



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ενσωμάτωση IoT σε Δίκτυα 6G – Προκλήσεις και Ευκαιρίες

Καρατζιά Γεωργία-Μαρία

Επιβλέπων: Τσορμπατζόγλου Ανδρέας
Επίκουρος Καθηγητής

Άρτα , Απρίλιος, 2025

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επόμενη γενιά δικτύων κινητής τηλεφωνίας, γνωστή ως 6G, αναμένεται να φέρει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο οι συσκευές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) συνδέονται και αλληλεπιδρούν. Με ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων που θα ξεπερνούν το 1 Tbps, εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση (κάτω από 1 ms) και προηγμένες τεχνολογίες όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) και τα δίκτυα terahertz (THz), το 6G θα προσφέρει ένα νέο επίπεδο συνδεσιμότητας για τις IoT εφαρμογές. Ωστόσο, η ενσωμάτωση του IoT σε δίκτυα 6G παρουσιάζει προκλήσεις, όπως η διαχείριση τεράστιου όγκου δεδομένων, η ενεργειακή αποδοτικότητα των συσκευών, οι αυξημένες απαιτήσεις ασφάλειας και η διαλειτουργικότητα μεταξύ ετερογενών δικτύων. Παράλληλα, το 6G ανοίγει νέες προοπτικές για εφαρμογές όπως οι έξυπνες πόλεις, η προηγμένη ρομποτική, η τηλεϊατρική και οι αυτόνομες μεταφορές, βελτιώνοντας σημαντικά την ποιότητα ζωής και την αποτελεσματικότητα των βιομηχανιών. Η παρούσα εργασία εξετάζει τις βασικές τεχνολογίες που θα υποστηρίξουν την ενσωμάτωση του IoT στα δίκτυα 6G, αναλύει τις προκλήσεις που προκύπτουν και προτείνει πιθανές λύσεις. Μέσω αυτής της ανάλυσης, αποδεικνύεται ότι η επιτυχής σύγκλιση IoT και 6G θα καθορίσει το μέλλον της ψηφιακής συνδεσιμότητας, παρέχοντας καινοτόμες λύσεις σε παγκόσμια κλίμακα.

Λέξεις-κλειδιά: IoT, Δίκτυα 6G, Συνδεσιμότητα, Έξυπνες Πόλεις

ABSTRACT

The next generation of mobile networks, known as 6G, is expected to revolutionize the way Internet of Things (IoT) devices connect and interact. With data transmission speeds exceeding 1 Tbps, ultra-low latency (below 1 ms), and advanced technologies such as Artificial Intelligence (AI) and terahertz (THz) networks, 6G will provide a new level of connectivity for IoT applications. However, the integration of IoT into 6G networks presents challenges such as managing massive amounts of data, the energy efficiency of devices, increased security requirements, and interoperability between heterogeneous networks. At the same time, 6G opens new prospects for applications such as smart cities, advanced robotics, telemedicine, and autonomous transportation, significantly improving the quality of life and the efficiency of industries. This paper examines the key technologies that will support the integration of IoT into 6G networks, analyzes the challenges that arise, and proposes potential solutions. Through this analysis, it is demonstrated that the successful convergence of IoT and 6G will define the future of digital connectivity, providing innovative solutions on a global scale.

Keywords: IoT , 6G Networks, Connectivity, Smart Cities

Η εργασία αυτή αφιερώνεται στην οικογένειά μου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον Επίκουρο Καθηγητή Ανδρέα Τσορμπατζόγλου, επιβλέποντάς μου, για την καθοδήγηση, την υπομονή και την πολύτιμη υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της πτυχιακής εργασίας. Ευχαριστώ επίσης όλους τους καθηγητές και συνεργάτες του τμήματος πληροφορικής, για τις γνώσεις και τις εμπειρίες που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζω στην οικογένειά μου και στους φίλους μου για την κατανόηση, την ενθάρρυνση και την υποστήριξη σε όλη αυτή την πορεία.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο «Ενσωμάτωση IoT σε Δίκτυα 6G – Προκλήσεις και Ευκαιρίες» εκπονήθηκε στο Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, στα πλαίσια των υποχρεώσεών μου του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών. Η εκπόνηση της εργασίας έγινε υπό την καθοδήγηση του Επίκουρου Καθηγητή Τσορμπατζόγλου Ανδρέα, και έχει ως σκοπό τη μελέτη της ενσωμάτωσης των συσκευών Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στα δίκτυα 6ης γενιάς, τα οποία βρίσκονται ακόμη υπό ανάπτυξη. Η εργασία εστιάζει στο όραμα και την αρχιτεκτονική των δικτύων 6G, αναλύοντας ταυτόχρονα τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που προκύπτουν από τη συνύπαρξη IoT και 6G, με στόχο την κατανόηση των απαιτήσεων και των δυνατοτήτων που θα διαμορφώσουν το μέλλον των τηλεπικοινωνιών και των έξυπνων διασυνδεδεμένων συστημάτων.

Contents

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ABSTRACT.....	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	6
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
2 Διαδίκτυο των πραγμάτων IoT	12
2.1 Ορισμός IoT.....	12
2.2 Χαρακτηριστικά του IoT.....	14
2.3 Τομείς εφαρμογής IoT.....	15
2.3.1 Έξυπνες πόλεις.....	16
2.3.2 Έξυπνη διαβίωση	17
2.3.3 Έξυπνο περιβάλλον	18
2.3.4 Έξυπνη βιομηχανία	19
2.3.5 Έξυπνη υγεία	19
2.3.6 Έξυπνη ενέργεια	20
2.4 Πλεονεκτήματα IoT	21
2.5 Μειονεκτήματα IoT.....	21
3 Το σύστημα 6G.....	22
3.1 Εξέλιξη δικτύων κινητής τηλεφωνίας	22
3.2 Η εμφάνιση του 6G και κύριες διαφορές από το 5G	31
3.3 Χαρακτηριστικά του 6G.....	35
3.4 Εφαρμογές του 6G	36
3.4.1 Το Διαδίκτυο των Πάντων IoE (Internet of Everything).....	36
3.4.2 Επαυξημένη Πραγματικότητα και Εικονική Πραγματικότητα (XR/VR).....	39
3.4.3 Ολογραφική Τηλεπαρουσία (HolographicTelepresence, HT).....	41
3.4.4 Εξ αποστάσεως ιατρική και χειρουργική.....	43
3.4.5 Μη επανδρωμένα αεροσκάφη UAVs.....	44
4 Συμπεράσματα – Ευκαιρίες – Προκλήσεις.....	46
4.1 Συμπεράσματα	46
4.2 Ευκαιρίες από την ενσωμάτωση IoT σε δίκτυα 6G	47
4.3 Προκλήσεις.....	48

ΕΠΙΛΟΓΟΣ	54
5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	55

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1: Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things) [5].....	11
Εικόνα 2-1: Απεικόνιση του Internet of Things [5].....	13
Εικόνα 2-2: Εφαρμογές IoT [6]	15
Εικόνα 2-3: Απεικόνιση μιας έξυπνης πόλης που βασίζεται στο IoT [6]	17
Εικόνα 3-1 εξέλιξη των δικτύων επικοινωνίας [13]	24
Εικόνα 3-2: Αλληλεπίδραση 6G και IoT [13]	30
Εικόνα 3-3: Σύνοψη ανάπτυξης ασύρματων τεχνολογιών από το 1G μέχρι το 6G [12]	31
Εικόνα 3-4: Αλλαγή της φύσης των κινητών επικοινωνιών με την πάροδο του χρόνου [3]	33
Εικόνα 3-5: Διαδίκτυο των Πάντων - Internet of Everything [3].....	36
Εικόνα 3-6: Αναδυόμενες εφαρμογές 6G.....	45

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εξελίξεις στην τεχνολογία υπήρξαν πάντοτε ένας καθοριστικός παράγοντας που σηματοδοτούσε σημαντικές αλλαγές στην πορεία της ανθρωπότητας με πολλαπλές επιδράσεις σε μία σειρά τομέων της ζωής των ανθρώπων. Οι παλαιότερες γενιές που είναι ακόμα κοινωνικά και οικονομικά ενεργές έχουν γίνει μάρτυρες μίας σειράς εξελίξεων οι οποίες επηρέασαν καθοριστικά την καθημερινότητά μας. Αρκεί να αναλογιστεί κανείς ότι η επανάσταση των προσωπικών υπολογιστών άρχισε τη δεκαετία του 1980 με την εξέλιξή τους, αλλά και γενικότερα την εξέλιξη της τεχνολογίας της πληροφορικής, να κινείται με ρυθμούς γεωμετρικής προόδου μέσα σε διάστημα τεσσάρων δεκαετιών. Η εμφάνιση του διαδικτύου γκρέμισε τα στεγανά στην πληροφόρηση και στη γνώση, ενώ η εξάπλωση των κινητών τηλεφώνων και πιο πρόσφατα των έξυπνων κινητών τηλεφώνων έφερε επανάσταση στον τρόπο επικοινωνίας και κοινωνικής δικτύωσης.[1]

Οι εξελίξεις στην τεχνολογία είναι ραγδαίες σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης δημιουργίας, από την ιατρική, την τεχνολογία τροφίμων έως τη γενετική, τη διαστημική τεχνολογία, την τεχνολογία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τόσους άλλους τομείς που κάποιος ειδικότερος θα μπορούσε να μνημονεύσει.

Μπορεί η εξέλιξη της τεχνολογίας να εμφανίζεται σε διάφορους τομείς της ανθρώπινης ζωής με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά και εφαρμογές, οι επιπτώσεις της όμως έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά. Καταρχάς, παρατηρούμε ότι ο ρυθμός εξέλιξης της τεχνολογίας επιταχύνεται θεαματικά, κυριολεκτικά με ρυθμούς γεωμετρικής προόδου. Έπειτα παρατηρούμε ότι οι εξελίξεις στην τεχνολογία επηρεάζουν σημαντικά την οικονομία είτε από την πλευρά της παραγωγής (με την αύξηση της παραγωγικότητας) είτε μέσω των αλλαγών στην καταναλωτική συμπεριφορά. Επιπλέον επηρεάζονται οι κοινωνικές σχέσεις και συμπεριφορές και μέσω της παγκοσμιοποίησης υπάρχουν σοβαρές ανακατατάξεις και σε επίπεδο πολιτικών δομών και κρατικών καθεστώτων. Οι εξελίξεις που δημιουργούνται από την τεχνολογία απαιτούν και γρήγορα αντανakλαστικά από τις ρυθμιστικές αρχές και τους νομοθέτες. Διαχρονικά, ωστόσο, παρατηρούμε ότι υπάρχει μεγάλη υστέρηση από την πλευρά των ρυθμιστικών αρχών στην αντιμετώπιση των θεμάτων που προκύπτουν από τις ραγδαίες εξελίξεις στην τεχνολογία.[1]



Εικόνα 1-1:Διαδίκτυο των πραγμάτων (InternetofThings)[5]

Ταυτόχρονα, η εξέλιξη των ασύρματων δικτύων κατευθύνεται προς την 6η γενιά (6G), η οποία έρχεται να ξεπεράσει τους περιορισμούς των προηγούμενων τεχνολογιών, προσφέροντας υπερ-υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση (latency), αυξημένη ενεργειακή αποδοτικότητα και ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης. Η τεχνολογία 6G αναμένεται να προσφέρει την απαιτούμενη υψηλή αξιοπιστία, χαμηλό λανθάνοντα χρόνο και υψηλούς ρυθμούς δεδομένων για τις ετερογενείς συσκευές και εφαρμογές του μέλλοντος. Το 6G στοχεύει στην υποστήριξη αναδυόμενων εφαρμογών, συνδέοντας πολυάριθμες συσκευές με διαφορετικές απαιτήσεις υπολογιστικής ισχύος. Υπόσχεται υψηλότερο εύρος ζώνης, καλύτερη διαχείριση ενέργειας, πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο σε ισχυρούς υπολογιστικούς πόρους και άφθονα μέσα αποθήκευσης. Η συνύπαρξη αυτών των δύο τεχνολογιών, το IoT και τα δίκτυα 6G, αναμένεται να αποτελέσει το θεμέλιο για την υλοποίηση ενός πλήρως διασυνδεδεμένου, αυτόνομου και "έξυπνου" κόσμου.[3].

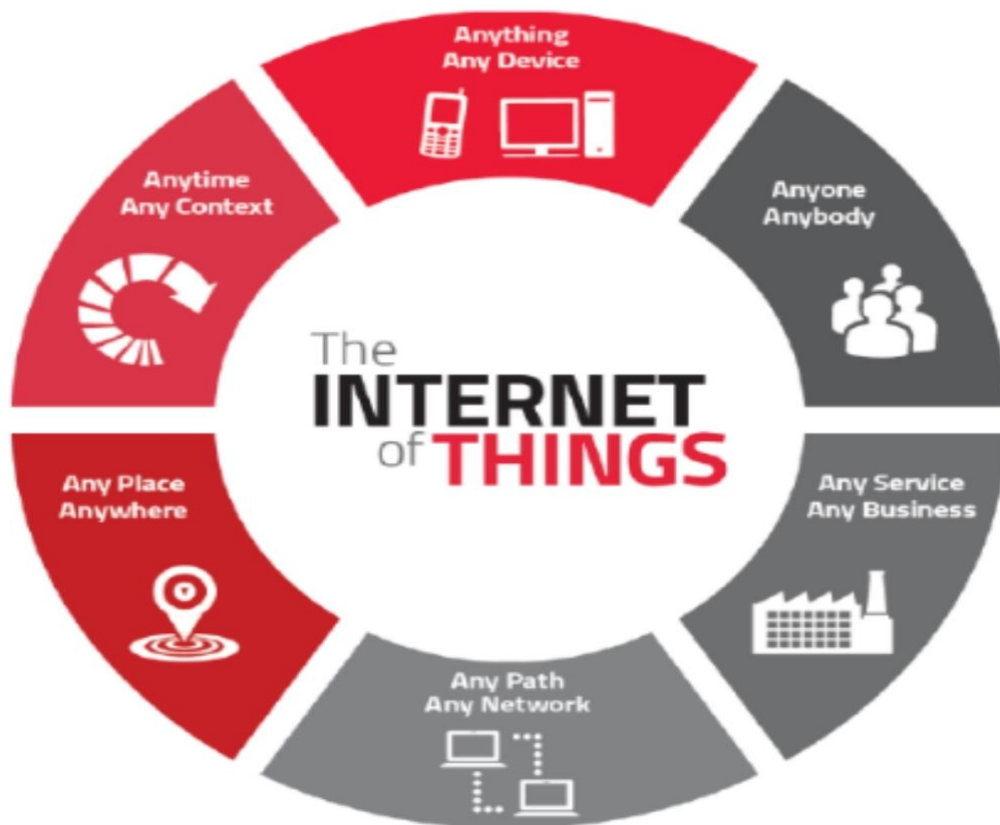
Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να εξετάσει την ενσωμάτωση του IoT στα δίκτυα 6G, εστιάζοντας στις προκλήσεις που προκύπτουν, καθώς και στις ευκαιρίες που αναδύονται από αυτή τη σύγκλιση, τόσο σε τεχνολογικό όσο και σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο.

2 Διαδίκτυο των πραγμάτων IoT

2.1 Ορισμός IoT

Ο όρος «Διαδίκτυο των πραγμάτων» (IoT) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1999 από το βρετανό πρωτοπόρο της τεχνολογίας Kevin Ashton για να περιγράψει ένα σύστημα στο οποίο αντικείμενα του φυσικού κόσμου θα μπορούσαν μέσω αισθητήρων να συνδεθούν με το Διαδίκτυο. Ο Ashton δημιούργησε τον όρο για να περιγράψει την ισχύ των συστημάτων ταυτοποίησης με τη βοήθεια ραδιοσυχνοτήτων (RFID) που χρησιμοποιούνται σε εταιρικές εφοδιαστικές αλυσίδες, προκειμένου να μετρήσουν και να εντοπίσουν προϊόντα χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης.

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT) είναι ένα συνεχώς αναπτυσσόμενο οικοσύστημα που ενσωματώνει λογισμικό, υλικό, φυσικά αντικείμενα και υπολογιστικές συσκευές για επικοινωνία, έλεγχο, συλλογή και ανταλλαγή δεδομένων, παρέχοντας ένα πλαίσιο για τη διευκόλυνση της απρόσκοπτης αλληλεπίδρασης μεταξύ ανθρώπων και μιας ποικιλίας φυσικών και εικονικών “πραγμάτων”. Ο όρος Internet of Things αναφέρεται στο τεράστιο δίκτυο “έξυπνων” πραγμάτων, τα οποία γεννήθηκαν ως αποτέλεσμα της προσθήκης συνδεσιμότητας σε συσκευές πέρα από τις παραδοσιακές υπολογιστικές συσκευές. Εδώ και λίγα χρόνια, έχει γίνει μια από τις σημαντικότερες τεχνολογίες του 21ου αιώνα περιλαμβάνοντας δισεκατομμύρια συσκευές και αισθητήρες συνδεδεμένους στο διαδίκτυο. Σήμερα το IoT χρησιμοποιείται εκτενώς σε βιομηχανικά περιβάλλοντα (IIoT) και είναι συνώνυμο της Βιομηχανίας 4.0.[5][6]



Εικόνα 2-1: Απεικόνιση του InternetofThings [5]

Με τους πιο γενικούς όρους, το Διαδίκτυο των πραγμάτων περιλαμβάνει οποιοδήποτε αντικείμενο – ή «πράγμα» – που μπορεί να συνδεθεί ασύρματα σε ένα δίκτυο Διαδικτύου. Σήμερα, όμως, το IoT έχει καταλήξει πιο συγκεκριμένα να σημαίνει συνδεδεμένα πράγματα που είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες, λογισμικό και άλλες τεχνολογίες που τους επιτρέπουν να μεταδίδουν και να λαμβάνουν δεδομένα – με σκοπό την ενημέρωση των χρηστών ή την αυτοματοποίηση μιας δράσης(Σχήμα 2). Παραδοσιακά, η συνδεσιμότητα επιτεύχθηκε κυρίως μέσω Wi-Fi, ενώ σήμερα το 5G και άλλοι τύποι πλατφορμών δικτύου προσφέρουν την υπόσχεση χειρισμού τεράστιων συνόλων δεδομένων, σχεδόν οπουδήποτε, με ταχύτητα και αξιοπιστία.[5][6]

2.2 Χαρακτηριστικά του IoT

Το Internet of Things (IoT) διαθέτει μια σειρά από θεμελιώδη χαρακτηριστικά που το καθιστούν μοναδικό και απαραίτητο για τη σύγχρονη τεχνολογική ανάπτυξη. Αρχικά, παρέχει υπηρεσίες που σχετίζονται με τα φυσικά πράγματα, διατηρώντας τη σημασιολογική συνοχή που υπάρχει μεταξύ των φυσικών και των εικονικών πραγμάτων, γεγονός που θα οδηγήσει στην αλλαγή, τόσο των τεχνολογιών του φυσικού κόσμου όσο, και του κόσμου της πληροφορίας. Η Διασυνδεσιμότητα είναι επίσης κρίσιμο χαρακτηριστικό του IoT, διότι οποιαδήποτε συσκευή (πράγμα) μπορεί να διασυνδεθεί με την παγκόσμια υποδομή πληροφόρησης και επικοινωνίας ενισχύοντας την παγκόσμια συνεργασία και ανταλλαγή δεδομένων.

Επιπλέον ένα ακόμη θεμελιώδες χαρακτηριστικό του IoT είναι η ετερογένεια. Οι συσκευές στο Διαδίκτυο είναι ετερογενείς, καθώς βασίζονται σε διαφορετικές πλατφόρμες και δίκτυα. Μπορούν, όμως, να αλληλεπιδρούν με άλλες συσκευές ή πλατφόρμες υπηρεσιών, μέσω διαφορετικών δικτύων.

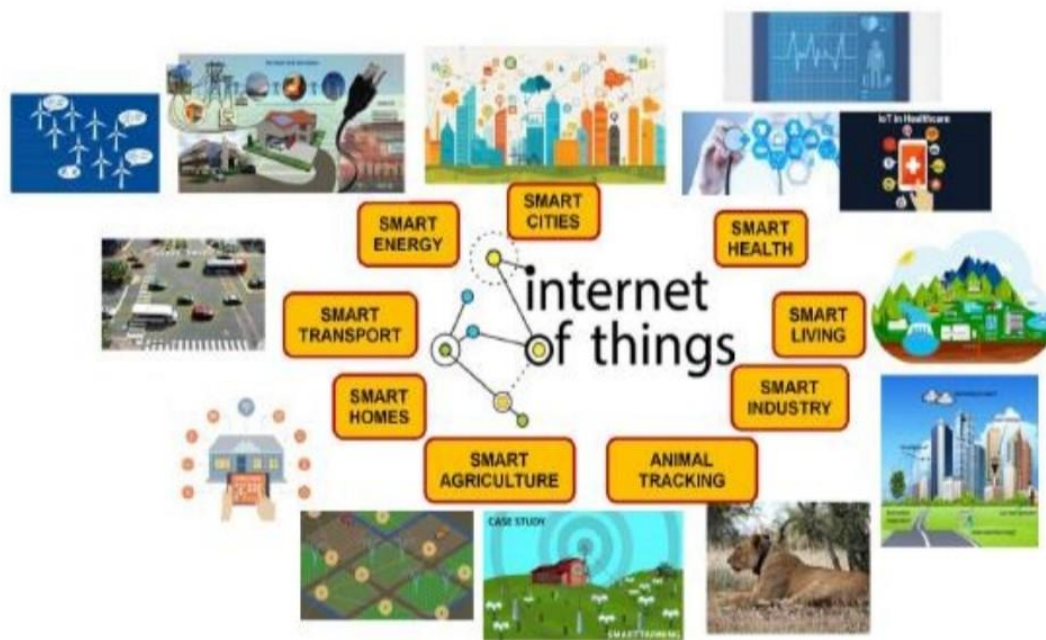
Οι δυναμικές αλλαγές είναι αναπόσπαστο στοιχείο του IoT, αφού η κατάσταση των συσκευών αλλάζει δυναμικά π.χ. είναι ενεργές ή απενεργοποιημένες, συνδέονται ή αποσυνδέονται, αλλάζει η θέση και η ταχύτητά τους. Επιπλέον, ο αριθμός των διασυνδεδεμένων συσκευών μπορεί να αλλάξει δυναμικά, διαμορφώνοντας ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον.

Εν συνεχεία, η τεράστια κλίμακα χρηστών που αναμένεται να συμμετέχουν στο IoT καθιστά απαραίτητη τη διαχείριση και την ερμηνεία των παραγόμενων δεδομένων. Ο αριθμός συσκευών, που οι χρήστες διαχειρίζονται και επικοινωνούν μεταξύ τους, μέσω IoT, θα είναι μεγαλύτερος από το πλήθος των συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο τρέχον Διαδίκτυο. Επιβάλλεται ασφαλής σχεδιασμός, τόσο για τους δημιουργούς, όσο και για τους παραλήπτες του IoT και ασφάλεια προσωπικών δεδομένων και ιδιωτικής ζωής. Η ασφάλεια πρέπει να κλιμακωθεί ανάμεσα στις συσκευές, τα δίκτυα και τα δεδομένα που διακινούνται.

Τελευταίο αλλά όχι ασήμαντο χαρακτηριστικό είναι η συνδεσιμότητα. Η συνδεσιμότητα αφορά, τόσο την προσβασιμότητα, όσο και τη συμβατότητα του δικτύου. Η προσβασιμότητα επιτρέπει τη σύνδεση σε ένα δίκτυο, ενώ η συμβατότητα παρέχει την κοινή δυνατότητα δημιουργίας και χρήσης δεδομένων του δικτύου.[5]

2.3 Τομείς εφαρμογής IoT

Οι πιθανές εφαρμογές του IoT είναι πολυάριθμες και ποικίλες, διεισδύουν σε όλες σχεδόν τις περιοχές της καθημερινής ζωής των ατόμων, των επιχειρήσεων και της κοινωνίας στο σύνολό της. Μπορούμε να συνδέσουμε πολλά ακόμα σε έξυπνες συσκευές πέρα από μόνο καφετιέρες. Υπάρχουν πολλά σενάρια για προσωπική και επαγγελματική χρήση όπου το Διαδίκτυο των πραγμάτων μπορεί να ενισχύσει τις υπάρχουσες λύσεις ή ακόμη και να δημιουργήσει νέες προσεγγίσεις. Στο σχήμα 3 απεικονίζονται οι πιθανές εφαρμογές του IoT. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων καλύπτει "έξυπνα" περιβάλλοντα / χώρους σε τομείς, όπως μεταφορές, κτήριο, πόλη, lifestyle, λιανικό εμπόριο, γεωργία, εργοστάσιο, εφοδιαστική αλυσίδα, έκτακτη ανάγκη, υγεία, αλληλεπίδραση χρηστών, πολιτισμός και τουρισμός, περιβάλλον και ενέργεια.[6][10]



Εικόνα 2-2: Εφαρμογές IoT [6]

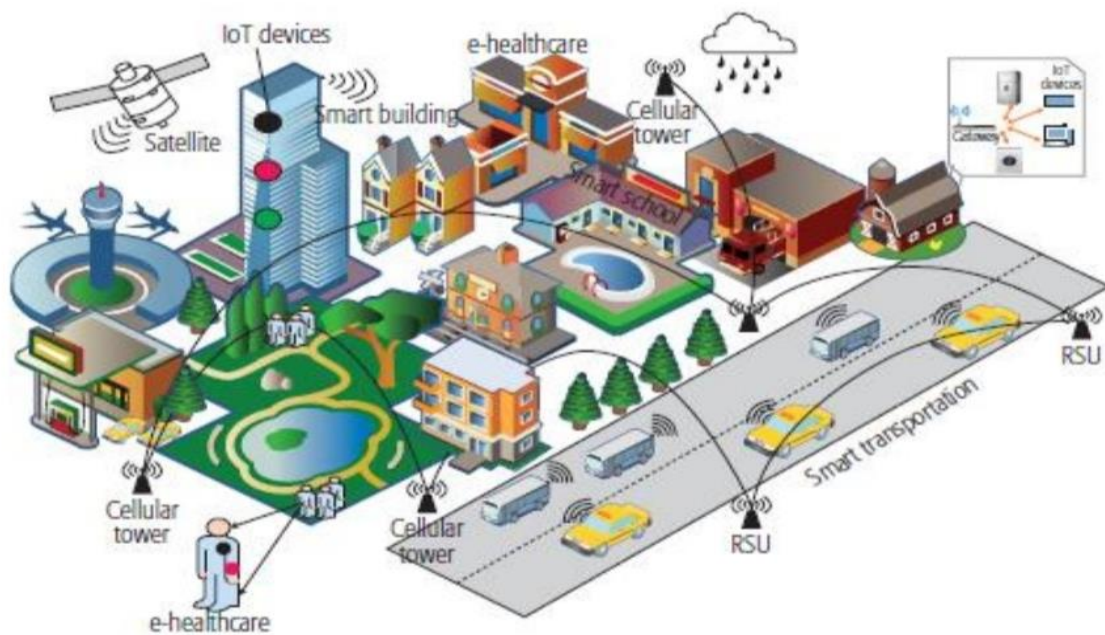
2.3.1 Έξυπνες πόλεις

Οι έξυπνες πόλεις αξιοποιούν τις σύγχρονες τεχνολογίες για να γίνουν πιο λειτουργικές, ασφαλείς και αποδοτικές για τους κατοίκους τους. Μέσα από αισθητήρες, δίκτυα δεδομένων και αυτοματοποιημένα συστήματα, βελτιώνονται πολλοί τομείς της καθημερινής ζωής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η παρακολούθηση της κατάστασης των δομικών υλικών κτηρίων, γεφυρών και ιστορικών μνημείων με τη χρήση ειδικών αισθητήρων που καταγράφουν δονήσεις και φθορές, ώστε να εντοπίζονται έγκαιρα τυχόν προβλήματα και να μειώνεται ο κίνδυνος καταρρεύσεων. Ο φωτισμός στους δρόμους μπορεί να ρυθμίζεται αυτόματα ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν αλλά και την εποχή του χρόνου, προσφέροντας καλύτερη ορατότητα και εξοικονόμηση ενέργειας.

Επιπρόσθετα, η ψηφιακή παρακολούθηση της πόλης, μέσω καμερών, η διαχείριση συστημάτων πυρασφάλειας και δημοσίων ανακοινώσεων συμβάλλουν στην προστασία των πολιτών και στην άμεση αντιμετώπιση έκτακτων περιστατικών. Στον τομέα των μεταφορών, τα έξυπνα δίκτυα ταχείας κυκλοφορίας περιλαμβάνουν συστήματα πληροφόρησης των οδηγών με προειδοποιητικά μηνύματα και εκτροπές της κυκλοφορίας, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες, καθώς και αναπάντεχα γεγονότα, όπως τροχαία ατυχήματα ή κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Επιπλέον η στάθμευση γίνεται πιο εύκολη χάρη σε αισθητήρες που παρακολουθούν, σε πραγματικό χρόνο τη διαθεσιμότητα θέσεων στάθμευσης στην πόλη, καθιστώντας τους κατοίκους ικανούς να εντοπίζουν και να εξασφαλίζουν την πλησιέστερη διαθέσιμη θέση. Τέλος στη διαχείριση αποβλήτων είναι πολύ σημαντική αντίληψη των ποσοτήτων σκουπιδιών που περιέχουν οι κάδοι απορριμμάτων για τη βελτίωση των διαδρομών συλλογής τους. Οι κάδοι απορριμμάτων και ανακύκλωσης εφοδιάζονται με αισθητήρες που επιτρέπουν στο κέντρο ελέγχου συγκομιδής να γνωρίζει το επίπεδο φορτίου των κάδων και να καθορίζει τη βέλτιστη διαχείριση του στόλου των απορριμματοφόρων.[6]

Στο παρακάτω σχήμα 4 απεικονίζεται πως θα μπορούσε να είναι μια έξυπνη πόλη με την εφαρμογή του IoT. Περιλαμβάνονται εφαρμογές όπως έξυπνα κτήρια και υποδομές, έξυπνη μετακίνηση, έξυπνη υγεία, συστήματα επικοινωνίας καθώς και αισθητήρες για βροχόπτωση και περιβαλλοντικές αλλαγές.



Εικόνα 2-3: Απεικόνιση μιας έξυπνης πόλης που βασίζεται στο IoT [6]

2.3.2 Έξυπνη διαβίωση

Από τους βασικότερους τομείς εφαρμογής του Internet of Things, αποτελεί η έξυπνη διαβίωση καθώς αξιοποιεί συνδεδεμένες συσκευές και αισθητήρες για να βελτιώσει την ποιότητα ζωής των πολιτών στη καθημερινότητά τους. Μέσω συσκευών τηλεχειρισμού οι χρήστες μπορούν με εξ αποστάσεως ενεργοποίηση και απενεργοποίηση ηλεκτρικών συσκευών να αποφύγουν τυχόν ατυχήματα και να εξοικονομούν ενέργεια. Παράλληλα αισθητήρες καιρού συλλέγουν δεδομένα για υγρασία, θερμοκρασία, πίεση, ταχύτητα ανέμου ή και για βροχόπτωση και να τα μεταφέρουν σε πραγματικό χρόνο, ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις.

Τα έξυπνα σπίτια γίνονται όλο και πιο δημοφιλή, οι συσκευές IoT αποτελούν τη βάση αυτών των συστημάτων. Οι συσκευές IoT χρησιμοποιούνται στα σπίτια για τη βελτίωση της ασφάλειας, τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και τη γενικότερη βελτίωση της ποιότητας ζωής. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της κατάστασης του σπιτιού (θερμοκρασία, υγρασία), την παρακολούθηση της θέσης των μελών της οικογένειας, καθώς και για τον έλεγχο της λειτουργίας των οικιακών συσκευών. Επιπλέον, οι συσκευές IoT μπορούν να παρέχουν δεδομένα σχετικά με την ποιότητα του αέρα, και να ενεργοποιούν αφυγραντήρες ή φίλτρα αέρα

μέχρι η ποιότητα να είναι στο επιθυμητό επίπεδο που έχει προδιαγράψει ο ιδιοκτήτης αυτόματα. Στο μέλλον, οι συσκευές IoT θα γίνουν αναπόσπαστο μέρος του έξυπνου σπιτιού και θα χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ακόμη μεγαλύτερης ποικιλίας οικιακών συσκευών και συστημάτων.

Άρα στα πλαίσια του "έξυπνου σπιτιού", το IoT επιτρέπει, μέσω εφαρμογών Smartphone, τον απομακρυσμένο έλεγχο οικιακών συσκευών όπως ψυγεία με οθόνη LCD που εμφανίζουν το περιεχόμενό τους, τρόφιμα που πρόκειται να λήξουν, αγαθά που πρέπει να αγοραστούν. Πλυντήρια ρούχων που επιτρέπουν την απομακρυσμένη παρακολούθηση της πλύσης. Ηλεκτρική κουζίνα που επιτρέπει τον απομακρυσμένο έλεγχο ρύθμισης της θερμοκρασίας και παρακολούθησης της λειτουργίας αυτοκαθαρισμού του φούρνου. Επιπλέον η ασφάλεια ενισχύεται μέσα από παρακολούθηση καμερών και συστημάτων συναγερμού στο σπίτι που ειδοποιούν για ξεχασμένα ανοιχτά παράθυρα και θύρες για την πρόληψη εισβολέων, και κάνουν τους ανθρώπους να αισθάνονται πιο ασφαλείς στην καθημερινή τους ζωή. Τέλος, μέσω της παρακολούθησης κατανάλωσης ενέργειας και νερού, οι χρήστες λαμβάνουν συμβουλές σχετικά με τον τρόπο εξοικονόμησης φυσικών πόρων και χρημάτων.[6][11]

2.3.3 Έξυπνο περιβάλλον

Το έξυπνο περιβάλλον αποτελεί έναν σημαντικό τομέα εφαρμογής του Internet of Things (IoT), συμβάλλοντας στην προστασία του φυσικού κόσμου μέσω της συνεχούς παρακολούθησης και της έγκαιρης πρόληψης περιβαλλοντικών κινδύνων. Με τη χρήση αισθητήρων και δικτύων δεδομένων, παρακολουθείται η ατμοσφαιρική ρύπανση με έλεγχο των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τα εργοστάσια, οχήματα καθώς και έλεγχο των τοξικών αερίων που παράγονται σε αγροκτήματα.

Η τεχνολογία χρησιμοποιείται επίσης για την έγκαιρη ανίχνευση δασικών πυρκαγιών, μέσω παρακολούθησης των αερίων καύσης και πρόγνωσης συνθηκών πυρκαγιάς με στόχο τον καθορισμό ζωνών υψηλού κινδύνου. Παράλληλα η παρακολούθηση και καταμέτρηση καιρικών συνθηκών όπως η υγρασία, θερμοκρασία, πίεση, ταχύτητα ανέμου και η βροχή προσφέρουν πολύτιμα δεδομένα για περιβαλλοντική ανάλυση και έγκαιρη πρόβλεψη σεισμών. Επιπλέον, η εφαρμογή του Internet of Things επιτρέπει την αξιολόγηση της ποιότητας νερού, μέσω μελετών

της καταλληλότητας των υδάτων σε ποτάμια και θάλασσες για την τελική επιλογή πόσιμου νερού, καθώς και παρακολούθηση των διακυμάνσεων της στάθμης των υδάτων σε ποτάμια, φράγματα και δεξαμενές κατά τις βροχερές ημέρες για αποφυγή υπερχειλίσής τους. Τέλος, η προστασία της άγριας πανίδας ενισχύεται με παρακολούθηση και εντοπισμό αγρίων ζώων μέσω των περιλαίμιών τους χρησιμοποιώντας στοιχεία GPS / GSM και μετάδοση των συντεταγμένων τους, μέσω SMS, συμβάλλοντας έτσι στη διατήρησή τους.[6]

2.3.4 Έξυπνη βιομηχανία

Η έξυπνη βιομηχανία αξιοποιεί τις τεχνολογίες του Internet of Things (IoT) για να ενισχύσει την ασφάλεια, την αποδοτικότητα και τη συντήρηση στον βιομηχανικό τομέα. Μέσω αισθητήρων και συστημάτων παρακολούθησης, είναι δυνατή η ανίχνευση επιπέδων αερίων και διαρροών σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, σε χημικά εργοστάσια και στο εσωτερικό ορυχείων προλαμβάνοντας ατυχήματα και προστατεύοντας ανθρώπινες ζωές και εξοπλισμό.

Η παρακολούθηση των τοξικών αερίων και των επιπέδων οξυγόνου στο εσωτερικό των χημικών εγκαταστάσεων, εξασφαλίζει την ασφάλεια τόσο των εργαζομένων όσο και των εμπορευμάτων, ενώ η μέτρηση των επιπέδων νερού, πετρελαίου και αερίου σε δεξαμενές και στέρνες εξασφαλίζει τη σωστή διαχείριση των πόρων και τη συνεχή λειτουργία της παραγωγικής διαδικασίας. Παράλληλα οι πρόωρες προβλέψεις δυσλειτουργιών του εξοπλισμού και η επιδιόρθωσή τους μπορούν να προγραμματιστούν αυτόματα, πριν από την εμφάνισή τους, εγκαθιστώντας αισθητήρες στον εξοπλισμό για την παρακολούθηση και την αποστολή αναφορών λειτουργίας. Με αυτόν τον τρόπο, οι βιομηχανίες λειτουργούν πιο έξυπνα, οικονομικά και με μεγαλύτερη ασφάλεια. [6]

2.3.5 Έξυπνη υγεία

Η έξυπνη υγεία αποτελεί έναν από τους πλέον καινοτόμους τομείς εφαρμογής του IoT, καθώς επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση και φροντίδα της ανθρώπινης υγείας, ενισχύοντας τόσο την πρόληψη όσο και την καθημερινή φροντίδα ασθενών. Με τη χρήση αισθητήρων, γίνεται δυνατή η συνεχής παρακολούθηση της

κατάστασης ασθενών στα νοσοκομεία, αλλά και ηλικιωμένων ή ατόμων με ειδικές ανάγκες που διαμένουν στο σπίτι, παρέχοντας άμεσες ειδοποιήσεις σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Ειδικά συστήματα ανίχνευσης πτώσεων συμβάλλουν στην άμεση αντίδραση σε περιστατικά που μπορεί να απειλήσουν τη ζωή, ενώ η αποθήκευση ευαίσθητων ιατρικών προϊόντων, όπως εμβόλια και φάρμακα, γίνεται με μεγαλύτερη ασφάλεια, χάρη στον συνεχή έλεγχο των συνθηκών θερμοκρασίας σε ιατρικά ψυγεία.

Επιπλέον, το IoT βρίσκει εφαρμογή και σε πιο καθημερινές πτυχές της υγείας, όπως η οδοντιατρική, μέσω "έξυπνων" οδοντόβουρτσων που συνδέονται με εφαρμογές για smartphone και παρέχουν αναλυτικά δεδομένα για τις συνήθειες βουρτσίσματος, προς χρήση τόσο από τον χρήστη όσο και από τον οδοντίατρο. Τέλος, αισθητήρες που τοποθετούνται σε στρώματα κρεβατιού καταγράφουν τη σωματική δραστηριότητα κατά τη διάρκεια του ύπνου, όπως η αναπνοή, ο καρδιακός ρυθμός ή οι κινήσεις του σώματος, που προκαλούνται από τίναγμα ή περιστροφή, κατά τη διάρκεια του ύπνου, παρέχουν δεδομένα διαθέσιμα, μέσω εφαρμογής για smartphone προσφέροντας πολύτιμα δεδομένα για την αξιολόγηση της ποιότητας του ύπνου και της συνολικής φυσικής κατάστασης. Όλες αυτές οι εφαρμογές καθιστούν την υγεία πιο προσιτή, εξατομικευμένη και άμεσα διαχειρίσιμη.[6]

2.3.6 Έξυπνη ενέργεια

Η έξυπνη ενέργεια αξιοποιεί τις δυνατότητες του Internet of Things (IoT) για τη βελτίωση της παρακολούθησης, της απόδοσης και της βιωσιμότητας των ενεργειακών συστημάτων. Μέσω ενός έξυπνου ηλεκτρικού δικτύου, είναι δυνατή η συνεχής διαχείριση και παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας, επιτρέποντας τόσο στους παρόχους όσο και στους καταναλωτές να αποκτούν ακριβή εικόνα των ενεργειακών τους αναγκών. Οι ανεμογεννήτριες και οι ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί εξοπλίζονται με αισθητήρες που επιτρέπουν την ανάλυση της ροής ενέργειας, ενώ παράλληλα υπάρχει αμφίδρομη επικοινωνία με τους έξυπνους μετρητές στα σπίτια και τις επιχειρήσεις, για τη λεπτομερή καταγραφή και αξιολόγηση των καταναλωτικών προτύπων. Επίσης, οι ελεγκτές τροφοδοσίας τοποθετούνται σε τροφοδοτικά ηλεκτρονικών υπολογιστών, τηλεπικοινωνιακών και ηλεκτρονικών συσκευών ώστε να καθορίζουν την απαιτούμενη ενέργεια και να βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση μειώνοντας την απώλεια ενέργειας. Επιπλέον, το IoT παίζει καθοριστικό ρόλο στην παρακολούθηση και τη βελτίωση της απόδοσης

φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, ενισχύοντας τη μετάβαση προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τη βιώσιμη ανάπτυξη.[6]

2.4 Πλεονεκτήματα IoT

Η αξιοποίηση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) έχει φέρει σημαντικές αλλαγές στην καθημερινή μας ζωή, προσφέροντας νέες δυνατότητες και διευκολύνσεις μέσα από τη σύνδεση και την αλληλεπίδραση των συσκευών. Ο διαμοιρασμός των δεδομένων, επιτυγχάνεται μέσω αισθητήρων, οι οποίοι είναι ενσωματωμένοι σε κάθε συσκευή. Ο ρόλος των αισθητήρων είναι να διαχέουν αδιάκοπα τις πληροφορίες, σχετικά με την κατάσταση λειτουργίας αυτών των συσκευών.[8]

Μέσα στα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του IoT είναι η δυνατότητα συλλογής μεγάλου όγκου δεδομένων, κάτι που διευκολύνει τη λήψη καλύτερων αποφάσεων. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των πληροφοριών τόσο πιο εύκολη είναι και η λήψη της ορθής απόφασης. Παράλληλα, επιτρέπει την παρακολούθηση της κατάστασης διαφόρων αντικειμένων στο σπίτι, εξασφαλίζοντας τη βιωσιμότητα των αντικειμένων στο σπίτι. [7][9]Επιπλέον πλεονέκτημα του IoT είναι η εξοικονόμηση χρόνου, καθώς πολλές λειτουργίες γίνονται αυτόματα.Η ποσότητα του χρόνου που εξοικονομείται από την παρακολούθηση των αντικειμένων στο σπίτι είναι αρκετά μεγάλη. Τέλος, η οικονομική πλευρά είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα καθώς μέσω του IoT μπορεί και γίνεται άμεσος έλεγχος σε όλους τους οικονομικούς τομείς της ζωής και της καθημερινότητας. [7][9]

2.5 Μειονεκτήματα IoT

Είναι αλήθεια ότι το IoT (Internet of Things) έχει πολλά πλεονεκτήματα, αλλά ταυτόχρονα υπάρχουν και αρκετά μειονεκτήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχει κάποιο πρότυπο για την τοποθέτηση και την παρακολούθηση ετικετών μέσω της χρήσης αισθητήρων, οπότε μπορεί να υπάρχει πρόβλημα με τη συμβατότητα τους ούτως ώστε να μη μπορούν να επικοινωνούν εύκολα μεταξύ τους, οι συσκευές διαφορετικών κατασκευαστών.Επιπλέον , η αύξηση του αριθμού των συνδεδεμένων συσκευών, αυξάνει και τις πληροφορίες που

μοιράζονται οι συσκευές μεταξύ τους. Η κρυπτογράφηση των δεδομένων και η προστασία τους με ισχυρά μέτρα ασφαλείας είναι αναγκαία, αλλά ακόμα και με αυτά τα μέτρα αυξάνεται η πιθανότητα ένας hacker να κλέψει εμπιστευτικές ή προσωπικές πληροφορίες. Τα συστήματα του IoT είναι πολύπλοκα και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα ή αποτυχίες. Η διαχείριση αυτών των συστημάτων απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό και μπορεί να υπάρξουν αστοχίες στην επικοινωνία μεταξύ των συσκευών ή στην ακριβή λήψη και ανάλυση δεδομένων. Επιπλέον, οι αναγκαίες αναβαθμίσεις ή η αντιμετώπιση προβλημάτων μπορεί να είναι χρονοβόρες και δαπανηρές. Τέλος, το IoT είναι επιρρεπές σε επιθέσεις και παραβιάσεις. Καθώς πολλές συσκευές είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο, είναι εύκολο για τρίτους να αποκτήσουν πρόσβαση σε κρίσιμα συστήματα ή προσωπικά δεδομένα μέσω των αδυναμιών των συσκευών ή του λογισμικού τους.[7][8][9]

Είναι ζωτικής σημασίας, οι συσκευές που συνδέονται στο δίκτυο του Internet of Things, να είναι «έξυπνες», ενεργειακά αποδοτικές και προστατευμένες. Οι συσκευές συχνά ζητούν από τους χρήστες να εισάγουν προσωπικά στοιχεία και δεδομένα, τα οποία αποτελούν στόχο για τους κακόβουλους χρήστες. Στις περιπτώσεις που οι συσκευές δεν είναι επαρκώς προστατευμένες, είναι σύνηθες να διαρρέουν ευαίσθητα δεδομένα και πληροφορίες. Αυτό αφορά και τους οικιακούς χρήστες, αλλά και τις εταιρείες.[8]

Παρόλο που το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) έχει αρκετά μειονεκτήματα, τα πλεονεκτήματά του, που είναι η εξοικονόμηση χρόνου και χρημάτων για τον καταναλωτή, δεν μπορούν να αγνοηθούν. Επομένως, δεν είναι μακριά η στιγμή που το Διαδίκτυο των Πραγμάτων θα γίνει ευρέως διαδεδομένο τόσο στα νοικοκυριά όσο και στις εταιρείες. Θα πρέπει να καταβληθούν προσπάθειες για την εξεύρεση τρόπων αντιμετώπισης των μειονεκτημάτων του.[7]

3 Το σύστημα 6G

3.1 Εξέλιξη δικτύων κινητής τηλεφωνίας

Οι επικοινωνίες μέσω του Διαδικτύου ξεκίνησαν με την εισαγωγή του TCP/IP το 1983, το οποίο θεωρείται η αρχή του σημερινού Διαδικτύου, ενώ οι πρώτες διασυνδέσεις ηλεκτρονικών υπολογιστών μέσω Ethernet είχαν αναπτυχθεί ήδη από το

1973. Σήμερα, ο όρος «Διαδίκτυο» περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών και εφαρμογών, όπως τα κοινωνικά δίκτυα (π.χ. Facebook), το ηλεκτρονικό εμπόριο (π.χ. Amazon), οι υπηρεσίες ροής πολυμέσων (π.χ. Netflix, Spotify), οι υπηρεσίες υπολογιστικού νέφους (π.χ. GoogleDrive, Microsoft Azure), οι πλατφόρμες συνεργασίας (π.χ. Teams, GoogleDocs), επικοινωνίας και τηλεδιασκέψεων (π.χ. Webex, Skype, Zoom, Teams) κ.α. Αυτές οι υπηρεσίες αντικατοπτρίζουν έναν σημαντικό μετασχηματισμό προς πρότυπα που προσανατολίζονται στις υπηρεσίες. Αυτή η μετατόπιση, που χαρακτηρίζεται από την αποσύνδεση των τεχνολογιών από τις υπηρεσίες, έθεσε τα θεμέλια για την Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση, που χαρακτηρίζεται από μια πληθώρα τεχνολογικών καινοτομιών.[3]

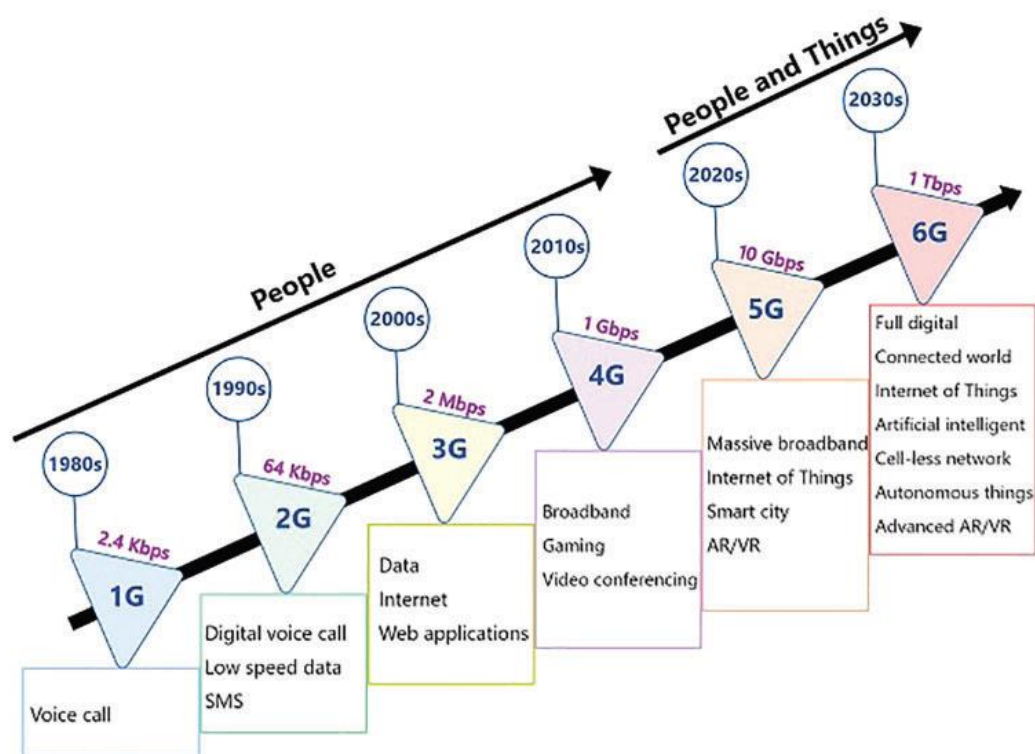
Απαιτούνται ειδικά χαρακτηριστικά για την αποτελεσματική επικοινωνία με έξυπνες συσκευές. Καθώς ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών αυξάνεται συνεχώς, η καθημερινότητά μας επηρεάζεται όλο και περισσότερο από αυτό το αναπτυσσόμενο ψηφιακό οικοσύστημα. Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έχουν εξελιχθεί μέσα από διάφορες γενιές τεχνολογιών μετάδοσης πληροφορίας, συγκεκριμένα 1G, 2G, 3G, 4G, 5G και σύντομα το 6G. Το γράμμα "G" προέρχεται από τη λέξη "Generation" (Γενιά), και κάθε νέα γενιά αντιπροσωπεύει μια βελτίωση σε σχέση με την προηγούμενη, εισάγοντας καλύτερες δυνατότητες και νέα χαρακτηριστικά. [13]

Η μετάβαση και η ιστορία από το 1G στο 4G χρειάστηκαν λίγο περισσότερα από 30 χρόνια από την εισαγωγή της ασύρματης κυψελοειδούς τεχνολογίας. Από τότε έχουν αλλάξει πολλά, τα κινητά τηλέφωνα έχουν γίνει μικρότερα, οι ταχύτητες download έχουν γίνει μεγαλύτερες τα γραπτά μηνύματα εμφανίστηκαν ως τεχνολογία (και έχουν σχεδόν εξαφανιστεί), το σερφάρισμα στο διαδίκτυο με τηλέφωνα έγινε συνηθισμένο. Η συνήθεια των αναρτήσεων στα socialmedia συνεχίζεται. Και προφανώς, υπάρχει μια εφαρμογή για σχεδόν τα πάντα τώρα. Η μετάβαση από το 1G στο 4G δεν θα μπορούσε να συμβεί χωρίς τη δημιουργία και τη βελτίωση κάθε γενιάς τηλεπικοινωνιών που οδήγησαν σε αυτό που είναι σήμερα. Περίπου κάθε δέκα χρόνια από το 1979, κάθε νεότερη γενιά αλλάζει τον τρόπο επικοινωνίας μας, βελτιώνοντας περαιτέρω τον τρόπο ζωής μας.

Στη δεκαετία του 1890, ο νομπελίστας Guglielmo Marconi διεξήγαγε πρωτοποριακά πειράματα στην ασύρματη τηλεγραφία, δείχνοντας τη δυνατότητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων για τη μετάδοση σημάτων χωρίς καλώδια. Ωστόσο, χρειάστηκαν περίπου 80 χρόνια για να εξελιχθεί αυτή η τεχνολογία σε εμπορικές

εφαρμογές που επέτρεπαν τη σύνδεση σε πραγματικό χρόνο μεταξύ ατόμων. Από τη δεκαετία του 1980, μια νέα γενιά τεχνολογίας κινητής επικοινωνίας αναδύεται περίπου κάθε δεκαετία, καθοδηγούμενη από τις ραγδαίες εξελίξεις στον τομέα. Ο στόχος του σχεδιασμού κάθε γενιάς, από την πρώτη έως την πέμπτη, ήταν να καλύψει διάφορες ανάγκες τόσο των τελικών χρηστών όσο και των χειριστών δικτύου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3. [3][13]

Η εικόνα 3-1 παρουσιάζει την ιστορική εξέλιξη των δικτύων επικοινωνίας ανά δεκαετία και τις ανάγκες που καλύπτει η κάθε μια.



Εικόνα 3-1 εξέλιξη των δικτύων επικοινωνίας[13]

Στη συνέχεια ακολουθεί μια σύντομη παρουσίαση κάθε γενιάς αυτών των τεχνολογιών επικοινωνίας.

Πρώτη Γενιά Κινητών Επικοινωνιών (1G)

Η 1G ήταν μια τεχνολογία βασισμένη σε αναλογικό σήμα που εμφανίστηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1980. Ήταν η πρώτη γενιά ασύρματης κυψελοειδούς τεχνολογίας και μπορούσε να υποστηρίξει μόνο φωνητικές κλήσεις, χωρίς δυνατότητα

αποστολής γραπτών μηνυμάτων (SMS) ή μεταφοράς δεδομένων. Το βασικό μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας ήταν η ευαισθησία της σε παρεμβολές από το περιβάλλον, γεγονός που οδηγούσε σε χαμηλή ποιότητα και ταχύτητα μετάδοσης. Η μέγιστη ταχύτητα της 1G τεχνολογίας έφτανε μόλις τα 2.4 kbps [13]. Στα συστήματα 1G, οι τηλεφωνικές συνομιλίες δεν ήταν ούτε ιδιωτικές ούτε ασφαλείς επειδή οι τηλεφωνικές υπηρεσίες δεν ήταν κρυπτογραφημένες. Αυτή η έλλειψη κρυπτογράφησης σήμαινε ότι οι συνομιλίες μπορούσαν εύκολα να υποκλαπούν και να υποκλαπούν. [3]

Δεύτερη Γενιά Κινητών Επικοινωνιών (2G)

Γύρω στο 1990, τα αναλογικά συστήματα αντικαταστάθηκαν από κινητά ψηφιακά δίκτυα δεύτερης γενιάς (2G), τα οποία χρησιμοποίησαν τεχνολογίες ψηφιακής διαμόρφωσης όπως TimeDivisionMultiple Access (TDMA) και CodeDivisionMultiple Access (CDMA). Αυτές οι τεχνολογίες 2G επέτρεψαν την παροχή ποικίλων υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων μηνυμάτων κειμένου, μηνυμάτων εικόνας και υπηρεσιών ανταλλαγής μηνυμάτων πολυμέσων (MMS).

Το κυρίαρχο πρότυπο κατά την εποχή του 2G, που σημείωσε σημαντική εμπορική επιτυχία, ήταν το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (GlobalSystem for Mobile Telecommunications - GSM). Το GSM διευκόλυνε την φωνητική επικοινωνία για πάνω από ένα δισεκατομμύριο ανθρώπους παγκοσμίως, προσφέροντας υπηρεσίες δεδομένων χαμηλού επιπέδου και ανταλλαγή σύντομων μηνυμάτων κειμένου μεταξύ των χρηστών. Επιπλέον, το GSM παρείχε ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων έως και 64 kbps. Η εισαγωγή της γενικής υπηρεσίας ραδιοφώνου πακέτων (GPRS) επέτρεψε θεωρητικά στα δίκτυα 2G να προσφέρουν μέγιστες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων 40 kbps. Οι ενισχυμένοι ρυθμοί δεδομένων για το GSM Evolution (EDGE) αύξησαν περαιτέρω αυτές τις θεωρητικές μέγιστες ταχύτητες μεταφοράς έως και 384 kbps. Επιπλέον, τα ψηφιακά συστήματα 2G σχεδιάστηκαν για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, καθιστώντας τα ψηφιακά σήματα πιο φιλικά προς το περιβάλλον. Οι συσκευές και ο σχετικός εξοπλισμός ήταν σχετικά προσιτές και προσβάσιμοι, συμβάλλοντας στην ευρεία υιοθέτηση των τεχνολογιών 2G. Οι δυνατότητές της επιτεύχθηκαν μέσω της χρήσης πολυπλεξίας, επιτρέποντας στους χρήστες να μοιράζονται το ίδιο κανάλι επικοινωνίας. Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα και τις εξελίξεις της 2G περιλαμβάνονται οι ασφαλείς ψηφιακές

τηλεφωνικές κλήσεις, η πιο αποδοτική χρήση του φάσματος για κινητές συσκευές, τα γραπτά μηνύματα (SMS), τα βίντεο μηνύματα και οι υπηρεσίες πολυμέσων (MMS).[3][13]

Τρίτη Γενιά Κινητών Επικοινωνιών (3G)

Με την πάροδο του χρόνου και τις αυξανόμενες απαιτήσεις για μετάδοση και λήψη μεγάλων αρχείων πολυμέσων, βιντεοκλήσεις, online παιχνίδια και άλλα, αναπτύχθηκε η τεχνολογία κινητής επικοινωνίας 3G με προσέγγιση προσανατολισμένη στα πολυμέσα. Οι βελτιώσεις της 3G σε σχέση με την προηγούμενη γενιά περιλαμβάνουν υψηλής ταχύτητας σύνδεση στο διαδίκτυο, δυνατότητα βιντεοκλήσεων, λήψη βίντεο, κινητά τηλέφωνα με λήψη τηλεοπτικών εικόνων και πρόσβαση σε ευρύ φάσμα ψηφιακού περιεχομένου μέσω του δικτύου.[13]

Τα πρώτα εμπορικά δίκτυα 3G εισήχθησαν από τα μέσα του 2001 και μετά, σηματοδοτώντας μια σημαντική πρόοδο στις κινητές τηλεπικοινωνίες. Η τεχνολογία 3G διευκόλυνε διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της ασύρματης φωνητικής τηλεφωνίας, της σταθερής ασύρματης πρόσβασης στο Διαδίκτυο, της κινητής πρόσβασης στο Διαδίκτυο, της κινητής τηλεόρασης και των βιντεοκλήσεων. Τα δίκτυα τρίτης γενιάς (3G) υποστήριζαν βελτιωμένες ευρυζωνικές υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας, όπως μεταφορά δεδομένων πολυμέσων (συμπεριλαμβανομένων εικόνων, μουσικής και βίντεο) χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνικές CDMA και επικοινωνίες 14 δεδομένων όπως το "i-mode". Αυτή η γενιά παρείχε πρόσβαση στο Διαδίκτυο υψηλής ταχύτητας και ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων τουλάχιστον έως 2 Mbps με εύρος ζώνης 5 MHz, αξιοποιώντας σύγχρονες τεχνολογίες επικοινωνίας, όπως κωδικούς turbo. [3]

Συνολικά, το 3G αντιπροσώπευε ένα σημαντικό άλμα στις δυνατότητες κινητής επικοινωνίας, επιτρέποντας μια πιο πλούσια εμπειρία πολυμέσων και πιο αξιόπιστες υπηρεσίες δεδομένων για τους χρήστες. Τα δίκτυα 3G σχεδιάστηκαν για να ξεπεράσουν την περιορισμένη ικανότητα δεδομένων των προηγούμενων γενεών, εισάγοντας μια υβριδική λειτουργία που συνδυάζει τη μεταγωγή κυκλώματος και τη μεταγωγή πακέτων, επιτρέποντας έτσι αποτελεσματικότερα υπηρεσίες φωνής και δεδομένων. Οι δύο αυτές τεχνολογίες συνδυάστηκαν για να υποστηρίξουν τόσο τις λειτουργίες μεταγωγής κυκλώματος όσο και τις λειτουργίες μεταγωγής πακέτου, οι

οποίες επιτρέπουν συνεχείς κλήσεις φωνής και διαλείπουσες υπηρεσίες δεδομένων στην ίδια υποδομή δικτύου. [3]

Τέταρτη Γενιά Κινητών Επικοινωνιών (4G)

Τον Δεκέμβριο του 2009, τα εμπορικά δίκτυα LongTermEvolution (LTE) παρουσίασαν την πρώτη στον κόσμο ευρυζωνική υπηρεσία κινητής τηλεφωνίας τέταρτης γενιάς (4G), κάνοντας πραγματικότητα το ασύρματο Internet. Με την έλευση των δικτύων 4ης γενιάς κατέστη δυνατή η μετάβαση από μια αρχιτεκτονική δικτύωσης, η οποία συνδύαζε μεταγωγή κυκλώματος και μια μεταγωγή πακέτου, σε ένα σύστημα αποκλειστικά βασισμένο στη μεταγωγή πακέτου. Αυτή η αλλαγή σηματοδότησε τη σύγκλιση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας με το ενσύρματο Διαδίκτυο, εξασφαλίζοντας ενιαία αρχιτεκτονική και πρωτόκολλα για βελτιωμένη διαλειτουργικότητα και αποδοτικότητα στη διαχείριση δεδομένων.[3]

Το σύστημα 4G διευκόλυνε την ευρεία χρήση έξυπνων φορητών συσκευών (smartphones και tablet) παγκοσμίως μέσω ενός έξυπνου συνδυασμού πολλαπλής εισόδου πολλαπλής εξόδου (MIMO) και ορθογώνιας πολυπλεξίας με διαίρεση συχνότητας (OFDM). Τα δίκτυα 4G είναι ικανά να παρέχουν δεδομένα υψηλής ταχύτητας έως 1 Gbps στην κατερχόμενη ζεύξη και έως και 500 Mbps στην ανερχόμενη ζεύξη, ξεπερνώντας σημαντικά τους 15 ρυθμούς δεδομένων των δικτύων 3G, που πρόσφεραν δεκάδες megabyte ανά δευτερόλεπτο. Αυτά τα δίκτυα πέτυχαν μεγάλη τεχνολογική και εμπορική επιτυχία μειώνοντας την καθυστέρηση και βελτιώνοντας τη φασματική απόδοση. Το σύστημα 4G LTE Advanced (LTE-A) ενίσχυσε περαιτέρω αυτές τις δυνατότητες, εξασφαλίζοντας ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως και 3 Gbps στην κατερχόμενη ζεύξη και έως 1,5 Gbps στην ανοδική ζεύξη, με συνδεσιμότητα για περίπου 600 χρήστες ανά κυψέλη και λανθάνοντα χρόνο περίπου 30 -50 χιλιοστά του δευτερολέπτου. Ωστόσο, οι τεχνικές και οι τεχνολογίες που εφάρμοσαν το LTE-A, παρόμοια με τους προκατόχους του, δεν επαρκούν για να καλύψουν τις απαιτήσεις της μελλοντικής ασύρματης επικοινωνίας. Η τέταρτη γενιά εισήγαγε επίσης βελτιωμένες ευρυζωνικές υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας, όπως επικοινωνία πρωτοκόλλου Διαδικτύου (IP), Voiceover IP (VoIP), βίντεο εξαιρετικά υψηλής ευκρίνειας και διαδικτυακά παιχνίδια[3]

Έτσι, με τη χρήση ενός ασύρματου modem, οι φορητοί υπολογιστές μπορούν να συνδεθούν με smartphones και άλλες κινητές συσκευές. Άλλες υπηρεσίες της 4G

περιλαμβάνουν βελτιωμένους φυλλομετρητές (browsers), τεχνολογία IP, τηλεόραση υψηλής ποιότητας για κινητά, βιντεοκλήσεις υψηλής ευκρίνειας, εξελιγμένα διαδικτυακά παιχνίδια, τηλεοράσεις 3D και τεχνολογίες υπολογιστικού νέφους (cloudcomputing). Ο βασικός στόχος της εισαγωγής της 4G ήταν η αύξηση της χωρητικότητας, της ταχύτητας και της ποιότητας των υπηρεσιών, η διεύρυνση των περιοχών κάλυψης και η μείωση του κόστους.[13]

Πέμπτη Γενιά Κινητών Επικοινωνιών (5G)

Τον Απρίλιο του 2019, εισήλθαμε στην εποχή του 5G, που χαρακτηρίστηκε από μια διαμάχη μεταξύ τριών εταιρειών κινητής τηλεφωνίας της Νότιας Κορέας και της Verizon με έδρα τις ΗΠΑ σχετικά με το ποιος θα ήταν ο πρώτος πάροχος υπηρεσιών επικοινωνίας πέμπτης γενιάς (5G). Το σύστημα 5G έχει συγκεντρώσει σημαντική προσοχή από την παγκόσμια οικονομία και κοινωνία, καθιστώντας βασικός όρος στα μέσα ενημέρωσης για τις πολλαπλές του διαστάσεις της τεχνολογικής καινοτομίας. Το ασύρματο δίκτυο 5G προαναγγέλλει την αρχή μιας αληθινής ψηφιακής κοινωνίας, επιτυγχάνοντας επαναστατικές προόδους στην κινητικότητα, την καθυστέρηση, τους ρυθμούς δεδομένων, την ενεργειακή απόδοση και τον αριθμό των συνδεδεμένων συσκευών σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές.

Το 5G επεκτείνει τις υπηρεσίες κινητής επικοινωνίας από ανθρώπους σε «πράγματα/αντικείμενα» και από καταναλωτές σε κάθετες βιομηχανίες, ενώ οι προηγούμενες γενιές αύξησαν κατά κύριο λόγο τις δυνατότητες δικτύου. Έτσι, το 5G επιτρέπει έναν εξαιρετικά μεγάλο αριθμό διασυνδέσεων μεταξύ ανθρώπων, μηχανών και αντικειμένων, διευκολύνοντας μια ευρεία ποικιλία υπηρεσιών σε ένα θεματικό εύρος, από την παραδοσιακή ευρυζωνική σύνδεση κινητής τηλεφωνίας έως το Industry 4.0, το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), την εικονική πραγματικότητα (VR), επαυξημένη πραγματικότητα (AR), μικτή πραγματικότητα (MR) και αυτόνομη οδήγηση. Ο αυξημένος αριθμός χρηστών και η τεράστια ζήτηση για υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και εύρος ζώνης έχουν επιταχύνει περαιτέρω την ανάπτυξη των δικτύων 5G. Αυτά τα δίκτυα αναμένεται να υποστηρίξουν υψηλότερη συνδεσιμότητα, βελτιωμένη χωρητικότητα, υψηλούς ρυθμούς δεδομένων και χαμηλή καθυστέρηση για την εξυπηρέτηση πολλών εφαρμογών, ιδιαίτερα σε κλάδους κάθετης αγοράς . Το

5G αναμένεται να επηρεάσει την καθημερινή ζωή του ανθρώπου, την οικονομία και την ανάπτυξη κοινωνικών δομών επεκτείνοντας τις ανθρώπινες δραστηριότητες σε νέους τομείς με νέα μέσα. Το ασύρματο σύστημα κινητής επικοινωνίας 5G εισάγει κυρίως τρία τεχνικά χαρακτηριστικά:

1. Βελτιωμένη ευρυζωνική σύνδεση κινητής τηλεφωνίας (eMBB): Παρέχει υψηλούς ρυθμούς δεδομένων έως και 10 Gbps.

2. Μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής (mMTC): Υποστηρίζει συνδεσιμότητα για περισσότερες από 100 συσκευές ανά μονάδα επιφάνειας, αυξάνοντας σημαντικά τη μαζική συνδεσιμότητα του δικτύου.

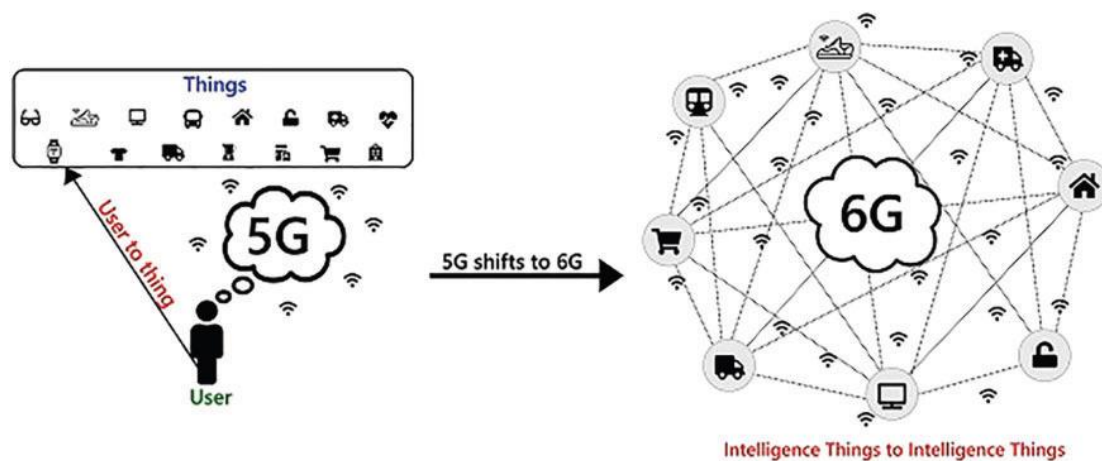
3. Υπεραξιόπιστες επικοινωνίες χαμηλής καθυστέρησης (URLLC): Ελαχιστοποιεί τις καθυστερήσεις από άκρο σε άκρο σε 1 ms.

Αυτά τα καινοτόμα χαρακτηριστικά αναμένεται να υποστηρίξουν τις ανάγκες ασύρματης επικοινωνίας στην Κοινωνία της Πληροφορίας για την τρέχουσα δεκαετία (2020-2030). Ωστόσο, το 5G βρίσκεται ακόμα στα αρχικά του στάδια ανάπτυξης, με σημαντικά περιθώρια βελτίωσης τόσο στα τεχνικά χαρακτηριστικά του όσο και στις εφαρμογές και τα μοντέλα του IoT. Η φύση των κινητών επικοινωνιών έχει εξελιχθεί από γενιά σε γενιά. Ενώ οι γενιές 1G έως 4G επικεντρώθηκαν στην παροχή υπηρεσιών σε «άνθρωπους», το 5G εμπλέκεται σε επικοινωνίες μεταξύ ανθρώπων και «πραγμάτων». Η επερχόμενη έκτη γενιά (6G) αναμένεται όχι μόνο να συνδέει τους ανθρώπους αλλά και να ενσωματώνει υπολογιστικούς πόρους, συσκευές, οχήματα, ακόμη και ρομπότ, ξεπερνώντας την εξατομικευμένη επικοινωνία και προχωρώντας προς την πλήρη εφαρμογή του IoT— μια τάση που ξεκίνησε από το 4G και προηγήθηκε περαιτέρω από το 5G. [3][15]

Επιγραμματικά η χρήση της τεχνολογίας 5G περιλαμβάνει:

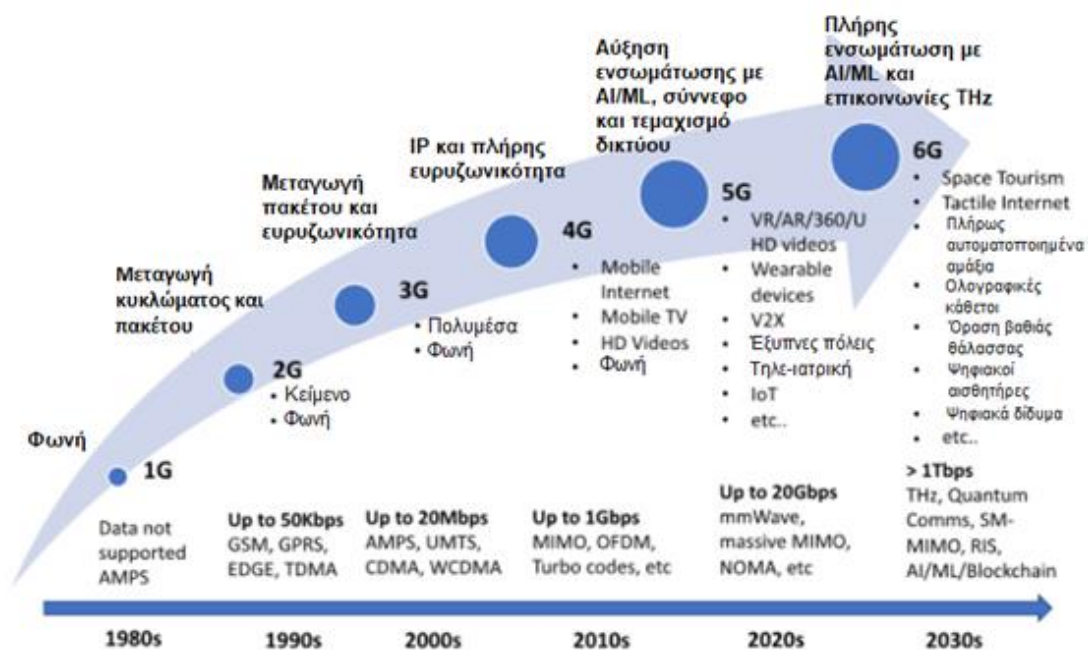
- ✓ Λήψη και αποστολή δεδομένων με υψηλή ταχύτητα
- ✓ Μεγαλύτερη σταθερότητα κατά την αποστολή και λήψη αρχείων
- ✓ Ανάπτυξη αυτόνομων (αυτοοδηγούμενων) οχημάτων
- ✓ Δυνατότητα για απομακρυσμένες χειρουργικές επεμβάσεις
- ✓ Ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT)
- ✓ Τεχνολογία κατακερματισμού δικτύου (networkslicing)
- ✓ Μειωμένη και πιο αποδοτική κατανάλωση ενέργειας

Η μέγιστη ταχύτητα λήψης δεδομένων στο δίκτυο 5G φτάνει έως και τα 20 Gbps, ενώ η μέγιστη ταχύτητα αποστολής δεδομένων φτάνει έως και τα 10 Gbps[13]



Εικόνα 3-2: Αλληλεπίδραση 6G και IoT [13]

Τα επόμενα χρόνια, η επίδραση των συσκευών IoT στα δίκτυα 5G θα γίνεται όλο και πιο εμφανής. Οι αναφερόμενες προκλήσεις καταδεικνύουν πώς το IoT μπορεί να διαταράξει τη λειτουργία των δικτύων 5G. Στο Σχήμα 3-2 παρουσιάζεται η αλληλεπίδραση του 5G και του 6G με το IoT· όπως σήμερα θεωρείται στενά συνδεδεμένο το 5G με το IoT, έτσι και το 6G είναι πολύ πιθανό να μας προσφέρει μια εντελώς νέα οπτική στο ασύρματο διαδίκτυο.[13]Το σύστημα 6G αναμένεται να γνωρίσει μια απaráμιλλη επανάσταση που θα το ξεχώριζε σημαντικά από τις υπάρχουσες γενιές και θα αναδιαμορφώσει δραστικά την εξέλιξη του ασύρματου δικτύου από "συνδεδεμένα πράγματα" σε "συνδεδεμένη νοημοσύνη". Συγκεκριμένα, το 6G θα ξεπεράσει το κινητό Διαδίκτυο και θα απαιτείται να υποστηρίζει πανταχού παρούσες υπηρεσίες AI από τον πυρήνα έως τις τελικές συσκευές του δικτύου. Ουσιαστικά, η τεχνητή νοημοσύνη θα είναι η κινητήρια δύναμη στο σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση αρχιτεκτονικών, πρωτοκόλλων και λειτουργιών 6G.[12]Τα δίκτυα 6G φαίνεται να είναι μια ακόμη επανάσταση, όπως τα δίκτυα 5G σχεδιάστηκαν για να εξελίξουν την πλατφόρμα IoT και πιθανότατα θα επανακαθορίσουν την έννοια της σύνδεσης στο διαδίκτυο[13].



Εικόνα 3-3: Σύνοψη ανάπτυξης ασύρματων τεχνολογιών από το 1G μέχρι το 6G [12]

Στην Εικόνα 3-3 παρατηρούμε την εξέλιξη των αντίστοιχων υπηρεσιών στην κινητή τηλεφωνία, από το 1990 που είχαμε την πρώτη τηλεφωνική κλήση ως τα μέσα της δεκαετίας 2020-30 που έχει εφαρμοστεί το 5G και σχεδιάζοντας πιθανές υπηρεσίες για το 6G.

3.2 Η εμφάνιση του 6G και κύριες διαφορές από το 5G

Η έκτη γενιά ασύρματων τεχνολογιών επικοινωνίας για κινητά δίκτυα είναι η τεχνολογία 6G. Αποτελεί τον φυσικό διάδοχο της 5G και, όπως και οι προηγούμενες γενιές, τα δίκτυα 6G θα είναι ευρυζωνικά κυψελοειδή δίκτυα με μικρές γεωγραφικές περιοχές κάλυψης. Η 5G εισήχθη το 2019, και προβλέπεται πως μέχρι το 2030 θα είναι η πιο διαδεδομένη τεχνολογία κινητών επικοινωνιών.[13] Το 6G έχει πιο διαφοροποιημένες και προηγμένες απαιτήσεις. Οι τεχνολογικές απαιτήσεις για την εφαρμογή του 6G θα βασίζονται στη βελτίωση των υπάρχουσών τεχνολογιών και των νέων τεχνολογιών που δεν ελήφθησαν υπόψη κατά την ανάπτυξη του 5G.[12]

Αν και πρόκειται για πρόβλεψη, η αρχική υλοποίηση της 6G εκτιμάται ότι θα ξεκινήσει μεταξύ 2030 και 2035. Η μέγιστη θεωρητική ταχύτητα της τεχνολογίας 6G προβλέπεται να φτάνει έως και 1 Tbps (Terabit ανά δευτερόλεπτο).[13]

Μέχρι το 2020, η πανδημία COVID-19 οδήγησε σε σημαντικές αλλαγές στην καθημερινή ζωή και τόνισε τη σημασία των συστημάτων 5G και της ψηφιακής υποδομής. Αυτά αποδείχτηκαν κρίσιμα για την υποστήριξη τηλεργασίας, τηλεεκπαίδευσης, απομακρυσμένων ιατρικών διαδικασιών, και άλλων τεχνολογιών. Ωστόσο, παραμένει αμφίβολο εάν τα συστήματα 5G μπορούν να καλύψουν όλες τις μελλοντικές απαιτήσεις των εφαρμογών Internet of Everything (IoE), που αναμένεται να αυξάνονται κατά 12% ετησίως. Το δίκτυο πρέπει να αναγνωρίζει και να προσαρμόζεται στις δυναμικές ανάγκες των υπηρεσιών, απαιτώντας επικοινωνιακές, υπολογιστικές και αποθηκευτικές δυνατότητες σε κάθε κόμβο. Όπως τα smartphones οδήγησαν στη μετάβαση από 3G σε 4G/4G+, οι σύγχρονες έξυπνες συσκευές θα οδηγήσουν στη μετάβαση από 5G σε 6G. Η χρήση ασύρματων συσκευών και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) αυξάνονται ραγδαία, με την κινητή τηλεφωνία να διπλασιάζει τον όγκο δεδομένων κάθε χρόνο, προβλέποντας ότι έως το 2030 θα φτάσει τα 5 zettabyte το μήνα.[3][16]

Στο άμεσο μέλλον, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) θα χαρακτηρίζεται ως το Διαδίκτυο των Πάντων, οδηγώντας σε τεράστιο αριθμό συνδέσεων, γεγονός που θα δοκιμάσει τα όρια των δικτύων 5G. Οι χρήστες αναζητούν τα ασύρματα δίκτυα 6G, με την ελπίδα ότι αυτά θα είναι ανθρωποκεντρικά, με πλήρες εύρος ζώνης, υψηλά ασφαλή και ευφυή σε κάθε σημείο. Τα δίκτυα 6G σχεδιάστηκαν ως μια ανατρεπτική τεχνολογία της επόμενης γενιάς ασύρματων επικοινωνιών, με στόχο να καλύψουν τους περιορισμούς στις ταχύτητες δεδομένων που αντιμετωπίζουν πολλές εφαρμογές στα σημερινά δίκτυα 5G.

Ορισμένες από τις καίριες και ριζοσπαστικές τεχνολογίες του 6G, σε συνδυασμό με υπάρχουσες έννοιες που έχουν εισαχθεί στο 5G, προσφέρουν την επιθυμητή ποιότητα εμπειρίας για την εδραίωση καθολικής ασύρματης σύνδεσης στο διαδίκτυο, από τον τομέα των επικοινωνιών έως τη ψηφιακή έξυπνη βιομηχανία. Το IoT έχει ήδη αρχίσει να μεταμορφώνει τη σημερινή βιομηχανία σε έξυπνη υποδομή, με αρχιτεκτονική βασισμένη σε δεδομένα 6G. Επί του παρόντος, η τεχνολογία 6G βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης, με πολλές προκλήσεις που παραμένουν άλυτες.

Η πιο εμφανής διαφορά μεταξύ της τεχνολογίας 5G και 6G είναι η ταχύτητα. Το 6G χρησιμοποιεί υψηλότερης τεχνολογίας ραδιοεξοπλισμό, καθώς και μεγαλύτερο εύρος ζώνης και όγκο φάσματος από το 5G — συμπεριλαμβανομένων υπερυψηλών συχνοτήτων, οι οποίες προσφέρουν υπερυψηλές ταχύτητες και μεγάλη χωρητικότητα σε μικρές αποστάσεις. Ενώ στο 5G η τεχνητή νοημοσύνη χρησιμοποιείται κυρίως για βελτιστοποίηση, δυναμική κατανομή πόρων και επεξεργασία δεδομένων, με καθυστέρηση μικρότερη του ενός χιλιοστού του δευτερολέπτου (ms), στο 6G — λόγω του κατανεμημένου σχεδιασμού του — προβλέπεται να παρέχει πλήρη νοημοσύνη, δημιουργώντας ένα πιο αυτόνομο και ευφύες οικοσύστημα επικοινωνιών.[13]

Η φύση των κινητών επικοινωνιών έχει εξελιχθεί από γενιά σε γενιά. Ενώ οι γενιές 1G έως 4G επικεντρώθηκαν στην παροχή υπηρεσιών σε «ανθρώπους», το 5G εμπλέκεται σε επικοινωνίες μεταξύ ανθρώπων και «πραγμάτων». (εικόνα 3-4). Η επερχόμενη έκτη γενιά (6G) αναμένεται όχι μόνο να συνδέει τους ανθρώπους αλλά και να ενσωματώνει υπολογιστικούς πόρους, συσκευές, οχήματα, ακόμη και ρομπότ, ξεπερνώντας την εξατομικευμένη επικοινωνία και προχωρώντας προς την πλήρη εφαρμογή του ΙοΤ μια τάση που ξεκίνησε από το 4G και προηγήθηκε περαιτέρω από το 5G. [3][14]



Εικόνα 3-4: Αλλαγή της φύσης των κινητών επικοινωνιών με την πάροδο του χρόνου [3]

Οι εξελίξεις στις τεχνολογίες αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής και οι κοινωνικές αλλαγές θα οδηγήσουν σε νέες υπηρεσίες ΙοΕ, όπως η εκτεταμένη πραγματικότητα (XR), η τηλεϊατρική και τα αυτόνομα συστήματα. Η άνοδος του Internet of everything θα μετατοπίσει το ενδιαφέρον από την βελτιωμένη ευρυζωνική πρόσβαση (Enhanced Mobile Broadband - eMBB) στην επικοινωνία εξαιρετικά χαμηλής καθυστέρησης και υψηλής αξιοπιστίας

(UltraReliableLowLatencyCommunications - URLLC). Αν και τα συστήματα 5G υποστηρίζουν βασικές υπηρεσίες IoE, υπάρχει αμφιβολία αν θα μπορέσουν να καλύψουν τις μελλοντικές εφαρμογές για έξυπνες πόλεις. Η τεχνολογία 6G αναμένεται να προσφέρει την απαιτούμενη υψηλή αξιοπιστία, χαμηλό λανθάνοντα χρόνο και υψηλούς ρυθμούς δεδομένων για τις ετερογενείς συσκευές και εφαρμογές του μέλλοντος. [3][17]

Αν και τα συστήματα 5G υποστηρίζουν βασικές υπηρεσίες IoE, υπάρχει αμφιβολία αν θα μπορέσουν να καλύψουν τις μελλοντικές εφαρμογές για έξυπνες πόλεις. Η τεχνολογία 6G αναμένεται να προσφέρει την απαιτούμενη υψηλή αξιοπιστία, χαμηλό λανθάνοντα χρόνο και υψηλούς ρυθμούς δεδομένων για τις ετερογενείς συσκευές και εφαρμογές του μέλλοντος. Ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 2020 η αναμενόμενη άφιξη της τεχνολογίας 6G αρχίζει να διαμορφώνει οράματα για την επόμενη επανάσταση στα συστήματα επικοινωνίας, αντιμετωπίζοντας τους περιορισμούς του 5G ενώ προβλέπει πιο προηγμένες δυνατότητες. Το 6G στοχεύει στην υποστήριξη αναδυόμενων εφαρμογών, συνδέοντας πολυάριθμες συσκευές με διαφορετικές απαιτήσεις υπολογιστικής ισχύος. Υπόσχεται υψηλότερο εύρος ζώνης, καλύτερη διαχείριση ενέργειας, πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο σε ισχυρούς υπολογιστικούς πόρους και άφθονα μέσα αποθήκευσης. Το 6G αναμένεται να επιτύχει ταχύτητες δεδομένων άνω του 1 Tbps, καθυστερήσεις από άκρο σε άκρο κάτω από 0,1 ms και καθυστερήσεις επεξεργασίας κάτω των 10 ns. Θα παρέχει 1000 φορές περισσότερη χωρητικότητα από το 5G, χρησιμοποιώντας επικοινωνία συχνότητας terahertz και χωρική πολυπλεξία.[17][3]

Το 6G θα στοχεύει στο 99,999% της αξιοπιστίας του δικτύου και της παγκόσμιας κάλυψης, ενσωματώνοντας δορυφορικές και υποβρύχιες επικοινωνίες. Θα υποστηρίζει περισσότερες από 10^7 συσκευές ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο, με απόδοση φάσματος πάνω από πέντε φορές μεγαλύτερη από το 5G. Η υποστήριξη κινητικότητας θα φτάσει τα 1000 km/h και η κάλυψη θα στοχεύει σε σχεδόν 100% γεωγραφική προσέγγιση, με ακρίβεια τοποθέτησης σε επίπεδο εκατοστών και ρυθμούς ενημέρωσης χιλιοστού του δευτερολέπτου.

Η ενεργειακή απόδοση θα είναι ζωτικής σημασίας, με τα δίκτυα 6G να μην υπερβαίνουν τις ανάγκες ισχύος των προηγούμενων γενεών κατά την εισαγωγή τους. Ένα νέο υπολογιστικό παράδειγμα θα υποστηρίζει τα οφέλη λογισμικού χωρίς πρόσθετο κόστος ενέργειας.[3][17]

Συνοπτικά, το 6G θα είναι ένα ισχυρό, έξυπνο, αξιόπιστο και επεκτάσιμο δίκτυο, που θα ενσωματώνει δορυφορικές επικοινωνίες για πανταχού παρούσα κάλυψη. Θα υποστηρίζει επικοινωνίες υψηλής ακρίβειας για την παροχή αισθητηριακών εμπειριών και τη μετάδοση μεγαλύτερων όγκων δεδομένων με ταχύτερους ρυθμούς μέσω προηγμένων νευρωνικών δικτύων. Οι βελτιωμένες εφαρμογές εντός του πλαισίου 5G θα ανταποκριθούν στις νέες απαιτήσεις, ενώ θεμελιώδεις αλλαγές θα δεσμευτούν για το 6G. [3][18]

3.3 Χαρακτηριστικά του 6G

Το 6G είναι η επόμενη γενιά ασύρματης τεχνολογίας, η οποία αναμένεται να προσφέρει σημαντικά βελτιωμένες ταχύτητες, χωρητικότητα και αξιοπιστία σε σύγκριση με το 5G. Θα επιτρέψει νέες καινοτόμες εφαρμογές σε διάφορους τομείς, όπως η αυτοματοποιημένη οδήγηση, η επαυξημένη πραγματικότητα, η εικονική πραγματικότητα, και η τηλεϊατρική. Το 6G δίνει έμφαση στην πράσινη τεχνολογία, με στόχο χαμηλή κατανάλωση ενέργειας ανά bit και περιβαλλοντικά βιώσιμες λύσεις. Επιπλέον, το 6G αναμένεται να συμβάλει στην γεφύρωση του ψηφιακού χάσματος, παρέχοντας συνδεσιμότητα σε απομακρυσμένες περιοχές.[19]

Ένα από τα πιο συναρπαστικά χαρακτηριστικά του 6G είναι η δυνατότητά του να επιτυγχάνει ταχύτητες πολλαπλών gigabit ανά δευτερόλεπτο (Gbps), καθιστώντας τους χρόνους λήψης και μεταφόρτωσης ουσιαστικά στιγμιαίους. Ταχύτητες έως και 1 Tbps (Terabit ανά δευτερόλεπτο), όπως αναφέραμε και προηγουμένως δηλαδή 100 φορές ταχύτερες από το 5G. Αυτό το άλμα στην απόδοση όχι μόνο θα βελτιώσει τις καθημερινές δραστηριότητες όπως η ροή και τα παιχνίδια, αλλά θα επιτρέψει επίσης την απρόσκοπτη ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών όπως η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) και η εικονική πραγματικότητα (VR) στην καθημερινή μας ζωή σε πραγματικό χρόνο.

Ακόμη μια βασική καινοτομία είναι η χρήση ζωνών συχνοτήτων terahertz (THz), οι οποίες θα επιτρέψουν πολύ μεγαλύτερα εύρη ζώνης. Αυτό θα διευκολύνει τη σύνδεση δισεκατομμυρίων συσκευών ταυτόχρονα, υποστηρίζοντας το Internet of Things (IoT) σε μια εντελώς νέα κλίμακα. Οι έξυπνες πόλεις, τα αυτόνομα οχήματα και οι διασυνδεδεμένες συσκευές στα σπίτια μας θα ευδοκιμήσουν σε αυτό το οικοσύστημα, οδηγώντας σε πιο αποτελεσματική και βιώσιμη διαβίωση.

Επιπλέον, το 6G έχει ρυθμιστεί να ενισχύσει τις δυνατότητες τεχνητής νοημοσύνης (AI), επιτρέποντας έξυπνότερα δίκτυα που μπορούν να αυτοβελτιστοποιηθούν με βάση τη ζήτηση των χρηστών και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Αυτή η δυναμική προσαρμοστικότητα θα διασφαλίσει ότι η συνδεσιμότητα παραμένει ισχυρή ακόμη και σε πυκνοκατοικημένες περιοχές ή σε περιόδους αιχμής χρήσης.

Τέλος, η τεχνολογία 6G θα επικεντρωθεί στην ενίσχυση των χαρακτηριστικών ασφάλειας και απορρήτου. Καθώς οι απειλές στον κυβερνοχώρο γίνονται όλο και πιο εξελιγμένες, η ενσωμάτωση προηγμένων μεθόδων κρυπτογράφησης και ασφαλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας θα είναι πρωταρχικής σημασίας για την προστασία των δεδομένων των χρηστών και την ενίσχυση της εμπιστοσύνης στην ασύρματη τεχνολογία.

Συνοπτικά, τα βασικά χαρακτηριστικά και οι καινοτομίες του 6G δεν είναι απλώς σταδιακές βελτιώσεις σε σχέση με το 5G. αντιπροσωπεύουν μια θεμελιώδη αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο συνδέουμε, αλληλεπιδρούμε και βιώνουμε τον κόσμο γύρω μας. Συνολικά, το 6G δεν αποτελεί απλώς μια τεχνολογική αναβάθμιση, αλλά τη βάση για ένα νέο επίπεδο διασυνδεδεμένης κοινωνίας και έξυπνης ανάπτυξης. Καθώς διερευνούμε τις δυνατότητες που θα ξεκλειδώσει το 6G, είναι ξεκάθαρο ότι το μέλλον της συνδεσιμότητας δεν αφορά μόνο την ταχύτητα, έχει να κάνει με τον μετασχηματισμό του ίδιου του ιστού της ψηφιακής μας ζωής. [19]

3.4 Εφαρμογές του 6G

3.4.1 Το Διαδίκτυο των Πάντων IoE (Internet of Everything)



Εικόνα 3-5: Διαδίκτυο των Πάντων - Internet of Everything [3]

Η υλοποίηση του Internet of Everything (IoE) συνιστά θεμελιώδη κατεύθυνση της εξέλιξης του 6G. Το 6G αναπτύσσεται με σκοπό να υποστηρίξει και να επιταχύνει την καθολική εφαρμογή του Διαδικτύου των Πάντων (IoE). Η 6η γενιά κινητών δικτύων (6G), που αναμένεται να κυριαρχήσει τη δεκαετία του 2030, θα υποστηρίξει

σε πλήρη κλίμακα το όραμα του IoE, ξεπερνώντας κατά πολύ τις δυνατότητες του 5G και του IoT.

Στο σημερινό ταχέως εξελισσόμενο τεχνολογικό τοπίο, η ανάπτυξη των δικτύων κινητών επικοινωνιών είναι έτοιμη να εξοπλίσει τα άτομα με πρωτοφανείς δυνατότητες μέσω καινοτόμων εφαρμογών που ενεργοποιούνται από δίκτυα έκτης γενιάς (6G). Το Internet of Everything (IoE) πρόκειται να ενισχύσει τα δίκτυα 6G με μια ποικιλία αναδυόμενων υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων ExtendedReality (XR) και τηλεϊατρικής, τα οποία θα επωφεληθούν σημαντικά από τους υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, την εκτεταμένη κάλυψη, τη χαμηλή καθυστέρηση και την αξιοπιστία που χαρακτηρίζουν Δίκτυα 6G.[3]

Η έννοια του IoE, αν και λιγότερο οικεία από το Internet of Things (IoT), αντιπροσωπεύει μια πιο εκτεταμένη και ολοκληρωμένη προσέγγιση. Ο ορισμός της Cisco από το 2013 δείχνει αυτή τη διάκριση: «Το Διαδίκτυο των Πάντων (IoE) συγκεντρώνει ανθρώπους, διαδικασίες, δεδομένα και πράγματα για να κάνει τις δικτυωμένες συνδέσεις πιο σχετικές και πολύτιμες από ποτέ, μετατρέποντας τις πληροφορίες σε ενέργειες που δημιουργούν νέες δυνατότητες, πλουσιότερες εμπειρίες, και άνευ προηγουμένου οικονομικές ευκαιρίες για επιχειρήσεις, ιδιώτες και χώρες». Αυτός ο ορισμός υπογραμμίζει ότι το IoE είναι μια εξέλιξη του IoT, ενισχύοντας τη συνδεσιμότητα όχι μόνο φυσικών αντικειμένων, αλλά ενσωματώνοντας ανθρώπους, δεδομένα και διαδικασίες σε ένα συνεκτικό σύστημα. Συγκεκριμένα, η Cisco εκτίμησε ότι το 99,4 τοις εκατό των φυσικών αντικειμένων που δυνητικά μπορούν να ενσωματωθούν στο IoE δεν ήταν ακόμη συνδεδεμένα μέχρι την έκθεσή τους. [3][20]

Το Internet of Everything (IoE) αποτελεί την εξέλιξη του Internet of Things (IoT) και εκφράζει την πλήρη διασύνδεση ανθρώπων, συσκευών, δεδομένων και διαδικασιών, με σκοπό τη δημιουργία ενός έξυπνου και δυναμικού ψηφιακού οικοσυστήματος. Στο πλαίσιο αυτό, το IoE στηρίζεται σε τέσσερις βασικούς πυλώνες: τους ανθρώπους, τα δεδομένα, τα αντικείμενα και τις διαδικασίες. Κάθε ένας από αυτούς τους πυλώνες συμβάλλει καθοριστικά στη συνολική λειτουργικότητα και την αξία του IoE.

Οι άνθρωποι βρίσκονται στο επίκεντρο του IoE, καθώς αποτελούν τους βασικούς χρήστες και αποδέκτες των σχετικών τεχνολογιών. Ο συγκεκριμένος πυλώνας αφορά τη σύνδεση των ατόμων με το διαδίκτυο με τρόπους που προσφέρουν εξατομικευμένες, χρήσιμες και ουσιαστικές εμπειρίες. Η συνδεσιμότητα των ανθρώπων ενισχύεται μέσα από διάφορα μέσα, όπως τα smartphones, οι φορητές συσκευές (wearables), οι πλατφόρμες εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας (VR/AR), αλλά και πιο πρωτοποριακές τεχνολογίες όπως οι διεπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή (brain-computerinterfaces). Ο στόχος είναι η αναβάθμιση της ανθρώπινης εμπειρίας και η ενίσχυση της ενεργούς συμμετοχής σε ένα έξυπνο περιβάλλον, όπου η αλληλεπίδραση με την τεχνολογία πραγματοποιείται με φυσικό, έξυπνο και προσαρμοστικό τρόπο, ανταποκρινόμενο στις ανάγκες κάθε χρήστη.

Τα δεδομένα συνιστούν τον θεμέλιο λίθο του IoE, καθώς πάνω σε αυτά βασίζονται οι άνθρωποι, τα αντικείμενα και οι διαδικασίες προκειμένου να λειτουργούν αποτελεσματικά και να προσφέρουν αξία. Η απλή συλλογή δεδομένων

δεν είναι αρκετή, το IoE αξιοποιεί τα ακατέργαστα δεδομένα, μετατρέποντάς τα σε ευφυή, αξιοποιήσιμη πληροφορία που υποστηρίζει τη βελτιωμένη λήψη αποφάσεων. Ο στόχος είναι η εξαγωγή ουσιαστικού νοήματος από τα δεδομένα, ώστε να παράγεται γνώση με πρακτική αξία και δυνατότητα άμεσης εφαρμογής

Αυτό επιτυγχάνεται μέσω προηγμένων τεχνολογιών όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI), η μηχανική μάθηση (machinelearning) και η ανάλυση σε πραγματικό χρόνο (real-timeanalytics). Μέσω αυτών, τα δεδομένα συμβάλλουν σε βελτιωμένη λήψη αποφάσεων, πρόβλεψη καταστάσεων και αυτοματοποίηση λειτουργιών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η υγειονομική φροντίδα, όπου τα βιομετρικά δεδομένα ενός ασθενούς μπορούν να αξιοποιηθούν για την έγκαιρη διάγνωση ή την απομακρυσμένη παρακολούθηση της υγείας του.[20][3]

Ο τρίτος πυλώνας του IoE αφορά τις φυσικές συσκευές και τα αντικείμενα που είναι συνδεδεμένα στο διαδίκτυο και έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν είτε μεταξύ τους είτε με τους ανθρώπους. Η διασύνδεση αυτή ενισχύει τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και συμβάλλει στη λήψη έξυπνων, αυτοματοποιημένων αποφάσεων, μια βασική αρχή του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT). Τα αντικείμενα αυτά περιλαμβάνουν αισθητήρες, κάμερες, οικιακές συσκευές, οχήματα, μηχανήματα, ρομπότ και κάθε άλλο τεχνολογικό μέσο που μπορεί να συλλέγει και να ανταλλάσσει δεδομένα. Η ιδιαιτερότητα του IoE έγκειται στο ότι αυτά τα αντικείμενα δεν είναι πλέον απλά «παθητικοί δέκτες» αλλά αποκτούν δυνατότητες αυτονομίας αλλά και συνεργασίας.

Οι διαδικασίες λειτουργούν ως ο συνδετικός κρίκος που ενοποιεί τους υπόλοιπους τρεις πυλώνες του IoE, τους ανθρώπους, τα αντικείμενα και τα δεδομένα. Αφορούν το πώς αυτά τα στοιχεία συνεργάζονται μέσω ευφυών και συστηματικών μεθόδων για τη δημιουργία πραγματικής αξίας. Στο πλαίσιο του IoE, οι διαδικασίες περιλαμβάνουν την αυτοματοποίηση λειτουργιών, τη βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας, την παρακολούθηση της παραγωγής, τη διαχείριση ενέργειας και ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών τόσο στην καθημερινότητα όσο και στον επιχειρηματικό τομέα. Διασφάλιση της παράδοσης των κατάλληλων πληροφοριών στις κατάλληλες οντότητες στους βέλτιστους χρόνους. Μέσω τεχνολογιών όπως το cloudcomputing, τα blockchain συστήματα και τα συστήματα αυτοδιαχείρισης με τεχνητή νοημοσύνη, οι διαδικασίες γίνονται έξυπνες, προσαρμοστικές και αποτελεσματικές, μειώνοντας τα κόστη, εξαλείφοντας καθυστερήσεις και αυξάνοντας την απόδοση.[3][20]

Για να κατανοηθεί η διαφορά μεταξύ IoT και IoE, είναι σημαντικό να εξεταστούν τα λειτουργικά τους πλαίσια. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, IoT, επικεντρώνεται κυρίως στις συνδεδεμένες συσκευές και τους αισθητήρες, οι οποίοι δημιουργούν δίκτυα και υποστηρίζουν την επικοινωνία μεταξύ μηχανών (Machine-to-Machine, M2M). Το επίκεντρο του IoT είναι η διασύνδεση υλικών συσκευών, αξιοποιώντας τις δυνατότητές τους για συλλογή και μετάδοση δεδομένων, με στόχο την υλοποίηση πλήθους εφαρμογών σε διάφορους τομείς.[3][20]

Αντίθετα με το IoT, το IoE υιοθετεί μια πιο ολιστική προσέγγιση, στην οποία ο κύκλος ξεκινά και καταλήγει στους ανθρώπους. Δεν περιορίζεται απλώς στη διασύνδεση συσκευών, αλλά δίνει έμφαση στον τρόπο με τον οποίο οι συσκευές αυτές συλλέγουν, παράγουν και επεξεργάζονται δεδομένα για να προσφέρουν εξατομικευμένες, έξυπνες

εμπειρίες. Μέσω αυτής της διαδικασίας, το IoE ενισχύει τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων και προάγει την ουσιαστική ανθρώπινη συμμετοχή. Το αποτέλεσμα είναι ένα περιβάλλον στο οποίο συνυπάρχουν και αλληλεπιδρούν διαφορετικά μοντέλα επικοινωνίας – από άτομο σε άτομο (P2P), από μηχανή σε άτομο (M2P) και από μηχανή σε μηχανή (M2M). Σε αντίθεση με το IoT, το οποίο εστιάζει κυρίως στις μηχανοκεντρικές επικοινωνίες, το IoE στοχεύει να το ξεπεράσει ενσωματώνοντας τις ανθρώπινες αλληλεπιδράσεις στο πλαίσió του, ενισχύοντας έτσι ένα ενεργό, διασυνδεδεμένο σύστημα όπου η ανταλλαγή δεδομένων είναι πιο εξορθολογισμένη και οι διαδικασίες λήψης αποφάσεων επιταχύνονται και ενισχύονται. Αυτή η μετάβαση από μια παθητική προσέγγιση με γνώμονα τους αισθητήρες στο IoT σε ένα πιο ενεργό, περιεκτικό μοντέλο στο IoE σηματοδοτεί μια ουσιαστική εξέλιξη στον τρόπο σύνδεσης και αξιοποίησης της τεχνολογίας.[3]

3.4.2 Επαυξημένη Πραγματικότητα και Εικονική Πραγματικότητα (XR/VR)

Η εκτεταμένη πραγματικότητα (XR) αποτελεί ένα σύνολο αναδυόμενων τεχνολογιών που ενσωματώνουν και συνδυάζουν τον εικονικό με τον πραγματικό κόσμο, προσφέροντας πλούσιες αλληλεπιδράσεις μεταξύ ανθρώπου και μηχανής. Μέσω υπολογιστών, φορητών συσκευών και ειδικών γυαλιών ή κρανών, η XR επιτρέπει στους χρήστες να βιώνουν εικονικά περιβάλλοντα που αλληλεπιδρούν αρμονικά με το φυσικό τους περιβάλλον ή να εμπλουτίζουν την πραγματικότητα με ψηφιακά στοιχεία. Για να το πετύχει αυτό, η XR χρησιμοποιεί τεχνητή νοημοσύνη και τρισδιάστατα ψηφιακά αντικείμενα, τα οποία επεξεργάζονται συνεχώς δεδομένα που σχετίζονται με τον προσανατολισμό, τη θέση και την επιτάχυνση των χρηστών. Αυτά τα δεδομένα προέρχονται από αισθητήρες κίνησης, GPS, κάμερες και άλλες συσκευές, επιτρέποντας την ακριβή παρακολούθηση και την προσαρμογή των ψηφιακών στοιχείων σε πραγματικό χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο, η εκτεταμένη πραγματικότητα προσφέρει εμπειρίες που είναι όχι μόνο οπτικά εντυπωσιακές, αλλά και λειτουργικά χρήσιμες, υποστηρίζοντας εφαρμογές σε τομείς όπως η εκπαίδευση, η υγεία, η βιομηχανία, η ψυχαγωγία και η στρατιωτική εκπαίδευση.

Οι τεχνολογίες εκτεταμένης πραγματικότητας (XR) απαιτούν εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, σταθερή και αξιόπιστη συνδεσιμότητα, καθώς και εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση, προκειμένου να προσφέρουν ομαλές, ρεαλιστικές και διαδραστικές εμπειρίες στους χρήστες. Επιπλέον, η υψηλή ανάλυση είναι κρίσιμη για την ακριβή απεικόνιση των ψηφιακών στοιχείων, ώστε να συγχωνεύονται αρμονικά με τον πραγματικό κόσμο. Η τρέχουσα τεχνολογία δικτύων, όπως το 5G, έχει ήδη βελτιώσει σημαντικά την υποστήριξη τέτοιων εφαρμογών, όμως η επόμενη γενιά δικτύων, το 6G, αναμένεται να φέρει επανάσταση στον τομέα αυτό. Με χαρακτηριστικά όπως η υπηρεσία εξαιρετικά υψηλής ταχύτητας χαμηλής καθυστέρησης (uHSLC), το 6G θα παρέχει τις αναγκαίες συνθήκες για τη μαζική υιοθέτηση και περαιτέρω εξέλιξη των εφαρμογών XR.

Αυτό σημαίνει ότι η μετάδοση μεγάλων όγκων δεδομένων θα γίνεται σε πραγματικό χρόνο με σχεδόν μηδενική καθυστέρηση, επιτρέποντας πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις σε

εικονικά και επαυξημένα περιβάλλοντα, ακόμη και σε κινητές ή απομακρυσμένες συσκευές. Επιπλέον, το 6G θα υποστηρίξει την ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως η τεχνητή νοημοσύνη και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, βελτιώνοντας την προσωποποίηση και την προσαρμοστικότητα των XR εμπειριών σε πραγματικό χρόνο.

Με αυτόν τον τρόπο, η εξέλιξη του 6G αναμένεται να επιτρέψει νέες εφαρμογές και υπηρεσίες σε πολλούς τομείς, όπως η υγεία, η εκπαίδευση, η βιομηχανία, η ψυχαγωγία και η τηλεπαρουσία, φέρνοντας την εκτεταμένη πραγματικότητα σε ένα νέο επίπεδο λειτουργικότητας και προσβασιμότητας. [21][3]

Η Εικονική Πραγματικότητα (VR) παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα να βυθιστούν σε ένα πλήρως προσομοιωμένο ψηφιακό περιβάλλον, όπου μπορούν να αλληλεπιδράσουν με τον χώρο και τα αντικείμενα μέσα σε αυτόν. Τα περιβάλλοντα αυτά μπορεί να είναι φανταστικοί κόσμοι ή ρεαλιστικές αναπαραστάσεις πραγματικών τοποθεσιών, σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργούν την αίσθηση της παρουσίας και της φυσικής συμμετοχής. Η δημιουργία αυτών των περιβαλλόντων γίνεται μέσω τρισδιάστατων γραφικών που παράγονται από υπολογιστές και υποστηρίζονται από εξειδικευμένο εξοπλισμό, όπως κράνη VR, χειριστήρια και αισθητήρες κίνησης. Στόχος είναι να εμπλέξουν όσο το δυνατόν περισσότερες ανθρώπινες αισθήσεις —όραση, ακοή, αφή, και σε κάποιες περιπτώσεις ακόμη και όσφρηση ή γεύση— ώστε να προσφέρουν μια ολοκληρωμένη και καθηλωτική εμπειρία.

Η VR βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς, από την ψυχαγωγία και τα βιντεοπαιχνίδια, έως την εκπαίδευση, την ιατρική, την αρχιτεκτονική και τη βιομηχανία. Για παράδειγμα, επιτρέπει την προσομοίωση χειρουργικών επεμβάσεων για εκπαιδευτικούς σκοπούς ή τη δημιουργία εικονικών περιηγήσεων σε μουσεία και αρχαιολογικούς χώρους. Με την εξέλιξη των τεχνολογιών, η VR συνεχίζει να γίνεται πιο ρεαλιστική, προσφέροντας όλο και πιο πλούσιες και προσαρμοσμένες εμπειρίες στους χρήστες.

Το Απτικό Διαδίκτυο (TI) αναμένεται να προσφέρει την απαραίτητη εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση που απαιτείται για την υποστήριξη κοινών εικονικών περιβαλλόντων, όπου πολλοί χρήστες μπορούν να αλληλεπιδρούν ταυτόχρονα σε πραγματικό χρόνο. Αυτό είναι κρίσιμο, καθώς τα σημερινά συστήματα VR συχνά αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην επίτευξη σταθερού και ομαλού συντονισμού της επικοινωνίας με τους χρήστες, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την εμπειρία και να προκαλέσει αίσθημα αποσύνδεσης ή ακόμα και ναυτία. Η απτική ανάδραση είναι ζωτικής σημασίας σε αυτά τα περιβάλλοντα, δίνοντας τη δυνατότητα στους χρήστες να αλληλεπιδρούν φυσικά με εικονικά αντικείμενα και να αισθάνονται τον αντίκτυπο των πράξεών τους, ενισχύοντας έτσι την καθηλωτική εμπειρία. Το Απτικό Διαδίκτυο (TI) είναι έτοιμο να αναδειχθεί σε βασικό παράγοντα για την υλοποίηση απτικών επικοινωνιών, προσφέροντας εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και ικανοποιώντας αυστηρές απαιτήσεις αξιοπιστίας. Με αυτές τις δυνατότητες, το TI μπορεί να υποστηρίξει ακριβείς και άμεσες απτικές αλληλεπιδράσεις, απαραίτητες για ρεαλιστικές και φυσικές εμπειρίες σε εικονικά και επαυξημένα περιβάλλοντα [21]

3.4.3 Ολογραφική Τηλεπαρουσία (Holographic Telepresence, HT)

Η ολογραφική τηλεπαρουσία (HT) μπορεί να προβάλλει ρεαλιστικές, πλήρους κίνησης, τρισδιάστατες (3D) εικόνες ανθρώπων και αντικειμένων που βρίσκονται σε απόσταση, με επίπεδο ρεαλισμού που ανταγωνίζεται τη φυσική παρουσία. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τρισδιάστατη βιντεοδιάσκεψη σε πραγματικό χρόνο, για μετάδοση ειδήσεων ή για εφαρμογές τύπου TED Talk. Η τεχνολογία HT καταγράφει βίντεο ανθρώπων και των γύρω αντικειμένων, τα οποία στη συνέχεια συμπιέζονται και μεταδίδονται μέσω ευρυζωνικού δικτύου, στο αρχικό στάδιο. Κατόπιν, οι πληροφορίες που έχουν μεταδοθεί αποσυμπιέζονται στην πλευρά του παραλήπτη και προβάλλονται με τη βοήθεια ακτίνων λέιζερ. Η HT συμβάλλει στη μείωση του κόστους επαγγελματικών ταξιδιών και επιτρέπει στους ανθρώπους να «εμφανίζονται» ταυτόχρονα σε πολλά σημεία. Ταυτόχρονα, το απτικό και διαδραστικό περιεχόμενο αποτελεί βασικό παράγοντα για την εμπλοκή του κοινού. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν ορισμένοι ανασταλτικοί παράγοντες για την ευρεία υιοθέτηση της τεχνολογίας HT. Η εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση (1 ms) και οι υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων της τάξεως των 10 Gbps είναι κάποιες από τις βασικές προκλήσεις που καλύπτονται εν μέρει από τα δίκτυα 5G. Ωστόσο, για μια πλήρως καθηλωτική και αδιάκοπη εμπειρία, απαιτείται το 6G, με καθυστέρηση 0,1 ms και ταχύτητες πολλών Gbps.[14]

Από το 2020 και μετά, η τεχνολογία 6G διαμορφώνει την επόμενη μεγάλη επανάσταση στα συστήματα επικοινωνιών, προσφέροντας σημαντικά βελτιωμένες δυνατότητες που ξεπερνούν κατά πολύ τις επιδόσεις του 5G. Το 6G δεν θα περιοριστεί μόνο στην αύξηση της ταχύτητας και της χωρητικότητας, αλλά θα εστιάσει επίσης στην παροχή εξαιρετικά χαμηλής καθυστέρησης και αυξημένης αξιοπιστίας, στοιχεία κρίσιμα για την υποστήριξη απαιτητικών εφαρμογών, όπως η εκτεταμένη πραγματικότητα (XR) και το Απτικό Διαδίκτυο (TI). Μέσω της ενσωμάτωσης απτικής ανατροφοδότησης και της προχωρημένης επεξεργασίας αισθητηριακών δεδομένων, το 6G αναμένεται να αναβαθμίσει ριζικά την εμπειρία του χρήστη, προσφέροντας πιο φυσικές, άμεσες και ρεαλιστικές αλληλεπιδράσεις. Αυτό θα δημιουργήσει ένα περιβάλλον όπου τα όρια μεταξύ του πραγματικού και του ψηφιακού κόσμου θα γίνουν ολόένα και πιο δυσδιάκριτα, επιτρέποντας τη δημιουργία ολοκληρωμένων και καθηλωτικών εμπειριών που συνδυάζουν οπτικά, ακουστικά και απτικά ερεθίσματα. Οι εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας θα αγγίξουν πολλούς τομείς, όπως η υγεία, με απομακρυσμένες χειρουργικές επεμβάσεις και προσομοιώσεις για εκπαίδευση, η εκπαίδευση, με βιοματικά μαθήματα και διαδραστικές πλατφόρμες, η βιομηχανία, με αυτοματοποιημένη παραγωγή και συντήρηση εξοπλισμού, καθώς και η ψυχαγωγία, με ρεαλιστικά παιχνίδια και κοινωνικές πλατφόρμες εικονικής παρουσίας. Με την εξέλιξη του 6G, αναμένεται να δημιουργηθεί ένα νέο οικοσύστημα ψηφιακών εμπειριών που θα μεταμορφώσει τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αλληλεπιδρούν με την τεχνολογία και μεταξύ τους, οδηγώντας σε μια εποχή όπου η ψηφιακή και η φυσική πραγματικότητα θα συνυπάρχουν αρμονικά[22]

Η ολογραφική τηλεπαρουσία (HT) και οι πολυσυναισθητηριακές επικοινωνίες αντιπροσωπεύουν τον επόμενο σημαντικό τομέα εξέλιξης στις τεχνολογίες επικοινωνίας. Η HT επιτρέπει την προβολή τρισδιάστατων, ρεαλιστικών εικόνων σε πραγματικό χρόνο, δημιουργώντας την αίσθηση της φυσικής παρουσίας των απομακρυσμένων συμμετεχόντων σε εφαρμογές όπως τρισδιάστατες τηλεδιασκέψεις, ειδησεογραφικές μεταδόσεις και παρουσιάσεις. Με αυτή την τεχνολογία, οι χρήστες μπορούν να εμφανίζονται ως ζωντανά ολογράμματα, τα οποία επιτρέπουν την αλληλεπίδραση σε τρισδιάστατο χώρο, προσφέροντας μια πιο φυσική και καθηλωτική εμπειρία

επικοινωνίας. Αυτό έχει σημαντικές εφαρμογές, όπως η απομακρυσμένη επίλυση τεχνικών προβλημάτων, η υποστήριξη δυναμικών εκπαιδευτικών διαδικασιών με βιωματικά μαθήματα, καθώς και η τηλεχειρουργική, όπου η ρομποτική χειρουργική μπορεί να πραγματοποιηθεί με ακρίβεια και ασφάλεια από απόσταση.

Παράλληλα, οι πολυαισθητηριακές επικοινωνίες εμπλουτίζουν την εμπειρία αυτή, ενσωματώνοντας όχι μόνο οπτικά και ακουστικά ερεθίσματα, αλλά και απτικά, οσφρητικά και άλλα αισθητηριακά δεδομένα, ενισχύοντας τη ρεαλιστικότητα και την αίσθηση παρουσίας. Η συνέργεια αυτών των τεχνολογιών ανοίγει νέους ορίζοντες στην επικοινωνία, καθιστώντας δυνατή τη δημιουργία περιβαλλόντων όπου οι αποστάσεις και τα φυσικά εμπόδια παύουν να υφίστανται. Αυτές οι εφαρμογές απαιτούν υψηλή ροή δεδομένων, χαμηλή καθυστέρηση και συγχρονισμό για απρόσκοπτη αλληλεπίδραση. Οι τεχνολογικές εξελίξεις στο 6G περιλαμβάνουν ταχύτητες δεδομένων που ξεπερνούν τα 1 Tbps, καθυστέρηση κάτω από 0.1 ms και χρόνους επεξεργασίας κάτω από 10 ns. Το 6G θα παρέχει έως και 1000 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα από το 5G, χρησιμοποιώντας επικοινωνία σε συχνότητες τεραχέρτζ και χωρικό πολυπλεξισμό.

Ωστόσο, οι προκλήσεις περιλαμβάνουν τη διαχείριση του αυξημένου εύρους ζώνης και την ενεργειακή απόδοση χωρίς αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Το 6G στοχεύει σε αξιοπιστία δικτύου 99.99999% και παγκόσμια κάλυψη, ενσωματώνοντας δορυφορικές και υποβρύχιες επικοινωνίες. Θα υποστηρίξει πάνω από 10^7 συσκευές ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο.

Η ενσωμάτωση αισθητηρίων που αντιλαμβάνονται την αφή, την οσμή και τη γεύση στην επικοινωνία δημιουργεί μοναδικά καθηλωτικές εμπειρίες, οι οποίες πηγαίνουν πολύ πέρα από την απλή οπτική και ακουστική αλληλεπίδραση. Με την πρόοδο αυτών των τεχνολογιών, οι κινητές συσκευές θα είναι σε θέση να ανιχνεύουν και να ερμηνεύουν τα συναισθήματα των χρηστών, επιτρέποντας έτσι πιο φυσικές και ουσιαστικές κοινωνικές αλληλεπιδράσεις. Επιπλέον, μέσω των ολογραμμάτων και των πολυαισθητηριακών ερεθισμάτων, θα γίνεται δυνατή η παρακολούθηση της ψυχικής υγείας των ατόμων, παρέχοντας υποστήριξη και φροντίδα σε απομακρυσμένες ή ψηφιακές συνθήκες. Η διαχείριση πολλαπλών καναλιών ολογραφικών δεδομένων απαιτεί ξεχωριστό ρεύμα για κάθε κανάλι με αυστηρές χρονικές απαιτήσεις. Η προτεραιότητα κάθε καναλιού θα πρέπει να προσαρμόζεται δυναμικά για βέλτιστη απόδοση, διασφαλίζοντας μια αδιάκοπη και αποτελεσματική εμπειρία χρήστη. Οι χρήστες θα μπορούν να ρυθμίζουν παραμέτρους όπως ο αριθμός καναλιών, το συνολικό εύρος ζώνης, η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο και η καθυστέρηση του επιστροφικού καναλιού.

Έως το 2030, οι διεπαφές υπηρεσιών δικτύου αναμένεται να υιοθετήσουν μια εξελικτική προσέγγιση, προσαρμοσμένη στην υποστήριξη εφαρμογών που αξιοποιούν αποτελεσματικά τις υπηρεσίες υψηλής ακρίβειας. Αυτή η αρχιτεκτονική θα εξασφαλίζει ότι τα δίκτυα υψηλής απόδοσης (HTC) θα είναι σε θέση να υποστηρίξουν τις μελλοντικές τεχνολογικές εξελίξεις, καθώς και τις ολοένα πιο σύνθετες και καθηλωτικές ολογραφικές εφαρμογές, προσφέροντας υψηλή αξιοπιστία, ταχύτητα και ποιότητα υπηρεσιών. Με αυτόν τον τρόπο, θα δημιουργηθεί το κατάλληλο υποδομικό πλαίσιο για τη νέα γενιά ψηφιακών εμπειριών, όπου η ρεαλιστικότητα και η διαδραστικότητα θα φτάνουν σε πρωτοφανή επίπεδα.[22]

3.4.4 Εξ αποστάσεως ιατρική και χειρουργική

Η εξέλιξη της τεχνολογίας 6G αναμένεται να φέρει ριζικές αλλαγές στον τομέα της υγείας, εγκαινιάζοντας την εποχή του Healthcare 5.0. Αυτή η νέα φάση χαρακτηρίζεται από την υιοθέτηση έξυπνων συστημάτων υγείας που ενσωματώνουν τεχνητή νοημοσύνη και καινοτόμες μεθοδολογίες, με στόχο τη βελτίωση της Ποιότητας Ζωής (QoL) των ασθενών. Με τη βοήθεια των Έξυπνων Φορητών Συσκευών (IWDs), που παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο ζωτικές παραμέτρους, και τις Υπηρεσίες από το Νοσοκομείο στο Σπίτι (H2H), που επιτρέπουν την παροχή ιατρικής φροντίδας απομακρυσμένα, δημιουργείται ένα ολοκληρωμένο οικοσύστημα φροντίδας. Επιπλέον, το Έξυπνο Διαδίκτυο των Ιατρικών Πραγμάτων (IoMT) συνδέει και διαχειρίζεται τις ιατρικές συσκευές, εξασφαλίζοντας αξιόπιστη, γρήγορη και ασφαλή ανταλλαγή δεδομένων. Η σύζευξη αυτών των τεχνολογιών, με την αυξημένη απόδοση, την εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και την ευρεία συνδεσιμότητα του 6G, αναμένεται να μεταμορφώσει τα συστήματα υγείας, καθιστώντας την περίθαλψη πιο εξατομικευμένη, άμεση και προληπτική.[23]

Η επικοινωνία τεραχέρτζ (THz), μια βασική εφαρμογή του 6G, προσφέρει πολλές εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης όπως η δερματολογία, η φαρμακευτική βιομηχανία, η οδοντιατρική και η γενική ιατρική απεικόνιση. Οι νανο-αισθητήρες μπορούν να παρακολουθούν διάφορα ιόντα στο ανθρώπινο αίμα και να μεταδίδουν δεδομένα μέσω της επικοινωνίας THz σε ένα μικρο-διεπαφή, όπως ένα κινητό τηλέφωνο ή μια ιατρική συσκευή. Η Τηλεχειρουργική είναι μια καινοτόμος προσέγγιση στην τηλεϊατρική που επιτρέπει χειρουργικές επεμβάσεις χωρίς την φυσική παρουσία του χειρουργού. Απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό, προηγμένα τηλεπικοινωνιακά τεχνολογίες, συστήματα απεικόνισης υψηλής ανάλυσης και μια ασφαλή και αξιόπιστη σύνδεση επικοινωνίας. Το βασικό στοιχείο είναι ένα ρομποτικό χειρουργικό σύστημα που περιλαμβάνει μια κεντρική κονσόλα όπου ο χειρουργός λαμβάνει οπτική, ηχητική και απτική ανάδραση.[14][23]

Η τεχνολογία 6G αναμένεται να ξεπεράσει τα περιοριστικά προβλήματα των προηγούμενων γενεών δικτύων, προσφέροντας τις απαιτούμενες υψηλές ταχύτητες δεδομένων, ακρίβεια, αξιοπιστία και εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση που απαιτεί η τηλεχειρουργική. Με αυτόν τον τρόπο, θα διευρυνθεί η πρόσβαση σε ιατρική εξειδίκευση σε απομακρυσμένες περιοχές, ενώ παράλληλα θα ανοίξουν νέοι δρόμοι στις δυνατότητες της χειρουργικής, φέρνοντας μια επανάσταση στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Η χρήση OpticalWireless Communication (OWC) προσφέρει μια ασφαλή εναλλακτική λύση για την ενδοκλινική μετάδοση δεδομένων, μειώνοντας τις παρεμβολές σε ευαίσθητο ιατρικό εξοπλισμό και παρέχοντας υψηλές ταχύτητες δεδομένων σε μικρές αποστάσεις.[23]

Συνοψίζοντας, η ενσωμάτωση των αυτόνομων οχημάτων με τα δίκτυα 6G, σε συνδυασμό με τις πρωτοποριακές εφαρμογές τηλεχειρουργικής και τις σημαντικές

βελτιώσεις στην επικοινωνία και την παρακολούθηση της υγείας, αναμένεται να φέρει σημαντικά κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Τα δίκτυα 6G θα επιτρέψουν την ασφαλέστερη και πιο αποδοτική λειτουργία των αυτόνομων οχημάτων, μειώνοντας τα ατυχήματα και τις εκπομπές ρύπων, ενώ παράλληλα θα ενισχύσουν την πρόσβαση σε προηγμένες ιατρικές υπηρεσίες ακόμα και σε απομακρυσμένες περιοχές. Με αυτόν τον τρόπο, το 6G θα σηματοδοτήσει την έναρξη μιας νέας εποχής, μεταμορφώνοντας ριζικά τόσο τον τομέα των μεταφορών όσο και της υγειονομικής περίθαλψης, βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής και προωθώντας τη βιωσιμότητα.[23]

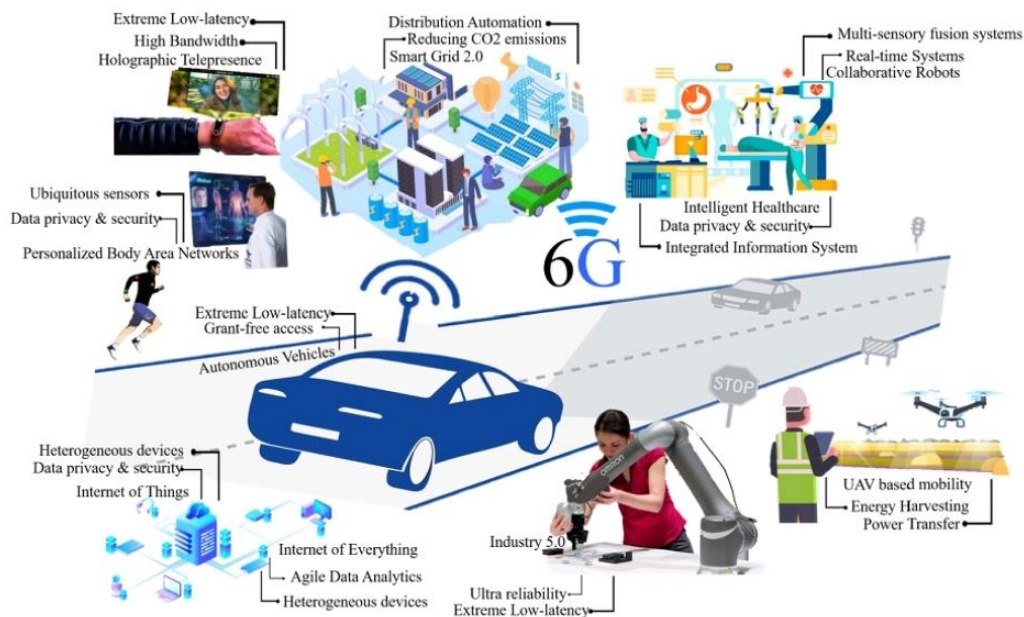
3.4.5 Μη επανδρωμένα αεροσκάφη UAVs

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (Unmanned Aerial Vehicles – UAVs), γνωστά και ως drones, έχουν εξελιχθεί ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες, αποτελώντας βασικό στοιχείο πολλών τεχνολογικών και επιχειρησιακών εφαρμογών. Αρχικά σχεδιάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν ευρέως σε στρατιωτικές και αμυντικές αποστολές, κυρίως για αυτόνομη επιτήρηση, αναγνώριση εχθρικών θέσεων και αποστολές παρακολούθησης υψηλού ρίσκου, χωρίς την άμεση εμπλοκή ανθρώπινου δυναμικού σε επικίνδυνες περιοχές. Ωστόσο, με την πρόοδο της τεχνολογίας και τη μείωση του κόστους παραγωγής και λειτουργίας, η χρήση των UAVs επεκτάθηκε σημαντικά και σε μη στρατιωτικούς τομείς. Σήμερα, τα drones αξιοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως η περιβαλλοντική παρακολούθηση (π.χ. μέτρηση ρύπανσης, παρακολούθηση δασικών πυρκαγιών), η προστασία και διαχείριση της γεωργικής παραγωγής, η αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών (π.χ. εκτίμηση ζημιών μετά από σεισμούς ή πλημμύρες), καθώς και η διαχείριση της κυκλοφορίας και η ασφάλεια στις αστικές περιοχές.

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAVs) καθίστανται ολοένα και πιο πολύτιμα στο πεδίο των ασύρματων επικοινωνιών, καθώς έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν είτε ως ιπτάμενοι κόμβοι αναμετάδοσης, είτε ως κινητοί εναέριοι σταθμοί βάσης (Base Stations – BS). Η ιδιότητά τους αυτή επιτρέπει την ενίσχυση της συνδεσιμότητας σε περιοχές που αντιμετωπίζουν έλλειψη ή πλήρη απουσία τηλεπικοινωνιακής υποδομής, όπως σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές, σε περιοχές που έχουν πληγεί από φυσικές καταστροφές, καθώς και σε σημεία υψηλής συγκέντρωσης χρηστών (connectivity hotspots). Τα UAVs είναι σε θέση να υποστηρίξουν ασύρματες ευρυζωνικές επικοινωνίες υψηλών ταχυτήτων, ακόμη και σε περιβάλλοντα όπου οι επίγειοι σταθμοί βάσης είτε δεν είναι διαθέσιμοι, είτε δυσλειτουργούν εξαιτίας εξωτερικών συνθηκών ή βλαβών στο δίκτυο. Επιπρόσθετα, η χρήση των UAVs έχει επεκταθεί σε πληθώρα διεπιστημονικών και εμπορικών εφαρμογών, όπως η επιστημονική έρευνα, το ηλεκτρονικό εμπόριο, η παράδοση αγαθών, και η διαχείριση κρίσεων και φυσικών καταστροφών. Σε αυτά τα σενάρια, απαιτείται ταχεία επεξεργασία και μετάδοση δεδομένων, βελτιστοποιημένη κάλυψη επικοινωνίας και ακριβής τρισδιάστατη τοποθέτηση, ώστε τα UAVs να

προσαρμόζονται δυναμικά στις ανάγκες του εκάστοτε περιβάλλοντος και να ανταποκρίνονται με ευελιξία και αποτελεσματικότητα.[24][14]

Τα βασικά πλεονεκτήματα των UAV έναντι της σταθερής υποδομής περιλαμβάνουν την ελεγχόμενη κινητικότητα, την ευκολία ανάπτυξης και τη συνδεσιμότητα με οπτική επαφή (LoS). Η επικείμενη ενσωμάτωση της τεχνολογίας 6G με την τεχνητή νοημοσύνη αναμένεται να αντιμετωπίσει κρίσιμες προκλήσεις που σχετίζονται με την κινητικότητα των UAV, όπως η μεταφορά ισχύος και ο αποτελεσματικός σχεδιασμός διαδρομής. Η επιτυχής λειτουργία των UAV σε αυτούς τους ρόλους απαιτεί εξαιρετικά ακριβή έλεγχο, ελάχιστο λανθάνοντα χρόνο από άκρο σε άκρο, αξιόπιστη συνδεσιμότητα και σημαντική υπολογιστική ισχύ, τα οποία παρουσιάζουν σημαντικές προκλήσεις για τα UAV περιορισμένης ισχύος. Επιπλέον, η παρεμβολή μεταξύ ιπτάμενων και σταθερών σταθμών βάσης αποτελεί σημαντική πρόκληση λόγω των μεταβλητών θέσεων και κινητικότητας των UAV. Η ανάπτυξη σταθμών βάσης που τοποθετούνται σε UAV είναι επί του παρόντος θέμα μελέτης στο 3GPP Release 17, με την τεχνολογία να αναμένεται να τεθεί σε λειτουργία με την ανάπτυξη του 6G. Αυτή η πρόοδος θα φέρει δυνητικά επανάσταση στη χρήση των UAV, επεκτείνοντας τις εφαρμογές και την αποτελεσματικότητά τους τόσο στον αμυντικό όσο και στον πολιτικό τομέα.[25]



Εικόνα 3-6: Αναδυόμενες εφαρμογές 6G

4 Συμπεράσματα – Ευκαιρίες – Προκλήσεις

4.1 Συμπεράσματα

Η ενσωμάτωση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT) στα δίκτυα επόμενης γενιάς, όπως το 6G, προβλέπεται να αποτελέσει μια κρίσιμη εξέλιξη που θα αλλάξει ριζικά τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν οι άνθρωποι, οι συσκευές και οι υποδομές. Τα δίκτυα 6G θα προσφέρουν υπερυψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, σχεδόν μηδενική καθυστέρηση (latency), και την ικανότητα να διαχειρίζονται τεράστιους όγκους δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης (AI) στα δίκτυα αυτά θα επιτρέψει την αυτόματη ανάλυση, πρόβλεψη και λήψη αποφάσεων, ενισχύοντας έτσι τη λειτουργικότητα των εφαρμογών IoT.

Με αυτό το τεχνολογικό υπόβαθρο, το 6G θα δώσει ώθηση σε μια πληθώρα εφαρμογών που απαιτούν μαζική διασύνδεση συσκευών και αξιόπιστη επικοινωνία, όπως είναι οι έξυπνες πόλεις, όπου οι αισθητήρες θα παρακολουθούν συνεχώς τις υποδομές, την κυκλοφορία και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες για να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των πολιτών. Παράλληλα, η αυτοματοποίηση βιομηχανικών διαδικασιών θα αποκτήσει νέα επίπεδα αποτελεσματικότητας και ασφάλειας, με τη δυνατότητα άμεσης ανταπόκρισης και διαχείρισης κρίσεων.

Επιπλέον, η χρήση του 6G σε συνδυασμό με το IoT θα μεταμορφώσει το πεδίο της υγειονομικής περίθαλψης, επιτρέποντας τη συνεχή παρακολούθηση της υγείας των ασθενών σε πραγματικό χρόνο, τη γρήγορη διάγνωση και την εξατομικευμένη θεραπεία, ακόμα και σε απομακρυσμένες περιοχές. Τέλος, η δυνατότητα συλλογής και ανάλυσης περιβαλλοντικών δεδομένων σε μεγάλη κλίμακα θα υποστηρίξει πρωτοβουλίες για την προστασία του περιβάλλοντος και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Παρά τις προφανείς τεχνολογικές προκλήσεις, όπως η ανάγκη για ασφαλή και αξιόπιστα πρωτόκολλα επικοινωνίας, η διαχείριση τεράστιου όγκου δεδομένων και η διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών συσκευών και συστημάτων, καθώς και τις οργανωτικές δυσκολίες που σχετίζονται με την υιοθέτηση και διαχείριση αυτών των νέων τεχνολογιών, η σύζευξη του 6G με το IoT προσφέρει τεράστιες δυνατότητες. Αυτές μπορούν να λειτουργήσουν ως κινητήριος δύναμη για την επόμενη ψηφιακή επανάσταση, επηρεάζοντας βαθιά την καθημερινή ζωή, την οικονομία και την κοινωνία στο σύνολό της.

Συμπερασματικά, η εξέλιξη προς τα δίκτυα 6G με ενσωματωμένο IoT προσφέρει μοναδικές ευκαιρίες για έξυπνες, διασυνδεδεμένες κοινωνίες και βιομηχανίες, αλλά η πραγματοποίησή τους απαιτεί συστηματική αντιμετώπιση των τεχνικών, ρυθμιστικών, ασφαλιστικών και περιβαλλοντικών προκλήσεων. Η επιτυχημένη εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών μπορεί να θέσει τα θεμέλια για ένα βιώσιμο και ολοκληρωμένο οικοσύστημα 6G-IoT, ικανό να υποστηρίξει το μέλλον της ψηφιακής κοινωνίας και οικονομίας.[28,30,33,35]

4.2 Ευκαιρίες από την ενσωμάτωση IoT σε δίκτυα 6G

Η ενσωμάτωση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στα δίκτυα 6G δημιουργεί μια νέα εποχή καινοτομίας και τεχνολογικής ανάπτυξης, ανοίγοντας πολλαπλούς ορίζοντες εφαρμογών που θα μεταμορφώσουν τη σύγχρονη κοινωνία. Τα δίκτυα 6G χαρακτηρίζονται από εξαιρετικά υψηλή χωρητικότητα, που αναμένεται να φτάσει τα 1 Tbps (terabits ανά δευτερόλεπτο), και σχεδόν μηδενική καθυστέρηση (latency) κάτω από 1 ms, κάτι που επιτρέπει την άμεση και αξιόπιστη διασύνδεση δισεκατομμυρίων συσκευών IoT. Αυτές οι επιδόσεις επιτυγχάνονται μέσω προηγμένων τεχνολογιών, όπως η χρήση φασμάτων υψηλής συχνότητας (millimeter waves και terahertz bands), η χωρική πολυπλεξία (massive MIMO) και τα έξυπνα δίκτυα (intelligent networks) με ενσωματωμένη τεχνητή νοημοσύνη για βελτιστοποίηση της μετάδοσης και διαχείριση πόρων σε πραγματικό χρόνο.

Αυτά τα χαρακτηριστικά αποτελούν τη βάση για την υλοποίηση έξυπνων πόλεων, όπου η βελτιστοποιημένη διαχείριση υποδομών, η παρακολούθηση κατανάλωσης ενέργειας μέσω έξυπνων μετρητών (smart meters), και η διαχείριση κυκλοφορίας μέσω αυτοματοποιημένων συστημάτων ελέγχου και αισθητήρων, αυξάνουν σημαντικά την αποδοτικότητα και την ποιότητα ζωής.

Στον τομέα της υγείας, η συνεχής παρακολούθηση ασθενών γίνεται δυνατή μέσω αισθητήρων βιομετρικών δεδομένων που συνδέονται ασύρματα με δίκτυα 6G, εξασφαλίζοντας γρήγορη μετάδοση μεγάλων όγκων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η μειωμένη καθυστέρηση και η υψηλή αξιοπιστία είναι κρίσιμες για εφαρμογές τηλεϊατρικής και ιατρικών επεμβάσεων εξ αποστάσεως, όπου ακόμα και μικρές καθυστερήσεις μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις.

Η Βιομηχανία 4.0 ωφελείται από την αυτοματοποίηση και την ενσωμάτωση συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης, όπου η χρήση τεχνολογιών όπως τα edge computing και τα δίκτυα ιδιωτικού cloud (private clouds) επιτρέπουν την επεξεργασία δεδομένων τοπικά και την άμεση ανταπόκριση σε περιπτώσεις κρίσεων, μειώνοντας ταυτόχρονα το φόρτο στα κεντρικά δίκτυα. Η υψηλή αξιοπιστία και ασφάλεια των 6G δικτύων υποστηρίζεται επίσης από προηγμένα κρυπτογραφικά πρωτόκολλα και μηχανισμούς ανίχνευσης απειλών, απαραίτητα για την προστασία ευαίσθητων βιομηχανικών δεδομένων.

Η παρακολούθηση του περιβάλλοντος στηρίζεται σε μεγάλα δίκτυα αισθητήρων με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (LPWAN - Low Power Wide Area Networks) που συλλέγουν δεδομένα για κλιματικούς παράγοντες, ποιότητα αέρα και υδάτων, επιτρέποντας την έγκαιρη ανίχνευση κινδύνων και την πρόληψη φυσικών καταστροφών μέσω προγνωστικών αλγορίθμων.

Τέλος, η παγκόσμια κάλυψη των δικτύων 6G επιτυγχάνεται και μέσω της χρήσης δορυφορικών συνδέσεων χαμηλής τροχιάς (LEO satellites), που συνεργάζονται με επίγεια δίκτυα για να παρέχουν αξιόπιστη συνδεσιμότητα σε απομακρυσμένες περιοχές, μειώνοντας το ψηφιακό χάσμα και ενισχύοντας την κοινωνική ένταξη. Η τεχνολογία network slicing επιτρέπει τη δημιουργία εικονικών

δικτύων προσαρμοσμένων σε διαφορετικές απαιτήσεις εφαρμογών, εξασφαλίζοντας βέλτιστη απόδοση και διαχείριση πόρων.

4.3 Προκλήσεις

Η ενσωμάτωση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στα δίκτυα 6G συνοδεύεται από μια σειρά πολύπλοκων προκλήσεων, που εκτείνονται σε τεχνικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό επίπεδο. Τα συστήματα 5G αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις ασφαλείας, όπως η διαφάνεια, η διαλειτουργικότητα δεδομένων, η αποκέντρωση και τα τρωτά σημεία του απορρήτου του δικτύου. Αυτές οι προκλήσεις, εάν δεν επιλυθούν, θα εξακολουθούν να υφίστανται και στα δίκτυα 6G, υποδεικνύοντας την ανάγκη για ενισχυμένη ασφάλεια, προστασία της ιδιωτικής ζωής και ρυθμιστικά μέτρα για τη διασφάλιση της φυσικής ασφάλειας του δικτύου. Οι μελλοντικές επικοινωνίες 6G θα απαιτήσουν την ανάπτυξη νέων τεχνικών ασφαλείας φυσικού επιπέδου, αξιοποιώντας τις προόδους στα μεγάλα δεδομένα και την τεχνητή νοημοσύνη, ενσωματώνοντας ασφαλείς αλληλεπιδράσεις σε όλα τα επίπεδα δικτύου. [3][26]

Η συνεχώς αυξανόμενη διάδοση των συσκευών του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και η σταδιακή τους ενσωμάτωση στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα 5G, αλλά και στα υπό ανάπτυξη δίκτυα 6G, δημιουργούν ένα νέο πεδίο προκλήσεων που σχετίζονται με την κατανομή πόρων και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των δικτύων. Η ενσωμάτωση των συσκευών του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στα σύγχρονα δίκτυα 5G και τα υπό ανάπτυξη δίκτυα 6G φέρνει στο προσκήνιο μια σειρά σύνθετων προκλήσεων, οι οποίες προκύπτουν από την πολυμορφία των συσκευών, των πρωτοκόλλων επικοινωνίας και των διαφοροποιημένων απαιτήσεων σε πόρους.

Το IoT περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα συσκευών, από απλούς αισθητήρες χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας έως σύνθετο βιομηχανικό εξοπλισμό υψηλών επιδόσεων. Κάθε τύπος συσκευής έχει μοναδικές ανάγκες όσον αφορά τη μετάδοση δεδομένων, την κατανάλωση ενέργειας και την απόκριση σε πραγματικό χρόνο. Η διασφάλιση απρόσκοπτης επικοινωνίας και η βέλτιστη κατανομή των διαθέσιμων πόρων σε ένα τόσο ετερογενές οικοσύστημα αποτελεί ιδιαίτερα απαιτητικό έργο για τους διαχειριστές δικτύων. Η μεγαλύτερη δυσκολία εντοπίζεται στον τεράστιο αριθμό συσκευών που συνδέονται ταυτόχρονα, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένες απαιτήσεις χωρητικότητας και επιβαρύνει την αποτελεσματική διαχείριση της κυκλοφορίας δεδομένων. Οι συσκευές αυτές εμφανίζουν έντονη ετερογένεια, καθώς κυμαίνονται από απλούς αισθητήρες χαμηλής κατανάλωσης μέχρι βιομηχανικές μηχανές υψηλής απόδοσης. Η διαφοροποίηση αυτή καθιστά απαραίτητη την ανάπτυξη ευφών μηχανισμών κατανομής πόρων και διαχείρισης της κυκλοφορίας, ώστε να εξασφαλίζεται ισορροπημένη και αποδοτική λειτουργία του δικτύου. Αν και τα δίκτυα 6G αναμένεται να υποστηρίξουν ευρύ φάσμα πρωτοκόλλων, η συνύπαρξη παλαιότερων προτύπων με τα πιο σύγχρονα ενδέχεται να δημιουργήσει προβλήματα

συμβατότητας και διαλειτουργικότητας. Η αποτελεσματική διαχείριση διαφορετικών πρωτοκόλλων είναι απαραίτητη για την εξασφάλιση ομαλής επικοινωνίας και συνέχειας στη λειτουργία του δικτύου. Η ασφάλεια των συσκευών IoT και των δεδομένων τους συνιστά κρίσιμο ζήτημα. Πολλές συσκευές διαθέτουν περιορισμένες υπολογιστικές δυνατότητες και δεν διαθέτουν επαρκή μηχανισμούς προστασίας, γεγονός που τις καθιστά ευάλωτες σε κυβερνοεπιθέσεις. Καθώς όλο και περισσότερες συσκευές IoT ενσωματώνονται σε κρίσιμες υποδομές και ευαίσθητες εφαρμογές, η διασφάλιση της ασφάλειας και της ακεραιότητας των δεδομένων, καθώς και η προστασία της ιδιωτικότητας των χρηστών, καθίσταται επιτακτική. Αυτό απαιτεί την εφαρμογή ισχυρών πρωτοκόλλων ασφαλούς επικοινωνίας, την αυστηρή ταυτοποίηση των συσκευών και την κρυπτογράφηση δεδομένων από άκρο σε άκρο.[27][28]

Πέραν των ζητημάτων ασφαλείας και διαχείρισης ετερογενών συσκευών, μια ακόμη σημαντική πρόκληση αφορά την καθυστέρηση (latency) και την αξιοπιστία των επικοινωνιών. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα δίκτυα κινητών επικοινωνιών, το 6G στοχεύει σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως η απομακρυσμένη ιατρική παρακολούθηση, η χειρουργική μέσω τηλεπαρακολούθησης, τα αυτόνομα οχήματα και οι έξυπνες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, όπου ακόμη και μικρές καθυστερήσεις μπορούν να έχουν σοβαρές συνέπειες. Η εξασφάλιση εξαιρετικά χαμηλής καθυστέρησης, συχνά σε επίπεδα μικροδευτερολέπτων, απαιτεί ανασχεδιασμό της αρχιτεκτονικής των δικτύων, ώστε να μειώνεται ο χρόνος μετάδοσης δεδομένων από τη συσκευή στον εξυπηρετητή και αντίστροφα. Η πρόκληση γίνεται ακόμη μεγαλύτερη λόγω του τεράστιου αριθμού συνδεδεμένων συσκευών IoT, που δημιουργούν ταυτόχρονα υψηλές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, χωρητικότητα και υποδομές επεξεργασίας δεδομένων. Η παράλληλη διαχείριση εκατομμυρίων ροών δεδομένων απαιτεί εξελιγμένους αλγόριθμους προτεραιοποίησης και δυναμικής κατανομής πόρων, ώστε να εξασφαλίζεται η συνέπεια της μετάδοσης και η αποφυγή συμφόρησης του δικτύου.[29]

Η διαλειτουργικότητα και η τυποποίηση αποτελούν βασικές προκλήσεις για την επιτυχή ανάπτυξη και λειτουργία των δικτύων 6G. Η διαλειτουργικότητα αναφέρεται στην ικανότητα διαφορετικών συστημάτων, συσκευών και τεχνολογιών να συνεργάζονται αποτελεσματικά μεταξύ τους χωρίς να απαιτούνται ειδικές ρυθμίσεις ή επιπλέον μετατροπές. Στο περιβάλλον των δικτύων 6G, όπου αναμένεται να συνδεθούν τεράστιες ποσότητες συσκευών Internet of Things (IoT) με ποικίλες λειτουργίες, η διαλειτουργικότητα καθίσταται κρίσιμη για τη διασφάλιση ομαλής επικοινωνίας και αποτελεσματικής διαχείρισης δεδομένων. Η ποικιλία τεχνολογιών και προτύπων που συνυπάρχουν στα σύγχρονα και μελλοντικά δίκτυα δημιουργεί σημαντικές δυσκολίες. Η έλλειψη κοινών προδιαγραφών μπορεί να οδηγήσει σε κατακερματισμό της αγοράς, όπου διαφορετικές υποδομές και συσκευές δεν μπορούν να συνεργαστούν αποτελεσματικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αυξημένο κόστος ανάπτυξης και συντήρησης, καθυστερήσεις στην υιοθέτηση νέων υπηρεσιών και περιορισμένη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του 6G.

Για να αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα, η ανάπτυξη κοινών πρωτοκόλλων επικοινωνίας και μηχανισμών συμβατότητας είναι απαραίτητη. Τα πρωτόκολλα αυτά διασφαλίζουν ότι οι συσκευές και οι υποδομές μπορούν να

ανταλλάσσουν δεδομένα με ασφάλεια και αξιοπιστία, ανεξάρτητα από τον κατασκευαστή ή την τεχνολογία που χρησιμοποιείται. Επιπλέον, η τυποποίηση διευκολύνει την εφαρμογή κοινών πολιτικών ασφάλειας, διαχείρισης ταυτότητας και ελέγχου πρόσβασης σε όλο το οικοσύστημα του 6G, μειώνοντας τον κίνδυνο ασυμβατότητας και ενισχύοντας τη συνολική ασφάλεια του δικτύου.

Τέλος, η τυποποίηση και η διαλειτουργικότητα ενισχύουν την καινοτομία και την οικονομική βιωσιμότητα. Οι προμηθευτές και οι κατασκευαστές μπορούν να επικεντρωθούν στην ανάπτυξη νέων υπηρεσιών και εφαρμογών, χωρίς να ανησυχούν για προβλήματα συμβατότητας, ενώ οι χρήστες απολαμβάνουν ομαλή και απρόσκοπτη εμπειρία σε πολυτεχνολογικά περιβάλλοντα. Η συνεργασία μεταξύ φορέων τυποποίησης, βιομηχανίας και ακαδημαϊκής κοινότητας καθίσταται επομένως απαραίτητη για την επιτυχή υλοποίηση των δικτύων 6G.[29][30]

Η κλιμάκωση και η μαζική συνδεσιμότητα αποτελούν σημαντικές τεχνικές προκλήσεις για τα δίκτυα 6G και τα συστήματα IoT. Η σύνδεση εκατομμυρίων συσκευών δημιουργεί αυξημένες απαιτήσεις σε χωρητικότητα, εύρος ζώνης και διαχείριση κυκλοφορίας, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε συμφόρηση, καθυστερήσεις και μειωμένη ποιότητα υπηρεσιών. Η ανάγκη για διαχείριση τόσο μεγάλης κλίμακας δεδομένων σε πραγματικό χρόνο δημιουργεί προκλήσεις στην αξιοπιστία, την ασφάλεια και την αποδοτικότητα του δικτύου. Η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών όπως τα λογισμικά καθοριζόμενα δίκτυα (SDN) και το network slicing προσφέρει λύσεις, αλλά η εφαρμογή τους σε μαζική κλίμακα αποτελεί πρόκληση από μόνη της. Η δημιουργία απομονωμένων υποδικτύων και η ευέλικτη κατανομή πόρων ανά εφαρμογή IoT απαιτεί σύνθετους μηχανισμούς διαχείρισης και συνεχή παρακολούθηση της κυκλοφορίας.

Επιπλέον, η χρήση τεχνητής νοημοσύνης (AI) και μηχανικής μάθησης (ML) για την πρόβλεψη προτύπων κυκλοφορίας και την αυτοματοποιημένη βελτιστοποίηση σε πραγματικό χρόνο φέρνει προκλήσεις όσον αφορά την αξιοπιστία των αλγορίθμων, την ασφάλεια των δεδομένων και την ορθότητα των προβλέψεων σε δυναμικά και μεγάλης κλίμακας περιβάλλοντα. Η εξασφάλιση ότι οι προβλέψεις θα παραμένουν ακριβείς και ότι η διαχείριση πόρων θα γίνεται χωρίς διακοπές ή σφάλματα αποτελεί σημαντική πρόκληση για την αποτελεσματική λειτουργία των δικτύων 6G AIoT [31].

Η ασφάλεια των δεδομένων και των συσκευών IoT αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές και πολύπλοκες προκλήσεις στα δίκτυα 6G. Πολλές συσκευές IoT διαθέτουν περιορισμένη υπολογιστική ισχύ, μικρή μνήμη και περιορισμένες δυνατότητες αποθήκευσης, γεγονός που περιορίζει την ενσωμάτωση προηγμένων μηχανισμών ασφάλειας. Αυτό τις καθιστά ιδιαίτερα ευάλωτες σε κυβερνοεπιθέσεις, όπως παραβίαση δεδομένων, υποκλοπή πληροφοριών ή κακόβουλο λογισμικό, με αποτέλεσμα η ασφάλεια του συνολικού δικτύου να εξαρτάται από κάθε μεμονωμένη συσκευή. Μία από τις βασικές προκλήσεις είναι η διαχείριση της ασφάλειας σε μεγάλης κλίμακας δίκτυα, όπου εκατομμύρια συσκευές παράγουν συνεχώς δεδομένα. Η προστασία της ιδιωτικότητας των χρηστών απαιτεί ασφαλή πρωτόκολλα επικοινωνίας, κρυπτογράφηση δεδομένων σε όλα τα επίπεδα και δυνατότητες άμεσης ανίχνευσης και αντίδρασης σε απειλές. Η εξασφάλιση της ασφάλειας σε κατανεμημένα περιβάλλοντα αυξάνει τη δυσκολία, καθώς κάθε συσκευή και κάθε

κανάλι επικοινωνίας πρέπει να είναι προστατευμένα από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση ή αλλοίωση των δεδομένων. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων εφαρμόζονται μέτρα όπως:

- Αυστηρή ταυτοποίηση των συσκευών, ώστε μόνο εξουσιοδοτημένες συσκευές να μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο.
- Κρυπτογράφηση end-to-end, που διασφαλίζει ότι τα δεδομένα παραμένουν ασφαλή καθ' όλη τη διαδρομή τους από τη συσκευή στον κεντρικό διακομιστή.
- Χρήση ψηφιακών πιστοποιητικών και βιομετρικών μηχανισμών ταυτοποίησης, για ενίσχυση της ασφάλειας σε φυσικό και ψηφιακό επίπεδο.
- Μηχανισμοί ασφαλούς εκκίνησης, και συνεχής ενημέρωση λογισμικού για αποτροπή μη εξουσιοδοτημένων τροποποιήσεων και διατήρηση της αξιοπιστίας των συσκευών.

Η εφαρμογή αυτών των μέτρων, αν και απαραίτητη, φέρνει νέες τεχνικές προκλήσεις, καθώς απαιτεί συνεχή παρακολούθηση, αποδοτική διαχείριση των πόρων και διασφάλιση ότι τα πρωτόκολλα ασφάλειας δεν επηρεάζουν την απόδοση και την ταχύτητα επικοινωνίας των δικτύων 6G AIoT.[31]

Η διαχείριση του τεράστιου όγκου δεδομένων (Big Data) που παράγουν τα δίκτυα IoT αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για τα δίκτυα 6G, καθώς η ποσότητα και η ποικιλία των δεδομένων είναι πρωτοφανείς. Κάθε IoT συσκευή δημιουργεί συνεχή ροή δεδομένων, και όταν μιλάμε για εκατομμύρια συσκευές, η συνολική πληροφορία που πρέπει να συλλεχθεί, αποθηκευτεί, επεξεργαστεί και αναλυθεί γίνεται τεράστια. Αυτό απαιτεί υποδομές υψηλής χωρητικότητας, δηλαδή servers και κέντρα δεδομένων που μπορούν να χειριστούν μεγάλες ταχύτητες και όγκους πληροφοριών χωρίς διακοπές ή καθυστερήσεις. Παράλληλα, χρειάζονται γρήγοροι και αξιόπιστοι διακομιστές που να μπορούν να επεξεργάζονται τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, ώστε οι εφαρμογές IoT να λειτουργούν σωστά και αξιόπιστα. Η πρόκληση γίνεται ακόμη μεγαλύτερη, καθώς τα δεδομένα προέρχονται από διαφορετικές συσκευές, πρωτόκολλα και μορφές, κάτι που δυσχεραίνει την ενοποίηση των πληροφοριών και την ορθή αξιοποίησή τους. Η διαχείριση αυτής της ποικιλίας δεδομένων απαιτεί συγκεκριμένες στρατηγικές επεξεργασίας και ανάλυσης, ώστε οι πληροφορίες να γίνουν χρήσιμες για τη βελτιστοποίηση του δικτύου και των υπηρεσιών.[32]

Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και η μηχανική μάθηση (ML) παίζουν καθοριστικό ρόλο στην αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων. Οι αλγόριθμοι AI/ML μπορούν να αναλύουν τα πρότυπα κυκλοφορίας δεδομένων, να εντοπίζουν πιθανά σημεία συμφόρησης (bottlenecks) και να προτείνουν βελτιώσεις στην κατανομή των πόρων του δικτύου. Επιπλέον, η αυτοματοποιημένη διαχείριση δεδομένων επιτρέπει την πρόβλεψη μελλοντικών απαιτήσεων του δικτύου, έτσι ώστε η υποδομή να προσαρμόζεται σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας καθυστερήσεις και αυξάνοντας την απόδοση των εφαρμογών IoT. Με αυτόν τον τρόπο, η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση AI/ML λειτουργεί ως εργαλείο που όχι μόνο διευκολύνει την

επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων, αλλά και βελτιστοποιεί τη συνολική λειτουργία του δικτύου 6G [31][32]

Τα δίκτυα 6G αναμένεται να αξιοποιούν εξαιρετικά υψηλές συχνότητες, όπως το φάσμα THz, το οποίο προσφέρει σημαντικά μεγαλύτερο εύρος ζώνης σε σχέση με τα προηγούμενα δίκτυα και επιτρέπει τη μετάδοση τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, δυνατότητα ιδιαίτερα σημαντική για εφαρμογές IoT υψηλής κλίμακας, όπως έξυπνες πόλεις, βιομηχανικό Internet of Things και εφαρμογές απομακρυσμένης παρακολούθησης κρίσιμων υποδομών. Ωστόσο, η χρήση αυτών των πολύ υψηλών συχνοτήτων φέρνει σημαντικές προκλήσεις σε πολλαπλά επίπεδα: τεχνικά, καθώς οι υψηλές συχνότητες έχουν μικρή εμβέλεια και περιορισμένη διείσδυση σε εμπόδια όπως κτίρια, δέντρα ή τοίχοι, γεγονός που μειώνει την κάλυψη και την αξιοπιστία του σήματος και απαιτεί την ανάπτυξη πολυάριθμων χωρικών σταθμών βάσης, μικροκυψελών και τη χρήση τεχνικών beamforming και MIMO για την εστιασμένη και δυναμική κατεύθυνση της ακτινοβολίας, ενώ η ευαισθησία στις καιρικές συνθήκες ενισχύει την ανάγκη για εξελιγμένα πρωτόκολλα προσαρμοστικής διαχείρισης σήματος, αλλά και ρυθμιστικά, καθώς η αξιοποίηση νέων φασμάτων απαιτεί την ανάπτυξη κανονιστικών πλαισίων από διεθνείς οργανισμούς, όπως η ITU, και από εθνικές αρχές, ώστε να αποφευχθεί η παρεμβολή σε υπάρχουσες υπηρεσίες και να διασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία των νέων δικτύων, διαδικασία η οποία μπορεί να είναι χρονοβόρα και να καθυστερήσει την εμπορική εφαρμογή του 6G. Συνολικά, η ενσωμάτωση του φάσματος THz στα δίκτυα 6G απαιτεί συνδυασμό τεχνολογικής καινοτομίας και ρυθμιστικής προσαρμογής, ώστε να επιτευχθεί υψηλή ταχύτητα μετάδοσης και χαμηλή καθυστέρηση, χωρίς να διακυβεύεται η αξιοπιστία ή η συμμόρφωση με τα πρότυπα, και η επιτυχής εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας θα αποτελέσει καθοριστικό βήμα για τη στήριξη μεγάλης κλίμακας IoT εφαρμογών με υψηλές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και ποιότητα υπηρεσίας.[33]

Σημαντικές είναι επίσης οι ρυθμιστικές και κοινωνικές προκλήσεις, καθώς η ευρεία διάδοση του 6G και του IoT εγείρει ζητήματα προστασίας προσωπικών δεδομένων, συμμόρφωσης με διεθνείς κανονισμούς και ασφάλειας κρίσιμων υποδομών. Οι πάροχοι πρέπει να συνεργάζονται με ρυθμιστικές αρχές για την ανάπτυξη πλαισίων λειτουργίας που διασφαλίζουν τη νόμιμη και ασφαλή λειτουργία των δικτύων, ενώ η πολυμορφία συσκευών και πρωτοκόλλων δημιουργεί ανάγκη για τυποποίηση και διαλειτουργικότητα.

Τέλος, η περιβαλλοντική διάσταση δεν μπορεί να αγνοηθεί. Η μαζική παραγωγή και συνεχής αναβάθμιση των IoT συσκευών οδηγεί σε σημαντική παραγωγή ηλεκτρονικών αποβλήτων, ενώ η ανομοιογένεια σε hardware και λογισμικό δυσχεραίνει την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση υλικών. Η ανάπτυξη «πράσινων» πρακτικών, όπως ενεργειακά αποδοτικά κυκλώματα, επαναχρησιμοποίηση εξαρτημάτων και ανακύκλωση ηλεκτρονικών υλικών, είναι απαραίτητη για τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και τη βιώσιμη ανάπτυξη των δικτύων 6G. Συνολικά, η επιτυχής αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί συνδυασμό τεχνολογικής καινοτομίας, ρυθμιστικής συμμόρφωσης, ασφάλειας και περιβαλλοντικής υπευθυνότητας, ώστε τα δίκτυα 6G να παρέχουν χαμηλή καθυστέρηση, υψηλή αξιοπιστία, ασφάλεια και βιώσιμη

υποδομή για μεγάλης κλίμακας IoT εφαρμογές, θέτοντας τις βάσεις για ένα μέλλον πλήρως διασυνδεδεμένων, ευφυών και αειφόρων συστημάτων.[33,34,35]

Για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων, οι πάροχοι και διαχειριστές δικτύων καταφεύγουν σε προηγμένες τεχνολογικές λύσεις, όπως τα λογισμικά καθοριζόμενα δίκτυα (Software Defined Networking – SDN) και η τεχνική του network slicing. Το SDN προσφέρει τη δυνατότητα κεντριοποιημένου ελέγχου, επιτρέποντας την ευέλικτη και δυναμική προσαρμογή της κατανομής των διαθέσιμων πόρων, ενώ το network slicing καθιστά εφικτή τη δημιουργία απομονωμένων εικονικών υποδικτύων, τα οποία προσαρμόζονται σε συγκεκριμένες ανάγκες εφαρμογών IoT και σε απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Συμπληρωματικά, η αξιοποίηση τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης διευρύνει περαιτέρω τις δυνατότητες των δικτύων, καθώς επιτρέπει την πρόβλεψη προτύπων κυκλοφορίας, τον έγκαιρο εντοπισμό περιορισμών και την αυτοματοποιημένη βελτιστοποίηση της διαχείρισης των πόρων σε πραγματικό χρόνο. Εξίσου κρίσιμη παράμετρος για την επιτυχή ενσωμάτωση του IoT είναι η ασφάλεια. Τα συστήματα IoT αποτελούν ελκυστικούς στόχους για κυβερνοεπιθέσεις, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την εφαρμογή ισχυρών μέτρων προστασίας. Στα μέτρα αυτά περιλαμβάνονται η χρήση ασφαλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας, η αυστηρή ταυτοποίηση συσκευών και η κρυπτογράφηση δεδομένων από άκρο σε άκρο (end-to-end encryption). Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται τόσο η ακεραιότητα όσο και η εμπιστευτικότητα των δεδομένων που διακινούνται στα δίκτυα 5G και 6G.

Συνολικά, η επιτυχής αξιοποίηση και ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στην άρση των εμποδίων που δημιουργεί η μαζική υιοθέτηση του IoT. Με την εφαρμογή καινοτόμων λύσεων, οι πάροχοι δικτύων έχουν τη δυνατότητα να ενισχύσουν την αποδοτική χρήση των διαθέσιμων πόρων, να υποστηρίξουν απρόσκοπτη συνδεσιμότητα και να ανοίξουν τον δρόμο για τη μετάβαση σε ένα τεχνολογικό μέλλον, το οποίο θα χαρακτηρίζεται από ευφυή, πλήρως διασυνδεδεμένα και αλληλεπιδρώντα συστήματα.[26][27]

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία ανέδειξε τη σημασία και τις δυνατότητες που προσφέρει η ενσωμάτωση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στα δίκτυα 6G, εξετάζοντας τόσο τις τεχνικές, ρυθμιστικές, ασφαλιστικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις, όσο και τις ευκαιρίες που προκύπτουν από τη συνύπαρξη αυτών των τεχνολογιών. Τα δίκτυα 6G, χάρη στην υψηλή ταχύτητα μετάδοσης, τη χαμηλή καθυστέρηση και την αυξημένη αξιοπιστία, ανοίγουν νέους δρόμους για εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως έξυπνες πόλεις, αυτοματοποιημένη βιομηχανία και απομακρυσμένη υγειονομική παρακολούθηση. Παράλληλα, η ευρεία διάδοση των IoT συσκευών απαιτεί προσεκτική αντιμετώπιση ζητημάτων ασφάλειας, διαλειτουργικότητας, αποτελεσματικής διαχείρισης πόρων και περιορισμού του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Η ανάλυση που παρουσιάστηκε υπογραμμίζει ότι η επιτυχημένη ενσωμάτωση IoT σε 6G δίκτυα δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την τεχνολογική καινοτομία, αλλά και από την υιοθέτηση ολοκληρωμένων στρατηγικών ασφάλειας, κανονιστικής συμμόρφωσης και βιώσιμων πρακτικών σχεδίασης. Η συνδυαστική εφαρμογή τεχνολογιών όπως SDN, network slicing, edge computing και τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να ενισχύσει την αποδοτικότητα, την αξιοπιστία και την ευελιξία των δικτύων, ενώ παράλληλα περιορίζει τους κινδύνους και μειώνει την περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Συνολικά, η ενσωμάτωση του IoT σε δίκτυα 6G δημιουργεί ένα πλούσιο οικοσύστημα ευκαιριών για την ανάπτυξη έξυπνων, διασυνδεδεμένων και βιώσιμων συστημάτων, που μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής, την αποδοτικότητα των επιχειρήσεων και τη διαχείριση κρίσιμων υποδομών. Η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη σε αυτόν τον τομέα θα καθορίσει την πλήρη αξιοποίηση του δυναμικού των 6G δικτύων, οδηγώντας σε ένα τεχνολογικό μέλλον όπου η διασυνδεσιμότητα, η ασφάλεια και η βιωσιμότητα θα συνυπάρχουν αρμονικά.

5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Τεχνολογική πρόοδος: Σκέψεις για τις συνέπειες - Αντικλείδι
- [2] Τι είναι το IoT; - IoT Labs
- [3] file.pdf Βασίλειος Α. Βόνγκος (2024). Το Όραμα Των Ασύρματων Δικτύων 6G: Εφαρμογές, Τάσεις, Τεχνολογία & Έρευνα σελ 1-84.
- [4] Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (2015). The internet of things: An overview. The Internet Society (ISOC), 1-50.
- [5] Patel, K. K., & Patel, S. M. (2016). Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. Int. J. Eng. Sci. Comput, 6
- [6] theFile Θεανώ Β. Μαλούτα Ελένη Ζ. Μίχου (2019). Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) Συγκριτική παρουσίαση και αξιολόγηση των σημαντικότερων τεχνολογιών υλοποίησης
- [7] <https://e27.co/advantages-disadvantages-internet-things-20160615/>
- [8] <https://bitdefender.gr/blog/ti-eina-to-internet-of-things/>
- [9] Ζαχαροπούλου, Π. (2020). *Το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) και οι εφαρμογές του στην καθημερινή ζωή* σελ 18
- [10] <https://courses.minnlearn.com/el/courses/emerging-technologies/the-internet-of-things/important-areas-for-iot/>
- [11] https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/11095/1/11_Mitropoulos_Distributed-Information-Systems_CH11.pdf
- [12] Ηλιας Π. Τζιώτης (2022) 6G: Η επόμενη γενιά ασύρματων επικοινωνιών , σελ 1-80
- [13] Mehdi Hosseinzadeh, Atefeh Hemmati & Amir Masaid Rahmani (2022). 6G-Enabled Internet of Things: Vision, Techniques, and Open Issues, 1-48.
- [14] Ning, H., Farha, F., Mohammad, Z. N., & Daneshmand, M. (2020). A survey and tutorial on “connection exploding meets efficient communication” in the Internet of Things.
- [15] Saad, W., Bennis, M., & Chen, M. (2020, May/June). A vision of 6G wireless systems: Applications, trends, technologies, and open research problems. IEEE Network, 34(3), 134-142. <https://doi.org/10.1109/MNET.001.1900287>
- [16] Qamar, F., Siddiqui, M. U. A., Hindia, M., Hassan, R., & Nguyen, Q. (2020). Issues, challenges, and research trends in spectrum management: A comprehensive overview and new vision for designing 6g networks. Electronics (MDPI), 9(9), 1416. <https://doi.org/10.3390/electronics9091416>
- [17] Rappaport, T. S., Xing, Y., MacCartney, G. R., Molisch, A. F., Mellios, E., & Zhang, J. (2019). Wireless communications and applications above 100 GHz: Opportunities and challenges for 6G and beyond. IEEE Access 7, 78729-78757. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2921522>
- [18] Tataria, H., Shafi, M., Molisch, A. F., Dohler, M., Sjolund, H., & Tufvesson, F. (2021, July). 6G wireless systems: Vision, requirements, challenges, insights, and opportunities. <https://arxiv.org/abs/2008.03213>

- [19] <https://www.eprom.gr/pera-apo-to-5g-ekserevnontas-to-mellon-tis-asyrmatis-technologias-6g/>
- [20] Evans, D. (2011). The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything. CISCO white paper, 1(2011), 1-11.
- [21] Hong, W., Jiang, Z. H., Yu, C., Hou, D., Wang, H., Guo, C., Hu, Y., Kuai, L., Yu, Y., Jiang, Z., Chen, Z., Chen, J., Zhai, J., Zhang, N., Tian, L., Wu, F., Yang, G., Hao, Z.-C., & Zhou, J. Y. (2021, January). The role of millimeter-wave technologies in 5G/6G wireless. *IEEE Journal of Microwaves*, 1(1), 101-122. <https://doi.org/10.1109/JMW.2020.3035541>
- [22] Tene, O., & Polonetsky, J. (2013). Big Data for All: Privacy and User Control in the Age of Analytics. *Northwestern Journal of Technology and Intellectual Property*.
- [23] De Alwis, C., Kalla, A., Pham, Q.-V., Kumar, P., Dev, K., Hwang, W.-J., & Liyanage, M. (2021, April). Survey on 6G frontiers: Trends, applications, requirements, technologies and future research. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2, 836-886. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2021.3071496>
- [24] Fang, X., Wei, T., Feng, W., Wei, H., Chen, Y., Ge, N., & Wang, C. X. (2021, September). 5G embraces satellites for 6G ubiquitous IoT: Basic models for integrated satellite terrestrial network. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(18), 14399-14417. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3068596>
- [25] Khan, L. U., Yaqoob, I., Imran, M., Han, Z., & Hong, C. S. (2020, August). 6G wireless systems: A vision, architectural elements, and future directions. *IEEE Access*, 8, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3015289>
- [26] Dinh C Nguyen, Pubudu N Pathirana, Ming Ding, Aruna Seneviratne (2022) Blockchain for 5G and Beyond Networks: A State of the Art Survey.
- [27] [Internet of Things \(IoT\) Integration: Identifying Blockages and Optimizing Resource Allocation in 5G/6G Networks – IEEE 5G/6G Innovation Testbed](#)
- [28] [6G Networks: Challenges and Solutions for the Future](#)
- [29] Χ. Δούση, *6G: Αρχιτεκτονική και προκλήσεις*, Πτυχιακή εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2023.
- [30] Ρήγας, Α. (2024). *Απαιτήσεις και τεχνολογικές προκλήσεις για την μετάβαση στην 6η γενιά κινητών επικοινωνιών* [Πτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής].
- [31] Θεοδορίδης, Ν. (2024). *6G – ενεργοποιημένη τεχνητή νοημοσύνη διαδίκτυο πραγμάτων* [Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας]
- [32] Τσιγγούρ, Ι. (2024). *Ασύρματες επικοινωνίες και δικτύωση στα συστήματα 5G/6G* [Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας]
- [33] [6G: The Next Frontier In Wireless Communication And Its Impact On IoT - Talking IoT](#)
- [34] [Internet of things - Wikipedia](#)
- [35] Zhang, S., Zhang, L., & Yang, X. (2021). 6G Wireless Networks: Vision, Requirements, Architecture, and Key Technologies. *IEEE Network*, 35
- [36] [Electronic waste - Wikipedia](#)