτό θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για μια αποτελεσματική ανάπτυξη ολογραφικών επικοινωνιών.

Τρισδιάστατη κάλυψη: Ο σχεδιασμός μιας υποδομής επικοινωνίας 3D που περιλαμβάνει επίγεια και εναέρια ραδιοφωνικά σημεία πρόσβασης και φορητούς κεντρικούς υπολογιστές καθιστά δυνατή τη ζήτηση λειτουργιών cloud κατά παραγγελία, όπου και όταν απαιτείται. Σε αντίθεση με την κοινή προσέγγιση που βασίζεται σε μια σταθερή υποδομή, αυτή η στρατηγική είναι πολύ πιο αποτελεσματική από οικονομική άποψη όταν τα αιτήματα ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό από χώρο και χρόνο, όπως συμβαίνει σε περίπτωση σποραδικών γεγονότων που συγκεντρώνουν πολλούς ανθρώπους

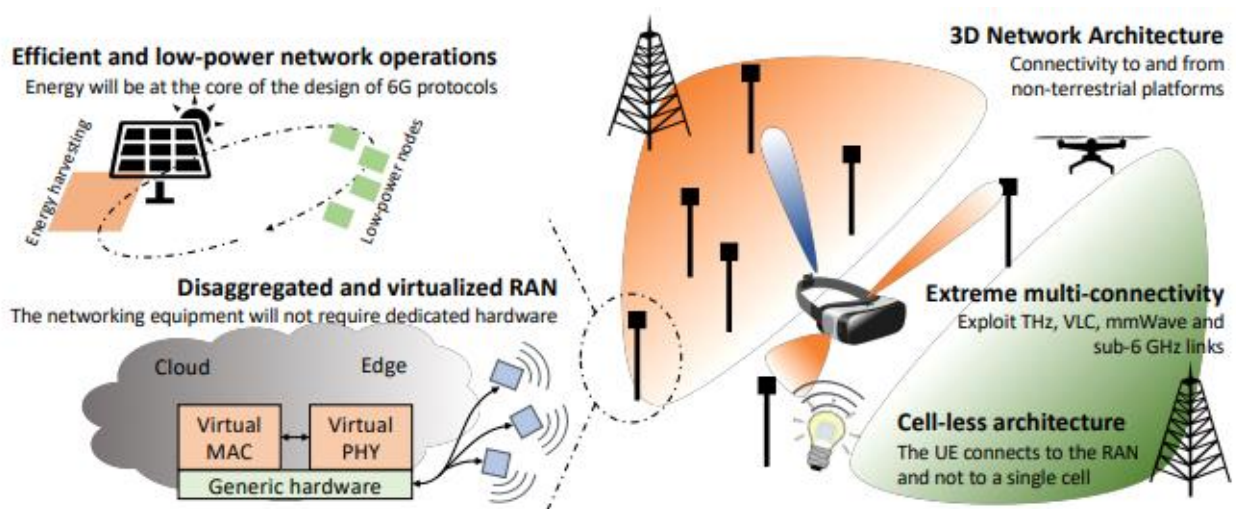
ή σε απομακρυσμένες περιοχές, π.χ. περίπτωση καταστροφών. Η ιδέα είναι να διαχειριστείτε μια πληθώρα εναέριων πλατφορμών, συμπεριλαμβανομένων των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV), του σταθμού πλατφόρμας μεγάλου υψομέτρου πολύ χαμηλής γήινης τροχιάς (LEO), που πετούν σε υψόμετρα σε σειρά μερικών εκατοντάδων χιλιομέτρων, προκειμένου να φέρει τις λειτουργίες του cloud υπό ελεγχόμενους περιορισμούς καθυστέρησης.

Νέο φυσικό στρώμα που ενσωματώνει sub-THz και VLC: Η ανάγκη υποστήριξης πολύ υψηλών ρυθμών δεδομένων, έως Tbps, για την ενεργοποίηση, για παράδειγμα, ολογραφικών επικοινωνιών, απαιτεί την εκμετάλλευση ζωνών sub-THz και επικοινωνιών ορατού φωτός. Αυτή η πτυχή θα διερευνηθεί περαιτέρω στην Ενότητα IV. Οι ενεργειακά αποδοτικές στρατηγικές επικοινωνίας αναμένεται επίσης να γίνουν ολοένα και πιο σημαντικές, ειδικά ενόψει της διεισδυτικής ανάπτυξης του Internet-of-Things, με χιλιάδες μικροσκοπικούς αισθητήρες. Οι μηχανισμοί συλλογής ενέργειας και οι προηγμένες τεχνολογίες ασύρματης φόρτισης και τα θεμελιώδη όριά τους παρουσιάζονται στο [53], με έμφαση στις υποσχόμενες καταναμημένες τεχνικές φόρτισης λέιζερ που δείχνουν ότι η ασύρματη φόρτιση μπορεί να αποδίδει περίπου 2W ισχύος σε απόσταση περίπου 10 μέτρων. Μια ακόμη πιο δραστική προσέγγιση θα βασιστεί στην εκμετάλλευση του περιβάλλοντος χώρου, η οποία επιτρέπει στις μικροσκοπικές συσκευές να λειτουργούν χωρίς μπαταρία, ανακατευθύνοντας σήματα ραδιοσυχνότητας περιβάλλοντος (RF) (για παράδειγμα χρησιμοποιώντας κωδικοποίηση on / off) χωρίς να απαιτείται ενεργή μετάδοση RF [54].

Καταναμημένοι μηχανισμοί ασφαλείας: Το όραμα που ορίζεται μέχρι στιγμής προβλέπει μια τεράστια ανταλλαγή δεδομένων για να επιτρέψει τη διάχυτη χρήση τεχνικών AI. Είναι σαφές ότι αυτό αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση όσον αφορά την ασφάλεια, το απόρρητο και την εμπιστοσύνη, η οποία πρέπει να αντιμετωπιστεί σωστά από τα δίκτυα 6G. Πρέπει να χρησιμοποιούνται καινοτόμες κρυπτογραφικές τεχνικές για την αποτελεσματική συγχώνευση της τεχνητής νοημοσύνης και του απορρήτου. Για παράδειγμα, ένας χρήστης κινητής τηλεφωνίας που επιθυμεί να εκτελέσει έναν αλγόριθμο απομακρυσμένης μηχανικής εκμάθησης στα δικά του δεδομένα, θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει ομομορφική κρυπτογράφηση [55]: Αντί να στέλνει τα ανεπεξέργαστα δεδομένα, ο χρήστης θα μπορούσε να στείλει κρυπτογραφημένα δεδομένα, αφήστε τον

αλγόριθμο απομακρυσμένης μηχανικής εκμάθησης να τρέξει στο κρυπτογραφημένα δεδομένα και ακόμη να είναι σε θέση να ανακτήσει την επιθυμητή έξοδο. Τα υπάρχοντα σχήματα δεν είναι πρακτικά ακόμη λόγω της υψηλής πολυπλοκότητας υπολογισμού, αλλά μπορούμε να περιμένουμε ότι, σε μια δεκαετία περίπου από τώρα, το ζήτημα της πολυπλοκότητας θα μπορούσε να μετριαστεί. Ο αποκεντρωμένος έλεγχος ταυτότητας είναι ένα άλλο βασικό ζήτημα, ειδικά για το σενάριο IoT. Οι καταναμημένες τεχνολογίες καθολικών, αξιοποιώντας μηχανισμούς τύπου blockchain, αναμένεται να διαδραματίσουν βασικό ρόλο για τον καταναμημένο έλεγχο ταυτότητας [57].

Η πυκνότητα και το υψηλό ποσοστό πρόσβασης των επικοινωνιών Terahertz θα αυξήσουν τις απαιτήσεις χωρητικότητας του υποκείμενου δικτύου μεταφορών, το οποίο θα πρέπει επίσης να προσφέρει περισσότερα σημεία πρόσβασης σε ίνες και μεγαλύτερη χωρητικότητα από τα τρέχοντα δίκτυα μετακίνησης. Επιπλέον, το ευρύ φάσμα των διαθέσιμων τεχνολογιών επικοινωνίας θα αυξήσει την ετερογένεια του δικτύου, το οποίο πρέπει να αντιμετωπιστεί. Οι κύριες αρχιτεκτονικές καινοτομίες που θα παρουσιάσει το 6G περιγράφονται στην επόμενη Εικόνα.



Εικόνα 15: Αρχιτεκτονικές καινοτομίες που εισήχθησαν στα δίκτυα 6G [58]

Στο πλαίσιο αυτό, οραματιζόμαστε την εισαγωγή ή/και την ανάπτυξη των ακόλουθων παραδειγμάτων [59]:

- **Στενή ενσωμάτωση πολλαπλών συχνοτήτων και τεχνολογιών επικοινωνίας και αρχιτεκτονική χωρίς κινητά:** Οι συσκευές 6G θα υποστηρίζουν μια σειρά ετερογενών ασύρματων δικτύων στις συσκευές. Αυτό επιτρέπει πολλαπλές τεχνικές συνδεσιμότητας που μπορούν να επεκτείνουν τα τρέχοντα όρια κυψέλης, με χρήστες συνδεδεμένους στο δίκτυο στο σύνολό τους (δηλαδή μέσω πολλαπλών συμπληρωματικών τεχνολογιών) αντί για ένα μόνο κελί. Οι διαδικασίες δικτύου κινητής τηλεφωνίας εγγυώνται απρόσκοπτη υποστήριξη κινητικότητας, χωρίς χρεώσεις παρακολούθησης (που μπορεί να είναι κοινές κατά τη δοκιμή συστημάτων σε συχνότητες Terahertz) και παρέχουν εγγυήσεις QoS που πληρούν τις πιο απαιτητικές απαιτήσεις κινητικότητας. Οι συσκευές θα μπορούν να κινούνται απρόσκοπτα μεταξύ διαφορετικών ετε-

ρ
ο
γ
ε
ν
ώ

- **Αρχιτεκτονική τρισδιάστατου δικτύου:** Τα δίκτυα 5G (και οι προηγούμενες γενιές) σχεδιάστηκαν για να παρέχουν συνδεσιμότητα για έναν ουσιαστικά δισδιάστατο χώρο, δηλαδή αναπτύσσονται σημεία πρόσβασης δικτύου για να παρέχουν συνδεσιμότητα σε συσκευές στο έδαφος. Αντ' αυτού, οραματιζόμαστε μελλοντικές ετερογενείς αρχιτεκτονικές 6G για την παροχή τρισδιάστατης κάλυψης, συμπληρώνοντας την επίγεια υποδομή με μη επίγειες πλατφόρμες (π.χ. drone και δορυφόρους). Επιπλέον, αυτά τα στοιχεία θα μπορούσαν να αναπτυχθούν γρήγορα για να διασφαλιστεί συνεχής και αξιόπιστη υπηρεσία, π.χ. σε αγροτικές περιοχές ή κατά τη διάρκεια περιόδων εκδηλώσεων, αποφεύγοντας το λειτουργικό και διοικητικό κόστος σταθερής υποδομής. Παρά τις πολλά υποσχόμενες ευκαιρίες, υπάρχουν πολλές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν προτού οι κινητές πλατφόρμες μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά σε ασύρματα

(
π

13.

Για την επίλυση του συνωστισμένου φάσματος ασύρματων συχνοτήτων των ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών, η επικοινωνία ορατού φωτός (VLC), η οποία χρησιμοποιεί ένα τεράστιο ανεξέλεγκτο και ελεύθερο φάσμα φωτός, έχει εξελιχθεί ως βιώσιμη λύση. Ωστόσο, η αμφίδρομη επικοινωνία, η κινητικότητα των χρηστών, οι μηχανισμοί πρόσβασης και μετάδοσης για πολλούς χρήστες καθίστανται δύσκολοι στόχοι στο δίκτυο VLC (Visible Light Communications).

r
a
h

δίκτυα, π.χ. μοντέλο καναλιού αέρα-εδάφους, βελτιστοποίηση τοπολογίας και τροχιάς, διαχείριση πόρων και ενεργειακή απόδοση.

- **Διαχωρισμός και εικονικοποίηση του εξοπλισμού δικτύωσης:** Παρόλο που τα δίκτυα έχουν μόλις ξεκινήσει τη μετάβαση στον διαχωρισμό του μονολιθικού εξοπλισμού δικτύωσης, το 3GPP δεν καθορίζει άμεσα τον τρόπο εισαγωγής των εννοιών εικονικοποίησης. Επιπλέον, οι τρέχουσες μελέτες 5G δεν έχουν ανταποκριθεί ακόμη στις προκλήσεις που σχετίζονται με το σχεδιασμό λεπτομερών αρχιτεκτονικών που μπορούν να λειτουργήσουν με τον υψηλότερο λανθάνοντα χρόνο ελέγχου που θα μπορούσε να εισαχθεί από τη συγκέντρωση και την ασφάλεια των εικονικών λειτουργιών δικτύου που θα μπορούσαν να υποστούν επιθέσεις στον κυβερνοχώρο. Η δικτύωση 6G θα επιφέρει εικονικοποίηση των επιπέδων MAC - Control και PHY (Physical), τα οποία επί του παρόντος απαιτούν εξειδικευμένες υλοποιήσεις υλικού και παρέχουν διανεμημένες πλατφόρμες χαμηλού κόστους μόνο με κεραίες και ελάχιστη επεξεργασία. Αυτό θα μειώσει το κόστος του εξοπλισμού δικτύωσης, καθιστώντας την τεράστια πυκνή ανάπτυξη οικονομικά εφικτή.

Προηγμένη ολοκλήρωση πρόσβασης-backhaul. Οι μαζικοί ρυθμοί δεδομένων των νέων τεχνολογιών πρόσβασης 6G απαιτούν επαρκή αύξηση της χωρητικότητας του backhaul. Επιπλέον, οι εφαρμογές Terahertz και VLC θα αυξήσουν την πυκνότητα των σημείων πρόσβασης, τα οποία χρειάζονται σύνδεση backhaul με τους γείτονές τους και το κεντρικό δίκτυο. Η τεράστια χωρητικότητα των τεχνολογιών 6G μπορεί έτσι να αξιοποιηθεί για λύσεις αυτοεξυπηρέτησης, όπου τα ραδιόφωνα στους σταθμούς βάσης παρέχουν τόσο πρόσβαση όσο και πίσω. Παρόλο που μια παρόμοια επιλογή εξετάζεται ήδη για το 5G, η κλίμακα των 6G αναπτύξεων θα εισαγάγει νέες προκλήσεις και ευκαιρίες, π.χ., καθώς τα δίκτυα θα χρειάζονται υψηλότερες αυτόνομες δυνατότητες διαμόρφωσης.

- **Στρατηγικές συλλογής ενέργειας για λειτουργίες δικτύου χαμηλής ισχύος.** Η ενσωμάτωση των μηχανισμών εξοικονόμησης ενέργειας στην υποδομή 5G αντιμετωπίζει επί του παρόντος πολλά ζητήματα, συμπεριλαμβανομένης της συνύπαρξης με τις επικοινωνίες και της απώλειας αποτελεσματικότητας στη μετατροπή των συλλεγόμενων σημάτων σε ηλεκτρική ενέργεια. Δεδομένης της αναμενόμενης κλίμακας στα δίκτυα 6G, είναι απαραίτητο να σχεδιάσουμε συστήματα όπου

το κύκλωμα επικοινωνίας και η στοίβα αναπτύσσονται με γνώση της ενέργειας [40]. Μία επιλογή χρησιμοποιεί κυκλώματα συλλογής ισχύος για να επιτρέψει στις συσκευές να αυτο-τροφοδοτούνται, κάτι που θα μπορούσε να είναι κρίσιμο για εργασία εκτός δικτύου, μεγάλες συσκευές IoT και αισθητήρες ή μεγάλοι χρόνοι αναμονής για συσκευές και εξοπλισμό που σπάνια χρησιμοποιούνται.

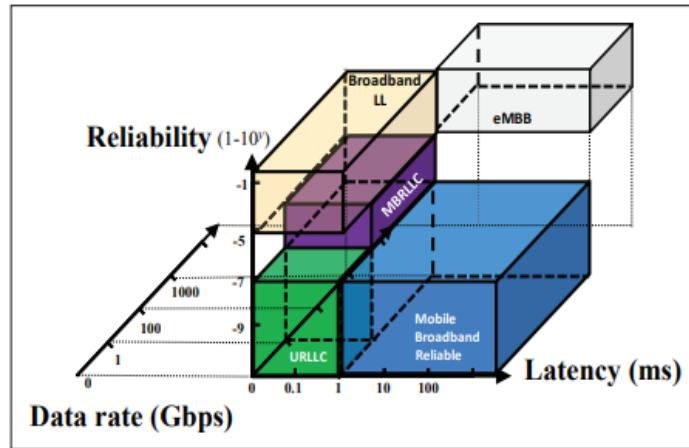
Υπηρεσίες 6G δικτύωσης

Πέρα από την επιβολή νέων μετρήσεων απόδοσης, οι νέες τεχνολογικές τάσεις θα επαναπροσδιορίσουν τους τύπους εφαρμογών 5G με τη μορφοποίηση των κλασικών URLLC, eMBB και mMTC και εισάγοντας νέες υπηρεσίες (συνοψίζονται στον Πίνακα 6):

Κινητή ευρυζωνική αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλού λανθάνοντος χρόνου: Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, η διάκριση μεταξύ eMBB και URLLC δεν θα είναι πλέον βιώσιμη για την υποστήριξη εφαρμογών όπως XR, ασύρματο BCI (*Brain Computer Interaction – Αλληλεπίδραση ανθρώπινου εγκεφάλου - υπολογιστή*) ή CRAS (*CRAS - όχι μόνο υψηλή αξιοπιστία και χαμηλό λανθάνοντα χρόνο, αλλά και υψηλά ποσοστά δεδομένων επιπέδου 5G-eMBB.*

Ως εκ τούτου, προτείνουμε μια νέα κατηγορία υπηρεσιών που ονομάζεται κινητή ευρυζωνική αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλού λανθάνοντος χρόνου (Mobile Broadband MBRLLC) που επιτρέπει στα συστήματα 6G να παρέχουν οποιαδήποτε απαιτούμενη απόδοση εντός του χώρου ρυθμού-αξιοπιστίας-λανθάνοντος χρόνου. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 16, το MBRLLC γενικεύει τις κλασικές υπηρεσίες URLLC και eMBB.

Η ενεργειακή απόδοση είναι κεντρική για το MBRLLC, όχι μόνο λόγω της επίδρασής της στην αξιοπιστία και το ρυθμό, αλλά και λόγω της περιορισμένης χρήσης πόρων των συσκευών.



Εικόνα 16: Υπηρεσίες MBRLC και διάφορες ειδικές περιπτώσεις (συμπεριλαμβανομένου του κλασικού eMBB και URLLC) εντός του χώρου ρυθμού-αξιοπιστίας-λανθάνοντος χρόνου. Άλλες σχετικές μετρήσεις που δεν εμφανίζονται περιλαμβάνουν κλίμακα ενέργειας και δικτύου [41]

M
a
s
s
i
v
e

Το 5G URLLC σήμαινε την αξιοπιστία και την καθυστέρηση των πολύ συγκεκριμένων εφαρμογών ΙοΕ uplink όπως έξυπνα εργοστάσια. Ωστόσο, το 6G πρέπει να κλιμακώσει το κλασικό URLLC σε όλη τη διάσταση της συσκευής, οδηγώντας έτσι σε μια νέα τεράστια υπηρεσία URLLC (mURLLC) που συγχωνεύει το 5G URLLC με το παλιό mMTC. Το mURLLC δημιουργεί μια αντιστάθμιση αξιοπιστίας-καθυστέρησης-κλιμάκωσης που επιβάλλει μια σημαντική απόκλιση από τα σχέδια δικτύου που βασίζονται σε μέσο όρο (π.χ. μέση απόδοση / καθυστέρηση). Αντ' αυτού, είναι απαραίτητο ένα βασικό και κλιμακούμενο πλαίσιο που να λαμβάνει υπόψη την καθυστέρηση, την αξιοπιστία, το μέγεθος των πακέτων, την αρχιτεκτονική, την τοπολογία (σε όλη την πρόσβαση, την άκρη και τον πυρήνα) και τη λήψη αποφάσεων υπό αβεβαιότητα.

n

3CLS πολλαπλών σκοπών και ενεργειακές υπηρεσίες: Τα συστήματα 6G πρέπει να παρέχουν από κοινού υπηρεσίες 3CLS και τα παράγωγά τους. Μπορούν επίσης να

i
c
S
e
r

προσφέρουν ενέργεια σε μικρές συσκευές μέσω ασύρματης μεταφοράς ενέργειας. Τέτοιες υπηρεσίες πολλαπλών χρήσεων 3CLS και ενέργειας (MPS) θα είναι ιδιαίτερα σημαντικές για εφαρμογές όπως το CRAS. Τα MPS απαιτούν κοινά σχέδια uplink-downlink και πρέπει να ανταποκρίνονται στην απόδοση - στόχο για τον έλεγχο (π.χ. σταθερότητα), τον υπολογισμό (π.χ. λανθάνουσα κατάσταση υπολογισμού), την ενέργεια (π.χ. ενέργεια προορισμού προς μεταφορά), τον εντοπισμό (π.χ. ακρίβεια εντοπισμού) και την ανίχνευση και λειτουργίες χαρτογράφησης (π.χ. ακρίβεια χαρτογραφημένου ασύρματου περιβάλλοντος).

Πίνακας 6: Σύνοψη των κατηγοριών υπηρεσιών 6G, των δεικτών απόδοσης και παραδειγμάτων εφαρμογών

Service	Performance indicators	Example applications
MBRLLC	<ul style="list-style-type: none"> Stringent rate-reliability-latency requirements Energy efficiency Rate-reliability-latency in mobile environments 	<ul style="list-style-type: none"> XR/AR/VR Autonomous vehicular systems Autonomous drones Legacy eMBB and URLLC
mURLLC	<ul style="list-style-type: none"> Ultra high reliability Massive connectivity Massive reliability Scalable URLLC 	<ul style="list-style-type: none"> Classical Internet of Things User tracking Blockchain and DLT Massive sensing Autonomous robotics
HCS	<ul style="list-style-type: none"> QoPE capturing raw wireless metrics as well as human and physical factors 	<ul style="list-style-type: none"> BC Haptics Empathic communication Affective communication
MPS	<ul style="list-style-type: none"> Control stability Computing latency Localization accuracy Sensing and mapping accuracy Latency and reliability for communications Energy 	<ul style="list-style-type: none"> CRAS Telemedicine Environmental mapping and imaging Some special cases of XR services

Η επίδραση της τεχνολογίας 6G στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Με τον πολλαπλασιασμό του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT), εμφανίζονται διάφορες υπηρεσίες με εντελώς διαφορετικές δυνατότητες και απαιτήσεις, οι οποίες δεν μπορούν να υποστηριχθούν από την τρέχουσα πέμπτη γενιά κινητών κυψελοειδών δικτύων (5G). Η μελλοντική έκτη γενιά κινητών κυψελοειδών δικτύων (6G) αναμένεται να έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει νέες και άγνωστες υπηρεσίες με μεταβαλλόμενες απαιτήσεις.

Ως εκ τούτου, εκτός από την ενίσχυση της ικανότητάς του κατά 10-100 φορές σε σύγκριση με το 5G, το 6G θα πρέπει επίσης να είναι έξυπνο και ανοιχτό για προσαρμογή στις συνεχώς μεταβαλλόμενες υπηρεσίες στο IoT, το οποίο απαιτεί σύγκλιση της επικοινωνίας, της πληροφορικής και της προσωρινής αποθήκευσης (3C). Με βάση την ανάλυση των απαιτήσεων των νέων υπηρεσιών για 6G, αυτό το έγγραφο προσδιορίζει τις βασικές τεχνολογίες που επιτρέπουν ένα έξυπνο και ανοιχτό δίκτυο 6G, όλα με δυνατότητα σύγκλισης 3C.

Αυτές οι τεχνολογίες καλύπτουν θεμελιώδη και αναδυόμενα θέματα, όπως διαχείριση φάσματος που βασίζεται σε 3C, κατασκευή ραδιοφωνικών καναλιών, μετάδοση με καθυστέρηση, ασύρματη κατανεμημένη πληροφορική και αυτο-ανάπτυξη δικτύου. Από τη λεπτομερή ανάλυση αυτών των τεχνολογιών που βασίζονται σε 3C που παρουσιάζονται σε αυτό το έγγραφο, μπορούμε να δούμε ότι αν και υπόσχονται να επιτρέψουν ένα έξυπνο και ανοιχτό 6G, απαιτούνται περισσότερες προσπάθειες για την υλοποίηση του αναμενόμενου δικτύου 6G.

Οι συνεπείς απαιτήσεις υπολογισμού για επεξεργασία AI και αυξανόμενος πολλαπλασιασμός συσκευών IoT θέτουν σημαντικές προκλήσεις στην ενεργειακή απόδοση του εξοπλισμού επικοινωνίας. Επομένως, οι ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες επικοινωνίας θα λάμψουν σε 6G όπου η απόσταση επικοινωνίας είναι πολύ μικρότερη. Έχουν καταβληθεί πολλές προσπάθειες για τη συγκομιδή ενέργειας και τις έρευνες διαχείρισης κατά την τελευταία δεκαετία. Μια τεχνολογία που ονομάζεται συμβιωτικό ραδιόφωνο (SR) προσφέρει μια πιθανή λύση στο ενεργειακό πρόβλημα, το οποίο ενσωματώνει παθητικές συσκευές backscatter¹⁴ με ενεργό σύστημα μετάδοσης. Ένα τυπικό παράδειγμα SR είναι η επικοινωνία backscatter περιβάλλοντος, στην οποία οι συσκευές δικτύου χρησιμοποιούν σήματα RF περιβάλλοντος για τη μετάδοση πληροφοριών χωρίς να απαιτείται ενεργή μετάδοση RF, καθιστώντας δυνατή την επικοινωνία

14

H

συγκεκριμένη τεχνολογία χρησιμοποιεί υπάρχοντα σήματα ραδιοσυχνότητας, όπως ραδιόφωνο, τηλεόραση και κινητή τηλεφωνία, για τη μετάδοση δεδομένων χωρίς μπαταρία ή σύνδεση δικτύου. Κάθε τέτοια συσκευή χρησιμοποιεί μια κεραία για να πάρει ένα υπάρχον σήμα και να τη μετατρέψει σε δεκάδες σε εκατοντάδες μWatt ηλεκτρικής ενέργειας. Χρησιμοποιεί αυτή τη δύναμη για να τροποποιήσει και να αντανακλά το σήμα με κωδικοποιημένα δεδομένα. Οι κεραίες σε άλλες συσκευές, με τη σειρά τους, ανιχνεύουν αυτό το σήμα και μπορούν να ανταποκριθούν ανάλογα.

χωρίς μπαταρία [59]. Η έξυπνη διαχείριση ενέργειας είναι ένας ακόμη πολλά υποσχόμενος μηχανισμός με στόχο τη δυναμική βελτιστοποίηση της ισορροπίας μεταξύ ζήτησης και προσφοράς ενέργειας

a

Πρώτον, η μετάδοση δεδομένων IoT κινείται πάνω στο υφιστάμενο κυψελοειδές ραδιοσήμα και ανακουφίζει τις απαιτήσεις του ειδικού πόρου φάσματος.

Δεύτερον, το κόστος των συσκευών IoT είναι χαμηλό, δεδομένου ότι η συμβατική ασύρματη μετάδοση δεν χρησιμοποιεί ενεργά στοιχεία ασύρματων συχνοτήτων (RF) στον πομπό του IoT.

A. Μετάβαση από έξυπνο σε έξυπνο

Το IoE θα είναι έξυπνο, επομένως, το 6G θα είναι επίσης έξυπνο. Κατά συνέπεια, όλες οι έξυπνες συσκευές θα μετατραπούν σε έξυπνες συσκευές και αυτές οι έξυπνες συσκευές θα είναι πραγματικά συσκευές με γνώμονα το AI [54]. Έτσι, η έξυπνη συσκευή (μπορεί να είναι μικροσκοπική συσκευή) θα είναι σε θέση να προβλέψει, να πάρει μια απόφαση και να μοιραστεί την εμπειρία τους με άλλες έξυπνες συσκευές. Λοιπόν, υπάρχει μια αλλαγή παραδείγματος από έξυπνη σε έξυπνη εποχή χρησιμοποιώντας τεχνολογία επικοινωνίας 6G και AI.

B. Ποιότητα υπηρεσιών

Η τεχνολογία 6G υπόσχεται να παρέχει υψηλή ποιότητα υπηρεσιών (QoS) και οι παράμετροι περιλαμβάνουν υψηλό ρυθμό δεδομένων τουλάχιστον 1 Tbps, εξαιρετικά αξιόπιστο, περαιτέρω βελτιωμένο κινητό ευρυζωνικό (FeMBB), επικοινωνία χαμηλού λανθάνοντος χρόνου (ERLLC), υπεραστικές και υψηλές επικοινωνίες κινητικότητας (LDHMC) εξαιρετικά μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανήματος (umMTC) και επικοινωνίες εξαιρετικά χαμηλής ισχύος (ELPC) [55]. Επιπλέον, το QoS περιλαμβάνει τεράστιο τύπο μηχανής ευρείας ζώνης εύρους ζώνης (mBBMT), ευρυζωνικό εύρος ζώνης κινητής τηλεφωνίας και χαμηλό λανθάνοντα χρόνο (MBLL) και τεράστιο τύπο μηχανής χαμηλού λανθάνοντος χρόνου (mLLMT) [56].

Αυτές οι παράμετροι θα εξυπηρετήσουν διάφορες εφαρμογές για την επανάσταση. Έτσι, η τεχνολογία 6G θα είναι μια επαναστατική τεχνολογία σε πολλούς τομείς. Επιπλέον, το υψηλό QoS θα επιτρέψει πολλές νέες εφαρμογές, για παράδειγμα,

Τηλεχειρουργική. Επίσης, η τεχνολογία 6G υπόσχεται υψηλό QoE μαζί με υψηλό QoS που καθορίζει τις κεντρικές για το χρήστη επικοινωνίες. Θα επιτευχθεί μέσω ολογραφικών επικοινωνιών, επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας, πέντε λογικών επικοινωνιών και απλού Διαδικτύου.

Επιπλέον, το QoE θα φέρει επανάσταση σε έξυπνες συσκευές, έξυπνα αυτοκίνητα, έξυπνα drone, έξυπνα ασθενοφόρα και πολλά άλλα [55]. Η επίτευξη υψηλού QoE εξαρτάται από την εφαρμογή όλων των επιθυμητών παραμέτρων από την τεχνολογία 6G. Ομοίως, η Ποιότητα Ζωής (QoL – Quality of Service) είναι αποφασισμένη να βελτιώσει τον τρόπο ζωής με QoS και QoE στην υγειονομική περίθαλψη. Η τεχνολογία 6G θα επιτρέψει στο υψηλό QoL να χρησιμοποιεί τεχνολογία επικοινωνίας. Οι βασικές παράμετροι του QoL είναι οι έξυπνες υπηρεσίες ασθενοφόρων, η απομακρυσμένη παρακολούθηση της υγείας των ασθενών, συμπεριλαμβανομένων των ηλικιωμένων, η έξυπνη ανίχνευση ατυχημάτων, η υπηρεσία Hospital-to-Home (H2H), η χειρουργική επέμβαση και η ιατρική ακριβείας

Ας εξετάσουμε ένα σενάριο, στο οποίο ένας χρήστης κυψελοειδούς δικτύου μεταδίδει ένα ασύρματο σήμα ανερχόμενης ζεύξης σε έναν κυψελωτό σταθμό βάσης (BS), ενώ μια συσκευή IoT υιοθετεί την τεχνολογία επικοινωνίας backscattering (τε-

χ

ν

ι

κ

ή

ο

π

ι

Είναι σαφές ότι τόσο το κυψελοειδές AP όσο και το IoT AP μπορούν ταυτόχρονα να δέχονται δύο σήματα, δηλαδή ένα άμεσο σήμα από τον κυψελοειδή χρήστη και το ανακλώμενο σήμα από τη συσκευή IoT [57]. Πιο συγκεκριμένα, τα κυψελοειδή δεδομένα περιέχονται τόσο στο άμεσο σήμα όσο και στο ανακλώμενο σήμα και τα δεδο-

ο

κ

¹⁵ Τα συστήματα RFID βασίζονται στην αρχή λειτουργίας των ραντάρ, δηλαδή της ανάκλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (back-scatter).

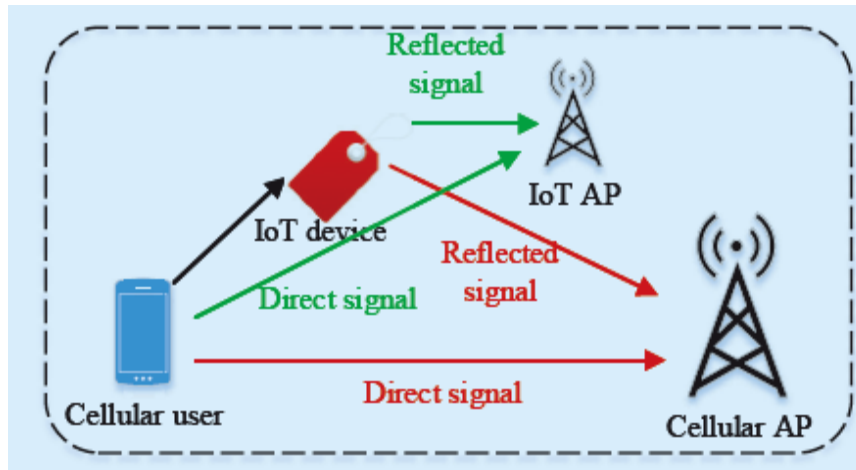
δ

α

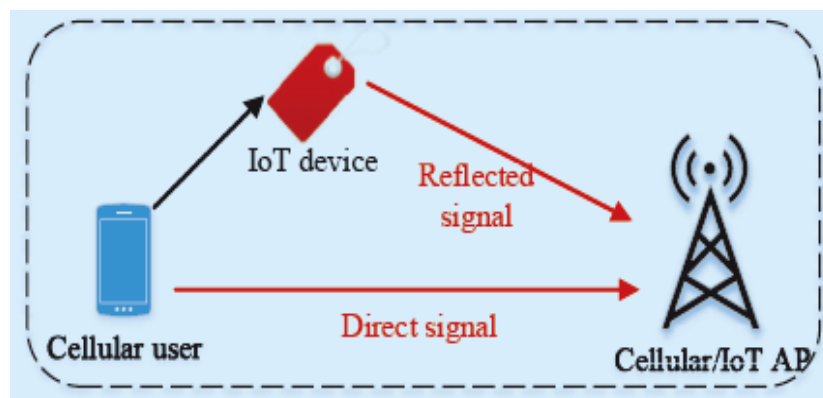
σ

η

μένα IoT περιέχονται μόνο στο ανακλώμενο σήμα. Εξάγοντας τα απαιτούμενα δεδομένα στα λαμβανόμενα σήματα στο κυψελοειδές AP και το IoT AP, ολοκληρώνονται τόσο η κυψελοειδής μετάδοση δεδομένων όσο και η μετάδοση δεδομένων IoT.



Εικόνα 17: Συμβατικό ασύρματο μοντέλο ανοδικής ζεύξης με δύο διαφορετικά σημεία πρόσβασης (AP) [57]



Εικόνα 18: Συμβατικό ασύρματο μοντέλο ανοδικής ζεύξης με ένα κοινό σημείο πρόσβασης (AP) [57]

Διαδίκτυο των πάντων (IoE): Η επικοινωνία 6G ακολουθεί τα 6C, δηλαδή, καταγραφή, επικοινωνία, προσωρινή μνήμη, γνώση, υπολογισμός και έλεγχο [30]. Η Γνώση βοηθά στη διαμόρφωση εφικτών προσδιορισμών που βασίζονται σε ψηφιακά δεδομένα εισόδου. Αυτοί είναι έξυπνοι προσδιορισμοί που κάνουν τον υπολογιστή εύκολο. Στη συνέχεια, τα υπολογιστικά δεδομένα μεταδίδονται σε έξυπνες συσκευές για τον έλεγχο της δράσης που λαμβάνουν οι συσκευές [31]. Για παράδειγμα, αύξηση συ-

ναγερμού. Το IoE θα χρησιμοποιήσει την βασική υπηρεσία συνδυασμένων και βελτιωμένων eMBB και mMTC. Η απαίτηση του IoE από το 6G είναι τεράστια χωρητικότητα για σύνδεση εκατομμυρίων έξυπνων συσκευών και υψηλών ποσοστών δεδομένων για την υποστήριξη εμπειριών αφής σε αυτές τις συσκευές. Το *Industrial IoT (IIoT)* χρησιμοποιεί την βασική υπηρεσία συνδυασμένων και βελτιωμένων URLLC και mMTC. Τεράστια ικανότητα σύνδεσης των αισθητήρων, των ενεργοποιητών και του προσωπικού για επικοινωνία. Και, χαμηλή καθυστέρηση για τη διατήρηση της απρόσκοπτης ενοποίησης μεταξύ τους [45]. Όταν το 6G θα είναι εμπορικό, θα είναι η εποχή του Big data 2.0 που απαιτεί έναν υπερυπολογιστή να υπολογίζει και να αναλύει δεδομένα [46].

B. Edge Intelligence: Το 6G θα βασιστεί στο Edge computing [47] για να φέρει τις δυνατότητες Cloud πιο κοντά σε έξυπνες συσκευές. Η τεχνολογία Edge θα προσφέρει αδιάλειπτες και υψηλής ταχύτητας υπηρεσίες Διαδικτύου στις έξυπνες συσκευές. Συλλέγει, υπολογίζει και αναλύει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σε κόμβους Edge. Ο κόμβος Edge φιλτράρει επίσης δεδομένα και μεταδίδει μόνο σημαντικές πληροφορίες στο Cloud για αποθήκευση. Η τεχνολογία Edge μειώνει το κόστος επικοινωνίας και υπολογισμού. Μερικά άλλα πλεονεκτήματα είναι η χαμηλή καθυστέρηση, η αξιοπιστία, η προσαρμοστικότητα, η επεκτασιμότητα και το απόρρητο. Όλα τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας Edge θα βοηθήσουν σημαντικά το 6G να ανταποκριθεί στις προϋποθέσεις για να παρέχει υψηλό QoS. Το Edge Intelligence συνδυάζει υπολογιστές Edge και AI [27]. Edge analytics, εφαρμόστε αλγόριθμους AI για ανάλυση σε κόμβους δεδομένα και βίντεο Edge analytics. Η εκτέλεση αλγορίθμων AI απαιτεί υψηλούς υπολογιστικούς πόρους και κατανάλωση ενέργειας, η οποία είναι περιορισμένη στους κόμβους Edge. Ένας από τους κόμβους δικτύου στο 6G θα είναι κόμβοι Edge. Επιπλέον, το 6G θα έχει έξυπνο Edge σε πραγματικό χρόνο που θα υπολογίζει και θα αναλύει ζωντανά δεδομένα [29].

Γ. Τεχνητή νοημοσύνη: Το 6G θα είναι ένα πραγματικά επικοινωνιακό δίκτυο με γνώμονα την τεχνητή νοημοσύνη, προκαλώντας στο σύστημα αυτοσυνείδητο, αυτο-υπολογισμό και αυτο-αποφασίζοντας για μια κατάσταση [15], [30]. Το 6G θα παρέχει παγκόσμια κάλυψη, δηλαδή διαστημικό-νερό-νερό. Το 6G θα επιτύχει αυτόν τον στόχο κάνοντας διαφορετικές πτυχές της επικοινωνίας «έξυπνες, και, η νοημοσύνη σημαίνει AI. Στο φυσικό επίπεδο του δικτύου, το AI θα βοηθήσει την εκτίμηση και την

πρόβλεψη της κατάστασης του καναλιού, την αυτόματη ταξινόμηση διαμόρφωσης, την προσαρμοστική κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση και την έξυπνη διαμόρφωση δέσμης. Ομοίως, η ασφάλεια φυσικού επιπέδου [31] είναι βασικά σημαντικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας επικοινωνίας 6G. Στο επίπεδο συνδέσμων δεδομένων, κατανομή πόρων που υλοποιεί την εκμάθηση βαθιάς ενίσχυσης [38]. Ομοίως, στο επίπεδο μεταφοράς, θα αναπτυχθούν αλγόριθμοι υπολογισμού διαδρομών και έξυπνων προβλέψεων κυκλοφορίας [35]. Το 6G θα διερευνήσει δυναμική πρόσβαση στο φάσμα. Το 6G θα εξαρτηθεί από την τεχνητή νοημοσύνη για να φέρει την βαριά ευθύνη υπολογισμού για την παροχή υπηρεσιών επόμενης γενιάς.

Τα έξυπνα οχήματα θα βελτιστοποιήσουν την κατανάλωση καυσίμου, την απόδοση διαδρομής και εργασίας, επειδή η τεχνολογία επικοινωνίας 6G μπορεί να παρέχει υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο. Τα έξυπνα οχήματα είναι πιο οικονομικά, επειδή μπορούν να προβλέψουν το μέλλον και να βελτιστοποιήσουν το πρόβλημα οικονομικά. Το μελλοντικό όχημα θα διαθέτει πραγματικά ασύρματες επικοινωνίες που βασίζονται σε τεχνολογία AI και υψηλής ταχύτητας. Τα μελλοντικά οχήματα θα ενσωματωθούν επίσης με διαφορετικούς αισθητήρες. Το όχημα θα είναι έξυπνο με τη βοήθεια συσκευών αισθητήρων και τεχνολογίας επικοινωνίας.

A. Ευφυή αυτοκίνητα

Αναμένεται ότι το 6G θα είναι σε θέση να παραδίδει αυτοκινούμενο όχημα, δηλαδή οχήματα χωρίς τιμόνι. Τα οχήματα θα είναι πραγματικά μαθήματα τεχνητής νοημοσύνης από πρακτικές εμπειρίες [33]. Τα αυτοκίνητα θα παρακολουθούν την υγεία των επιβατών, για παράδειγμα, τις πιέσεις του αίματος, τον καρδιακό ρυθμό, τη θερμοκρασία του σώματος, την καταγραφή των εγκεφαλικών κυμάτων και την ανίχνευση συναισθημάτων λόγω της πραγματικής ικανότητας επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο των 6G. Επίσης, τα έξυπνα αυτοκίνητα θα μετατραπούν σε έξυπνο ασθενοφόρο σε περίπτωση που ο επιβάτης χρειάζεται θεραπεία κατά τη διάρκεια της διαδρομής. Αυτό επιτυγχάνεται με τη συμβουλή των απομακρυσμένων γιατρών χρησιμοποιώντας το αποφύγουν ατυχήματα ανταλλάσσοντας πληροφορίες με κοντινά οχήματα.

Οι μπαταρίες θα φορτίζονται χωρίς καλώδιο σε κατάσταση κινητής τηλεφωνίας από UAV [34]. Η απόλυτη έξυπνη οδήγηση είναι πραγματικά δύσκολη, διότι η προϋπόθεση της είναι ένας συνδυασμός πολλών πολύπλοκων αλγορίθμων. Οι περιπτώσεις τέτοιων πολύπλοκων αλγορίθμων είναι η αυτόματη οδήγηση, ο σχεδιασμός διαδρομών, η ανίχνευση εμποδίων και η παρακολούθηση οχημάτων [37]. Θα απαιτήσει την υποστήριξη υψηλού ρυθμού δεδομένων, χαμηλού λανθάνοντος χρόνου, απρόσκοπτης συνδεσιμότητας και ενσωμάτωσης του ΑΙ. Θα παράγει τεράστια ποσότητα δεδομένων και θα τα ανεβάζει στο Διαδίκτυο σε πραγματικό χρόνο.

B. Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα

Το UAV θα χρησιμοποιηθεί για πολλούς σκοπούς [35], για παράδειγμα, υπηρεσίες fronthaul και backhaul στην αγροτική περιοχή. Οι έξυπνοι Drones θα είναι σε θέση να επικοινωνούν με *Drone-to-Drone (D2D)* και *Drone-to-Infrastructure (D2I)*. Τα Intelligent Drones μπορούν να μοιραστούν τις γνώσεις τους. Επίσης, θα δεσμευτεί για ταχύτερη παράδοση διαδικτυακών προϊόντων. Επιπλέον, θα χρησιμοποιηθεί σε κρίσιμες λειτουργίες όπου ο άνθρωπος δεν μπορεί να φτάσει. Η αστυνομία θα χρησιμοποιήσει Drones για να πιάσει έναν κλέφτη. Επίσης, το έξυπνο Drone παρακολούθησης θα παρακολουθεί συνεχώς την κατοικημένη τοποθεσία. Αυτοί οι τύποι έξυπνων Drones θα ανιχνεύουν πυρκαγιά, ατυχήματα, κυκλοφορίες κ.λπ. σε πραγματικό χρόνο, έτσι ώστε η αστυνομία να ενημερώνεται σε πραγματικό χρόνο. Η αστυνομία μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει τους έξυπνους Drones για να ψεκάσει το δακρυγόνο για τον έλεγχο των όχλων. Επίσης, τα αεροσκάφη μπορούν να είναι χρήσιμα στη γεωργία. Επί του παρόντος, οι τηλεοράσεις κλειστού κυκλώματος (CCTV) χρησιμοποιούνται για την ασφάλεια και την παρακολούθηση που μας κάνει πολύ ασφαλείς. Επιπλέον, το CCTV χρησιμοποιείται επίσης ως μάρτυρας σε δικαστήριο σε πολλές χώρες. Ωστόσο, οι CCTV δεν είναι αποτελεσματικές στην εξασφάλιση πολλών πραγμάτων και στον εντοπισμό των απειλών.

Επομένως, το Drone θα προστεθεί για να ενισχύσει τα συστήματα ασφαλείας και επιτήρησης. Για παράδειγμα, ένας κλέφτης ή ένας τρομοκράτης μπορεί να κυνηγηθεί. Το Drone μπορεί να μεταδίδει συνεχώς τα βίντεο στα δωμάτια παρακολούθησης. Αυτό απαιτεί σύνδεση δεδομένων υψηλής ταχύτητας για την παροχή βίντεο υψηλής ευκρίνειας σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, το έξυπνο Drone μπορεί να προειδοποιήσει για

πιθανή απειλή για τη δύναμη ασφαλείας και θα διαδραματίσει εξέχοντα ρόλο όχι μόνο στην πόλη, αλλά και στις παραμεθόριες περιοχές. Είναι πολύ επικίνδυνο στη γραμμή ελέγχου (LOC) να παρακολουθείτε τους εχθρούς για λειτουργία 24×7 . Το Drone μπορεί να παρέχει την υπηρεσία ασφάλειας και επιτήρησης σε εξαιρετικά επικίνδυνες παραμεθόριες τοποθεσίες και να βελτιώσει δραματικά την ασφάλεια των συνόρων στον αμυντικό τομέα, σε επικίνδυνες περιοχές. Απαιτεί παρακολούθηση τεχνολογίας επικοινωνιών 6G, ωστόσο, η τεχνολογία επικοινωνίας 5G μπορεί επίσης να επιλύσει, αλλά το QoS θα είναι χαμηλότερο.

Γ. Ευφυής μεταφορά

Η απόλυτη έξυπνη οδήγηση είναι πολύ δύσκολη, διότι η προϋπόθεση της είναι ένας συνδυασμός πολλών πολύπλοκων αλγορίθμων. Για παράδειγμα, αυτόματη οδήγηση, σχεδιασμός διαδρομών, ανίχνευση εμποδίων, παρακολούθηση οχημάτων και επιχειρήσεις διάσωσης έκτακτης ανάγκης. Απαιτεί υψηλό ρυθμό δεδομένων, χαμηλό λανθάνοντα χρόνο, απρόσκοπτη συνδεσιμότητα κ.λπ. και μπορεί να παρέχεται από την τεχνολογία επικοινωνίας 6G. Θα παράγει τεράστια ποσότητα δεδομένων και θα ανεβάσει επίσης αυτά τα δεδομένα στο Διαδίκτυο σε πραγματικό χρόνο.

1) Εσωτερικές μεταφορές: Οι έξυπνες εσωτερικές μεταφορές θα παραμείνουν συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο 6G καθόλη τη διάρκεια του ταξιδιού. Θα παρέχει ακόμη και πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο. Το 6G με internet υψηλής ταχύτητας, χαμηλή καθυστέρηση και παγκόσμια κάλυψη θα παρέχει υπηρεσίες ομαλά χωρίς διακοπή. Επομένως, αξιόπιστες και πραγματικές πληροφορίες θα παρέχονται στον επιβάτη και θα μειώνεται ο χρόνος αναμονής τους. Τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο θα βοηθήσουν επίσης τον οδηγό να παραμείνει ενημερωμένος σχετικά με την κίνηση ή τυχόν απόφραξη στη διαδρομή. Σε περίπτωση έντονης κυκλοφορίας, θα βοηθήσει τους οδηγούς να οδηγούν με ασφάλεια.

2) Διεθνείς μεταφορές: Το 6G θα βοηθήσει στην παρακολούθηση των οχημάτων που διέρχονται τα σύνορα μιας χώρας από το προσωπικό ασφαλείας. Αυτό θα βοηθήσει στη μείωση των εγκλημάτων όπως η εμπορία ανθρώπων και το λαθρεμπόριο. Η 6G θα παρέχει υπηρεσίες Διαδικτύου κατά τη διάρκεια αεροπλάνου και ταξιδιού πλοίου. Τα αεροπλάνα και τα πλοία θα παραμείνουν επίσης συνδεδεμένα με 6G IoT

Το 6G παρέχει παγκόσμια κάλυψη, προβλέποντας έτσι ξαφνικές αλλαγές στον καιρό, όπως βροχή ή βροντή. Αυτές οι πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο θα βοηθήσουν στη λήψη των απαραίτητων ενεργειών. Με έξυπνη μεταφορά, το αεροπλάνο και τα πλοία μπορούν να κατασκευαστούν πλήρως αυτοματοποιημένα. Επιπλέον, η παγκόσμια κάλυψη θα βοηθήσει στην παρακολούθηση του αεροπλάνου και των πλοίων σε περίπτωση ατυχήματος και μπορούν να παρέχονται άμεσες ιατρικές υπηρεσίες και υπηρεσίες διάσωσης. Επιπλέον, το 6G θα παρέχει υπηρεσίες σε υποβρύχια. Επομένως, ένα πλοίο ή αεροπλάνο μπορεί να εντοπιστεί σε περίπτωση που έχει πέσει και έχει εκτοπιστεί λόγω ισχυρού ρεύματος νερού.

Μελλοντικές εξελίξεις

Το 2020, τα δίκτυα 5G αναμένεται να λειτουργήσουν πλήρως και να αντιπροσωπεύουν έναν παγκόσμιο παίκτη αλλαγών από τεχνολογική, οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική άποψη με πολύ υποσχόμενες επιδόσεις όσον αφορά την καθυστέρηση, την ενεργειακή απόδοση, την ασύρματη ευρυζωνική ικανότητα, την ελαστικότητα και την αξιοπιστία. Το 2030, όταν μπορεί να προκύψει πιθανότατα η τεχνολογία 6G, θα μπορούσαμε να περιμένουμε την προφητεία του Tesla να φτάσει στην πραγματικότητα μέσω του σχεδιασμού μιας αρχιτεκτονικής που να κάνει τους τελικούς χρήστες να αντιλαμβάνονται ότι περιβάλλονται από έναν τεράστιο τεχνητό εγκέφαλο που παρέχει εικονική μηδενική καθυστέρηση, απεριόριστη αποθήκευση και τεράστιες δυνατότητες γνωστικής ικανότητας. Η έρευνα για τη 6G δικτύωση έχει ήδη ξεκινήσει σε όλο τον κόσμο για την εύρεση καινοτόμων λύσεων, προκειμένου να είναι σε θέση να προσφέρει πανταχού παρούσα 3D κοινή συνδεσιμότητα και υπολογισμούς.

Η οδήγηση εφαρμογών πίσω από το 6G και οι απαιτήσεις τους

Κάθε νέα κυψελωτή γενιά οδηγείται από καινοτόμες εφαρμογές. Το 6G δεν αποτελεί εξαίρεση: θα προκύψει από την απaráμιλλη εμφάνιση συναρπαστικών νέων εφαρμογών και τεχνολογικών τάσεων που θα διαμορφώσουν τους στόχους απόδοσης, ενώ θα ριζικά επαναπροσδιορίσουν τις βασικές υπηρεσίες 5G. Στη συνέχεια, παρουσιάζουμε πρώτα τις κύριες εφαρμογές που παρακινούν την ανάπτυξη 6G και, στη συνέχεια, συζητούμε τις επακόλουθες τεχνολογικές τάσεις, τις μετρήσεις επιδόσεων στόχων και τις νέες απαιτήσεις υπηρεσιών.

A. Η οδήγηση εφαρμογών πίσω από το 6G και οι απαιτήσεις τους: Ενώ οι παραδοσιακές εφαρμογές, όπως η ζωντανή ροή πολυμέσων, θα παραμείνουν κεντρικές στο 6G, οι βασικοί καθοριστικοί παράγοντες της απόδοσης του συστήματος θα είναι τέσσερις νέοι τομείς εφαρμογής:

1) Εφαρμογές εκτεταμένη πραγματικότητα XR¹⁶ πολλαπλών αισθητήρων: Το XR θα παράγει πολλές εφαρμογές δολοφόνων για 6G σε όλο το φάσμα AR/MR/VR.

16

Η εκτεταμένη πραγματικότητα (XR) αναφέρεται σε όλα τα πραγματικά και εικονικά περιβάλλοντα που παράγονται από γραφικά υπολογιστών και φορητά. Το 'X' στο XR είναι απλά μια μεταβλητή που μπορεί να αντέξει για κάθε γράμμα. Το XR είναι η κατηγορία ομπρέλα που καλύπτει όλες τις διάφορες μορφές μεταβληθείσας από υπολογιστή πραγματικότητας, όπως: Αυξημένη Πραγματικότητα (AR), Μικτή Πραγματικότητα (MR) και Εικονική Πραγματικότητα (VR).

Τα επερχόμενα συστήματα 5G εξακολουθούν να μην επαρκούν για να παρέχουν μια πλήρη εμπειρία XR που θα μπορεί να συλλαμβάνει όλες τις εισόδους μέσω αισθητήρων, λόγω της ανικανότητας των τελευταίων να παρέχουν πολύ χαμηλές λανθάνουσες περιόδους για εφαρμογές XR με πληθώρα δεδομένων. Μια πραγματικά βιώσιμη εμπειρία AR/MR /VR απαιτεί ένα κοινό σχεδιασμό που να ενσωματώνει όχι μόνο τις απαιτήσεις της τεχνολογίας (ασύρματη, υπολογιστική, αποθήκευση) αλλά και τις αντιληπτές απαιτήσεις που απορρέουν από τις ανθρώπινες αισθήσεις, τη γνώση και τη φυσιολογία [40].

Πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ελάχιστες και οι μέγιστες αντιληπτικές απαιτήσεις και όρια στη διαδικασία της μηχανικής (υπολογισμός, επεξεργασία κ.λπ.). Για να γίνει τό, απαιτείται μια νέα ιδέα μέτρησης της ποιότητας της φυσικής εμπειρίας (QoPE – experience) για τη συγχώνευση φυσικών παραγόντων από τον ίδιο τον άνθρωπο χρήστη με εισόδους κλασικής QoS και QoE (π.χ. μερικοί παράγοντες που επηρεάζουν το QoPE περιλαμβάνουν τη γνωστική λειτουργία του εγκεφάλου, τη φυσιολογία του σώματος και τις χειρονομίες.

2

)

Σ

υ

ν

δ

ε

δ

3) Ασύρματες αλληλεπιδράσεις εγκεφάλου-υπολογιστή (BCI - Wireless

Πέρα από την XR, η προσαρμογή ασύρματων συστημάτων στον ανθρώπινο χρήστη είναι υποχρεωτική για την υποστήριξη υπηρεσιών με άμεσο BCI. Παραδοσιακά, οι εφαρμογές BCI περιορίζονταν σε σενάρια υγειονομικής περίθαλψης στα οποία οι άνθρωποι μπορούν να ελέγχουν προσθετικά άκρα ή γειτονικές υπολογιστικές συσκευές χρησιμοποιώντας εμφυτεύματα εγκεφάλου. Ωστόσο, η πρόσφατη εμφάνιση ασύρματων διασυνδέσεων εγκεφάλου-υπολογιστή και εμφυτευμάτων, θα φέρει επανάσταση στο πεδίο αυτό και θα εισαγάγει νέα σενάρια χρήσης που απαιτούν σύνδεση 6G.

P

ο

μ

π

ο

τ

Χρησιμοποιώντας ασύρματες τεχνολογίες BCI, αντί για smartphones, οι άνθρωποι θα αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους καθώς και με άλλους ανθρώπους που χρησιμοποιούν διακριτές συσκευές. Αυτό θα επιτρέψει στα άτομα να ελέγχουν το περιβάλλον τους με χειρονομίες και να επικοινωνούν με τα αγαπημένα τους πρόσωπα μέσω απτών μηνυμάτων¹⁷. Τέτοιες ενσυναίσθητες και απτές επικοινωνίες, σε συνδυασμό με συναφείς ιδέες, όπως συναισθηματικές υπολογιστικές συσκευές, στις οποίες οι συσκευές με συναισθηματική συμπεριφορά μπορούν να ταιριάζουν τις λειτουργίες τους με τη διάθεση του χρήστη, συνιστούν σημαντικές περιπτώσεις χρήσης 6G. Οι ασύρματες υπηρεσίες BCI απαιτούν θεμελιωδώς διαφορετικές μετρήσεις απόδοσης σε σύγκριση με ό, τι προσφέρει η 5G. Παρόμοια με την XR, οι ασύρματες υπηρεσίες BCI χρειάζονται υψηλές ταχύτητες, εξαιρετικά χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση και υψηλή αξιοπιστία. Ωστόσο, είναι πολύ πιο ευαίσθητες από την XR σε φυσικές αντιλήψεις και απαιτούν εγγυήσεις QoPE [41].

4) Τεχνολογίες Blockchain και κατανεμημένου ημερολογίου (DLT - Distrib-

Οι τεχνολογίες Blockchains και DLT θα είναι μία από τις πιο καινοτόμες τεχνολογίες IoE. Οι εφαρμογές Blockchain και DLT μπορούν να θεωρηθούν ως η επόμενη γενιά των υπηρεσιών κατανεμημένης αντίχρευσσης, των οποίων η ανάγκη για συνδεσιμότητα θα απαιτήσει ένα συνεργικό συνδυασμό URLLC και μαζικών επικοινωνιών τύπου υπολογιστή (mMTC) για να εγγυηθεί χαμηλή λανθάνουσα διάρκεια ζωής, αξιόπιστη συνδεσιμότητα και δυνατότητα κλιμάκωσης.

. Τάσεις μετρήσεις απόδοσης 6G δικτύωσης

Οι εφαρμογές του προηγούμενου υποκεφαλαίου οδηγούν σε νέες τάσεις για τους στόχους για το 6G [42]:

Τάση 1 - Περισσότερα bits, Περισσότερο φάσμα, Περισσότερη αξιοπιστία:

Οι περισσότερες από τις εφαρμογές οδήγησης του 6G απαιτούν υψηλότερα ποσοστά bit από τα 5G. Για να ικανοποιήσει εφαρμογές όπως XR και BCI, το 6G πρέπει να

¹⁷ Η απτική επικοινωνία είναι ένας κλάδος της μη λεκτικής επικοινωνίας που αναφέρεται στους τρόπους με τους οποίους οι άνθρωποι και τα ζώα επικοινωνούν και αλληλεπιδρούν μέσω της αίσθησης της αφής. Η αφή είναι η πιο εξελιγμένη και οικεία από τις έξι αισθήσεις.

προσφέρει ακόμη 1000 φορές αύξηση των ρυθμών δεδομένων, αποδίδοντας στόχο περίπου 1 Terabit/δευτερόλεπτο. Αυτό υποκινεί την ανάγκη για περισσότερους πόρους φάσματος, προκαλώντας έτσι περαιτέρω εξερεύνηση συχνοτήτων πέραν των υπο-6 GHz. Εν τω μεταξύ, η ανάγκη για υψηλότερη αξιοπιστία θα διαπεράσει τις περισσότερες εφαρμογές 6G και θα είναι πιο δύσκολο να συναντηθεί σε υψηλές συχνότητες.

Τάση 2 - Από Περιοχή σε Ογκομετρικό Φασματικό και Ενεργειακή Απόδοση: το 6G πρέπει να ασχολείται με χρήστες εδάφους και εναέριας κυκλοφορίας, που περιλαμβάνουν smartphone και συσκευές XR / BCI μαζί με ιπτάμενα οχήματα. Αυτή η τρισδιάστατη φύση του 6G απαιτεί μια εξέλιξη προς έναν ογκομετρικό αντί για χωρικό (τοπικό) ορισμό εύρους ζώνης. Οραματιζόμαστε ότι τα συστήματα 6G πρέπει να παρέχουν υψηλές απαιτήσεις φασματικής και ενεργειακής απόδοσης (SEE) που μετρούνται σε bps/Hz /m³/Joules. Αυτή είναι μια φυσική εξέλιξη που ξεκίνησε από 2G (bps) έως 3G (bps/Hz), και στη συνέχεια 4G (bps/Hz/m²) έως 5G (bps/Hz /m²/Joules).

Τάση 3 - Εμφάνιση έξυπνων επιφανειών και περιβαλλόντων: Τα τρέχοντα και τα προηγούμενα κυψελοειδή συστήματα χρησιμοποίησαν σταθμούς βάσης (διαφορετικών μεγεθών και μορφών) για μετάδοση. Παρακολουθούμε μια επανάσταση σε ηλεκτρομαγνητικά ενεργές επιφάνειες (π.χ., χρησιμοποιώντας μετα-υλικά) που περιλαμβάνουν τεχνητές κατασκευές όπως τοίχους, δρόμους, ακόμη και ολόκληρα κτίρια. Η χρήση τέτοιων έξυπνων μεγάλων έξυπνων επιφανειών και περιβαλλόντων για ασύρματες επικοινωνίες θα οδηγήσει στην αρχιτεκτονική εξέλιξη του 6G.

Τάση 4 - Μαζική διαθεσιμότητα μικρών δεδομένων: Η επανάσταση των δεδομένων θα συνεχιστεί στο εγγύς μέλλον και θα μετακινηθεί από κεντρικά, μεγάλα δεδομένα, σε μαζικά, κατανεμημένα «μικρά» δεδομένα. Τα συστήματα 6G πρέπει να αξιοποιήσουν τόσο μεγάλα όσο και μικρά σύνολα δεδομένων σε ολόκληρη την υποδομή τους για να βελτιώσουν τις λειτουργίες του δικτύου και να παρέχουν νέες υπηρεσίες. Αυτή η τάση παρακινεί νέες τεχνικές μηχανικής εκμάθησης που υπερβαίνουν τα κλασικά μεγάλα δεδομένα ανάλυσης.

Τάση 5 - Από τα δίκτυα αυτοοργάνωσης (SON) έως τα δίκτυα αυτοσυντηρούμενου: Η SON έχει μόλις ενσωματωθεί σε δίκτυα 4G / 5G λόγω έλλειψης πραγματικής ανάγκης. Ωστόσο, οι τεχνολογίες CRAS και DLT ενθαρρύνουν την άμεση ανάγκη για έξυπνο SON να διαχειρίζεται λειτουργίες δικτύου, πόρους και βελτιστοποίηση. Το 6G θα απαιτήσει μια αλλαγή παραδείγματος από το κλασικό SON, σύμφωνα με το οποίο το δίκτυο απλώς προσαρμόζει τις λειτουργίες του σε συγκεκριμένες καταστάσεις περιβάλλοντος, σε ένα αυτοσυντηρούμενο δίκτυο (SSN) που μπορεί να διατηρήσει τους βασικούς δείκτες απόδοσης (KPIs), σε διαρκή κατάσταση, κάτω από πολύ δυναμικό και περίπλοκο περιβάλλοντα που προέρχονται από τους πλούσιους τομείς εφαρμογών 6G. Τα SSN πρέπει να είναι σε θέση όχι μόνο να προσαρμόζουν τις λειτουργίες τους αλλά και να διατηρούν τη χρήση και τη διαχείριση των πόρων τους (π.χ., με τη συγκομιδή ενέργειας και την εκμετάλλευση του φάσματος) ώστε να διατηρούν αυτόνομα υψηλά, μακροπρόθεσμα KPI. Οι λειτουργίες SSN πρέπει να αξιοποιήσουν την πρόσφατη επανάσταση στις τεχνολογίες AI για να δημιουργήσουν 6G SSN με τεχνολογία AI.

Τάση 6 - Σύγκλιση επικοινωνιών, υπολογιστών, ελέγχου, εντοπισμού και ανίχνευσης (3CLS): Οι τελευταίες πέντε γενιές κυψελοειδών συστημάτων είχαν μια αποκλειστική λειτουργία: ασύρματες επικοινωνίες. Ωστόσο, το 6G θα διαταράξει αυτήν την προϋπόθεση μέσω σύγκλισης (δηλαδή, κοινής και ταυτόχρονης προσφοράς) διαφόρων λειτουργιών που περιλαμβάνουν επικοινωνίες, υπολογιστές [50], έλεγχο, εντοπισμό και ανίχνευση. Οραματιζόμαστε το 6G ως ένα σύστημα πολλαπλών χρήσεων που μπορεί να προσφέρει πολλές υπηρεσίες 3CLS που είναι ιδιαίτερα ελκυστικές και ακόμη και απαραίτητες για εφαρμογές όπως XR, CRAS και DLT όπου η παρακολούθηση, ο έλεγχος, ο εντοπισμός και ο υπολογισμός είναι εγγενές χαρακτηριστικό. Επιπλέον, οι υπηρεσίες ανίχνευσης θα επιτρέψουν στα συστήματα 6G να παρέχουν στους χρήστες μια τρισδιάστατη χαρτογράφηση του ασύρματου περιβάλλοντος σε διαφορετικές συχνότητες. Ως εκ τούτου, τα συστήματα 6G πρέπει να ενσωματώνουν και να διαχειρίζονται στενά τις λειτουργίες 3CLS. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι εξελίξεις που σχετίζονται με προηγούμενες τάσεις θα επιτρέψουν σταδιακά τα συστήματα 6G να παρέχουν άμεσα 3CLS.

Τάση 7 - Τέλος εποχής του Smartphone: Τα smartphone ήταν κεντρικά στα 4G και 5G. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια σημειώθηκε αύξηση στις φορητές συσκευές των οποίων οι λειτουργίες αντικαθιστούν σταδιακά αυτές των smartphone. Αυτή η τάση τροφοδοτείται περαιτέρω από εφαρμογές όπως οι XR και BCI. Οι συσκευές που σχετίζονται με αυτές τις εφαρμογές κυμαίνονται από έξυπνα φορητά έως ενσωματωμένα ακουστικά και έξυπνα εμφυτεύματα σώματος που μπορούν να πάρουν άμεσες αισθητηριακές εισόδους από ανθρώπινες αισθήσεις, τερματίζοντας τα smartphone και ενδεχομένως οδηγώντας την πλειονότητα των περιπτώσεων χρήσης 6G.

Βιβλιογραφία

1. W. Saad, “A Vision of 6G Wireless Systems: Applications, Trends, Technologies, and Open Research Problems”, IEEE, 15 October 2019.
2. S. Mumtaz et. al., “Terahertz communication for vehicular networks,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 66, no. 7, pp. 5617-5625, July 2017.
3. ITU-R M.2370-0, IMT traffic estimates for the years 2020 to 2030, Jul. 2015.
4. S. J. Nawaz, S. K. Sharma, S. Wyne, M. N. Patwary, and M. Asaduzzaman, “Quantum machine learning for 6G communication networks: state-of-the-art and vision for the future,” IEEE Access, vol. 7, pp. 46317-46350, 2019.
5. P. Payaswini , “Challenges and issues in 4G Networks Mobility Management,” Dept of Computer Science, Mangalore University, Karnataka, India, February 2014.
6. M. Giordani et al, “Towards 6G networks: use cases and technologies,” arXiv:1903.12216
7. M. Shafi et al., “5G: a tutorial overview of standards, trials, challenges, deployment, and practice,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 35, no. 6, pp. 1201-1221, Jun. 2017.
8. D. Zhang, Z. Zhou, S. Mumtaz, J. Rodriguez, and T. Sato, “One integrated energy efficiency proposal for 5G IoT communications,” IEEE Internet of Things Journal, vol. 3, no. 6, pp. 1346-1354, Dec. 2016.
9. V. Bobrovs et. Al., “Analysis of Characteristics and Requirements for 5G Mobile Communication Systems”, August 2017.
10. M. Jaber, M. A. Imran, R. Tafazolli, and A. Tukmanov, “5G backhaul challenges and emerging research directions: a survey,” IEEE Access, vol. 4, pp. 1743-1766, Apr. 2016.
11. J. G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S. V. Hanly, A. Lozano, A. C. K. Soong, and J. C. Zhang, “What will 5G be?,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 32, no. 6, pp. 1065-1082, Jun. 2014.

12. W. Saad, M. Bennis, and M. Chen, "A vision of 6G wireless systems: applications, trends, technologies, and open research problems," arXiv:1902.10265
13. K. David and H. Berndt, "6G vision and requirements: is there any need for beyond 5G?," IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 13, no. 3, pp. 72-80, Sept. 2018.
14. Tom Wheeler (FCC Chairman), "The Future of Wireless: a Vision for U.S. Leadership in a 5G World", Washington, D.C, Jun. 20, 2016.
15. Dr. Dhananjay Kalbande, "6G-Next Gen Mobile Wireless Communication Approach", 3rd International conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA), 2019.
16. Lin Zhang, Ying-Chang Liang, "6G Visions: Mobile Ultra-Broadband, Super Internet of Things, and Artificial Intelligence", Invited Paper, China Communications, August 2019.
17. R. Long, H. Guo, L. Zhang, and Y.-C. Liang, "Full-duplex backscatter communications in symbiotic radio systems," IEEE Access, vol. 7, pp. 21597-21608, Feb. 2019.
18. Bai, Y.-Y., Xiao, S. and Wang, B.-Z., 'Applying Weighted Thinned Linear Array and Pattern Reconfigurable Elements to Extend Pattern Scanning Range of Millimetre Wave Microstrip Phased Array', vol. 31, no. 1, pp. 1–6, January 2010.
19. Wang, B.-Z., Xiao, S. and Wang, J., 'Reconfigurable Patch Antenna Design for Wide-band Wireless Communication Systems', IET Microwaves, Antennas and Propagation, vol. 1, no. 2, pp. 414–419, April 2007.
20. Irie, Y., Hara, S., Nakaya, Y. et al., 'A Beam Forming Method for a Reactively Steered Adaptive Array Antenna with RF-MEMS Device', Proc. IEEE Topical Conference on Wireless Communication. Technology, October 2003, pp. 396–397.
21. M. T. Hossan et al., "A new vehicle localization scheme based on combined optical camera communication and photogrammetry," Mobile Information Systems, vol. 2018, March 2018.

22. M. T. Hossan, M. Z. Chowdhury, M. Shahjalal, and Y. M. Jang, "Human bond communication with head-mounted displays: scope, challenges, solutions, and applications," *IEEE Communications Magazine*, vol. 57, no. 2, pp. 26-32, February 2019.
23. Z. Gu, J. Zhang, Y. Ji, L. Bai, and X. Sun, "Network topology reconfiguration for FSO-based fronthaul/backhaul in 5G+ wireless networks," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 69426-69437, 2018.
24. A. Douik, H. Dahrouj, T. Y. Al-Naffouri, and M. Alouini, "Hybrid radio/free-space optical design for next generation backhaul systems," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 64, no. 6, pp. 2563-2577, Jun. 2016.
25. S. Larsen et. al., "Architectural Breakdown of End-to-End Latency in a TCP/IP Network", Intel Corporation, 2009.
26. Daniels, R.C. and Heath, R.W., '60 GHz Wireless Communications: Emerging Requirements and Design Recommendations', *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 2, no. 3, pp. 41–50, 2007.
27. ITU-T Recommendation Y. 2001, General overview of NGN, December 2004.
28. Industry Proposal for a Public Private Partnership (PPP) in Horizon 2020 (Draft Version 2.1), 'Horizon 2020 Advanced 5G Network Infrastructure for Future Internet PPP': www.networks-etc.eu/fileadmin/user_upload/Home/draft-PPP-proposal.pdf.
29. The Zettabyte Era – 'Trends and Analysis': http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/VNI_Hyperconnectivity_WP.html.
30. Cisco, Quality of Service Design Overview http://www.cisco.com/en/US/docs/solutions/Enterprise/WAN_and_MAN/QoS_SRND/QoSIntro.html.
31. Evaristo, J.R., Desouza, K.C. and Hollister, K., 'Centralization Momentum: The Pendulum Swings Back Again', *Communications of the ACM*, vol. 48, no. 2, pp. 66–71.4, February 2005.
32. Hu, H., Bi, J., Feng, T. et al., 'A Survey on New Architecture Design of Internet', *International Conference on Computational and Information Sciences (ICCIS)*, Chengdu, Sichuan, China, October 2011.

33. S. Mohanty, and S. K. Routray, "CE-Driven Trends in Global Communications: Strategic sectors for economic growth and development," *IEEE Consumer Electronics Magazine*, vol. 6, no. 1, pp. 61-65, Jan. 2017.
34. S. K. Routray, and K. P. Sharmila, "4.5G: A Milestone Along the Road to 5G," in *Proc. of 5th IEEE International Conference on Information, Communication and Embedded Systems (ICICES)*, Chennai, Feb 25–26, 2016.
35. S. K. Routray, A. Javali, R. Nymangoudar, and L. Sharma, "Latching on to Keck's Law: Maintaining High Speed Trends in Optical Communication," in *Proc. of 4th IEEE International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, Coimbatore, Jan. 2017.
36. S. K. Routray, and K. P. Sharmila, "Green Initiatives in 5G," in *Proc. of 2nd IEEE International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bioinformatics (AEEICB)*, Chennai, Feb. 2016.
37. M. K. Weldon, *The Future X Network: A Bell Labs Perspective*, CRC Press, 2016.
38. Deslandes, D. and Wu, K., 'Single-Substrate Integration Technique of Planar Circuits and Waveguide Filters', *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 51, no. 2, pp. 593–596,
39. Xu, F. and Wu, K., 'Guided-Wave and Leakage Characteristics of Substrate Integrated Waveguide', *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 53, no. 1, pp. 66–73, 2005.
40. Deslandes, D. and Wu, K., 'Design Consideration and Performance Analysis of Substrate Integrated Waveguide Components', *Proc. 32nd European Microwave Conference*, pp. 1–4, September 2002.
41. Rashid, M.T. and Sebak, A.R., 'Design and Modelling of a Linear Array of Longitudinal Slots on Substrate Integrated Waveguide', *Proc. National Radio Science Conference, 2007. NRSC 2007*, 13–15 March 2007, pp. 1–19.

42. Athanasopoulos, N., Makris, D. and Voudouris, K., 'Millimeter-Wave Passive Front-End Based on Substrate Integrated Waveguide Technology', Proc. Antennas and Propagation Conference (LAPC), 2012, Loughborough, UK, 12–13 November 2012, pp. 1–5.
43. J. M. Cioffi, K. J. Kerpez, C. S. Hwang, and I. Kanellakopoulos, "Terabit DSLs," IEEE Communications Magazine, vol. 56, no. 11, pp. 152-159, Nov. 2018.
44. S. K. Routray, "The Changing Trends of Optical Communication," IEEE Potentials Magazine, vol. 33, no. 1, pp. 28-33, Jan 2014.
45. J. M. Cioffi, K. J. Kerpez, C. S. Hwang, and I. Kanellakopoulos, "Terabit DSLs," IEEE Communications Magazine, vol. 56, no. 11, pp. 152-159, Nov. 2018.
46. S. K. Routray, "The Changing Trends of Optical Communication," IEEE Potentials Magazine, vol. 33, no. 1, pp. 28-33, Jan 2014.
47. M. Katz, M. Matinmikko-Blue, and M. Latva-Aho, "6Genesis flagship program: building the bridges towards 6G-enabled wireless smart society and ecosystem," in proc. Latin American Conference on Communications (LATINCOM), Guadalajara, 2018, pp. 1-9.
48. An Improved Decoding Algorithm for the Davey-MacKay Construction, University of Surrey, Dept. of Computing GU2 7XH Guildford, England.
49. D. Elliott, W. Keen, and L. Miao, "Recent advances in connected and automated vehicles," Journal of Traffic and Transportation Engineering, vol. 6, no. 2, pp. 109-131, Apr. 2019.
50. Y. Golovachev, A. Etinger, G. A. Pinhasi, and Y. Pinhasi, "Propagation properties of sub-millimeter waves in foggy conditions," Journal of Applied Physics, Apr. 2019.
51. Z. Gu, J. Zhang, Y. Ji, L. Bai, and X. Sun, "Network topology reconfiguration for FSO-based fronthaul/backhaul in 5G+ wireless networks," IEEE Access, vol. 6, pp. 69426-69437, 2018.
52. A. Douik, H. Dahrouj, T. Y. Al-Naffouri, and M. Alouini, "Hybrid radio/free-space optical design for next generation backhaul systems," IEEE Transactions on Communications, vol. 64, no. 6, pp. 2563-2577, Jun. 2016.
53. M. Giordani, Towards 6G Networks: Use Cases and Technologies, 4 Feb. 2020.

54. H. Wang, W. Wang, X. Chen, and Z. Zhang, "Wireless information and energy transfer in interference aware massive MIMO systems," in Proc. IEEE Global Communications Conference, Austin, TX, 2014, pp. 2556-2561.
55. T. Nagatsuma, G. Ducournan, C. C. Renaud, Advances in terahertz communications accelerated by photonics, *Journal Nature Photonics*, 2016, 10(6): 371-379.
56. V. Petrov, A. Pyattaev, D. Moltchanov and Y. Koucheryavy, Terahertz band communications: Applications, research challenges, and standardization activities, 2016 8th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), Lisbon, 2016, pp. 183-190.
57. M. Chen et al., "Artificial Neural Networks-Based Machine Learning for Wireless Networks: A Tutorial," *IEEE Commun. Surveys & Tutorials*, to appear, 2019.
58. A. Taleb Zadeh Kasgari, W. Saad, and M. Debbah, "Human-in-the-Loop Wireless Communications: Machine Learning and Brain-Aware Resource Management," *IEEE Trans. Commun.*, to appear, 2019.
59. J. Park et al., "Wireless Network Intelligence at the Edge," arXiv preprint arXiv:1812.02858, Dec. 2018.
60. Ms. A. Gawas et. Al., "An Overview on Evolution of Mobile Wireless Communication Networks: 1G-6G", *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, Volume: 3 Issue: 5, May 2015.