



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

6G: Μηχανική Μάθηση - Τεχνητή Νοημοσύνη και εξέλιξη της Βιομηχανίας 4.0 – Έρευνα και Προκλήσεις

Ακαδημαϊκό Έτος : 2023-2024

Παππά Αγλαΐα

AM: 03203362

Επιβλέπων: Καθηγητής Ε.Μ.Π. Δουλάμης Νικόλαος

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

6G: Μηχανική Μάθηση - Τεχνητή Νοημοσύνη και εξέλιξη της Βιομηχανίας 4.0 – Έρευνα και Προκλήσεις

Ακαδημαϊκό Έτος : 2023-2024

Παππά Αγλαΐα

AM: 03203362

Επιβλέπων: Καθηγητής Ε.Μ.Π. Δουλάμης Νικόλαος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 26/02/2024.

Δουλάμης Νικόλαος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Δουλάμης Αναστάσιος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Βαρβαρίγου Θεοδώρα

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Copyright © Αγλαΐα Παππά, 2024.

Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της μηχανικής μάθησης και της τεχνητής νοημοσύνης στα πλαίσια της ανάπτυξης του 6G και η συσχέτισή τους με τη Βιομηχανία 4.0 αλλά και στον τρόπο που θα συμβάλλουν στην εξέλιξή της.

Αρχικά, στο κεφάλαιο 1 γίνεται μια σύντομη εισαγωγή στις κινητές επικοινωνίες 0-5G. Πιο συγκεκριμένα αναφέρονται συνοπτικά οι γενιές κινητών τηλεπικοινωνιών μέχρι και το 4G, και αναλύονται πιο πολύ η 5G και η 6G, όπου και συγκρίνονται μεταξύ τους. Εστιάζουμε στην 6G γενιά κινητών επικοινωνιών όπου είναι και το κέντρο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο κεφάλαιο 2 εστιάζουμε στη μηχανική μάθηση και τεχνητή νοημοσύνη στο 6G. Στο 6G είναι ακόμα υπό συζήτηση ο σχεδιασμός του, προς το παρόν υπάρχουν μόνο θεωρητικά πλαίσια ως προς το πώς θα επηρεάσουν η μηχανική μάθηση και η τεχνητή νοημοσύνη το 6G, π.χ. με τα έξυπνα ρομπότ. Η αλληλεπίδραση σε επίπεδο μεγάλων δεδομένων και αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης σε λειτουργίες δικτύου θα είναι κάτι που θα βελτιώσει την εικόνα του 6G.

Στο κεφάλαιο 3 αναφέρεται η Βιομηχανία 4.0 και πώς το 6G μπορεί να στηρίξει τον τομέα των κατασκευών, καθώς και πιθανές αρχιτεκτονικές του 6G που μπορούν να συνεισφέρουν σε κάτι τέτοιο, αλλά και προκλήσεις που αναμένεται να αντιμετωπιστούν.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται μια εκτενής έρευνα σχετικά με την εξέλιξη της Βιομηχανίας 4.0. Αρχικά γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή στη Βιομηχανία X.0, από το παρελθόν μέχρι και σήμερα και μελετώνται ενεργοποιητές τεχνολογίες που θα συνεισφέρουν στη Βιομηχανία 5.0 που θα είναι επικεντρωμένη στον άνθρωπο.

Τέλος στο κεφάλαιο 5 παρέχονται τα συμπεράσματα από την παρούσα έρευνα και ένας σύντομος σχολιασμός σχετικά με αυτά.

Λέξεις κλειδιά

μηχανική μάθηση, δίκτυα έκκτης γενιάς, βιομηχανία 4.0, βιομηχανία 5.0, τεχνητή νοημοσύνη

Abstract

The aim of this thesis is the study of machine learning and artificial intelligence in the context of the development of 6G and their correlation with Industry 4.0 as well as the way they will contribute to its evolution.

First of all, chapter 1 provides a brief introduction to 0-5G mobile communications. More specifically, the generations of mobile telecommunications up to 4G are briefly mentioned, and 5G and 6G are further analyzed, where they are compared to each other. We focus on the 6G generation of mobile communications which is also the focus of this thesis.

In chapter 2 we focus on machine learning and artificial intelligence in 6G. As 6G is still under discussion about the planning, currently there are only theoretical frameworks as to how machine learning and artificial intelligence will affect 6G, e.g. with smart robots. The interaction at the level of big data and machine learning and artificial intelligence algorithms in network functions will be something that will improve the performance of 6G.

Chapter 3 discusses Industry 4.0 and how 6G can support the manufacturing sector, as well as possible 6G architectures that can contribute to this, and challenges that are expected to be addressed.

In chapter 4 an extensive research is done on the evolution of Industry 4.0. First, a brief historical review of Industry X.0 is made, from the past to the present, and enabling technologies that will contribute to Industry 5.0, which will be human-centered, are studied.

Finally, chapter 5 provides the conclusions from this research and a brief commentary on them.

Key words

machine learning, 6 generation networks, industry 4.0, industry 5.0, artificial intelligence

Ευχαριστίες

Θερμές ευχαριστίες απευθύνω στον καθηγητή μου, κύριο Νικόλαο Δουλάμη, για την ευκαιρία που μου έδωσε αναλαμβάνοντας την επίβλεψή μου στο συγκεκριμένο θέμα. Ιδιαίτερες ευχαριστίες, ακόμη, εκφράζω για την πολύτιμη καθοδήγηση και στήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης. Ευχαριστίες απευθύνω, επίσης, στην οικογένεια και τους φίλους μου οι οποίοι με τον δικό τους τρόπο βοήθησαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	7
Abstract.....	9
Ευχαριστίες.....	10
Περιεχόμενα.....	11
Εισαγωγή.....	16
Εξέλιξη κινητών επικοινωνιών 0G-5G.....	16
Συγκριτική μελέτη 4G/5G.....	22
Τρέχουσα αγορά 5G.....	23
Σύνοψη του 6G και τεχνολογίες που το απαρτίζουν.....	25
Σύγκριση 5G και 6G.....	27
Εφαρμογές του 6G.....	31
Σύνοψη πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων 6G.....	39
Κεφάλαιο 2: Μηχανική μάθηση και τεχνητή νοημοσύνη στο 6G.....	44
Η τεχνητή νοημοσύνη στη βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών μέχρι σήμερα.....	44
Τεχνητή νοημοσύνη ενισχυμένη από το 6G.....	47
Υπερ-εξειδίκευση (Hyper specification).....	48
Υπερ-ικανό (Hyper capable).....	50
Υπερ-ανίχνευση (Hyper sensing).....	51
Έξυπνα ρομπότ και 6G.....	53
Ρομπότ με συναισθηματική νοημοσύνη.....	54
Βιομηχανικά ρομπότ.....	55
Ρομπότ στον τομέα της υγείας.....	58
Ρομπότ στις έξυπνες πόλεις.....	60

Μηχανική μάθηση με το 6G.....	62
Εποπτευόμενη μάθηση.....	63
Μη εποπτευόμενη και ημι-εποπτευόμενη μάθηση.....	64
Ενισχυμένη μάθηση.....	66
Βαθιά μάθηση με το 6G.....	68
Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο.....	68
Βαθύ νευρωνικό δίκτυο.....	69
Ομοσπονδιακή μάθηση στο 6G.....	69
Μαύρο κουτί.....	73
Επιστήμη δεδομένων και 6G.....	74
Περιγραφική ανάλυση δεδομένων.....	75
Ανάλυση διαγνωστικών δεδομένων.....	75
Ανάλυση αναμενόμενων δεδομένων.....	75
Ανάλυση προγνωστικών δεδομένων.....	76
Κεφάλαιο 3: Βιομηχανία 4.0 και ο ρόλος του 6G.....	77
Επισκόπηση του 6G και της υποβοηθούμενης τεχνολογίας στη Βιομηχανία 4.0.....	77
Όραμα του 6G – αρχιτεκτονική του 6G.....	81
Πιθανή αρχιτεκτονική του 6G.....	82
Προκλήσεις στην υιοθέτηση της νέας τεχνολογίας από τις βιομηχανίες.....	84
Κεφάλαιο 4: Βιομηχανία 4.0 και εξέλιξη προς τη Βιομηχανία 5.0.....	86
Ιστορία της Βιομηχανίας X.0.....	86
Βιομηχανία 4.0 και σύγκριση με τη Βιομηχανία 5.0.....	87
Κίνητρα πίσω από την εξέλιξη προς τη Βιομηχανία 5.0.....	89
Τι είναι η Βιομηχανία 5.0 και τα χαρακτηριστικά της.....	91

Χαρακτηριστικά της Βιομηχανίας 5.0.....	92
Το 6G και άλλες τεχνολογίες που συνεισφέρουν.....	104
6G and Beyond: τεχνολογία ενεργοποίησης στη Βιομηχανία 5.0.....	106
Προκλήσεις.....	107
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα.....	109
Διεισδυτικότητα του 6G στις επιχειρήσεις.....	110
Ευκαιρίες και προκλήσεις του 6G με τη μηχανική μάθηση και τεχνητή νοημοσύνη...	114
Σύνοψη.....	116
Βιβλιογραφία.....	120

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Χρονοδιάγραμμα τυποποίησης από τη 3GPP, [39].....	25
Εικόνα 2: Σύγκριση ανάμεσα στην επικοινωνία 5G και 6G, [36].....	27
Εικόνα 3: Σενάριο 6G.....	32
Εικόνα 4: Βιομηχανικό ρομπότ από τη Mitsubishi Electric που παρουσιάστηκε στην Interpark για τη συσκευασία σοκολατών, [52].....	56
Εικόνα 5: Πρόβλεψη ανά έτος εγκατάστασης βιομηχανικών ρομπότ, [33].....	57
Εικόνα 6: Εφαρμογές που βασίζονται κυρίως στο 6G μέσω τεχνητής νοημοσύνης.....	59
Εικόνα 7: Μηχανική μάθηση αποδοτική στο υλικό, στο άκρο.....	68
Εικόνα 8: Σύνοψη της ομοσπονδιακής μάθησης στο 6G, [35].....	70
Εικόνα 9: Παράδειγμα εφαρμογής αλγορίθμου μαύρου κουτιού στην αναγνώριση εικόνας.....	74
Εικόνα 10: Τρία βελτιωμένα σενάρια για το σύστημα 6G.....	79
Εικόνα 11: Προβλεπόμενο όραμα των 6G ασύρματων επικοινωνιών.....	82
Εικόνα 12: Προτεινόμενη αρχιτεκτονική για τη χρήση κεραιών 6G στο δίκτυο.....	83
Εικόνα 13: Αναπαράσταση βιομηχανικής εξέλιξης.....	87
Εικόνα 14: Εφαρμογές της Βιομηχανίας 5.0.....	96
Εικόνα 15: Το οικοσύστημα της κατασκευής σύννεφου.....	98
Εικόνα 16: Τεχνολογίες ενεργοποίησης της Βιομηχανίας 5.0.....	104
Εικόνα 17: Πλάνο ανάπτυξης 6G.....	112

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Σύγκριση μεταξύ 1G, 2G και 3G ανάλογα με διάφορες παραμέτρους.....	18
Πίνακας 2: Σύγκριση Απόδοσης 4G και 5G.....	23
Πίνακας 3: Προσδοκίες για το 6G.....	25
Πίνακας 4: Σύγκριση των KPIs 5G και 6G, [37].....	27
Πίνακας 5: Διαφορές εποπτευόμενης και μη εποπτευόμενης μάθησης.....	64
Πίνακας 6: Σύγκριση μεταξύ Βιομηχανίας 4.0 και 5.0.....	88
Πίνακας 7: Ο ρόλος των τεχνολογιών ενεργοποίησης για τις εφαρμογές της Βιομηχανίας 5.0.....	105
Πίνακας 8: Σύνοψη πλεονεκτημάτων 6G.....	117
Πίνακας 9: Σύνοψη μειονεκτημάτων 6G.....	118

Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μια συνοπτική αναφορά στις κινητές επικοινωνίες και θα εστιαστεί πιο πολύ το ενδιαφέρον στο 6G και στα χαρακτηριστικά του. Θα ακολουθήσει μια σύντομη περιγραφή των τεχνολογιών 1G-4G, του 5G αλλά και του αναβαθμισμένου 5G (5G Advanced). Θα εστιάσουμε στην εξέλιξη της πορείας των γενεών κινητής επικοινωνίας και πώς αυτή έχει βελτιωθεί σε μεγάλο βαθμό τις υπηρεσίες τα τελευταία χρόνια. Η μελλοντική γενιά ασύρματων συστημάτων, δηλαδή το 6G, αναμένεται να διαθέτει πολλαπλές νέες προδιαγραφές, απαιτήσεις και πιθανές χρήσεις, χρησιμοποιώντας μεθόδους μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης, αλλά και συνεισφέροντας στη βιομηχανία 4.0 και κατ' επέκταση στη βιομηχανία 5.0.

Εξέλιξη κινητών επικοινωνιών 0G-5G

Το δίκτυο 0G δημιουργήθηκε για πρώτη φορά για επικοινωνία μέσω ραδιοφώνου, το οποίο ήταν το πρώτο είδος ασύρματου τηλεφώνου μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Αναφέρεται ως "προκυβελική κινητή τεχνολογία (0G)" σε πολλές πηγές. Η αλλαγή της συχνότητας του καναλιού δεν ήταν δυνατή στο σύστημα επικοινωνίας 0G, συνεπώς οι εταιρείες κινητής τηλεφωνίας εγκαθιστούσαν κλήσεις για να λειτουργήσουν ως μεταπομπές. Τα συστήματα 0G εγκαταστάθηκαν σε αυτοκίνητα, πλοία, ακόμη και σε χαρτοφύλακες για να ειδοποιούν σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Για παράδειγμα, οι εργοδηγοί των κατασκευών, οι καταγραφείς, οι μεσίτες και οι διάσημοι είναι μεταξύ εκείνων που είχαν επωφεληθεί από το 0G στη φωνητική επικοινωνία. Στην τεχνολογία 0G, χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές όπως το Push to Talk (PTT), το Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας (Mobile Telephony System – MTS), η Βελτιωμένη Υπηρεσία Κινητής Τηλεφωνίας (Improved Mobile Telephony Service – IMTS), το Προηγμένο Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας (Advanced Mobile Telephone System – AMTS), το OLT (Offentlig Landmobil Telefoni ή αλλιώς Public Land Mobile Telephony) και ο Κατάλογος Κινητής Τηλεφωνίας (Mobile Telephone Directory – MTD) [5].

Οι ταχύτητες που προσέφερε η πρώτη γενιά κινητής τηλεφωνίας (η οποία χρησιμοποιήθηκε την περίοδο 1980-1990) ήταν στο εύρος 1KBps έως 2.8KBps και

βασιζόταν σε τεχνολογία μεταγωγής κυκλώματος (circuit switch). Το δίκτυο 1G υποστηριζόταν από μια τεχνολογία που ονομαζόταν "Αναλογική Τηλεφωνική Υπηρεσία" (Analog Phone Service). Επιπροσθέτως, το εύρος ζώνης που απαιτούσε ήταν 40MHz σε συχνότητες: 800 έως 900MHz, και παράλληλα υποστήριζε επικοινωνίες ήχου. Η υποδομή του βασιζόταν σε τεχνολογίες πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας (Frequency Division Multiplexing – FDM), οι οποίες προσέφεραν χαμηλής ποιότητας κλήσεις. Ωστόσο, το δίκτυο 1G χαρακτηριζόταν από υψηλή κατανάλωση ενέργειας, το οποίο δεν ήταν το μοναδικό μειονέκτημα, όπως: επικοινωνίες ήχου με διακοπές, μη σωστή χωρητικότητα δεδομένων, μη ασφαλείς επικοινωνίες και όχι προστασία των δεδομένων κατά τη μεταφορά τους (έλλειψη κρυπτογραφίας κλπ).

Το 2G ήταν άμεσα συνδεδεμένο με το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (Global Mobile Communication System – GSM). Η τεχνολογία αυτή ξεκίνησε το 1991 από τη Φινλανδία και αποτέλεσαν τα πρώτα ψηφιακά κυψελωτά δίκτυα. Το δίκτυο 2G είχε ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με το 1G, τα οποία το κατέστησαν καλύτερο αντικαταστάτη του· δυνατά του σημεία ήταν ότι είχε καλύτερα πρότυπα και παρείχε μεγαλύτερη ασφάλεια στις επικοινωνίες. Η τεχνολογία 1G αντικαταστάθηκε από την αντίστοιχη ψηφιακή (2G) με απώτερο σκοπό την ψηφιοποίηση των επικοινωνιών για παροχή υπηρεσιών όπως γραπτά μηνύματα (sms), φωτογραφίες και μηνύματα πολυμέσων (mms). Στην τεχνολογία 2G τα μηνύματα ψηφιοποιήθηκαν και κωδικοποιήθηκαν εξ ολοκλήρου μέσω κρυπτογράφησης. Με αυτό τον τρόπο, ήταν εφικτή η ανταλλαγή δεδομένων χωρίς να μπορεί ο ενδιαμέσος κακόβουλος χρήστης να κατανοήσει τα μηνύματα που ανταλλάσσονταν· αυτά έπρεπε να είναι κατανοητά μόνο από τον τελικό παραλήπτη. Στα δίκτυα 2G εισήχθησαν οι όροι (κωδικοποιήσεις που χρησιμοποιήθηκαν): πολλαπλή διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Multiple Access – FDMA), πολλαπλή πρόσβαση χρόνου (Time Division Multiple Access – TDMA) και πολυπλεξία διαίρεσης κώδικα (Code Division Multiplexing Access – CDMA).

Το 3G εξελίχθηκε ακόμα περισσότερο και παρείχε ακόμα υψηλότερες ταχύτητες τάξης των 144kbps χρήστες εν κινήσει και ακόμα υψηλότερες ταχύτητες σε περιπτώσεις πεζών ή σταθερών σημείων (384kbps και 2Mbps αντίστοιχα). Η τεχνολογία αυτή

εισήγαγε νέες βελτιώσεις στις ασύρματες επικοινωνίες αναφορικά με τη μετάδοση σε υψηλές ταχύτητες, την άμεση πρόσβαση σε πολυμέσα και την παγκόσμια περιαγωγή (roaming). Η χρήση του 3G γίνεται κυρίως σε κινητά τηλέφωνα και αποτελούσε τον τρόπο σύνδεσης του τηλεφώνου με το Διαδίκτυο ή σε άλλα δίκτυα IP για την εκπόνηση φωνητικών κλήσεων και βιντεοκλήσεων, λήψη και αποστολή δεδομένων, καθώς και περιήγηση στο διαδίκτυο. Επιπλέον, το 3G υποστήριξε εφαρμογές πολυμέσων όπως τη ροή βίντεο, την τηλεδιάσκεψη αλλά και τη χρήση του διαδικτύου εν κινήσει (και όχι). Η τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε στο δίκτυο 3G ήταν η μεταγωγή πακέτου (packet switch) και οι τηλεφωνικές κλήσεις αποκρυπτογραφούνται με ένα μεταγωγέα κυκλώματος. Το 3G αποτέλεσε την αρχή των πιο σύγχρονων επικοινωνιών όπου οι απαιτήσεις για αυξημένες ταχύτητες δεδομένων είχαν ήδη εμφανιστεί. [5]

Πίνακας 1: Σύγκριση μεταξύ 1G, 2G και 3G ανάλογα με διάφορες παραμέτρους.

Τεχνολογία	1G	2G/ 2.5G	3G
Αρχή/ ανάπτυξη	1970/ 1984	1980/ 1999	2000/ 2010
Εύρος Ζώνης Δεδομένων	2 kbps	14.4 – 64 kbps	2 Mbps
Πρότυπα	AMPS	2G: TDMA, CDMS, GSM 2.5G: GPRS, EDGE	WCDMA, CDMA – 2000
Τεχνολογία	Αναλογική Κυψελοειδής Τεχνολογία	Ψηφιακή Κυψελοειδής Τεχνολογία	Ευρέους ζώνης CDMA, τεχνολογία IP
Υπηρεσία	Κινητή Τηλεφωνία (Φωνή)	2G: Ψηφιακή Φωνή, SMS 2.5G: Υψηλότερη χωρητικότητα πακέτων δεδομένων	Ολοκληρωμένη Υψηλότερη Ποιότητα ήχου, βίντεο και δεδομένων
Πολυπλεξία	FDMA	TDMA, CDMA	CDMA

Εναλλαγή	Κυκλώματος	2G: Κυκλώματος 2.5G: Κυκλώματος για το δίκτυο πρόσβασης και διεπαφές αέρα: Πακέτου για το δίκτυο κορμού και δεδομένων	Πακέτου εκτός από τις διεπαφές αέρα Κυκλώματος
Δίκτυο Κορμού	PSTN	PSTN	Δίκτυο Πακέτων
Μεταπομπή	Οριζόντια	Οριζόντια	Οριζόντια
Σημείωση	Κατά το 1G τα ασύρματα τηλέφωνα χρησιμοποιούνταν μόνο για φωνή.	Η 2η γενιά επέτρεπε σε αρκετούς χρήστες να εκμεταλλεύονται έναν μοναδικό κανάλι μέσω της τεχνικής πολυπλεξίας. Κατά την περίοδο της 2.5ης γενιάς, παρατηρήθηκε αύξηση στις υπηρεσίες πολυμέσων και στη ροή δεδομένων. Τα κινητά τηλέφωνα άρχισαν να υποστηρίζουν προγράμματα περιήγησης στο διαδίκτυο.	Η 3G τεχνολογία παρείχε υποστήριξη για υπηρεσίες πολυμέσων, συνδυάζοντας τη μεταφορά δεδομένων. Αυτό επέτρεπε την ευρεία πρόσβαση και τη φορητότητα σε διάφορες κατηγορίες συσκευών.

Από τις αρχές του '70 και μετά, όταν παρουσιάστηκε το πρώτο γενιάς κινητό δίκτυο, η πορεία μας ήταν ενδιαφέρουσα, προχωρώντας από την αρχική καλωδιακή επικοινωνία σε αναλογικές μεθόδους, καταλήγοντας στις ψηφιακές τεχνολογίες. Παρόλα αυτά, λόγω της διαρκούς αύξησης της ζήτησης και των προσδοκιών των χρηστών, ο χώρος των

τηλεπικοινωνιών δίνει τον καλύτερό του εαυτό για να προωθήσει περαιτέρω τις τεχνολογίες και να προσφέρει αυξημένο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.

Δεν ψάχνουμε απλά βελτίωση στην μετάδοση φωνής και δεδομένων, αλλά θέλουμε επίσης να πραγματοποιήσουμε έργα όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Έτσι, αναζητούμε προηγμένες τεχνολογίες επικοινωνίας. Με αυτή την προοπτική, εισήχθησαν τα δίκτυα 4ης και 5ης γενιάς.

Η αρχική σημαντική δοκιμή πεδίου στο 4G συντονίστηκε και εκπονήθηκε στην Ιαπωνία το 2005. Το δίκτυο 4G εμφανίστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 2000 και υποστηριζόταν από την IP τεχνολογία. Το δίκτυο αυτό παρείχε καινοτομίες υψηλής ποιότητας: όπως μεγάλη χωρητικότητα δεδομένων και ενισχυμένη ασφάλεια για υπηρεσίες φωνής, δεδομένων και ήχου (με χαμηλή πολυπλοκότητα) λειτουργώντας πάνω από το δίκτυο IP. Μέσα από τη διαχείριση όλων των διευθύνσεων IP, στόχος ήταν μια κοινή υποδομή που θα υποστηρίζει όλες τις μέχρι τότε καινοτόμες τεχνολογίες, η χωρητικότητα του συστήματος αυτού βρισκόταν στο εύρος των 100Mbps έως 1Gbps. Το δίκτυο 4G είχε σαν απαίτηση από τα κινητά τερματικά χρήστη να διαθέτουν την αντίστοιχη τεχνολογία (smartphones) ώστε να μπορούν να κάνουν μεταπομπή (handover) στο αντίστοιχο ασύρματο σύστημα. Η τεχνολογία 4G ξεκίνησε την παροχή υπηρεσίας «οποτεδήποτε», «οπουδήποτε», υποβοηθούμενη και από τη φορητότητα του τερματικού· η κινητικότητα αυτή επιτρέπει την αυτόματη μεταπομπή μεταξύ ανόμοιων ασύρματων δικτύων. Τα 4G δίκτυα συνδυάζουν τεχνικές όπως Ορθογώνια Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνοτήτων (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM), Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Κώδικα με Πολλές Φέρουσες (Multi-Carrier Code Division Multiple Access – MC-CDMA), Συγχρονισμένη Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Κώδικα Ευρείας Ζώνης (Large Area Synchronized Code Division Multiple Access – LAS-CDMA) και Τοπικό Πολυσημειακό Σύστημα Διανομής Δικτύου (Network Local Multipoint Distribution System – Network-LMDS). Με αυτές τις τεχνικές είναι εφικτή η ελευθερία κίνησης και η συνεχής μεταπομπή από τη μια τεχνολογία στην άλλη. Το 4G εξελίχθηκε στο LTE η επέκτασή του στο εύρος των μικροκυμάτων από το Wi-MAX, αποτέλεσαν εξελικτικοί σταθμοί του.

Στη συνέχεια, ως εξέλιξη του LTE, εμφανίστηκε το 5G, το οποίο εστίασε το ερευνητικό του πεδίο στην αναβάθμιση του Παγκόσμιου Ασύρματου Δικτύου (World Wide Wireless Web – WWW), των δυναμικών ad-hoc δικτύων (DAWN) και της ουσιαστικής ασύρματης επικοινωνίας. Οι σημαντικότερες τεχνικές που εφαρμόστηκαν στο 5G είναι οι εξής: τα 802.11 ασύρματα τοπικά δίκτυα (Wireless Local Area Network – WLAN), τα ασύρματα δίκτυα αστικής περιοχής (Wireless Metropolitan Area Network – WMAN), τα ασύρματα ad hoc προσωπικά δίκτυα (Wireless Personal Area Network – WPAN) και τα ασύρματα δίκτυα ψηφιακών επικοινωνιών γενικότερα. Το 5G ενσωμάτωσε τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence – AI) σε φορητές συσκευές χρήστη [5].

Τα δίκτυα 5G έχουν δυνατότητα λειτουργίας σε χαμηλές, μεσαίες και υψηλές ζώνες συχνοτήτων για να μπορούν να παρέχουν όλες τις υπηρεσίες τους. Είναι εφικτό να επιτευχθεί υψηλότερος ρυθμός δεδομένων σε ένα βαθμό από τα ραδιοκύματα υψηλότερης συχνότητας πέραν από τις συχνότητες που χαμηλής και μεσαίας ζώνης που χρησιμοποιούν οι προηγούμενες γενιές κυψελωτών δικτύων.

Τα δίκτυα 5G χρησιμοποιούν και κύματα χιλιοστού (millimeter-wave) χαμηλής ζώνης, μεσαίας ζώνης ή υψηλής ζώνης σε εύρος από 24GHz έως 54GHz. Το 5G χαμηλών συχνοτήτων χρησιμοποιεί παρόμοιο φάσμα για τα κινητά τηλέφωνα με το 4G, δηλαδή το 600–900MHz, βελτιώνοντας τις ταχύτητες λήψης σε σχέση με το 4G, ταχύτητες που εκτείνονται σε 30–250megabits ανά δευτερόλεπτο (Mbit/s). Αντίστοιχα, οι κεραίες που εκπέμπουν σε χαμηλές συχνότητες σε σχέση με τις κεραίες του 4G έχουν εμβέλεια και περιοχή κάλυψης. Το 5G μεσαίων συχνοτήτων εκτείνεται στα μικροκύματα εύρους 1,7 έως 4,7GHz, παρέχοντας ταχύτητες τάξης 100 έως 900Mbit/s, ενώ παράλληλα η κάθε κεραία κινητής τηλεφωνίας έχει εμβέλεια υπηρεσιών πολλών χιλιομέτρων. Αυτή η υποδομή υπηρεσίας είναι η πιο διαδεδομένη και συναντάται σε πολλές μητροπολιτικές περιοχές από το 2020. Ορισμένες περιοχές δεν ενδείκνυται η εφαρμογή δικτύου χαμηλής ζώνης, καθιστώντας τη μεσαία ζώνη κατάλληλη για το ελάχιστο επίπεδο ποιότητας υπηρεσιών. Από την άλλη πλευρά, το 5G υψηλών συχνοτήτων χρησιμοποιεί συχνότητες στο εύρος 24 έως 47GHz, στο πρώτο μισό της ζώνης των κυμάτων χιλιοστού· στο μέλλον ενδέχεται αυτό να αλλάξει και να χρησιμοποιηθούν υψηλότερες

συχνότητες. Συχνά επιτυγχάνονται ταχύτητες λήψης τάξης μεγέθους gigabit-per-second (Gbit/s), που είναι πλέον συγκρίσιμες με τα ενσύρματα δίκτυα. Το μειονέκτημα, ωστόσο, είναι ότι τα κύματα χιλιοστού (mmWave) χαρακτηρίζονται από περιορισμένο εύρος ζώνης, γεγονός που καθιστά απαραίτητες την ύπαρξη πολλών μικρών κυψελών. Επίσης, τα κύματα χιλιοστού μπορούν να έχουν απώλειες ή να μπλοκαριστούν από ενδιάμεσα εμπόδια/ τοίχους ή παράθυρα. Τέλος, επειδή είναι κοστοβόρα, το σχέδιο αρχικά προβλέπει την ανάπτυξη αυτών των κυψελών μόνο σε πυκνά αστικά περιβάλλοντα και σε περιοχές με αυξημένο πλήθος ατόμων (π.χ. στάδια και συνεδριακά κέντρα). Οι προαναφερθείσες ταχύτητες είναι οι αρχικές που επιτεύχθηκαν σε δοκιμές το 2020 και αναμένεται να αυξηθούν. Το εύρος συχνοτήτων από 24,25–29,5GHz είναι αδειοδοτούμενο φάσμα και είναι αυτό που χρησιμοποιείται πιο πολύ στο mmWave 5G ανά τον κόσμο [1].

Η τεχνολογία 5G έχει προκαλέσει μεγάλους κύκλους συζητήσεων αναφορικά με την ασφάλεια αλλά και την προμήθειά του από κινέζους προμηθευτές. Επιπλέον, εγείρει ανησυχίες σχετικά με την υγεία και με πολλά θέματα παραπληροφόρησης, όπως θεωρίες συνωμοσίας που σχετίζονται με την πανδημία COVID-19, κλπ [5].

Συγκριτική μελέτη 4G/5G

Αν και το 4G παρέχει αρκετά αξιόπιστη υπηρεσία, με γενικά ικανοποιητική απόδοση και ευρεία διάδοση παγκοσμίως, δεν είναι αρκετό για τις επερχόμενες εφαρμογές και ασύρματες υπηρεσίες. Οι προσδοκίες για το 5G είναι υψηλές, και αυτό φαίνεται στις εξαιρετικά υψηλές τιμές που τίθενται για τις βασικές προδιαγραφές, σε σύγκριση με την τρέχουσα γενιά κινητής επικοινωνίας. Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει τις τιμές απόδοσης που προσφέρει το 4G σε σύγκριση με αυτές που προβλέπονται για το 5G. Η βελτίωση αναμένεται να είναι σημαντική. Οι μέγιστες ταχύτητες δεδομένων θα φτάσουν τιμές έως και 20 Gbit/s, ενώ οι ρυθμοί δεδομένων με εμπειρία χρήστη θα είναι περίπου 100 Mbit/s, αυξάνοντας 20 φορές και 10 φορές, αντίστοιχα. Η υποστηριζόμενη κινητικότητα θα φτάνει έως και 500 km/h, με αύξηση 1.42, ενώ οι καθυστερήσεις αναμένεται να μειωθούν κατά 10 φορές. Η πυκνότητα συνδέσεων θα αυξηθεί 10 φορές, από 105 συσκευές/km² σε 106 συσκευές/km², ενώ η χωρητικότητα δεδομένων ανά περιοχή

αναμένεται να αυξηθεί στα 10 Mbit/s/m² από 0.1 Mbit/s/m², με βελτίωση περίπου 100 φορές [38], [39].

Πίνακας 2: Σύγκριση Απόδοσης 4G και 5G.

Βασικές Απαιτήσεις	4G (LTE)	5G
Μέγιστος ρυθμός δεδομένων	1 Gbit/s	20 Gbit/s
Ρυθμοί δεδομένων με εμπειρία χρήστη	10 Mbit/s	100 Mbit/s
Κινητικότητα	350 km/h	500 km/h
Καθυστερήσεις	10 ms	< 1 ms
Πυκνότητα συνδέσεων	10 ⁵ συσκευές/km ²	10 ⁶ συσκευές/km ²
Χωρητικότητα δεδομένων	0.1 Mbit/s/m ²	20 Mbit/s/m ²

Τρέχουσα αγορά 5G

Ακόμα στα πρώτα στάδια της ανάπτυξής του, η ταχύτητα εξέλιξης των δικτύων 5G έχει υπερβεί τα δίκτυα 4G/LTE. Σε διάστημα δύο ετών από την αρχική κυκλοφορία του LTE, καταγράφηκαν 25 εκατομμύρια συνδρομές σε 60 δίκτυα. Αντίθετα, δύο χρόνια μετά την πρώτη εμφάνιση του 5G, καταγράφηκαν 340 εκατομμύρια συνδρομές σε 155 δίκτυα. Οι συνδέσεις 5G έφτασαν τα 1.77 δισεκατομμύρια μέχρι το τέλος του 2023 παγκοσμίως. Στην πραγματικότητα, σε ορισμένες αγορές, όπως η Νότια Κορέα και οι ΗΠΑ, το 5G έχει ήδη κάλυψη πάνω από το 85% του πληθυσμού.

Το 3GPP, ο οργανισμός που ασχολείται με τα πρότυπα, προχώρησε στην πρώτη παγκόσμια τυποποίηση της τεχνολογίας 5G New Radio στην έκδοση 15. Αυτή η έκδοση παρουσίασε έναν εντελώς καινοτόμο τύπο κυψελοειδούς συστήματος, που επιτρέπουν νέες λειτουργίες στο δίκτυο. Οι βασικές αλλαγές που προέκυψαν από αυτή τη

διαδικασία περιλάμβαναν βελτιώσεις σε τρεις κύριους τομείς: Ενισχυμένες Ευρυζωνικές Επικοινωνίες Κινητής Τηλεφωνίας (enhance Mobile BroadBand – eMBB), Εξαιρετικά Αξιόπιστες Επικοινωνίες Χαμηλής Καθυστέρησης (ultra-Reliable Low Latency Communication - uRLLC) και Επικοινωνίες Τύπου Μαζικής Μηχανής (massive Machine Type Communication – mMTC).

Η αρχική ανακοίνωση της 15ης έκδοσης αποτέλεσε το βασικό έδαφος για τις επερχόμενες εκδόσεις της μη-αυτόνομης 5G (Non StandAlone 5G), ωστόσο, αυτές συνέχισαν να βασίζονται στην υποδομή της 4G LTE για την παροχή υπηρεσιών από άκρο σε άκρο. Πολλοί πάροχοι εισήγαγαν εμπορικές υπηρεσίες 5G που χρησιμοποιούσαν βελτιωμένες τεχνολογίες eMBB ή σταθερής ασύρματης πρόσβασης (FWA), και αυτές, στην ουσία, ήταν παρόμοιες με προηγούμενες υπηρεσίες LTE. Παρ' όλα αυτά, σε ανεπτυγμένες αγορές, όπως η Νότια Κορέα, οι πάροχοι επικεντρώθηκαν στη δημιουργία καινοτόμων περιπτώσεων χρήσης, χρησιμοποιώντας τις προηγμένες δυνατότητες του 5G, όπως το cloud gaming, την επαυξημένη πραγματικότητα (augmented reality), την εικονική πραγματικότητα (virtual reality) και το βίντεο 4K, με σκοπό να ενθαρρύνουν τους συνδρομητές να υιοθετήσουν προγράμματα 5G. Η 15η έκδοση επέτρεψε επίσης περαιτέρω πρόοδο, οδηγώντας στην αυτόνομη 5G (StandAlone 5G), όπου το 5G New Radio υποστηρίζεται από αυτόνομο πυρήνα 5G με προαιρετικές λειτουργίες δικτύου βασισμένες στο cloud.

Ακολούθησε, στη συνέχεια, η 3GPP με τις εκδόσεις 16 και 17. Σε αυτές εισήχθησαν βελτιώσεις για τον τομέα του Βιομηχανικού Διαδικτύου των Πραγμάτων (Industrial Internet of Things – IIoT). Αυτές οι βελτιώσεις περιλάμβαναν ένα βελτιωμένο σύστημα MIMO (Multiple Input Multiple Output), τη μετάδοση μικρών δεδομένων (Small Data Transmission - SDT), τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του χρήστη, καθώς και άλλες εκλεπτυσμένες προσθήκες. Σε άλλους τομείς, υπήρχε εστίαση στο network slicing, τον υπολογισμό στην άκρη του δικτύου και την υποστήριξη μη επίγειων δικτύων (Non Terrestrial Networks - NTN). Για τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας, αυτές οι εξελίξεις άνοιξαν νέες δυνατότητες υπηρεσιών σε βιομηχανικούς τομείς, όπως εξόρυξη δεδομένων και μεταφορές, ενώ παρείχαν τη δυνατότητα ψηφιοποίησης λειτουργιών και

διαδικασιών για εταιρικούς πελάτες. Η Βιομηχανία 4.0 είναι ένα παράδειγμα τομέα που επωφελείται σημαντικά από τις υπηρεσίες του 5G, προσφέροντας υψηλής ποιότητας ροή βίντεο, ζωντανή λήψη βίντεο και πολλαπλές ροές βίντεο για προηγμένες περιπτώσεις χρήσης, όπως αναλυτική ανάλυση βίντεο και παρακολούθηση υψηλής ποιότητας βίντεο.



Εικόνα 1: Χρονοδιάγραμμα τυποποίησης από τη 3GPP, [39].

Η έλευση της έκδοσης 18 αντιπροσωπεύει μια σημαντική πρόοδο στον κόσμο της τεχνολογίας 5G, προβλέποντας μια νέα εποχή για τη βιομηχανία με την εξέλιξη προς το 5G-Advanced, [40].

Σύνοψη του 6G και τεχνολογίες που το απαρτίζουν

Η πρώτη έρευνα για το 6G είχε προγραμματιστεί τον Φεβρουάριο του 2020 από την ITU. Στο τέλος του 2023, ολοκληρώθηκε μια έκθεση για τις τάσεις της τεχνολογίας και το όραμα για το 6G. Η Ομάδα Μελέτης 13 ITU-T δημιούργησε την ομάδα ενδιαφέροντος τεχνολογίας δικτύου 2030 (Focus Group Technology Network 2030 – FG NET-2030) κατά τη συνάντησή της στις 16–27 Ιουλίου στη Γενεύη, και αυτή η ομάδα εξετάζει τη χωρητικότητα του δικτύου μέχρι το 2030, [14]. Θα υπάρξουν σημαντικές βελτιώσεις και επεκτάσεις των εφαρμογών σε δίκτυα 6G σε σχέση με τα τρέχοντα δίκτυα 5G όσον αφορά τόσο την απόδοση όσο και τη λειτουργικότητα· προσδοκίες για το 6G αναφέρει ο Πίνακας 3, [8].

Πίνακας 3: Προσδοκίες για το 6G.

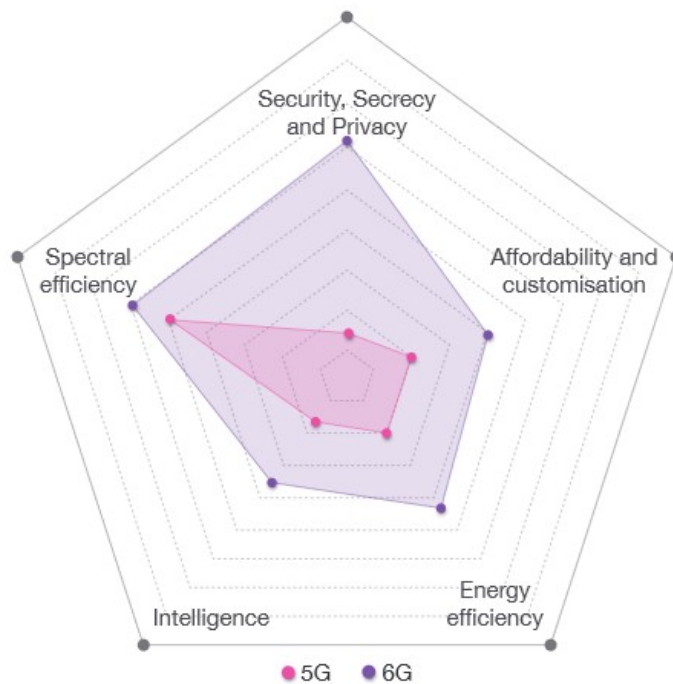
Πρόβλεψη	
Κινητές επικοινωνίες 6G	1 Tb/sec

Καθυστερήσεις	< 1ms
Συχνότητες φάσματος	Εύρος 100GHz – 3THz
Χωρητικότητα δικτύου	1000 φορές περισσότερη από την προηγούμενη γενιά

Περαιτέρω ενίσχυση της κινητής ευρυζωνικότητας (further enhance Mobile BroadBand – feMBB), της εξαιρετικά μαζικής επικοινωνίας τύπου μηχανής (ultra-massive Machine Type Communication – umMTC), και βελτιωμένη εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλών καθυστερήσεων (enhanced-ultra-Reliable Low Latency Communication – euRLLC) είναι μεταξύ των αναβαθμισμένων σεναρίων στο 6G. Επιπλέον, άλλα σενάρια εφαρμογών που αναφέρονται στην [15] περιλαμβάνουν επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων και υψηλής κινητικότητας (Long-Distance and High-Mobility Communications – LDHMC) και επικοινωνίες εξαιρετικά χαμηλής ισχύος (Extremely Low-Power Communications – ELPC). Στην [16] αναφέρονται τα feMBB, umMTC και euRLLC ως πανταχού παρόντες κινητές υπερευρυζωνικές επικοινωνίες (ubiquitous Mobile Ultra-Broadband – uMUB), εξαιρετικά υψηλής πυκνότητας δεδομένων (ltra-High Data Density – uHDD) και εξαιρετικά υψηλής ταχύτητας με επικοινωνίες χαμηλών καθυστερήσεων (ltra-High-Speed with Low-Latency Communications – uHSLLC), αντίστοιχα. Η τεχνητή νοημοσύνη, η υπερευρεία ζώνη για φορητές συσκευές και το σούπερ διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT) περιλαμβάνονται επίσης στην [17]. Η αυτοεκμάθηση είναι μια πιθανή προσέγγιση τεχνητής νοημοσύνης όπου το μοντέλο εκπαιδεύεται από την ικανότητα αυτομάθησης.

Σύγκριση 5G και 6G

Στην Εικόνα 2 φαίνεται μια σύγκριση των ειδών δικτύων· 5G και 6G.



Εικόνα 2: Σύγκριση ανάμεσα στην επικοινωνία 5G και 6G, [36].

Καθώς τα όρια του Shannon παρουσιάζουν περιορισμούς, δεν παρατηρούμε σημαντική βελτίωση στη φασματική απόδοση του 6G. Όμως οι επικοινωνίες 6G θα πρέπει να ενισχύσουν την ασφάλεια, το απόρρητο και την εμπιστευτικότητα μέσω καινοτόμων τεχνολογιών και τεχνικών. Στα δίκτυα 5G, οι συνηθισμένοι αλγόριθμοι κρυπτογράφησης που βασίζονται κυρίως στον αλγόριθμο "Rivest-Shamir-Adleman (RSA)" εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται για την εξασφάλιση της ασφάλειας και του απορρήτου κατά τη μετάδοση. Οι κρυπτογραφημένες μονάδες RSA εμφανίζουν αβεβαιότητα σχετικά με την πίεση από τις τεχνολογίες εξόρυξης δεδομένων και την τεχνητή νοημοσύνη, αλλά πολύ λιγότερο από τους μηχανισμούς απορρήτου που αναπτύχθηκαν πριν από την εποχή του 5G.

Πίνακας 4: Σύγκριση των KPIs 5G και 6G, [37].

KPI	5G	6G
-----	----	----

Χωρητικότητα Κίνησης	10 Mb/s/m ²	~1-10Gb/s/m ³
Ρυθμός δεδομένων κατερχόμενης ζεύξης	20 Gb/s	1 Tb/s (1000x)
Ρυθμός δεδομένων ανερχόμενης ζεύξης	10 Gb/s	1 Tb/s
Ομοιόμορφη εμπειρία χρήστη	50 Mb/s, 2D παντού	10 Gb/s, 3D παντού
Καθυστέρηση (ραδιοδιεπαφή)	1 ms	0.1 ms
Καθυστέρηση (από άκρο σε άκρο)	10 ms	1 ms
Jitter	Μη καθορισμένο	1 μs
Αξιοπιστία (ρυθμός λανθασμένων πλαισίων)	1-10 ⁻⁵	1-10 ⁻⁹
Ενέργεια/ bit	Μη καθορισμένο	~1pJ/b
Ακρίβεια εντοπισμού	10 cm στο 2D	1 cm στο 3D

Ο Πίνακας 4 περιλαμβάνει τους βασικούς δείκτες απόδοσης (Key Performance Indicators – KPIs) και επισημαίνει τις σημαντικές εξελίξεις στα KPIs του 5G. Υπάρχουν διάφορα KPIs, όπως η διακύμανση της καθυστέρησης (delay jitter) και η κατανάλωση ενέργειας ανά bit, που δεν έχουν καθοριστεί στο πλαίσιο του 5G, καθώς δεν παρουσιάζουν σημαντικό ρόλο σε αυτόν τον τομέα. Στο πλαίσιο του 6G, ωστόσο, αυτά τα KPIs αποκτούν μεγάλη σημασία.

Για να ενεργοποιηθεί η αυτόνομη τροποποίηση του συστήματος 6G, ένα μοντέλο μηχανικής μάθησης (Machine Learning – ML) προσαρμόζεται στις αλλαγές στην

τοπολογία του νέου μοντέλου 6G, και το δίκτυο εκπαιδεύεται από την ηλεκτρονική ανατροφοδότηση όπου δεν υπάρχει ανθρώπινη παρέμβαση για έλεγχο. Η συνεχής ανατροφοδότηση από το δίκτυο χρησιμοποιείται για να υπολογίσει πόσο καλά τα πάει το μοντέλο και, με βάση αυτό, το εκπαιδεύουμε. Η μαθησιακή αποτελεσματικότητα θα έχει πάντα προτεραιότητα στη σχεδίαση μοντέλων και στην έρευνα βελτιστοποίησης. Η επαναλαμβανόμενη εκπαίδευση επιτρέπει την προσαρμογή των παραμέτρων του μοντέλου εκμάθησης ώστε να ανταποκρίνεται στο προσαρμοστικό περιβάλλον δικτύου. Η δρομολόγηση πακέτων, ο προγραμματισμός ανερχόμενης/ κατερχόμενης ζεύξης, η εκχώρηση καναλιών και άλλες δραστηριότητες της ασύρματης δικτύωσης μπορούν να εκτελεστούν χρησιμοποιώντας ένα διαδικτυακό παράδειγμα μάθησης και εκπαίδευσης. Επιπλέον, η μηχανική μάθηση έχει μεγαλύτερο υπολογιστικό κόστος από τις προηγούμενες προσεγγίσεις, καθώς χρειάζεται τεράστια σύνολα δεδομένων, [18], όπου η αναγκαιότητα κατασκευής ενός επιτυχημένου ανοιχτού συνόλου δεδομένων με κριτήριο την ιδιωτικότητα είναι κρίσιμη. Για να πραγματοποιηθεί αυτή η λειτουργία, υπάρχει μια πρόκληση αναφορικά με το φόρτο στη συλλογή δεδομένων ηλεκτρονικά, η οποία μπορεί να μετριαστεί με από κοινού διαδικτυακή και offline εκμάθηση για την εξισορρόπηση της πολυπλοκότητας της εκπαίδευσης. Είναι επίσης σημαντικό να ληφθούν υπόψη η πολυπλοκότητα υπολογισμού και ανάπτυξης μελλοντικών εφαρμογών. Για να επιτευχθεί μεγάλη φασματική και ενεργειακή απόδοση, πρέπει να χρησιμοποιηθούν νέες τεχνολογίες διεπαφής αέρα και μετάδοσης.

Οι τεχνικές διαφοροποίησης, όπως νέες κυματομορφές και πολυάριθμες τεχνικές πρόσβασης, όπως η κωδικοποίηση καναλιών και η τεχνολογία πολλαπλών κεραιών, εμπίπτουν επίσης σε αυτήν την κατηγορία. Η ανάπτυξη νέων αρχιτεκτονικών όπως η αρχιτεκτονική γνωστικών υπηρεσιών (Cognitive Service Architecture – CSA), η αρχιτεκτονική βασισμένη σε υπηρεσίες (Service Based Architecture – SBA) και η αρχιτεκτονική χωρίς κυψέλες (Cell Free Architecture – CFA) είναι επίσης απαραίτητες. Τα δίκτυα καθορισμένα από λογισμικό/ η εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (Software Defined Network/ Network Function Virtualization – SDN/NFV) είναι επίσης απαραίτητα. Εκτός από την κυψελοειδή επικοινωνία, οι καθυστερήσεις, οι συχνότητες φάσματος, η χωρητικότητα δικτύου, οι συμβατικοί βασικοί δείκτες απόδοσης μετρούν την απόδοση

της επικοινωνίας, τη διαφοροποίηση της ασφάλειας κατά τη διαδρομή δρομολόγησης, την επίγνωση του περιβάλλοντος, την εξισορρόπηση της κίνησης, είναι τα βασικά στοιχεία ενδιαφέροντος για τις μελλοντικές γενιές.

Εν ολίγοις, το 6G θα επιφέρει τέσσερις σημαντικές παραδειγματικές αλλαγές. Αυτές είναι:

- 1) Παγκόσμια κάλυψη.
- 2) Όλο το φάσμα θα διερευνηθεί εκτενώς προκειμένου να βελτιωθούν οι ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων και η πυκνότητα συνδέσεων.
- 3) Με την ενσωμάτωση τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης και μεγάλων δεδομένων στο 6G, θα είναι δυνατή μια νέα γενιά έξυπνων εφαρμογών.
- 4) Ασφάλεια δικτύου.

Οι προκλήσεις του μελλοντικού 6G που βασίζεται στη μηχανική μάθηση κατηγοριοποιούνται σε τρία μέρη:

- a) Σύστημα Επικοινωνίας,
- b) Μοντέλο Μάθησης,
- c) Υπολογιστικό Σύστημα.

Υπάρχουν δύο βασικά σημεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη για τον σχεδιασμό μοντέλων μηχανικής μάθησης για πιο διαφοροποιημένα και ποιοτική υπηρεσία: πρώτον, η νέα ζώνη συχνοτήτων και δεύτερον, οι μετρήσεις σημαντικών δεικτών απόδοσης (Key Performance Indicators – KPI). Οι συσκευές και η ετερογενής τεχνική επικοινωνίας, κατά κάποιο τρόπο με την υπάρχουσα διαμόρφωση δικτύου και τοπολογία πρέπει να προσαρμοστούν για μια έξυπνη στρατηγική. Η μάθηση είναι ένα ουσιαστικό μέρος ενός ευφυούς συστήματος για το σχεδιασμό έξυπνων μοντέλων μηχανικής μάθησης και για βελτιστοποίηση. Στο 6G, ετερογενείς συσκευές δημιουργούν τεράστια σύνολα δεδομένων για υπολογιστές όπου η μηχανική μάθηση απαιτεί μεγάλο υπολογιστικό χρόνο. Μία από τις πιο δύσκολες πτυχές είναι η κατανομή των υπολογιστικών πόρων που παρέχεται από το mobile edge, το διακομιστή cloud ή οποιονδήποτε άλλο πάροχο.

Το 1963, οι ΗΠΑ κυκλοφόρησαν το Synkom. Οι υψηλές τροχιές και οι μεγάλες καθυστερήσεις μετάδοσης χαρακτήριζαν το γεωσύγχρονο κινητό δορυφορικό σύστημα. Οι αστερισμοί δορυφόρων χαμηλής τροχιάς, συμπεριλαμβανομένων των Iridium, Globalstar και Teledesic, δημιουργήθηκαν τη δεκαετία του 1990. Λόγω του υψηλού λειτουργικού κόστους και των γεωγραφικών περιορισμών, τα παραδοσιακά επίγεια δίκτυα δεν μπορούσαν να παρέχουν πρόσβαση στο Διαδίκτυο παντού. Πάνω από το 40% της γης στερείται κάλυψης δικτύου και 4,6 δισεκατομμύρια άνθρωποι χρησιμοποιούν το Διαδίκτυο, πράγμα που σημαίνει ότι είναι επιθυμητό ένα γρήγορο δίκτυο, σύμφωνα με το άρθρο «Παγκόσμιο σύστημα για τη συνδεσμολογία/σύνδεση κινητής επικοινωνίας» (Global system for mobile communication assembly).

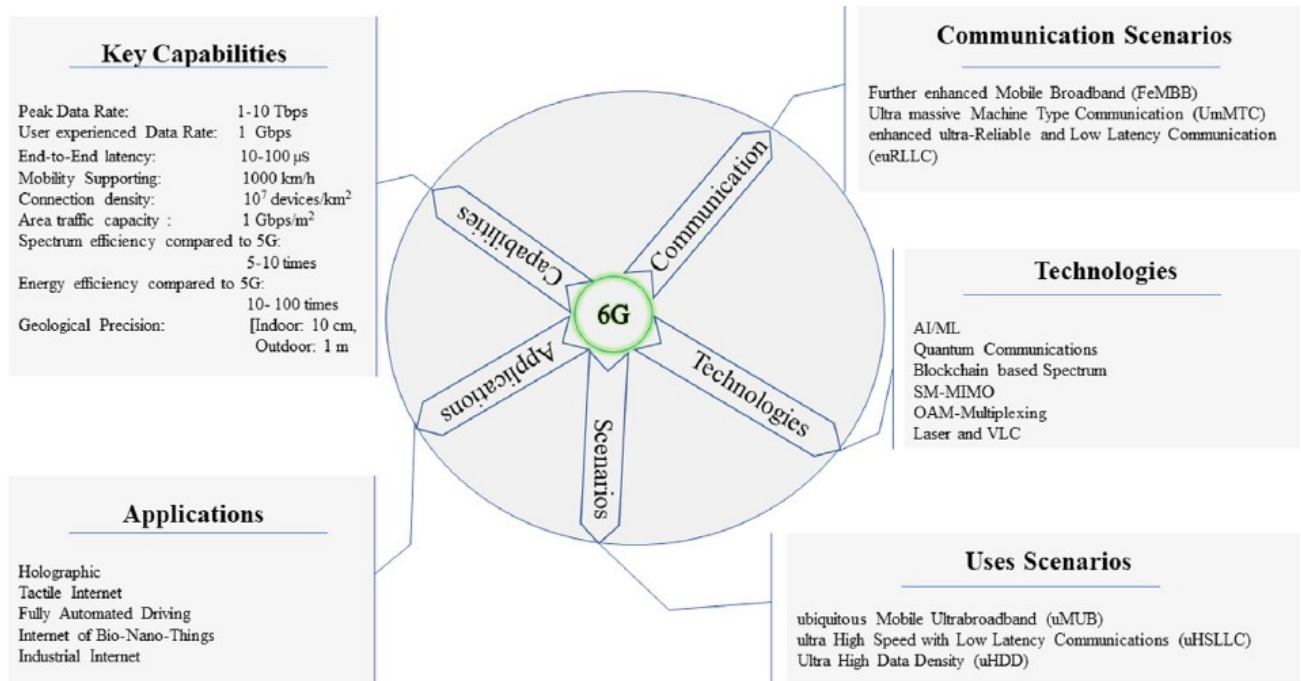
Με το 6G, το επίγειο δορυφορικό δίκτυο χαμηλής τροχιάς μπορεί να καλύψει τις υπόλοιπες περιοχές. Το 2014 και το 2016, 11 εταιρείες υπέβαλαν αίτηση στην Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών (Federal Communications Commission – FCC) για άδεια κατασκευής μεγα-αστερισμών χαμηλής τροχιάς. Οι μέγα αστερισμοί είναι συμπαγείς δορυφόροι επικοινωνίας χαμηλής τροχιάς με υψηλή χωρητικότητα και ελάχιστες καθυστερήσεις μετάδοσης (λιγότερο από 50ms). Εκτός από τις νεκρές ζώνες του επίγειου δικτύου (βουνά και έρημοι), υπάρχουν επίσης νεκρές ζώνες εναέριων δικτύων (μπαλόνια θερμού αέρα και αερογραμμές), περιοχές καταστροφών (τυφώνες και σεισμοί) και ωκεάνιες περιοχές (εξέδρες άντλησης πετρελαίου, σκάφη της γραμμής και θαλάσσιοι αισθητήρες) [19].

Καθώς η διεπαφή αέρα στο σύστημα μεγα-αστερισμών χαμηλής τροχιάς (Low Earth Orbit – LEO) για υπηρεσίες 6G γίνεται πιο εξελιγμένη στη μελλοντική εποχή, θα προκύψουν πολλά νέα ζητήματα. Επειδή η επικοινωνία συνήθως δημιουργείται από ένα ακριβές μαθηματικό μοντέλο, κάθε σύστημα επικοινωνίας πρέπει να ξεκινά από τα ασύρματα κανάλια. Οι μελλοντικές επιλογές τεχνητής νοημοσύνης περιλαμβάνουν μεγα-αστερισμούς LEO και μη ανιχνεύσιμα στοιχεία όπως κωδικοποίηση, αποκωδικοποίηση και ανίχνευση.

Εφαρμογές του 6G

Σε αυτές τις γενιές, αναμένουμε να δούμε ολογράμματα (επικοινωνία 3D), λειτουργίες σε πραγματικό χρόνο χωρίς συσκευές, αυτόνομα οχήματα κλπ. Για την επίτευξη εξαιρετικά υψηλών ταχυτήτων, μεγάλης χωρητικότητας και αυξημένης αξιοπιστίας στην ασύρματη επικοινωνία, είναι απαραίτητη η παροχή ενός περιβάλλοντος χωρίς εμπόδια με μικρές αποστάσεις επικοινωνίας για την ελαχιστοποίηση των απωλειών διαδρομής. Επιπλέον, για να βελτιωθεί η επιλογή διαδρομής, είναι απαραίτητο ένα χωρικά μη ορθογώνιο κατανεμημένο δίκτυο, ενώ οι προηγούμενες γενιές βασίζονταν σε κυψελωτά δίκτυα με εξάγωνες κυψέλες, καθώς αυτές δεν έπρεπε να παρεμβάλλονται μεταξύ τους. Με την αύξηση των τεχνολογιών επικοινωνίας στη σύγχρονη εποχή, είναι σημαντικό να βελτιωθεί η αξιοπιστία της ασύρματης επικοινωνίας. Η τοπολογία του κατανεμημένου δικτύου λαμβάνεται υπόψη κατά την ανάπτυξη ζωνών υψηλής συχνότητας, ασύρματης ανίχνευσης και ασύρματης τροφοδοσίας ενέργειας. Για να μεγιστοποιηθεί η φασματική απόδοση, η χωρική διαμόρφωση δεσμεύει έναν συγκεκριμένο αριθμό κεραιών για τη μετάδοση περισσότερων πληροφοριών σε κάθε χρονική περίοδο. Το χωρικό μοντέλο εξαλείφει τις παρεμβολές μεταξύ των καναλιών και αποφεύγει τον συγχρονισμό της κεραίας μετάδοσης.

Η πιο διαδεδομένη έρευνα που χρησιμοποιείται είναι οι γυάλινες κεραίες. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται ανακλαστικές επιφάνειες και ενσωματώνονται κεραίες αισθητήρες στις επικοινωνίες, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3: Σενάριο 6G.

Χρησιμοποιείται ευρέως η συνεργασία μεταξύ των τερματικών, καθώς ο σταθμός βάσης αποτελείται από τερματικούς κόμβους. Επιπλέον, για την παροχή της κατακεντρωμένης τοπολογίας του δικτύου, έχει αναπτυχθεί νέα τεχνολογία διανομής οπτικών ινών και οπτικής μετάδοσης. Θα είναι απαραίτητη η διαχείριση και έλεγχος της τοπολογίας δικτύου μέσω τεχνητής νοημοσύνης για την επίτευξη του στόχου της πιο αποτελεσματικής και αποδοτικής λειτουργίας της νέας τοπολογίας δικτύου. Επιπλέον, φαίνεται ότι θα είναι σημαντικό να βρεθεί μια τοπολογία δικτύου που θα συνδυάζει αυτές τις τεχνολογίες με μια τυπική κυψελωτή σύνθεση, [20].

Προβλέπεται ότι το 5G θα φτάσει στα όριά του μέχρι το 2030, οπότε το 6G θα αναλάβει να καλύψει τη ζήτηση των πελατών. Σε αυτό το πλαίσιο, το 6G θα ικανοποιήσει τις ανάγκες πολλαπλών εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των εξής, [41]:

- Εκτεταμένη πραγματικότητα (eXtended Reality – XR): με τους πολλαπλούς αισθητήρες περιλαμβάνει την εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality - VR), τη μικτή πραγματικότητα (mixed reality) και την επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality - AR). Λόγω της αποτυχίας του 5G να υποστηρίξει σχετικά

χαμηλές καθυστερήσεις, το 6G αναμένεται να προσφέρει μια καθηλωτική εμπειρία εκτεταμένης πραγματικότητας.

- Συνδεδεμένα Ρομποτικά και Αυτόνομα Συστήματα (Connected Robotics and Autonomous Systems – CRAS): Ένας σημαντικός οδηγός πίσω από τα συστήματα 6G είναι η επικείμενη ανάπτυξη του CRAS. Τα τελευταία χρόνια, το CRAS αναπτύχθηκε και τέθηκε σε χρήση με μεγάλη επιτυχία. Εκτός από τη δυνατότητα για εκπομπές eMBB χαρτών υψηλής ευκρίνειας (High Definition – HD), το CRAS επιβάλλει περιορισμούς ισχύος και καθυστερήσεων.
- Ασύρματες αλληλεπιδράσεις εγκεφάλου-υπολογιστή (Brain Computer Interaction – BCI): Εκτός από τις τεχνολογίες XR, το BCI έχει μετατραπεί σε ανάγκη στο 6G για να βοηθήσει την επανάσταση στην υγειονομική περίθαλψη. Το εύρος των σημερινών ιατρικών εφαρμογών (όπως ο έλεγχος προσθετικών άκρων ή οτιδήποτε χρησιμοποιεί εμφυτεύματα εγκεφάλου) είναι ο έλεγχος βιομετρικών συστημάτων εμφυτευμάτων. Στην εποχή του 6G, η υγειονομική περίθαλψη μπορεί να υποστεί σημαντικό μετασχηματισμό χάρη στις ασύρματες διεπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή και στα έξυπνα εμφυτεύματα σώματος. Θα περιλαμβάνει νέες εφαρμογές που απαιτούν δικτύωση 6G.
- Το Διαδίκτυο των Πάντων (Internet of Everything – IoE) και το Mobile Internet: Είναι δύο ενεργοποιητές 6G που θα επιτρέψουν ολογραφικές και υψηλής ακρίβειας απτικές επικοινωνίες. Εφαρμογές (όπως το απτικό Διαδίκτυο) παρέχουν μια πιο διαδραστική αισθητηριακή υπερφόρτωση (δηλαδή όραση, ακοή, όσφρηση, γεύση και αφή). Αυτό απαιτεί μεγάλη εμπειρία και επεξεργασία δεδομένων καθώς και εξαιρετικά υψηλή απόδοση δεδομένων σε σχεδόν πραγματικό χρόνο (περίπου Tb/s) με μικρές καθυστερήσεις. Το IoE αναφέρεται στην απρόσκοπτη ενοποίηση και αυτόνομο συντονισμό μεγάλου αριθμού υπολογιστικών στοιχείων και αισθητήρων ή συσκευών, ανθρώπων, διαδικασιών και δεδομένων μέσω της υποδομής του Διαδικτύου. Το δίκτυο 6G θα υποστηρίξει το IoE στο σύνολό του, το οποίο είναι παρόμοιο με το IoT, αλλά περιλαμβάνει τις τέσσερις ιδιότητες των δεδομένων, των ατόμων, των διαδικασιών και των φυσικών συσκευών. Με την έλευση του IoE στο 6G, ο αυξανόμενος αριθμός

συσκευών στα άκρα θέτει απροσδόκητα υψηλές απαιτήσεις στην επικοινωνία μεταξύ κεντρικών συστημάτων, περιφερειακών υπολογιστών και διακομιστών.

- **Bio-Internet of Things (B-IoT):** Το B-IoT βασίζεται στην επικοινωνία βιο-συσκευών (νανοβιολογικές συσκευές) που χρησιμοποιούν IoT. Αυτή η περίπτωση χρήσης αντιπροσωπεύει την ποικιλία των έξυπνων εφαρμογών υγείας που χρησιμοποιούν βιοεπικοινωνία.
- **Nano-Internet of Things (N-IoT):** Το N-IoT χρησιμοποιεί νανο-συσσκευές για επικοινωνία μέσω δικτύου. Για παράδειγμα, η νανοεπικοινωνία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα έξυπνο εργοστάσιο για την παρακολούθηση των εκπομπών άνθρακα, της ποιότητας του νερού, των καυσαερίων και της υγρασίας. Δεδομένου ότι το N-IoT βασίζεται κυρίως στη μοριακή επικοινωνία, το 5G είναι δύσκολο να εφαρμοστεί. Με βάση τη μοριακή επικοινωνία, θα πρέπει να εξετάσουμε το 6G για N-IoT. Το N-IoT είναι ακόμα στις αρχές του, καθώς παρουσιάζει πολλές προκλήσεις υλοποίησης, όπως τεχνικές φυσικού επιπέδου για μοριακές επικοινωνίες μακρο και μικροεπιπέδου (δηλαδή, ανίχνευση και εκτίμηση καναλιών), τυποποίηση αρχιτεκτονικής επιπέδων, σχεδιασμός νανοπράξεων και ανάπτυξη περιβαλλόντων δοκιμών προσανατολισμένων στην εφαρμογή.
- **Απτικό Διαδίκτυο:** Χρησιμοποιώντας δύναμη, κίνηση ή δόνηση για μη λεκτική επικοινωνία με τον χρήστη, η απτική τεχνολογία παρέχει εικονική επαφή από απόσταση. Το απτικό διαδίκτυο απαιτεί συνδεσιμότητα υψηλής ταχύτητας και τη χρήση της υπηρεσίας URLLC για τη λήψη δεδομένων αφής σε πραγματικό χρόνο. Με αυτήν την τεχνολογία, η τηλεχειρουργική ή η εξ αποστάσεως χειρουργική θα είναι δυνατή. Θα βοηθήσει επίσης τους γιατρούς στη διάγνωση ασθενών μέσω επαφής χωρίς την παρουσία τους.
- **Ολογραφική τηλεπαρουσία:** Η ολογραφική τηλεπαρουσία θα είναι μια από τις πιο σημαντικές εφαρμογές 6G τόσο για επαγγελματικές όσο και για κοινωνικές αλληλεπιδράσεις. Οι χρήστες θα μπορούν να προσθέτουν μια αίσθηση αφής στην τυπική οπτικοακουστική τους επικοινωνία ενώ βρίσκονται σε διάφορες γεωγραφικές τοποθεσίες. Η ολογραφική επικοινωνία είναι μια εφαρμογή

πολλαπλών δεδομένων και το 5G ενδέχεται να μην είναι σε θέση να υποστηρίξει αξιόπιστα σημαντικό αριθμό ολογραφικών μεταδόσεων. Αυτό οφείλεται κυρίως στις αυστηρές απαιτήσεις της ολογραφικής τηλεπαρουσίας για ταχύτητες δεδομένων terabit (έως 4 Tb/s), εξαιρετικά χαμηλές καθυστερήσεις (submillisecond) και αξιόπιστες συνδέσεις. Αυτή η περίπτωση χρήσης βασίζεται σε μια απίστευτα ακριβή απομακρυσμένη σύνδεση. Η ολογραφική επικοινωνία θα βασίζεται στη μετάδοση εικόνων κάμερας πολλαπλής προβολής, απαιτώντας σημαντικά ταχύτερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων (Tbps).

- Απομακρυσμένη υγειονομική περίθαλψη σε πραγματικό χρόνο: Η συνδεσιμότητα πρέπει να είναι αξιόπιστη και οικονομικά προσιτή για να είναι επιτυχημένες οι λύσεις απομακρυσμένης υγειονομικής περίθαλψης. Η εφαρμογή επικοινωνιών στη ζώνη THz είναι απαραίτητη για αυτήν τη μορφή εφαρμογής. Το 6G θα εισαγάγει το πιο προηγμένο επίπεδο αυτοματισμού και επικοινωνίας δικτύου. Βασική απαίτηση είναι η μελλοντική απόδοση ασύρματης επικοινωνίας, με εξαιρετικά υψηλή απόδοση και απίστευτα χαμηλές καθυστερήσεις. Σε αυτό το σενάριο, το Internet of Space Things θα διαδραμάτιζε κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση της πανταχού παρούσας συνδεσιμότητας, ενισχύοντας έτσι τις επιλογές υγειονομικής περίθαλψης σε αγροτικές απομακρυσμένες περιοχές. Τα ασύρματα συστήματα 6G θα ωφελήσουν επίσης τα ιατρικά συστήματα υγείας, καθώς τεχνολογίες όπως η επαυξημένη πραγματικότητα/εικονική πραγματικότητα, η ολογραφική τηλεπαρουσία, το κινητό υπολογιστικό άκρο και η τεχνητή νοημοσύνη θα βοηθήσουν στην ανάπτυξη ευφυών συστημάτων υγειονομικής περίθαλψης. Τα συστήματα 6G θα καταστήσουν εφικτό ένα ασφαλές σύστημα απομακρυσμένης παρακολούθησης για το σύστημα υγειονομικής περίθαλψης. Χρησιμοποιώντας τη συνδεσιμότητα 6G, θα είναι δυνατή η εξ αποστάσεως χειρουργική επέμβαση. Ένα δίκτυο 6G υψηλής ταχύτητας δεδομένων, χαμηλών καθυστερήσεων και εξαιρετικά αξιόπιστο μπορεί να βοηθήσει στην ταχεία και αποτελεσματική μετάδοση τεράστιων ποσοτήτων ιατρικών δεδομένων, ενισχύοντας έτσι την προσβασιμότητα και την ποιότητα της θεραπείας.

- Δίκτυα drones και μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (Unmanned Aerial Vehicle – UAV): Στα κυψελωτά δίκτυα 6G, τα ενσωματωμένα δίκτυα αέρα εδάφους (Space–Air–Ground Integrated Networks – SAGIN) είναι η κύρια νέα ιδέα που εισήχθη. Η αρχιτεκτονική SAGIN θα επιτρέψει την ευρεία χρήση drones, όπως UAV υψηλής εμβέλειας που λειτουργούν σε μεγάλα υψόμετρα με μεγάλη διάρκεια ζωής, UAV μεσαίου βεληνικού με ακτίνες δράσης μεταξύ 700 και 1000 km, χαμηλού κόστους και μικρά UAV μικρής εμβέλειας με ακτίνες δράσης μικρότερη από 350 km και πτήσεις μικρότερες από 3 km, και μίνι drones με περιορισμένες ταχύτητες από 10 έως 30 km/h και διάρκεια πτήσης μικρότερη από 3 km. Λόγω της ποικιλίας των κατηγοριών UAV, τα UAV χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς, εφαρμογές και σενάρια. Πράγματι, τα UAV διαδραματίζουν κρίσιμους ρόλους στην αντιμετώπιση και στη στήριξη ενάντια σε καταστροφές. Τα UAV μπορούν να λειτουργήσουν ως κόμβοι αναμετάδοσης για να επεκτείνουν τη συνδεσιμότητα του κυψελωτού δικτύου σε δύσκολα περιβάλλοντα· τα UAV είναι μεταξύ των βασικών τεχνολογιών που επιτρέπουν την έξυπνη γεωργία και τη γεωργία ακριβείας. Επιπλέον, τα UAV διαδραμάτισαν κρίσιμο ρόλο στον Covid-19 για την απολύμανση των χώρων και θα χρησιμοποιηθούν σε ποικίλες περιπτώσεις χρήσης υγειονομικής περίθαλψης.
- Αστική κινητικότητα αέρα (Urban Air Mobility – UAM): Η UAM θα είναι βασικό συστατικό των μελλοντικών συστημάτων μεταφορών. Πράγματι, αυτόνομα drones ταξί έχουν ήδη εισαχθεί και χρησιμοποιούνται στο Ντουμπάι της Ιαπωνίας και θα χρησιμοποιηθούν και σε άλλες πόλεις όπως το Παρίσι και η Σεούλ μέχρι το 2025.
- V2X, IOV και CAV: Το όχημα προς υποδομή (Vehicle-to-Infrastructure – V2I), το όχημα προς όχημα (Vehicle-to-Vehicle – V2V), το όχημα προς πεζό (Vehicle-to-Pedestrian – V2P), το όχημα προς εαυτό (Vehicle-to-Self - V2S), το όχημα προς δρόμο (Vehicle-to-Road – V2R), το όχημα προς κινητό (Vehicle-to-Cellular – V2C), το διαδίκτυο των οχημάτων (Internet of Vehicles – IoV) και τα συνδεδεμένα αυτόνομα οχήματα (Connected Autonomous Vehicles – CAV) επικεντρώνονται στην ανταλλαγή πληροφοριών και την ανταλλαγή γνώσεων. Τα κυψελωτά δίκτυα

5G υποστηρίζουν ήδη την επικοινωνία και τη συνδεσιμότητα σε αυτά τα αυτόνομα και συνδεδεμένα συστήματα οχημάτων. Σε αυτό το πλαίσιο, το πλεονέκτημα της χρήσης κυψελοειδών δικτύων 6G για τη διαχείριση της επικοινωνίας μεταξύ συστημάτων IoV και CAV είναι η βελτίωση της αποτελεσματικότητας της υπηρεσίας επικοινωνίας, η μείωση των καθυστερήσεων από άκρο σε άκρο και η παροχή υψηλής απόδοσης για αναδυόμενες εφαρμογές που χρησιμοποιούν αυτά τα συνδεδεμένα συστήματα οχημάτων. Επιπλέον, τα συστήματα V2X, CAV και IoV έχουν τη δυνατότητα να διασφαλίζουν την οδική ασφάλεια μειώνοντας τον αριθμό των αυτοκινητιστικών ατυχημάτων, να βελτιώνουν τη διαχείριση της κυκλοφορίας, με αποτέλεσμα πιο πράσινα οχήματα, μειωμένο κόστος καυσίμου και βελτιωμένη χρήση φόρτισης ηλεκτρικού οχήματος (Plug-in Electric Vehicle – PEV). Η υλοποίηση των κυψελοειδών δικτύων 6G θα επιλύσει τα πιο δύσκολα ζητήματα, όπως η κινητικότητα με υψηλές ταχύτητες, η ευαισθησία στην καθυστέρηση, η απρόσκοπτη συνδεσιμότητα και η αξιοπιστία.

- Ψηφιακά δίδυμα (Digital Twins): είναι αντίγραφα λογισμικού των πολύπλοκων λειτουργιών και αστοχιών φυσικών συστημάτων, κατασκευασμένων προϊόντων και διαδικασιών. Πολλαπλοί τομείς, συμπεριλαμβανομένης της δομημένης παρακολούθησης υγείας (Structural Health Monitoring – SHM), της βιομηχανίας 5.0 και της υγειονομικής περίθαλψης, θα ενσωματώσουν το ψηφιακό αντίστοιχο. Οι εφαρμογές που περιλαμβάνουν το ψηφιακό δίδυμο απαιτούν υψηλή ακρίβεια και διαθεσιμότητα σε πραγματικό χρόνο. Ως εκ τούτου, τα ψηφιακά δίδυμα θα διευκολυνθούν από την ωρίμανση της τεχνολογίας 6G και τον συνδυασμό επιστημών όπως η βιοεπιστήμη, η επιστήμη των υλικών και η βιοηλεκτρονική ιατρική. Στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, η ανίχνευση της δομής του ανθρώπινου σώματος μέσω της ψηφιακής τεχνολογίας είναι εξαιρετικά επωφελής για την πρόληψη σοβαρών ασθενειών. Ως ιατρική αναλογία, τα ψηφιακά δίδυμα ειδικά για τον ασθενή μπορούν να συνδυάσουν την ανθρώπινη φυσιολογία και ανοσολογία με κλινικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για συγκεκριμένο ασθενή για να δημιουργήσουν προσομοιώσεις υπολογιστή ιογενούς λοίμωξης και ανοσολογικής απόκρισης. Συνδυάζοντας μηχανιστικές πληροφορίες, στοιχεία

παρατήρησης, ιστορικά ασθενών και τεχνητή νοημοσύνη, τα ιατρικά ψηφιακά δίδυμα μπορεί να είναι μια πολύτιμη προσθήκη στο οπλοστάσιο των πόρων μας για την καταπολέμηση μελλοντικών πανδημιών.

- Βιομηχανικός Αυτοματισμός: Οι Industry 4.0 και Industry 5.0, που αναφέρονται στον ψηφιακό μετασχηματισμό της συμβατικής παραγωγής (και θα αναλυθούν σε επόμενα κεφάλαια) και των βιομηχανικών διαδικασιών που χρησιμοποιούν τεχνολογίες cyber-physical και IoT, αναμένεται να υλοποιηθούν στην εποχή 6G. Ο πρωταρχικός στόχος του Industry 4.0 είναι να μειώσει την ανάγκη για άμεση ανθρώπινη παρέμβαση στις διαδικασίες παραγωγής μέσω αυτόνομων συστημάτων ελέγχου, δικτύων και συστημάτων επικοινωνίας. Για να γίνει αυτό, το 6G πρέπει να συμμορφώνεται με αυστηρούς δείκτες απόδοσης (Key Performance Indicators – KPI) και προδιαγραφές, συμπεριλαμβανομένης της υψηλής αξιοπιστίας (δηλαδή, μεγαλύτερη από 10^9), της εξαιρετικά χαμηλής καθυστέρησης (δηλαδή μικρότερη από 1 ms) και ενός μεγάλου αριθμού συνδεδεμένων γραμμών.
- Κεντρικές εφαρμογές Blockchain και κατακευματισμένες τεχνολογίες λογιστικών βιβλίων (Distributed Ledger Technologies – DLT): Μέσω της χρήσης τόσο δημόσιων όσο και ιδιωτικών δικτύων, τα κατακευματισμένα λογιστικά βιβλία επιτρέπουν στους χρήστες να μοιράζονται, να ανταλλάσσουν και να αποθηκεύουν δεδομένα. Είναι ουσιαστικά μια κατακευματισμένη βάση δεδομένων που διατηρείται σε έναν αριθμό κόμβων σε διαφορετικά σημεία. Τα κατακευματισμένα λογιστικά βιβλία κατηγοριοποιούνται σε τρεις ομάδες με βάση τον τρόπο χρήσης της τεχνολογίας: blockchain, κατευθυνόμενο ακυκλικό γράφημα (Directed Acyclic Graph – DAG) και υβριδικό DLT. Μια συναλλαγή είναι το θεμελιώδες κομμάτι δεδομένων σε ένα blockchain. Μια νέα συναλλαγή αποστέλλεται σε ολόκληρο το δίκτυο blockchain όταν παράγεται. Η συναλλαγή λαμβάνεται από κόμβους που αναφέρονται ως block miners, οι οποίοι την επικυρώνουν επαληθεύοντας την υπογραφή που επισυνάπτεται. Όσον αφορά την απομάκρυνση από τη συγκέντρωση και προς τα συστήματα διανομής για επικύρωση δεδομένων, αυτά τα κατακευματισμένα συστήματα επόμενης γενιάς υπόσχονται πολλά. Οι εφαρμογές

που βασίζονται σε blockchain απαιτούν υψηλή συνδεσιμότητα, μια συνεργατική μίξη από uRLLC και μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής, για να διατηρηθούν χαμηλές οι καθυστερήσεις, σταθερή συνδεσιμότητα και επεκτασιμότητα, [6].

Σύνοψη πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων 6G

Η τεχνολογία 6G θα εγκαινιάσει μια εποχή άνευ προηγουμένου καινοτομίας, ξεκλειδώνοντας την τεχνητή νοημοσύνη, μεταμορφώνοντας τις βιομηχανίες υγειονομικής περίθαλψης και μετάδοσης δεδομένων, ενισχύοντας την ιδιωτικότητα. Πολλές βιομηχανικές μονάδες θα εκδηλώσουν το ενδιαφέρον τους για το 6G. Σε αυτή την ενότητα θα περιγραφούν εν συντομία τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της τεχνολογίας 6G, και πιο συγκεκριμένα τα οφέλη και οι υποχρεώσεις του 6G για να καθοριστεί εάν αυτή η τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να μεταμορφώσει την τεχνολογία επικοινωνίας.

Πλεονεκτήματα του 6G

Τα ακόλουθα είναι μερικά πλεονεκτήματα ή προνόμια του ασύρματου 6G:

1. Βελτιωμένη διάρκεια ζωής της μπαταρίας: Οι τελικοί καταναλωτές μπορούν γρήγορα και ομαλά να έχουν πρόσβαση σε πολλές λύσεις προηγμένης τεχνολογίας σε πραγματικό χρόνο, χάρη στο 6G. Ωστόσο, οι τελικοί πελάτες θα απαιτήσουν συσκευές με αξιόπιστα πακέτα μπαταριών για να χρησιμοποιήσουν τις υπηρεσίες προηγμένης τεχνολογίας χωρίς καθυστερήσεις ή διακοπές. Το δίκτυο 6G επιδιώκει να διπλασιάσει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας της συσκευής. Αυτό θα βοηθήσει επίσης στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα διασφαλίζοντας ότι οι συνδεδεμένες συσκευές λειτουργούν με τη μέγιστη απόδοση τους χωρίς να χρησιμοποιούν επιπλέον ενέργεια. Οι ταχύτερες συνδέσεις και η καλύτερη χωρητικότητα θα μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας σε κινητές συσκευές.

2. Εργαλεία ασύρματης επικοινωνίας που βασίζονται σε AI: Χρησιμοποιώντας την AI, το 6G θα φέρει επανάσταση στην ασύρματη επικοινωνία. Σε αντίθεση με το 5G, το 6G προορίζεται να εκμεταλλευτεί τις εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης του πραγματικού κόσμου. Η τεχνητή νοημοσύνη θα βοηθήσει στην αύξηση της λειτουργικής απόδοσης σε

πολλές περιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένου του εντοπισμού σταθμών βάσης στις πιο κατάλληλες τοποθεσίες, κάνοντας τα δίκτυα να χρησιμοποιούν λιγότερη ενέργεια και τη διαχείριση περίπλοκων αυτόνομων δικτύων. Θα μπορεί να ενσωματώνει την τεχνητή νοημοσύνη σε διάφορα στοιχεία και υπηρεσίες ασύρματου δικτύου, χάρη στο μεγάλο όγκο δεδομένων σε πραγματικό χρόνο που συγκεντρώνονται μέσω διαφόρων συνδεδεμένων συμβατών συσκευών και υπηρεσιών.

3. Χαμηλότερες καθυστερήσεις: Ο στόχος της τεχνολογίας 6G είναι να έχει καλύτερη συνδεσιμότητα από το 5G, και να προσφέρει σχεδόν άμεσες συνδέσεις. Λόγω των υψηλότερων συχνοτήτων λειτουργίας του, ο τεμαχισμός του δικτύου 6G θα έχει πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης και μικρότερη καθυστέρηση από τα δίκτυα 5G. Ένας στόχος του Διαδικτύου 6G είναι να προσφέρει συνδεσιμότητα με καθυστέρηση τάξη μεγέθους ενός μικροδευτερόλεπτου. Αυτό είναι 1.000 φορές γρηγορότερο από τη μετάδοση ενός χιλιοστού του δευτερολέπτου, ή το $\frac{1}{1000}$ ο της καθυστέρησης.

4. Mobile Edge Computing (Κινητό Υπολογιστικό Άκρο): Όλα τα δίκτυα 6G θα έχουν δυνατότητα για κινητό υπολογιστικό άκρο, σε αντίθεση με τα τρέχοντα δίκτυα 5G που πρέπει να το ενσωματώσουν. Από τη στιγμή που θα εφαρμοστούν τα δίκτυα 6G, το υπολογιστικό άκρο (edge computing) και ο πυρήνας (core computing) θα είναι πιο συυφασμένοι ως μέρος ενός ολοκληρωμένου παραδείγματος αρχιτεκτονικής τηλεπικοινωνιών και υπολογιστών. Καθώς η τεχνολογία 6G γίνεται λειτουργική, αυτή η στρατηγική πιθανότατα θα προσφέρει πολλά οφέλη σε αυτόν τον τομέα.

5. Εξατομικευμένη εμπειρία δικτύου: Το 6G είναι ένα αυτόνομο, εξατομικευμένο δίκτυο. Μαζί με τις τεχνολογίες AI, το 6G θα επιτρέψει την προσομοίωση της προσωπικής κινητής επικοινωνίας. Οι πάροχοι υπηρεσιών δικτύου κινητής τηλεφωνίας θα μπορούν να παρέχουν στους καταναλωτές μια προσαρμοσμένη εμπειρία δικτύου που θα προέρχεται από δεδομένα χρηστών σε πραγματικό χρόνο από πολλές πηγές, με τη βοήθεια του ραδιοδικτύου πρόσβασης που θα βασίζεται σε 6G τεχνολογία.

6. Μεγάλη Κάλυψη: Με μεγαλύτερη και ευρύτερη διεισδυτικότητα, το απτό διαδίκτυο 6G θα είναι ένα ολοκληρωμένο δίκτυο που θα υποστηρίζει επίγεια μετάδοση, δορυφορική

επικοινωνία, ανταλλαγή πληροφοριών μικρής εμβέλειας από συσκευή σε συσκευή και άλλες τεχνολογίες. Το 6G θα μπορεί να λειτουργήσει υπό διαφορετικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων των εναέριων, επίγειων και υδάτινων δρόμων, δημιουργώντας ένα παγκόσμιο δίκτυο κινητής ευρυζωνικής επικοινωνίας που χρησιμοποιεί τεχνολογία για έξυπνη διαχείριση κινητικότητας.

Μειονεκτήματα του 6G

Επειδή η τεχνολογία βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη, δεν μπορούμε να βγάλουμε πολύ συγκεκριμένα συμπεράσματα σχετικά με τα μειονεκτήματα του 6G μέχρι να έχουμε ένα σύστημα 6G για δοκιμή και επαλήθευση. Ακολουθούν μερικά θέματα που δημιουργούν ανησυχίες σχετικά με το ασύρματο 6G.

1. Υψηλό κόστος: Ένα σημαντικό μειονέκτημα της τεχνολογίας 6G είναι ότι προβλέπεται να είναι πιο δαπανηρή από το 5G. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αύξηση του εύρους ζώνης και της απόδοσης θα απαιτήσει πρόσθετες υποδομές και εγκαταστάσεις. Το προαναφερθέν συνεπάγεται ότι θα πρέπει να εγκατασταθούν νέοι σταθμοί και κεραιές, κάτι που μπορεί να είναι κοστοβόρο. Γενικότερα, κάθε αλλαγή ασύρματης τεχνολογίας κατά τη μετάβαση από τη μία γενιά τηλεπικοινωνιών στην επόμενη είναι εξαιρετικά δαπανηρή, και το κόστος θα το υποστούν τελικά οι τελικοί χρήστες. Οι τεχνολογίες 6G θα απαιτήσουν επίσης σημαντική επέκταση του ρυθμιστικού συστήματος του φάσματος, των συχνοτήτων μεταφοράς δεδομένων που χρησιμοποιούνται στις ασύρματες επικοινωνίες.

2. Επικοινωνία Terahertz: Η ζώνη συχνοτήτων terahertz αντιστοιχεί στο εύρος συχνοτήτων μεταξύ 100GHz και 10THz που θα χρησιμοποιείται από το 6G. Δεν έχει χρησιμοποιηθεί ποτέ στο παρελθόν, παρά το μεγάλο εύρος ζώνης. Ωστόσο, αναμένεται ότι τα terahertz στην εποχή του 6G θα αντιμετωπίσουν τα ίδια προβλήματα με τα σημερινά mmWave κύματα, δηλαδή: περιορισμένη κάλυψη, ακριβό κόστος ανάπτυξης δικτύου, πρόωρο οικοσύστημα τερματικών κ.λπ.

3. Πιθανές παρεμβολές: Άλλες τεχνολογίες, όπως οι δορυφορικές επικοινωνίες, ενδέχεται να επηρεαστούν από την τεχνολογία 6G. Αυτό οφείλεται στις υψηλές

συχνότητες που θα χρησιμοποιούνται από το 6G και που ενδέχεται να παρεμβαίνουν και σε άλλες επικοινωνίες. Το Διαστημικό-Εδάφους Ολοκληρωμένο Δίκτυο (Space-Terrestrial Integrated Network – STIN) είναι ένα πιθανό παράδειγμα για την επίτευξη παγκόσμιας ασύρματης σύνδεσης σε συστήματα ασύρματης επικοινωνίας έκτης γενιάς (6G). Ωστόσο, οι σοβαρές παρεμβολές στο STIN βλάπτουν τα ασύρματα δίκτυα και οδηγούν σε μειωμένη απόδοση, αποτρέποντας την εμπορική τους εφαρμογή.

4. Κίνδυνοι για την υγεία: Στο 6G θα υπάρχουν πιθανοί παράγοντες κινδύνου για την υγεία, που προϋπήρχαν στο 5G, αλλά αναμένεται να ενισχυθούν. Το 6G, όπως αναφέρθηκε, θα απαιτεί συχνότητες που κυμαίνονται από 100GHz έως 1THz, επιτρέποντας τα πολύ πυκνά συστήματα επικοινωνιών, με εκατοντάδες, αν όχι χιλιάδες, ταυτόχρονες ασύρματες συνδέσεις με πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα από την υποδομή 5G. Πριν από την αρχική κυκλοφορία του 5G, περισσότεροι από 220 επιστήμονες από 40 χώρες εξέφρασαν σοβαρές ανησυχίες σχετικά με την αυξανόμενη ευπάθεια του ηλεκτρικού και ασύρματου εξοπλισμού στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η έκθεση σε ακτινοβολία υψηλής συχνότητας, για παράδειγμα, έχει συσχετιστεί με συγκεκριμένες ιατρικές ασθένειες όπως ο αυτισμός, η ιδεοψυχαναγκαστική διαταραχή (ΙΨΔ), η διαταραχή ελλειμματικής προσοχής/υπερκινητικότητας (ΔΕΠΥ), η διαταραχή μετατραυματικού στρες (PTSD), ο αποπροσανατολισμός, η ναυτία, οι ημικρανίες και η εξασθενημένη όραση. Επιπλέον, η ακτινοβολία ραδιοσυχνοτήτων από τη χρήση κινητού τηλεφώνου μπορεί να συνδέεται με καρκίνο.

5. Ασφάλεια και απόρρητο: Το πιο κρίσιμο νομικό πρόβλημα σχετικά με την ανάπτυξη του 6G είναι η διατήρηση και προστασία της ιδιωτικότητας. Με την ταχεία πρόοδο της τεχνολογίας, είναι δύσκολο να προβλεφθούν ποια πρότυπα ασφαλείας θα είναι αποδεκτά στην παγκόσμια πλατφόρμα του 6G. Λόγω των υψηλών κυρώσεων που επιβάλλονται από τους νέους κανόνες απορρήτου σε κρατικό επίπεδο, η πρόκληση της πρόβλεψης και της προσαρμογής στις τεχνολογίες 6G θα έχει σημαντικές επιπτώσεις για τα εμπλεκόμενα μέρη στον τομέα των τηλεπικοινωνιών. Ένα άλλο ζήτημα με την τεχνολογία 6G είναι ότι μπορεί να ανοίξει νέους δρόμους και τρωτά σημεία για εγκληματίες του κυβερνοχώρου και κακόβουλους χρήστες. Αυτό συμβαίνει επειδή οι

μεγαλύτερες ταχύτητες και χωρητικότητες επιτρέπουν την κρυπτογράφηση και τη λήψη περισσότερων δεδομένων. Ωστόσο, αυτή η πρόοδος στην τεχνολογία κρυπτογράφησης κινδυνεύει να επιδεινώσει την αδυναμία των μονάδων επιβολής του νόμου να ανακτήσουν τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό του υπόπτου.

6. Ζητήματα συμβατότητας: Επειδή η τεχνολογία 6ης γενιάς δεν είναι συμβατή με παλαιότερα μοντέλα, πολλοί χρήστες δεν θα μπορούν να έχουν πρόσβαση σε αυτό το νέο δίκτυο επειδή ο εξοπλισμός τους δε θα το υποστηρίζει.

Η τεχνολογία 6G είναι ακόμα υπό κατασκευή και δεν θα είναι διαθέσιμη νωρίτερα από το 2030. Το 6G, όπως και το 5G, θα αυξήσει την ταχύτητα του δικτύου ενώ θα μειώσει τις καθυστερήσεις και θα αυξήσει τη συνδεσιμότητα μηχανής με μηχανή (M2M). Ωστόσο, το 6G είναι πιθανό να δώσει προτεραιότητα στη δημιουργία μιας ασύρματης επικοινωνίας επόμενης γενιάς που θα ενισχύει τη διεπαφή δικτύου των μηχανών και όχι μόνο των ανθρώπινων συνδρομητών, [46].

Κεφάλαιο 2: Μηχανική μάθηση και τεχνητή νοημοσύνη στο 6G

Το δίκτυο επικοινωνιών 6G θα είναι ένα δίκτυο επόμενης γενιάς έκτης αίσθησης, το οποίο θα αυξήσει την αξία του ευφυούς Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT). Με την άνθιση διαφόρων τομέων τεχνητής νοημοσύνης, το 6G θα ανοίξει το δρόμο για μεγάλες αλλαγές, π.χ. στην επαυξημένη ανθρώπινη νοημοσύνη, στο Διαδίκτυο των Πάντων (Internet of Everything), στην Ποιότητα Εμπειρίας (Quality of Experience – QoE), στην ποιότητα ζωής κ.λπ. Η τεχνητή νοημοσύνη και το 6G θα αλλάξουν κατεύθυνση από τα συνδεδεμένα πράγματα προς στη διασυνδεδεμένη νοημοσύνη

. Το παρόν κεφάλαιο συνοψίζει το εύρος της τεχνητής νοημοσύνης στη δημιουργία μιας επαναστατικής τεχνολογίας 6G. Θα αναδειχτούν κατάλληλες εφαρμογές που θα λύνουν ανθρώπινες ανάγκες και προβλήματα, καθώς και τεχνολογίες που μπορούν να δημιουργήσουν αξία για τις νέες τεχνολογίες.

Η τεχνητή νοημοσύνη στη βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών μέχρι σήμερα

Από την εμφάνιση του τηλεφώνου στις αρχές του 19ου αιώνα, η βιομηχανία τηλεπικοινωνιών έχει περάσει από μια σειρά σταδιακών εξελίξεων. Η πρώτη χρήση τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα των τηλεπικοινωνιών αναδείχθηκε στη δεκαετία του 1980 και επικεντρώθηκε κυρίως στην προηγμένη διαχείριση συστημάτων. Η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης χρησιμοποιήθηκε για τη βελτίωση της λειτουργικότητας και της συντήρησης δικτύων και υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών. Αυτή η πρωτοβουλία ενέπνευσε τις έρευνες για την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα των τηλεπικοινωνιών. Για παράδειγμα, στο [48], ο Macleish αναφέρει πώς ένα προηγμένο σύστημα πρώτης γενιάς μπορεί να συμβάλει στον εντοπισμό προβλημάτων σε

πολύπλοκο εξοπλισμό τηλεπικοινωνιών κατά τη διάρκεια της αδράνειας. Στο [49], εξηγείται γιατί η τεχνητή νοημοσύνη αποτελεί την κατάλληλη λύση για προβλήματα στον τομέα των τηλεπικοινωνιών. Στο [50], αναφέρονται οι τεχνολογίες και οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης που χρησιμοποιούνται από τους τηλεπικοινωνιακούς φορείς, ενώ υπογραμμίζεται ότι οι τεχνολογίες της τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να συμβάλουν στην αντιμετώπιση πρακτικών προβλημάτων στον τομέα των τηλεπικοινωνιών.

Μετά το 2000, ο τομέας των τηλεπικοινωνιών υπέστη σημαντικές μεταβολές, μετακινούμενος από τις βασικές υπηρεσίες τηλεφώνου και Διαδικτύου σε προηγμένα δίκτυα και υπηρεσίες δεδομένων. Αυτή η αλλαγή επέφερε τη μετάβαση από φωνητικές κλήσεις σε αλληλεπιδραστικά βίντεο και δεδομένα. Με τη διασυνδεδεμένη επέκταση του δικτύου και την εμφανίστηκαν νέα είδη επιχειρήσεων, ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών αντιμετωπίζει διαρκώς νέες προκλήσεις και προβλήματα. Κατά τη διάρκεια της ψηφιακής μεταμόρφωσης, η βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις. Από τη μία πλευρά, η αυξημένη ζήτηση για γρήγορη σύνδεση δεδομένων, υψηλότερη ανάλυση, βελτιωμένη ροή βίντεο και πολλές εφαρμογές πολυμέσων συνεχίζει να αυξάνεται. Από την άλλη πλευρά, οι απειλές από ανταγωνιστικές και αποτελεσματικές εταιρείες παροχής υπηρεσιών διαδικτύου ενισχύονται. Οι προκλήσεις ωθούν τους φορείς τηλεπικοινωνιών να ενισχύσουν τις υπηρεσίες τους, προσφέροντας καλύτερες υπηρεσίες και καινοτόμες δυνατότητες. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων και τα δίκτυα 5G αποτελούν καίριους παράγοντες για την ανάπτυξη των τρεχόντων δικτύων τηλεπικοινωνιών, με κάθε τεχνολογία να επιφέρει σημαντικές αλλαγές στην υπάρχουσα αρχιτεκτονική και τεχνολογία του δικτύου. Παράλληλα, θα υπάρξουν σημαντικές προκλήσεις στον σχεδιασμό, τη λειτουργία και τη συντήρηση των δικτύων τηλεπικοινωνιών. Το κύριο ζήτημα για τους τηλεπικοινωνιακούς φορείς είναι πώς να διαχειρίζονται και να λειτουργούν τα πολύπλοκα δίκτυα επόμενης γενιάς 5G/ Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Το δίκτυο 5G παρουσιάζει πολύπλοκη δομή με διάφορους καταναμημένους κόμβους, πυκνές και μικρές κυψέλες, millimeter waves, μη αδειοδοτημένο φάσμα, διαμοιραζόμενο φάσμα και τεχνολογίες από το 3G/ 4G. Η μόνη λύση είναι η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης (AI), η οποία διαθέτει ισχυρές δυνατότητες ανάλυσης δεδομένων και εξαγωγής πληροφοριών, προσφέροντας νέες δυνατότητες στα

τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Ως κεντρικό σημείο επικοινωνίας δεδομένων, τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών προσφέρουν εκτεταμένο πεδίο για την ενσωμάτωση της τεχνολογίας της τεχνητής νοημοσύνης. Η πρόκληση είναι πώς να αξιοποιηθεί η ανάλυση, η αξιολόγηση, η πρόβλεψη και άλλες δυνατότητες που παρέχονται από τους αλγορίθμους της τεχνητής νοημοσύνης για τη βελτίωση των τηλεπικοινωνιακών δικτύων και των επιχειρηματικών συστημάτων, συνδυάζοντας την AI με τον σχεδιασμό, την κατασκευή, τη συντήρηση, τη λειτουργία και τη βελτιστοποίηση. Εν προκειμένω, η βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών διαπραγματεύεται πώς να αντιμετωπίσει αυτά τα σημαντικά ζητήματα. Ορισμένοι πάροχοι τηλεπικοινωνιών αρχίζουν να δοκιμάζουν και να αναπτύσσουν λύσεις που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη για τους πελάτες και τις εσωτερικές λειτουργίες τους. Κάποιοι από αυτούς καλούνται ακόμη να εφαρμόσουν στρατηγικά σχέδια ανάπτυξης της τεχνητής νοημοσύνης. Για παράδειγμα, η AT&T πειραματίζεται με τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης ως βασικού εργαλείου για την ασύρματη τεχνολογία επόμενης γενιάς και έχει ήδη εικονικοποιήσει το δίκτυό της.

Η βιομηχανία τηλεπικοινωνιών αναδεικνύεται ως σημαντικός κινητήριος παράγοντας για την προαγωγή της ανάπτυξης της τεχνητής νοημοσύνης και ως ένα πεδίο ζωτικής σημασίας για τις εφαρμογές της AI. Ο τομέας των τηλεπικοινωνιών εκφράζει ανάγκη για σημαντικές επενδύσεις και υψηλά οικονομικά έξοδα. Κατά συνέπεια, οι φορείς τηλεπικοινωνιών είναι υποχρεωμένοι να διαχειρίζονται προσεκτικά τα λειτουργικά κόστη, ιδίως όσον αφορά το ανθρώπινο δυναμικό. Παράλληλα με την ανταγωνιστική πίεση από τους γίγαντες του Διαδικτύου, οι φορείς τηλεπικοινωνιών πρέπει να αντιμετωπίσουν την πρόκληση του ψηφιακού μετασχηματισμού. Είναι απαραίτητο να αντιληφθούν πώς να διαχειρίζονται το δίκτυο επόμενης γενιάς 5G/IoT. Οι συνθήκες της αγοράς και οι οικονομικές πιέσεις επιβάλλουν στους φορείς τηλεπικοινωνιών την επείγουσα ανάγκη για λύσεις αυτοματοποίησης με βάση την τεχνητή νοημοσύνη. Από την άλλη πλευρά, το 5G προσφέρει σημαντική υποστήριξη στην τεχνολογία AI από άποψη δεδομένων και υπολογιστικής ισχύος, προωθώντας την εφαρμογή διάφορων σεναρίων χρήσης των τεχνητών νοημάτων. Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στο δίκτυο τηλεπικοινωνιών αντιπροσωπεύει μια μακροπρόθεσμη και σταδιακή διαδικασία. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, η εξέλιξη της νοημοσύνης του δικτύου προς υψηλότερα

επίπεδα αποτελεί στόχο, με την επίτευξη υψηλού βαθμού αυτονομίας κατά τη λειτουργία του.

Προς το παρόν, ερευνητικοί και επιχειρηματικοί κύκλοι έχουν εξετάσει διαδοχικά την υιοθέτηση τεχνητής νοημοσύνης στα δίκτυα τηλεπικοινωνιών με σκοπό την προώθηση της ενσωμάτωσης της τεχνολογίας AI. Οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών παγκοσμίως έχουν επίσης εξετάσει την ενσωμάτωση της τεχνολογίας AI σε διάφορους τομείς. Για παράδειγμα, μια εταιρεία ψηφιακών τηλεπικοινωνιών ερευνά τη χρήση αλγορίθμων AI για τον έλεγχο και τη συντήρηση σταθμών βάσης με χρήση drones. Επίσης, μια εταιρεία στη Νότια Κορέα χρησιμοποιεί μηχανική μάθηση για την ανάλυση της κίνησης του δικτύου με στόχο την ανίχνευση ανωμαλιών και την ενίσχυση των λειτουργιών του.

Επιπλέον, οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών προσφέρουν ποικίλες υπηρεσίες AI σε συνεργασία με εξωτερικούς εταίρους. Για παράδειγμα, από τον Σεπτέμβριο του 2016, μια εταιρεία συνεργάζεται με μια άλλη για την εκμετάλλευση της βοηθού τεχνητής νοημοσύνης, παρέχοντας νέες δυνατότητες φωνητικής αλληλεπίδρασης σε ένα έξυπνο σπίτι. Επίσης, το 2016, μια κινεζική εταιρεία Διαδικτύου συνεργάστηκε με έναν κορυφαίο πάροχο τηλεπικοινωνιών για τη βελτίωση των διαδικτυακών και offline υπηρεσιών τους.

Εκτός από αυτά, οι εταιρείες τηλεπικοινωνιών συνεργάζονται με διάφορες εταιρείες για την ανάπτυξη έξυπνων προϊόντων και υπηρεσιών, καθώς και έξυπνων εφαρμογών. Επιπλέον, έχουν δημιουργήσει κοινά εργαστήρια για την έρευνα στις εφαρμογές AI σε δίκτυα 5G.

Τονίζεται ότι ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών μπορεί να εφαρμόσει τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης σε ποικίλους τομείς, όπως η εξυπηρέτηση πελατών, ο αυτοματισμός δικτύου, ο αυτοματισμός επιχειρηματικών διαδικασιών, οι νέες ψηφιακές υπηρεσίες και η συντήρηση υποδομής. Για τους φορείς τηλεπικοινωνιών, η τεχνολογία AI παρέχει νέους τρόπους βελτίωσης της απόδοσης του δικτύου, της προγνωστικής απόδοσης και των διαμορφώσεων δεδομένων. Συγκεκριμένα, η χρήση της τεχνολογίας AI στην εξυπηρέτηση πελατών προσφέρει νέες δυνατότητες βελτίωσης της αποτελεσματικότητας και της απόκρισης προς τους πελάτες, [12].

Τεχνητή νοημοσύνη ενισχυμένη από το 6G

Η τεχνολογία επικοινωνιών 6G θα χρησιμοποιεί edge computing με τεχνητή νοημοσύνη και θα φέρει το διακομιστή πιο κοντά στους χρήστες του cloud. Η τεχνολογία επόμενης γενιάς θα διαφέρει τόσο στην λειτουργική τεχνολογία όσο και στην τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνιών, [4].

Υπερ-εξειδίκευση (Hyper specification)

Θα είναι μία πλατφόρμα δικτύου προσαρμοσμένη για τον εξαιρετικά εξειδικευμένο χρήστη. Οι πελάτες θα μπορούν να φέρουν τις διευθύνσεις IP και τις τυπολογίες δικτύου τους χωρίς να είναι απαραίτητες οι τροποποιήσεις στο δίκτυο του κέντρου δεδομένων πελατών. Η απομόνωση που προσφέρεται από την πολιτική εικονικοποίησης δικτύου των Windows (Windows Network Virtualization – WNV) επιτρέπει σε ένα διακομιστή Hyper-V να φιλοξενεί εικονικές μηχανές με το ίδιο σχήμα IP. Η υπερ-εξειδικευμένη τεχνολογία δικτύου θα φέρει τεράστια ανάπτυξη στις υπηρεσίες διαδικτύου. Ωστόσο, υπάρχουν προκλήσεις σχετικά με την αύξηση των διαδικτυακών υπηρεσιών. Αυτό, σε συνδυασμό με αυξανόμενη ανάγκη ανταλλαγής δεδομένων, έχει μεταμορφώσει τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούμε με το διαδίκτυο, την επιχείρησή μας και ο ένας με τον άλλον. Η υιοθέτηση των διαδικτυακών υπηρεσιών και των σχετικών επιχειρηματικών και τεχνολογικών μοντέλων πίσω από αυτές βρίσκεται στον πυρήνα σχεδόν όλων των σημαντικών προόδων της τελευταίας δεκαετίας. Όμως ο ρυθμός υιοθέτησης αυτών των τεχνολογιών δεν είναι γραμμικός. Ενώ οι πρώτες υπηρεσίες Ιστού κυκλοφόρησαν στο διαδίκτυο στα τέλη της δεκαετίας του 1990, χρειάστηκε σχεδόν μια δεκαετία για να γίνουν mainstream. Η ανάπτυξη των διαδικτυακών υπηρεσιών και των εφαρμογών που βασίζονται στον ιστό επιταχύνεται, τροφοδοτούμενη από την αυξημένη συνδεσιμότητα, την καλύτερη ποιότητα περιεχομένου Ιστού και την εκθετική αύξηση των φορητών συσκευών. Οι υπηρεσίες Ιστού υποστηρίζουν ήδη σημαντικά τμήματα της ψηφιακής οικονομίας και στο μέλλον θα δούμε περισσότερα από αυτά να ζωντανεύουν καθώς δημιουργούνται νέες και ισχυρές εφαρμογές. Για τις εταιρείες διακομιστών, αυτό είναι ένα τεράστιο όφελος· μπορούν να δημιουργήσουν κανόνες για να διαχωρίσουν τις εικονικές μηχανές από τους πελάτες διασφαλίζοντας παράλληλα ότι οι πελάτες συνδέονται με την εργασία τους χρησιμοποιώντας το ίδιο σύνολο διευθύνσεων IP που

έχουν στο τοπικό τους δίκτυο. Οι σύντομοι χρόνοι ανάπτυξης και η σχετικά υψηλή αξιοπιστία είναι τα προφανή πλεονεκτήματα της παροχής ενός πλήρως ενσωματωμένου και δοκιμασμένου συστήματος. Αυτό συμβαίνει επειδή ένα μεγάλος πλήθος από δοκιμές γίνεται σε κάθε εξάρτημα για να διασφαλιστεί ότι λειτουργεί με οποιοδήποτε άλλο εξάρτημα και, σωστά, καταλήγει σε μια συσκευή εταιρικού επιπέδου. Είναι σαν ένα κέντρο δεδομένων σε ένα κουτί, [21].

Εντέλει, το "Hyper Specification" αναφέρεται στην υπερεξειδίκευση ή υπερεξατομίκευση στο πλαίσιο του 6G, όπου η έννοια αυτή σημαίνει ότι μια δικτυακή πλατφόρμα μπορεί να προσαρμοστεί κατάλληλα για υψηλά εξειδικευμένες χρήσεις. Με απλά λόγια, πρόκειται για τη δημιουργία ενός δικτύου που είναι σε θέση να προσφέρει εξατομικευμένες λύσεις, σχεδιασμένες και προσαρμοσμένες για τις ιδιαίτερες ανάγκες και απαιτήσεις διαφορετικών χρηστών.

Αυτό σημαίνει ότι οι χρήστες θα μπορούν να απολαμβάνουν προσαρμοσμένες υπηρεσίες και λειτουργίες, ανάλογα με τον τρόπο που χρησιμοποιούν την τεχνολογία. Είναι σαν να έχουν ένα εξατομικευμένο "δίκτυο εξυπηρέτησης" που πληροί τις ακριβείς τους ανάγκες, είτε πρόκειται για υγεία, εκπαίδευση, ψυχαγωγία ή επαγγελματική χρήση. Συνολικά, αυτή η προσέγγιση δημιουργεί ένα εξαιρετικά εξελιγμένο δίκτυο που προσφέρει εξαιρετική εξατομίκευση και απόδοση. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η έννοια της υπερ-εξειδίκευσης θα μπορούσε να υλοποιηθεί ακολούθως:

- Εξατομικευμένες Υπηρεσίες Υγείας: Προσαρμοσμένη παροχή ιατρικών υπηρεσιών με βάση τα ατομικά χαρακτηριστικά και τις ανάγκες του κάθε ασθενούς, π.χ. παροχή συμβουλών υγείας σε πραγματικό χρόνο με εξατομικευμένες προτάσεις διατροφής και άσκησης.
- Εξατομικευμένη Εκπαίδευση: Δημιουργία ενιαίων εκπαιδευτικών πλατφορμών που προσαρμόζονται στο επίπεδο εκπαίδευσης, το εκπαιδευτικό ύφος και τις εκπαιδευτικές ανάγκες κάθε μαθητή, π.χ. εξατομικευμένες εκπαιδευτικές εφαρμογές που προσαρμόζονται στην εκμάθηση κάθε μαθητή.
- Εξατομικευμένες Επαγγελματικές Υπηρεσίες: Παροχή προσαρμοσμένων υπηρεσιών για επαγγελματική ανάπτυξη, εκπαίδευση και εξειδίκευση,

λαμβάνοντας υπόψη τις ειδικές ανάγκες του κάθε επαγγελματία, π.χ. εξατομικευμένες εκπαιδευτικές πλατφόρμες για επαγγελματίες σε διάφορους τομείς.

- Εξατομικευμένες Εμπειρίες Διασκέδασης: Παροχή περιεχομένου ψυχαγωγίας που προσαρμόζεται στα ενδιαφέροντα και τις προτιμήσεις του κάθε χρήστη, π.χ. εξατομικευμένες εμπειρίες εικονικής πραγματικότητας για διασκέδαση και ψυχαγωγία.

Υπερ-ικανό (Hyper capable)

Ο αρχικός όρος που χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει αυτή την προσέγγιση ήταν η τεχνολογία του «υπερκαναλιού». Ξεκίνησε ως απάντηση στην αντικατάσταση της υποδομής που βασίζεται σε χαλκό με τεχνολογία που μπορούσε να μεταφέρει δεδομένα σε υψηλότερες ταχύτητες. Ο όρος εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1990 όταν η ταχύτητα του δικτύου ήταν ο κύριος οδηγός για την ανάπτυξη των δικτύων, και ο όρος ορίστηκε εν μέρει για να υποδηλώσει ότι το δίκτυο ήταν ταυτόχρονα γρήγορο και ικανό να παρέχει περισσότερα δεδομένα από ποτέ. Η ανάπτυξη τεχνολογιών υπερ-ικανών δικτύων με δυνατότητα έχει φτάσει να περιλαμβάνει ορισμένες θεμελιώδεις αλλαγές στα πρωτόκολλα δικτύου και στον τρόπο παροχής των δικτύων. Αυτές οι εξελίξεις καθοδηγούνται από τις ανάγκες της βιομηχανίας των τηλεπικοινωνιών και του Διαδικτύου για την αντιμετώπιση του ζητήματος της συμφόρησης των δικτύων στον 21ο αιώνα. Το 6G απαιτεί μια μεγάλη επέκταση σε όλες τις διαστάσεις χρησιμοποιώντας το φάσμα των Terahertz. Η αλλαγή διευθύνσεων διαταράσσει την επικοινωνία και τις υπηρεσίες που εκτελούνται στην εικονική μηχανή. Με την υποστήριξη της εικονικοποίησης του υπερ-δικτύου (Hyper Network Virtualization – HNV), είναι πλέον δυνατή η μετεγκατάσταση εικονικών μηχανών σε διάφορα υποδίκτυα ζωντανά. Το Hyper Network Virtualization εγγυάται ότι η τοποθεσία μιας ζωντανά μετεγκατεστημένης εικονικής μηχανής ενημερώνεται και συγχρονίζεται μεταξύ διακομιστών με συνεχή επικοινωνία με την μετεγκατεστημένη εικονική μηχανή. Όσον αφορά τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη μετεγκατάσταση ζωντανών εικονικών μηχανών, δεν υπάρχουν βελτιώσεις. Χωρίς να χρειάζεται τροποποίηση στην τοπολογία του δικτύου, οι εικονικές μηχανές μπορούν να μεταφερθούν σε διάφορα εικονικά υποδίκτυα ή εγκαταστάσεις.

Είναι απλό για τους παρόχους διακομιστών να μεταφέρουν εικονικές μηχανές πελατών σε διαφορετικά κέντρα δεδομένων χωρίς διακοπή λειτουργίας σε περίπτωση οποιασδήποτε λειτουργίας συντήρησης σε έναν από τους ιστότοπους φιλοξενίας και να επιτρέπουν στους πελάτες να έχουν πρόσβαση σε εικονικές μηχανές χωρίς καμία διακοπή της υπηρεσίας, [22].

Το 6G από πλευράς υπερ-ικανότητας θα έχει υψηλή απόδοση, με βελτιωμένες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, χαμηλή καθυστέρηση και αυξημένη χωρητικότητα. Επίσης, το 6G αναμένεται να επεκταθεί σε πολλές διαστάσεις, περιλαμβάνοντας όχι μόνο την αύξηση της ταχύτητας, αλλά και τη βελτίωση της συνδεσιμότητας, της αξιοπιστίας και της ευελιξίας. Με τη χρήση φάσματος συχνοτήτων μέχρι THz, προσφέρεται υψηλή ευαισθησία και απόδοση για εφαρμογές με απαιτήσεις για υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων και αυξημένη απόκριση. Τέλος, το 6G θα χρησιμοποιήσει εξελιγμένες τεχνικές εικονικοποίησης δικτύου, που θα επιτρέπουν τη δημιουργία ευέλικτων και προσαρμοσμένων δικτύων για κάθε χρήστη ή συσκευή.

Υπερ-ανίχνευση (Hyper sensing)

Η υπερ-ανίχνευση (hyper sensing) είναι ένα νέο παράδειγμα για τα ασύρματα δίκτυα, όπου οι κόμβοι είναι εξοπλισμένοι με πολλές ραδιοκεραίες με υψηλή απολαβή (gain). Η ραδιοεπαφή έχει σχεδιαστεί για μία μόνο χρήση με την τρέχουσα τεχνολογία ανίχνευσης. Έτσι, η κατανάλωση ενέργειας είναι πολύ υψηλή σε σύγκριση με αυτή του ανθρώπινου σώματος. Από την άλλη πλευρά, οι ασύρματοι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της ανθρώπινης κίνησης ή ζωτικών σημείων είναι συνήθως σχεδιασμένοι για μεγάλους κύκλους ζωής. Ως τυπική εφαρμογή, ο τομέας της υγείας είναι η πιο δημοφιλής εφαρμογή ασύρματων αισθητήρων. Οι εφαρμογές στον τομέα της υγείας περιλαμβάνουν παρακολούθηση της υγείας για ασθενείς και προσωπικό ή/ και ανάκτηση πληροφοριών ασθενών. Οι αισθητήρες τοποθετούνται συχνά στο σώμα για να μετρήσουν τα ζωτικά σημεία του ασθενούς, συμπεριλαμβανομένων των καρδιακών παλμών, της θερμοκρασίας και της αρτηριακής πίεσης· για αυτές τις εφαρμογές, οι αισθητήρες πρέπει να λειτουργούν για πολλά χρόνια. Μια κεραία με υψηλή απολαβή σημαίνει ότι η κατανάλωση ισχύος μειώνεται

πολύ περισσότερο σε σχέση με μια συμβατική κεραία ενώ το κέρδος διατηρείται. Έτσι, με την ίδια ισχύ πομπού, ο αισθητήρας μπορεί να λαμβάνει περισσότερα σήματα. Η επικοινωνία 6G θα διευκολύνει την αύξηση του πλήθους των ανθρώπων και των μηχανών. Όπου μπορεί να χρειαστούν μήνες για να διαμορφωθεί και να αναπτυχθεί μια συμβατική λύση που επικεντρώνεται στην αγορά υλικού, ένα υπερσυγκλίνον πλαίσιο μπορεί να αναπτυχθεί σε εβδομάδες και μερικές φορές ακόμη και σε ημέρες. Καταβάλλεται μεγάλη προσπάθεια για τη διαλειτουργικότητα των εξαρτημάτων, και επειδή οι διαδικασίες διαχείρισης που περιβάλλουν τις λύσεις είναι ειδικά προσαρμοσμένες γύρω από αυτά, εξαλείφεται πολλή πολυπλοκότητα για τη διαχείριση και τη διασφάλιση ενός κέντρου δεδομένων. Οι αισθητήρες είναι κάμερες υπερφασματικής σάρωσης γραμμών που συλλέγουν το ανακλώμενο φως μέσω ενός τμήματος εικόνας. Μια σειρά χωρικών εικονοστοιχείων συλλέγεται ανά καρέ καθώς υπάρχει κίνηση, με κάθε εικονοστοιχείο να περιέχει πλήρη φασματικά δεδομένα. Είναι δυνατό να επιτευχθεί κίνηση με δύο τρόπους: είτε ως αερομεταφερόμενη ανάπτυξη είτε με την εφαρμογή πρακτικής δύναμης. Μια τρίτη επιλογή είναι επίσης διαθέσιμη όπου οι φάσεις μετατόπισης και κλίσης ή περιστροφής επιτρέπουν σε έναν υπερφασματικό αισθητήρα σε σταθερή θέση να αναζητήσει ανίχνευση στατικών αντικειμένων. Έτσι, η υπερ-ανίχνευση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα και την ευελιξία του δικτύου. Η μεγάλης κλίμακας βιομηχανική επανάσταση θα έχει μεγάλο αντίκτυπο μέσω της τεχνολογίας δικτύων 6G. Η ριζική ανάπτυξη της τεχνολογίας θα φέρει μια στροφή στην επερχόμενη μελλοντική τεχνολογία με το κορυφαίο αυτό σύστημα δικτύωσης, [18].

Εν κατακλείδι, συνοψίζοντας μερικά παραδείγματα υπερανίχνευσης στο πλαίσιο του 6G είναι τα ακόλουθα:

- Υπερ-ανίχνευση στην υγεία: Συσκευές που μπορούν να μετρούν πολλαπλές παραμέτρους υγείας σε πραγματικό χρόνο, όπως επίπεδα στρες, παλμούς, επίπεδα οξυγόνου, και άλλα, προσφέροντας ολοκληρωμένη εικόνα της φυσικής κατάστασης του χρήστη.
- Υπερ-ανίχνευση στην ασφάλεια οχημάτων: Ανίχνευση περιβαλλοντικών συνθηκών και κινδύνων με μεγαλύτερη ακρίβεια, επιτρέποντας στα οχήματα να

ανταποκρίνονται αυτόματα σε επικίνδυνες καταστάσεις, όπως καιρικές συνθήκες, κίνηση, ή ακόμα και ανθρώπινη συμπεριφορά.

- Υπερ-ανίχνευση στο περιβάλλον: Ανίχνευση ρύπων, θορύβου, και άλλων περιβαλλοντικών παραμέτρων με σκοπό την παροχή πληροφοριών σχετικά με την ποιότητα του περιβάλλοντος και τη λήψη μέτρων για τη βελτίωσή του.
- Υπερ-ανίχνευση εμπειριών χρήστη σε έξυπνα περιβάλλοντα: Χρήση αισθητήρων για τη δημιουργία ενοποιημένων και πλήρως προσαρμοσμένων εμπειριών σε έξυπνα περιβάλλοντα, όπως έξυπνα σπίτια, γραφεία, και δημόσιους χώρους.

Έξυπνα ρομπότ και 6G

Σήμερα, οι προηγμένοι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης, βραχυπρόθεσμα, θα πυροδοτήσουν μια επανάσταση. Οι άνθρωποι μπορούν να αλληλεπιδράσουν απευθείας με τις μηχανές για να ολοκληρώσουν τις εργασίες με ακρίβεια. Λόγω της εμφάνισης της τεχνητής νοημοσύνης και της τεχνολογίας επικοινωνιών, τα βιομηχανικά ρομπότ θα γίνουν πιο ευφυή. Τα ρομπότ και οι αισθητήρες χρειάζεται να συνεργαστούν καλά, με χαμηλό χρόνο διακοπής λειτουργίας για να διασφαλιστεί η ακρίβεια και η ορθή λειτουργία. Οι κόμβοι στα άκρα στο 6G θα ελέγχουν πολύπλοκους υπολογισμούς για να παρέχουν άμεσες απαντήσεις. Το 6G θα έχει δυνατότητες επικοινωνίας υψηλής πυκνότητας και θα είναι σε θέση να διαχειρίζεται μεγάλο αριθμό ρομπότ και αισθητήρων. Το δίκτυο επικοινωνίας 6G θα χρησιμοποιεί τα ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας βασισμένα σε τεχνητή νοημοσύνη, τεχνητή νοημοσύνη ακμής (edge AI) και κβαντική μηχανική μάθηση σε ενσωματωμένα συστήματα. Αν και όλοι αυτοί οι περιορισμοί βρίσκονται τώρα σε ερευνητικό στάδιο, είναι σαφές ότι η τεχνολογία 6G θα γίνει πιο εμφανής στο εγγύς μέλλον. Οι δυνατότητες του 6G θα αλλάξουν ριζικά τον τρόπο με τον οποίο θα μπορούσε να σχεδιαστεί η ρομποτική με νέες δυνατότητες επικοινωνίας και ανίχνευσης που βασίζονται σε ραδιοεπαφές. Παρά τις διαφορετικές κατηγορίες ρομπότ (βιομηχανικά, για την υγεία, παροχής υπηρεσιών), κάθε ρομπότ περιλαμβάνει δυνατότητες αντίληψης του περιβάλλοντος, λειτουργίας με διαφορετικό, κλιμακωτό βαθμό αυτονομίας και ενεργοποίησης της κίνησης και του ελέγχου των κινούμενων μερών για τις εκπονήσουν τις εργασίες. Περισσότερες πτυχές μπορούν να

ληφθούν υπόψη στον τομέα του αυτοματισμού ρομπότ με την τεχνολογία του 6G, [11], [26], [31].

Ρομπότ με συναισθηματική νοημοσύνη

Το κύριο εμπόδιο στην τεχνητή νοημοσύνη είναι η εκμάθηση της υποδομής του ανθρώπινου εγκεφάλου. Τα βαθιά νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται για την αποσύνθεση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων όπως κάνουν οι νευρώνες και στη συνέχεια υπολογίζουν μελλοντικά αποτελέσματα. Τα ρομπότ προσπαθούν να αναλάβουν πιο περίπλοκα καθήκοντα. Μία από αυτές τις εργασίες, και σίγουρα μία από τις πιο δύσκολες, είναι η επίτευξη ουσιαστικής ανθρώπινης αλληλεπίδρασης. Χρειάζονται πολλές διασυνδεδεμένες, καλά ενορχηστρωμένες τεχνολογίες για τη δημιουργία κοινωνικά ικανών ρομπότ που να μπορούν να γίνουν οι φροντιστές, δάσκαλοι, βοηθοί και σύντροφοί μας. Οι ελαφριές, ισχυρές και προσαρμοσμένες εφαρμογές μπορούν να κάνουν μεγάλη διαφορά και να επιτρέψουν στο ρομπότ να επιτύχει μια αλληλεπίδραση ανθρώπου-ρομπότ όσον αφορά τη διεπαφή χρήστη. Δεδομένου ότι δεν ήταν φιλικά προς το χρήστη, πολλά πολύπλοκα και εξελιγμένα μηχανήματα στην αγορά απέτυχαν. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες υποσχόμενες εξελίξεις στη συναισθηματική νοημοσύνη στα ρομπότ. Αυτές οι εξελίξεις αφορούν, [34]:

- Το Pepper Robot: Το Pepper είναι ένα ανθρωποειδές ρομπότ που αναπτύχθηκε από την SoftBank Robotics που μπορεί να αναγνωρίσει και να ανταποκριθεί στα ανθρώπινα συναισθήματα. Το Pepper μπορεί να ανιχνεύσει τη συναισθηματική κατάσταση ενός χρήστη με βάση τις εκφράσεις του προσώπου και τον τόνο της φωνής του, επιτρέποντάς του να προσαρμόσει κατάλληλα τις απαντήσεις του.
- Care-O-bot: Το Care-O-bot είναι ένα ρομπότ εξυπηρέτησης που αναπτύχθηκε από το Ινστιτούτο Fraunhofer που μπορεί να βοηθήσει με καθημερινές εργασίες, όπως ψώνια και καθάρισμα. Το Care-O-bot μπορεί να αναγνωρίσει και να ανταποκριθεί στα ανθρώπινα συναισθήματα, επιτρέποντάς του να παρέχει συναισθηματική υποστήριξη στους χρήστες.

Για ρεαλιστική, δισαισθητική αλληλεπίδραση, κάθε ρομπότ που βρίσκεται σε άμεση επαφή με ανθρώπους θα πρέπει να προγραμματιστεί κατάλληλα, [31].

Βιομηχανικά ρομπότ

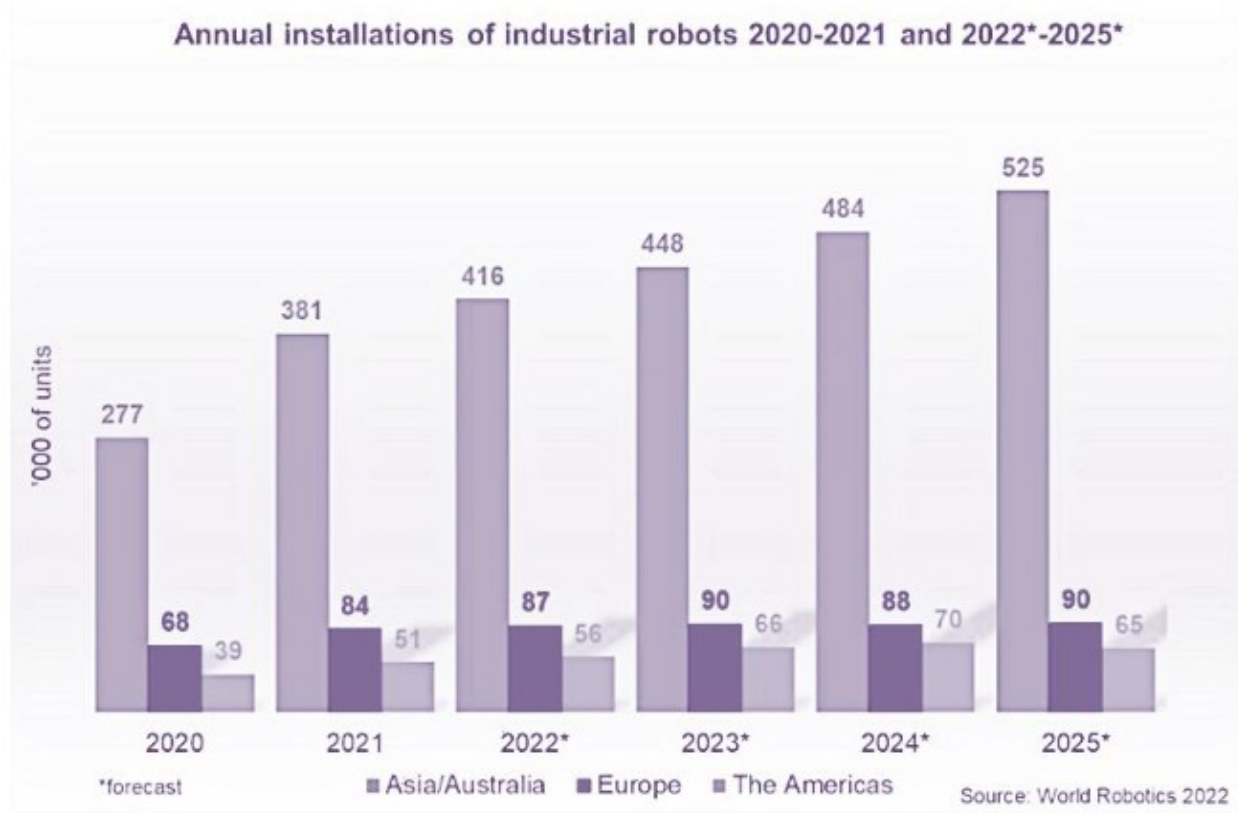
Με τη βοήθεια του διασυνδεδεμένου ευφυούς δικτύου, ολόκληρη η βιομηχανία μπορεί να αυτοματοποιηθεί με την τεχνητή νοημοσύνη, η πιθανή χρήση ευφυών δικτύων και έξυπνων συσκευών αυτό το έχει καταστήσει εφικτό τα τελευταία χρόνια. Επιπλέον, τα ρομπότ μπορούν να μοιράζονται τα δεδομένα τους χωρίς ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Αυτό απαιτεί ένα απρόσκοπτο κανάλι επικοινωνίας για συνεχή έλεγχο και οργάνωση των εργασιών. Οι νέες τεχνικές ρομποτικής είναι απαραίτητες για την τεχνητή νοημοσύνη· δίνεται έμφαση στην ανάπτυξη λύσεων που συνδυάζουν υλικό και λογισμικό, εκτελώντας λειτουργίες με μεγάλη ταχύτητα, αξιοπιστία και ασφάλεια για την αποτελεσματική χρήση της μηχανικής μάθησης και των λειτουργιών βασισμένων στην τεχνητή νοημοσύνη. Η τεχνητή νοημοσύνη απαιτείται για τη διασφάλιση της μέγιστης αξιοπιστίας και ακρίβειας στα ρομπότ. Οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν τεχνητή νοημοσύνη στη βιομηχανία της ρομποτικής για να αξιολογήσουν το απαραίτητο χρονοδιάγραμμα για την παροχή ολιστικής συντήρησης των ρομπότ.

Ανάγκη ύπαρξης αυτοματοποίησης διαδικασιών έχει ο τομέας συσκευασίας τροφίμων. Η συσκευασία είναι εξαιρετικά σημαντική για την παράδοση ποιοτικών προϊόντων σε μια ποικιλία βιομηχανιών, όπως τροφίμων και ποτών, φαρμακευτικών και άλλων ταχέως κινούμενων καταναλωτικών αγαθών. Για να ξεχωρίσουν σε μια ολοένα πιο απαιτητική και ανταγωνιστική αγορά, οι εταιρείες πρέπει να υιοθετήσουν λύσεις προστιθέμενης αξίας για να αυξήσουν την απόδοση, την αποτελεσματικότητα και τη βέλτιστη ποιότητα των προϊόντων. Στο Interpack 2023, η Mitsubishi Electric παρουσίασε πώς οι εταιρείες στον κλάδο αυτό μπορούν να βελτιώσουν τις ικανότητες και την απόδοσή τους χρησιμοποιώντας ρομποτικές εφαρμογές και έξυπνες ρυθμίσεις μηχανών. Η Mitsubishi Electric παρουσίασε αρθρωτά βιομηχανικά και συνεργατικά ρομπότ έξι αξόνων που μπορούν να εκτελούν μια σειρά από βασικές δραστηριότητες τυπικές για τη συσκευασία τροφίμων. Στην Εικόνα 4 φαίνεται το ρομπότ αυτό, [52].



Εικόνα 4: Βιομηχανικό ρομπότ από τη Mitsubishi Electric που παρουσιάστηκε στην Interpark για τη συσκευασία σοκολατών, [52].

Αυτό επιτρέπει στους πελάτες να εξαλείψουν τις άσκοπες βλάβες και τα σχετικά σημαντικά έξοδα της συντήρησης. Η αποτελεσματικότητα των ρομπότ βελτιώνεται με τη διεξαγωγή λεπτομερούς επισκόπησης των δεδομένων που συλλέγονται από τους αισθητήρες τους. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά όπως η κατανάλωση και η κίνηση της ισχύος. Χρησιμοποιώντας την έξοδο του αλγόριθμου τεχνητής νοημοσύνης, το πρόγραμμα του ρομπότ μπορεί να τροποποιηθεί σε πραγματικό χρόνο. Τα τεχνητά ρομπότ είναι εδώ για να μείνουν καθώς το μέλλον των κατασκευών βρίσκεται στα πρόθυρα μιας νέας βιομηχανικής επανάστασης.



Εικόνα 5: Πρόβλεψη ανά έτος εγκατάστασης βιομηχανικών ρομπότ, [33].

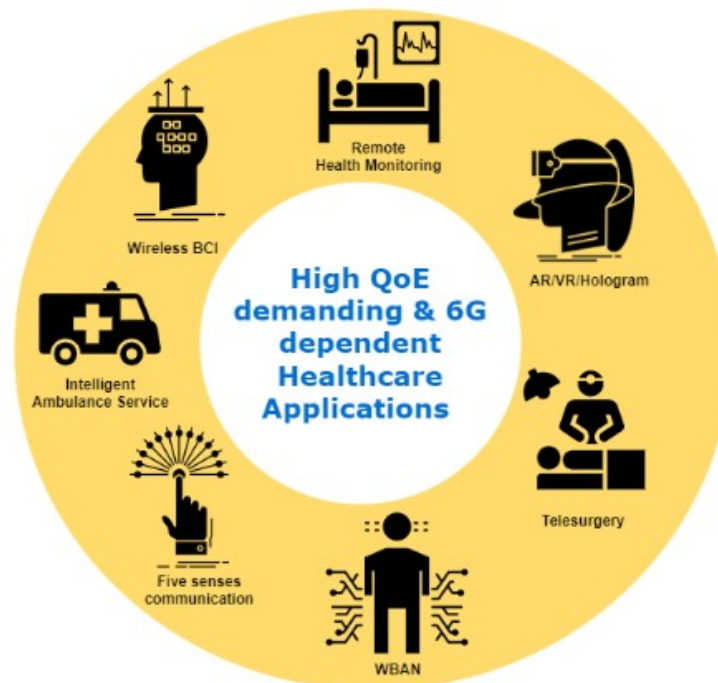
Με βάση παγκόσμια στατιστικά, η βιομηχανία ηλεκτρικών/ ηλεκτρονικών είναι σημαντικός πελάτης για τα βιομηχανικά ρομπότ, ενώ άλλοι κλάδοι όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, τα μέταλλα και τα μηχανήματα, τα πλαστικά και τα χημικά προϊόντα και τα τρόφιμα παρουσιάζουν σημαντική διψήφια ανάπτυξη. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5, σύμφωνα με τις προβλέψεις τους, η αγορά των βιομηχανικών ρομπότ αναμένεται να αναπτυχθεί, με τον υψηλότερο αριθμό εγκαταστάσεων στην αγορά της Ασίας/Αυστραλίας, ακολουθούμενη από την Ευρώπη και την Αμερική. Ο γρήγορος ρυθμός με τον οποίο έχει προχωρήσει η αυτοματοποιημένη τεχνολογία θα συνεχίσει να εισάγει καινοτομία στον αυτοματισμό και στις τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης, ανοίγοντας το δρόμο για εντελώς νέες μορφές ρομποτικής τεχνολογίας, όπως οι αυτόνομες, δυναμικές μηχανές του αέριου. Ο τομέας της υγειονομικής περίθαλψης αναμένεται να αυξηθεί πάνω από το 30% περίπου του συνολικού μεριδίου αγοράς των ρομπότ μέχρι το 2025. Αυτή η ταχεία ανάπτυξη στον τομέα της

υγειονομικής περίθαλψης θα αυξήσει σημαντικά τη ζήτηση για διάφορες συσκευές, συμπεριλαμβανομένων χειρουργικών-ρομποτικών συστημάτων, διαγνωστικών ρομπότ και κινητών ρομπότ. Ο παγκόσμιος τομέας της υγειονομικής περίθαλψης αναμένεται να φτάσει τα 1,7 τρισεκατομμύρια δολάρια το 2025. Ο τομέας των logistics αναμένεται επίσης να επεκταθεί σε περισσότερα από 1,2 τρισεκατομμύρια δολάρια έως το 2025. Η ανάπτυξη στον τομέα των logistics καθοδηγείται κυρίως από το ταχέως αυξανόμενο επιχειρηματικό ηλεκτρονικό εμπόριο και την ανάπτυξη του κλάδου του λιανικού εμπορίου.

Ρομπότ στον τομέα της υγείας

Το διαδίκτυο των έξυπνων φαρμακευτικών πραγμάτων (Internet of Intelligent Medical Things – IIoMT) είναι ένας τομέας που αναδεικνύει τη χρήση των ρομπότ μακριά από τους περιορισμούς της πραγματικότητας. Για παράδειγμα, το ειδικό ιατρικό προσωπικό μπορεί να εφαρμόσει εξ αποστάσεως χειρουργική επέμβαση που απαιτεί γρήγορες επικοινωνίες για την εκτέλεση εργασιών με συνέπεια και οι ειδικοί αυτοί μπορούν να επιβλέπουν την εξ αποστάσεως χειρουργική επέμβαση μέσω διαδικτυακών ραντεβού, ή απομακρυσμένης βοήθειας. Ο τομέας νοσοκομείο στο σπίτι (Hospital to Home – H2H) θα αναβαθμιστεί σε μια φορητή ιατρική κλινική πάνω σε μια έξυπνη πλατφόρμα οχημάτων, η οποία θα αποτελείται από κλινικές για έκτακτες περιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένων ειδικού προσωπικού και βοηθών. Αυτή η πολυλειτουργική ιατρική κλινική θα αντικαταστήσει τα πλεονεκτήματα των οχημάτων διάσωσης, με τη σταδιακή αναγνώριση των φορητών υπολογιστών έκτακτης ανάγκης στο χώρο του ατυχήματος, αφικνούμενο στο σημείο εκείνο. Οι ευφυείς φορετές συσκευές (Intelligent Wearable Devices – IWD) συνδέονται με το Διαδίκτυο και μπορούν να μεταφέρουν νοητικές και σωματικές πληροφορίες για ελέγξουν και να επαληθεύσουν τις μεθόδους. Η τεχνητή νοημοσύνη στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης εφαρμόζεται ειδικά για τους γιατρούς και τα νοσοκομεία που έχουν πρόσβαση σε μεγάλα σύνολα δεδομένων, δυνητικά ζωτικής σημασίας. Τα δεδομένα αυτά σχετίζονται με μεθόδους θεραπείας και τα αποτελέσματά τους, τα ποσοστά επιβίωσης και το ρυθμό φροντίδας που συλλέγονται μέσω εκατομμυρίων ασθενών, από διάφορες γεωγραφικές περιοχές με πολλές διαφορετικές συνθήκες υγείας που είναι συχνά αλληλένδετες. Η νέα υπολογιστική ισχύς

μπορεί να ανιχνεύσει και να αναλύσει μεγάλα και μικρά μοτίβα δεδομένων και ακόμη και να κάνει προβλέψεις μέσω της μηχανικής μάθησης για τον εντοπισμό πιθανών αποτελεσμάτων. Η Εικόνα 6 συνοψίζει τις βασικές εφαρμογές m-health που ανήκουν στο 6G και θα γίνουν πραγματικότητα με την ανάπτυξη των συστημάτων επικοινωνίας 6G. Στην εικόνα αυτή φαίνονται να κυριαρχούν οι μελέτες περίπτωσης που αφορούν τον τομέα της υγείας, καθώς υπάρχουν πολλές πτυχές στις οποίες θα μπορούσε να συνεισφέρει, όπως προαναφέρθηκε.



Εικόνα 6: Εφαρμογές που βασίζονται κυρίως στο 6G μέσω τεχνητής νοημοσύνης.

Τα ρομπότ χρησιμοποιούνται επίσης και στην εξυπηρέτηση πελατών σε ξενοδοχεία και εμπορικούς χώρους παγκοσμίως. Χάρη στην ικανότητα επεξεργασίας φυσικής γλώσσας από την τεχνητή νοημοσύνη, αυτή χρησιμοποιείται για να επικοινωνούν ανθρώπινα τα ρομπότ με τους πελάτες. Είναι ενδιαφέρον ότι οι δυνατότητές τους βελτιώνονται με παρατεταμένη επαφή με άτομα και ρομπότ εξυπηρέτησης πελατών. Διαφορετικά ρομπότ στη βιομηχανία της ρομποτικής παρέχονται ως συστήματα ρομποτικής ανοιχτού κώδικα με δυνατότητες τεχνητής νοημοσύνης, [26], [27].

Ρομπότ στις έξυπνες πόλεις

Η τεχνητή νοημοσύνη θα δημιουργήσει υπηρεσίες και θα παρατηρήσει βασικές λειτουργίες με μεγάλη ακρίβεια. Με την ταχεία διαχείριση της σύνδεσης της πόλης στο Διαδίκτυο, οι σαρώσεις των logistics θα παρακολουθούνται από ανθρώπινα ρομπότ. Η ασφάλεια και η άνεση είναι επίσης βασικοί περιορισμοί για την ανάπτυξη έξυπνων πόλεων. Επιπλέον, οι βιομηχανίες θα επηρεαστούν σημαντικά από τη γνωστική νοημοσύνη. Η έρευνα δείχνει ότι το Industry 4.0 οδήγησε τη φυσική βιομηχανία στην υλοποίηση της ψηφιακής βιομηχανίας και ο βιομηχανικός αυτοματισμός της υποδομής 6G θα συνδέσει τα πάντα· κινητές συσκευές, μηχανές και ρομπότ. Υποτίθεται ότι οι τεχνητοί άνθρωποι ή τα ρομπότ ισορροπούν και βαδίζουν μπροστά στον αστικό χώρο. Οι ειδικοί στη ρομποτική είναι αισιόδοξοι μπροστά στην τρομακτική αβεβαιότητα στο μυαλό των ανθρώπων σχετικά με το ότι τα ρομπότ αφαιρούν θέσεις εργασίας ή για θεωρίες συνωμοσίας ότι τα ρομπότ θα καταλάβουν τον κόσμο. Τα ρομπότ θα μας βοηθήσουν να αντιμετωπίσουμε τα πιο δύσκολα παγκόσμια προβλήματα. Περισσότερες λεπτομέρειες για τη Βιομηχανία 4.0, την εξέλιξή της και τη συσχέτισή της με το 6G θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο. Χρησιμοποιώντας αλγόριθμους, θα είναι πιο εύκολα κατανοητή η αλλαγή του κλίματος και θα είναι πιο εύκολη η ανάλυση δεδομένων από τους ωκεανούς, τα τροπικά δάση και την ατμόσφαιρα. Για τις κοινότητες που το χρειάζονται, μπορούν να γίνουν ρυθμίσεις για πλεονάζοντα τρόφιμα, να αντιμετωπιστούν φυσικές καταστροφές κλπ. Πριν από μερικά χρόνια, δεν υπήρχαν θέσεις εργασίας, όπως ερευνητές μέσω κοινωνικής δικτύωσης, επιστήμονες δεδομένων, προγραμματιστές λογισμικού ή έμποροι κινητής τηλεφωνίας, που υπάρχουν σήμερα.

Η Smart City Robotics εφαρμόζει ένα εξαιρετικά συνδεδεμένο ρομποτικό σύστημα που περιστρέφεται γύρω από τη νέα γενιά των αυτόματων οδηγούμενων οχημάτων (Automated Guided Vehicles – AGV) για την υλοποίηση αυτού του οράματος. Μακροπρόθεσμα, τα ρομπότ τεχνητής νοημοσύνης είναι πιο οικονομικά, αλλά η τεχνολογία απαιτεί τεράστια αρχική επένδυση λόγω της πολυπλοκότητάς τους. Με την πάροδο του χρόνου, καθώς η ανάγκη δημιουργίας αποκλειστικών λύσεων μειώνεται, αυτή η τεχνολογία θα γίνει φθηνότερη για τις επιχειρήσεις. Εάν εφαρμοστούν πιο

εξελιγμένα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης σε ρομπότ, τα περιθώρια σφαλμάτων θα μειωθούν και οι πολύπλοκες εργασίες με μεγαλύτερη ακρίβεια και αυτονομία θα είναι πιο εύκολο να εκτελεστούν. Επομένως, μπορούμε να τονίσουμε ότι ένα πιο ευέλικτο δίκτυο 6G θα ωθήσει την οικονομία μας προς μια πλήρως αυτοματοποιημένη βιομηχανία. Τα ρομπότ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ξεπεραστούν όλες οι εργασίες που επιλύουν τώρα οι άνθρωποι, θα εκτελούν κρίσιμες εργασίες με μεγαλύτερη ακρίβεια και θα μειώνουν τα ανθρώπινα λάθη, [26], [32].

Τα οικιακά ρομπότ κερδίζουν μεγαλύτερη δημοτικότητα αυτές τις μέρες. Σύμφωνα με αναφορές, η παγκόσμια αξία πωλήσεων των εγχώριων ρομπότ προβλέπεται να αυξηθεί από 4,3 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ το 2019 σε 10 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ το 2023. Σήμερα, μπορεί κανείς να βρει πολλές τεχνολογίες σε έξυπνες πόλεις και σπίτια, Τα ρομπότ κουζίνας, τα ρομπότ συντροφιάς και άλλα είναι παραδείγματα οικιακών εφαρμογών ρομποτικής που χρησιμοποιούνται σε έξυπνες πόλεις. Πέντε κορυφαία από αυτά είναι τα ακόλουθα, [47]:

- Ρομποτικοί γυμναστές: Οι άνθρωποι αναφέρουν την έλλειψη χρόνου ως τον κύριο λόγο για τη μη τακτική άσκηση. Η λύση σε όλα αυτά τα ζητήματα είναι οι ρομποτικοί γυμναστές, οι οποίοι σύμφωνα με τους ερευνητές, είναι επίσης χρήσιμοι για την εκπαίδευση των αστροναυτών, την εκπαίδευση των πιλότων και σε περιπτώσεις ανάρρωσης από χειρουργικές επεμβάσεις. Είναι μια από τις καλύτερες εφαρμογές οικιακής ρομποτικής σε έξυπνες πόλεις.
- Ρομποτικές κουζίνες: Το σύστημα διαθέτει ένα επιδέξιο ρομπότ ενσωματωμένο σε μια πολυτελή κουζίνα που ετοιμάζει φρεσκομαγειρεμένα γεύματα με το πάτημα ενός κουμπιού. Η κύρια από τις λειτουργίες που εκτελούνται από τα ρομπότ κουζίνας είναι το μαγείρεμα. Ορισμένα ρομπότ κουζίνας μπορούν να δημιουργήσουν ένα συνδυασμό πιάτων που μπορούν να ετοιμάσουν με βάση συγκεκριμένα συστατικά.
- Ρομπότ συντροφιάς: Τα ρομπότ συντροφιάς είναι μια εφαρμογή της ρομποτικής σε έξυπνες πόλεις που συγκεντρώνει πολλά στοιχεία—υποστηρικτικές τεχνολογίες (Assistive Technologies – AT), τεχνολογίες πληροφοριών και

επικοινωνιών (ICT), υπολογιστική όραση, IoT και AI για να βοηθήσει σε εργασίες όπως το να σηκωθεί κάποιος από το κρεβάτι χωρίς βοήθεια, στην παροχή φαρμάκων σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας, αλλά και με βοήθεια σε θέματα κινητικότητας.

- Έξυπνη διαχείριση και έλεγχος: Σχεδόν όλα τα συστήματα ρομποτικής που αναπτύσσονται στην πόλη προορίζονται για τον εκσυγχρονισμό και τη βελτίωση της διαχείρισης και των ελέγχων διαφόρων λειτουργιών. Τα ρομπότ χρησιμεύουν ως επέκταση στο υπάρχον έξυπνο αστικό οικοσύστημα. Παραδείγματα περιλαμβάνουν αυτόνομα ρομπότ παράδοσης, λεωφορεία χωρίς οδηγό και ρομπότ εξυπηρέτησης από το κράτος που λειτουργούν ως οικιακοί βοηθοί.
- Αναβάθμιση κοινοτήτων με χαμηλούς πόρους: Υπάρχουν φτωχές περιοχές ή λιγότερο τυχερές γειτονιές σε πολλές πόλεις όπου τόσο οι κάτοικοι όσο και τα γεγονότα τείνουν να περνούν απαρατήρητα - όχι απαραίτητα από αμέλεια, αλλά λόγω του πόσο πολυσύχναστα τείνουν να είναι τα αστικά περιβάλλοντα. Με τη βοήθεια των έξυπνων τεχνολογιών, αυτές οι κοινότητες με λιγότερες υπηρεσίες και χαμηλούς πόρους μπορούν να υποστηριχθούν κατάλληλα. Η βελτιωμένη αποτελεσματικότητα σημαίνει ότι θα πρέπει να διατίθενται περισσότερα κεφάλαια για διοχέτευση σε αυτές τις κοινότητες.

Μηχανική μάθηση με το 6G

Η μηχανική μάθηση (Machine Learning – ML) γίνεται πιο δημοφιλής λόγω των διαφορετικών εφαρμογών και δυνατοτήτων της. Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης είναι προγράμματα υπολογιστή που χρησιμοποιούνται για την εκμάθηση των χαρακτηριστικών ή των προτύπων ενός συστήματος που είναι ένα ρητό μαθηματικό μοντέλο. Αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούνται σε εργασίες όπως η ταξινόμηση, η παλινδρόμηση και σε αλληλεπιδράσεις ενός ευφυούς παράγοντα με ένα περιβάλλον. Όταν ένα μοντέλο αναγνωρίζει τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος, γνωστό ως αναγνωρισμένο μοντέλο, τότε μπορεί να μάθει τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος. Μια εργασία μπορεί να εκτελεστεί αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας μερικούς απλούς αριθμητικούς υπολογισμούς. Μια τέτοια εξέλιξη είναι δυνατή λόγω της πρόσβασης σε μοντέλα μηχανικής μάθησης αιχμής, σε μεγάλα σύνολα δεδομένων και σε υψηλή

υπολογιστική ισχύ. Η ML μπορεί να αναπτυχθεί σε μια εξαιρετικά διαμορφωμένη υποδομή με ευρεία ευελιξία δικτύου και δεδομένα επεξεργασίας σε πραγματικό χρόνο. Παραλλαγές της μηχανικής μάθησης, όπως η εποπτευόμενη, η μη εποπτευόμενη και η ενισχυμένη μάθηση, μπορούν να ενσωματωθούν εξίσου με το 6G.

Η μηχανική μάθηση χρησιμοποιείται για κοινωνικό και κοινωνικό όφελος· το 6G θα βοηθήσει στην επεξεργασία του όγκου μεταδεδομένων με λιγότερους πόρους και λιγότερη υπολογιστική ισχύ. Η μηχανική μάθηση θα μπορούσε να επεξεργαστεί τεράστιο όγκο δεδομένων και να προβλέψει ορισμένους περιορισμούς. Η ικανότητα της μηχανικής μάθησης, συμβατής με την τεχνολογία επικοινωνίας 6G, είναι αμέτρητη και τα αποτελέσματά της είναι επίσης πολλά σε κάθε τομέα. Ποικίλες τεχνικές εφαρμόζονται στην τεχνητή νοημοσύνη και τη μηχανική μάθηση, και αυτό επηρεάζει την καθημερινότητά μας. Έτσι, η διασφάλιση ότι η σωστή χρήση προηγμένης τεχνολογίας, όπως η μηχανική μάθηση, θα μπορούσε να θεωρηθεί ως η οικοδόμηση ενός κεντρικού οικοσυστήματος. Οι επιχειρήσεις αναζητούν προηγμένο λογισμικό που θα τις βοηθήσει να αξιολογήσουν δεδομένα και να λάβουν καλύτερες αποφάσεις. Το λογισμικό Business Intelligence (BI) βρίσκεται στην πρώτη γραμμή αυτών των προσπαθειών και στόχος του είναι να πάρει τις σωστές πληροφορίες στα σωστά άτομα τη σωστή στιγμή. Το 6G θα παρέχει ευφυΐα λογισμικού για να επιτρέψει αυτόνομες λειτουργίες και να βελτιώνει σταθερά τα αποτελέσματα της αγοράς, [10], [21].

Εποπτευόμενη μάθηση

Στην εποπτευόμενη μάθηση, το μοντέλο μαθαίνει από τα ήδη γνωστά δεδομένα. Η παράμετρος των συντελεστών (coefficients) για τη μισή δρομολόγηση προσδιορίζεται με βοήθεια της διάταξης πηγών δεδομένων που ήταν ήδη προσβάσιμες σε συνδυασμό με τη σχετική αναμενόμενη απόδοση. Η ιδανική εφαρμογή της εποπτευόμενης ML είναι ένα σενάριο στο οποίο είναι διαθέσιμη η πραγματική κοινή κατανομή των παραμέτρων εισόδου και εξόδου, η οποία μπορεί να εξαχθεί από τη γνώση του διαθέσιμου τομέα, [23].

Οι συντελεστές των μεθόδων κατακερματισμού μαθαίνονται στην εποπτευόμενη μάθηση με την εκμετάλλευση του προηγουμένως διαθέσιμου συνόλου εισόδων σε συνδυασμό

με τις επιθυμητές εξόδους τους. Ως σενάριο στο οποίο είναι διαθέσιμη η πραγματική κοινή κατανομή των παραμέτρων εισόδου και εξόδου, μπορεί να προβληθεί η ιδανική εφαρμογή της εποπτευόμενης μηχανικής μάθησης. Για τις επικοινωνίες πομποδεκτών, η εποπτευόμενη εκμάθηση στο φυσικό επίπεδο μπορεί ενισχύσει στη βέλτιστη κατανομή ισχύος και στην προσωρινή αναστολή των παρεμβολών. Οι εφαρμογές εποπτευόμενης μάθησης δεν περιορίζονται στο φυσικό επίπεδο, βρίσκονται σε πολλά κοινά δίκτυα, στο επίπεδο εφαρμογής, μεταφοράς κλπ. Έτσι, το 6G θα μπορούσε να επηρεάσει την εποπτευόμενη μαθησιακή διαδικασία, [24].

Μη εποπτευόμενη και ημι-εποπτευόμενη μάθηση

Στη μη εποπτευόμενη μάθηση, δεν υπάρχουν ονόματα χαρακτηριστικών (features) και το μοντέλο ανακαλύπτει πώς να συγκεντρώνει σχετικές πληροφορίες. Στο δίκτυο επικοινωνίας 6G, το σύνολο των διαθέσιμων δειγμάτων δεδομένων εισόδου χρησιμοποιείται στη μη εποπτευόμενη μάθηση για την εκπαίδευση του συστήματος, αν και δεν υπάρχουν διαθέσιμες προηγούμενες γνώσεις σχετικά με την επιθυμητή απόκριση του συστήματος. Η μη εποπτευόμενη μάθηση μπορεί πιθανώς να εφαρμοστεί για την εκτέλεση ευρέος φάσματος εργασιών που σχετίζονται με τη ομαδοποίηση σημείων (points clustering), την εξαγωγή χαρακτηριστικών (extraction of features), την ταξινόμηση χαρακτηριστικών (classification of features), την εκτίμηση της κατανομής (distribution estimation) και τη δημιουργία δειγμάτων ειδικά για την κατανομή (generation of distribution-specific samples). Σε εξαιρετικά περίπλοκες καταστάσεις επικοινωνιών οχημάτων, όπου ο μικρότερος χρόνος συγχρονισμού περιορίζει τον διαθέσιμο χρόνο στο φυσικό επίπεδο, το 6G θα αναπτυχθεί σε μεγάλη κλίμακα για να διευκολύνει τη σύνθετη λήψη αποφάσεων άμεσα. Συνακόλουθα, διάφορες πιθανές υλοποιήσεις μη εποπτευόμενης και ημι-εποπτευόμενης μάθησης για ομαδοποίηση, σύζευξη, ομαδοποίηση κόμβων ή σημείων για τη βέλτιστη κατανομή πόρων δικτύου θα εμφανιστούν στα υψηλότερα επίπεδα του συστήματος δικτύωσης.

Ο Πίνακας 5 συνοψίζει τις διαφορές εποπτευόμενης και μη μηχανικής μάθησης, [51].

Πίνακας 5: Διαφορές εποπτευόμενης και μη εποπτευόμενης μάθησης.

Εποπτευόμενη	Μη εποπτευόμενη
--------------	-----------------

Στους εποπτευόμενους αλγόριθμους μάθησης, η έξοδος για τη δοσμένη είσοδο είναι γνωστή.	Στους εποπτευόμενους αλγόριθμους μάθησης, η έξοδος για τη δοσμένη είσοδο είναι άγνωστη.
Οι αλγόριθμοι μαθαίνουν από τα επισημασμένα δεδομένα. Αυτά τα δεδομένα βοηθούν στην αξιολόγηση της ακρίβειας σε εκπαιδευτικό σύνολο δεδομένων.	Ο αλγόριθμος παρέχεται με μη επισημασμένα δεδομένα, από όπου προσπαθεί να βρει μοτίβα και συσχετίσεις μεταξύ των δεδομένων αντικειμένων.
Πρόκειται για μια τεχνική μοντέλου πρόβλεψης που προβλέπει τα μελλοντικά αποτελέσματα με ακρίβεια.	Πρόκειται για μια τεχνική περιγραφικού μοντέλου που εξηγεί την πραγματική σχέση μεταξύ των στοιχείων και της προΐστορίας τους.
Περιλαμβάνει αλγορίθμους ταξινόμησης και παλινδρόμησης.	Περιλαμβάνει αλγορίθμους εκμάθησης κανόνων συσταδοποίησης και συσχέτισης.
Αυτό το είδος μάθησης είναι σχετικά πολύπλοκο, καθώς απαιτεί επισημασμένα δεδομένα.	Είναι λιγότερο πολύπλοκο, καθώς δεν υπάρχει ανάγκη για κατανόηση και επισήμανση δεδομένων.
Είναι πιο ακριβής από τη μη εποπτευόμενη μάθηση, καθώς τα δεδομένα εισόδου και η αντίστοιχη έξοδος είναι γνωστά, και η μηχανή το μόνο που χρειάζεται να κάνει είναι να αποδώσει προβλέψεις.	Έχει μικρότερη ακρίβεια καθώς τα δεδομένα εισόδου είναι μη επισημασμένα. Γι' αυτό το λόγο η μηχανή πρέπει πρώτα να καταλάβει και να επισημάνει τα δεδομένα και μετά να αποδώσει προβλέψεις.
Πρόκειται για μια διαδικασία ανάλυσης δεδομένων που γίνεται μέσω διαδικτύου	Πρόκειται για διαδικασία ανάλυσης δεδομένων πραγματικού χρόνου.

και δεν απαιτεί ανθρώπινη αλληλεπίδραση.	
--	--

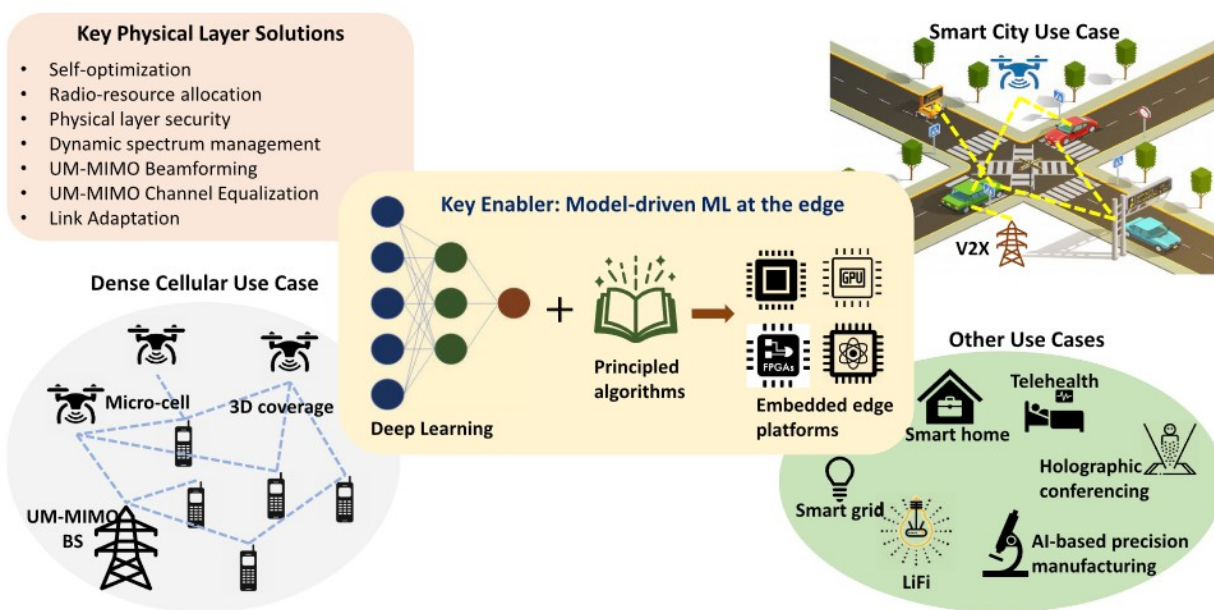
Στην ημι-εποπτευόμενη μάθηση, είναι διαθέσιμος ένας μικρός αριθμός υποσημειωμένων δεδομένων εκπαίδευσης. Ταυτόχρονα, τα περισσότερα από τα δεδομένα είναι χωρίς ετικέτα, ενώ, στη μη εποπτευόμενη μάθηση, δεν υπάρχουν διαθέσιμα υποσημειωμένα δεδομένα εκπαίδευσης [23] — τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο αναμεταδίδονται σε ένα δίκτυο υψηλών συχνοτήτων όπως το 6G. Ένας περιορισμένος αριθμός υποσημειωμένων δεδομένων εκπαίδευσης στην ημι-εποπτευόμενη μάθηση είναι ανοιχτός, αν και μεγάλο μέρος των ανοιχτών δεδομένων δεν έχει ετικέτα. Η μάθηση βασισμένη σε μοντέλα (model-based learning) συνήθως βελτιστοποιεί τους δείκτες απόδοσης με υψηλή υπολογιστική απόδοση σε όλες τις προσβάσιμες στοχευμένες λειτουργίες. Η ημι-εποπτευόμενη μάθηση θα βρει τον τρόπο της να υποστηρίξει τις δραστηριότητες εξισορρόπησης και παρακολούθησης καναλιών. Έτσι το 6G θα βοηθήσει τη μη εποπτευόμενη μάθηση να γίνει πιο έξυπνη, [25].

Ενισχυμένη μάθηση

Με τη χρήση της τεχνολογίας τηλεπικοινωνιών 6G, το δίκτυο θα γίνει πιο έξυπνο και προηγμένο. Η ενισχυμένη μάθηση χρησιμοποιεί διάφορους πράκτορες, από τους οποίους ο κάθε πράκτορας μπορεί να συνεργαστεί με κάθε κέντρο υπηρεσιών στο κυψελοειδές δίκτυο για να βοηθήσει στην μάθηση των καλύτερων παραμέτρων προγραμματισμού για τη βελτίωση της ποιότητας της υπηρεσίας στο δίκτυο. Αυτή η τεχνική μάθησης μπορεί να αναγνωρισθεί ως μια ισορροπία μεταξύ εποπτευόμενης και μη εποπτευόμενης μάθησης, όπου ο έμμεσος έλεγχος παρέχεται από την προηγούμενη γνώση της βέλτιστης απόδοσης του συστήματος. Ο πράκτορας στοχεύει στο να ενισχύσει τη συσσωρευμένη ανταπόδοση μακροπρόθεσμα. Πολλά ασύρματα ζητήματα όπως η κατανομή πόρων μπορούν να διατυπωθούν ως πρόβλημα ενισχυμένης μάθησης. Διάφορες αρχιτεκτονικές βαθιάς ενισχυμένης μάθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση πολλών προβλημάτων σε ασύρματα δίκτυα και σε αυτή τη διαδικασία, το 6G θα στηρίξει το σύστημα δικτύωσης, [21].

Είναι δυνατό να αξιολογηθεί ο αλγόριθμος μηχανικής μάθησης με βάση την ποσότητα και την ποιότητα των δεδομένων που βρίσκονται σε επεξεργασία. Οι περιορισμοί δικτύωσης επηρεάζουν άμεσα τον παραδειγματικό τρόπο λήψης αποφάσεων. Οι αλγόριθμοι μαζικής μάθησης μπορούν να εφαρμοστούν σε εφαρμογές με μεγάλο αριθμό διαθέσιμων δεδομένων από προηγούμενη εκπαίδευση. Αυτές οι offline μέθοδοι, στις οποίες τα δεδομένα συλλέγονται με μη αυτόματο τρόπο, τα δεδομένα επισημαίνονται και στη συνέχεια επεξεργάζονται κατά παρτίδα, και συνήθως αντιμετωπίζουν τον περιορισμό των ελάχιστων διαθέσιμων δεδομένων. Η προηγμένη τεχνολογία μηχανικής μάθησης θα χρησιμοποιηθεί για να ενδυναμώσει το δίκτυο 6G.

Τα διαφορετικά σενάρια εφαρμογής του 6G, όπως φαίνονται στην Εικόνα 7, θα απαιτούν ικανοποιητικές ετερογενείς απαιτήσεις υπηρεσίας για δίκτυα μηχανή σε μηχανή, άνθρωπο σε μηχανή, πολύ πυκνά δίκτυα IoT, κ.λπ. Η Εικόνα 7 δείχνει συνοπτικά τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί κάθε προβλεπόμενη περίπτωση χρήσης 6G. Η προβλεπόμενη επικοινωνία 6G θα είναι βάση 3-D ιεραρχίας επικοινωνίας, με πυκνές αναπτύξεις συσκευών για την υποστήριξη πολλαπλών επαναστατικών αυτόνομων περιπτώσεων χρήσης, όπως ολογραφικές εφαρμογές τηλεδιάσκεψης, συνδεδεμένα αυτόνομα σενάρια, έξυπνα δίκτυα, έξυπνες πόλεις, κατασκευές ακριβείας, όχημα προς όλα (Vehicle to X – V2X), τηλε-υγεία κ.λπ.



Η κβαντική μηχανική μάθηση (Quantum Machine Learning – Quantum ML) θα παίξει επίσης κρίσιμο ρόλο στην εφαρμογή της επικοινωνίας 6G. Η Quantum ML χρησιμοποιεί γνωστική μαθησιακή νοημοσύνη και τεχνητή νοημοσύνη στο άκρο (Edge AI). Αναμένεται ότι η κβαντική μηχανική μάθηση θα παρέχει υψηλή ακρίβεια σε πραγματικό χρόνο, [26].

Βαθιά μάθηση με το 6G

Κάθε τομέας του συστήματος βαθιάς μάθησης θα επηρεαστεί από το ευφυές σύστημα επικοινωνίας 6G. Η βαθιά μάθηση (Deep Learning – DL) είναι ένα υποσύνολο της μηχανικής μάθησης στα πλαίσια της τεχνητής νοημοσύνης που ασχολείται κυρίως με μη εποπτευόμενα δεδομένα. Η βαθιά μάθηση είναι ένας συνδυασμός μάθησης τόσο υπό επίβλεψη όσο και/ή χωρίς επίβλεψη. Τα χαρακτηριστικά (features) αυτόματης μάθησης επιτρέπουν σε ένα σύστημα να μαθαίνει πολύπλοκες λειτουργίες που μεταφράζουν την είσοδο σε έξοδο απευθείας από δεδομένα σε διάφορα επίπεδα αφαίρεσης, χωρίς να βασίζεται αποκλειστικά σε χαρακτηριστικά κατασκευασμένα από τον άνθρωπο. Η βαθιά μάθηση έχει διερευνηθεί σε περιπτώσεις ανωμαλιών δικτύου και διάγνωσης σφαλμάτων, ανίχνευσης και πρόληψης εισβολών, διαμόρφωσης δικτύου και βελτιστοποίησης. Η τεχνολογία επικοινωνίας 6G θα βοηθήσει το σύστημα να συλλέξει και να επεξεργαστεί τα δεδομένα σε σενάριο σε πραγματικό χρόνο, [22].

Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο

Ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (Artificial Neural Network – ANN) είναι μια βιολογικά εμπνευσμένη δομή επεξεργασίας δεδομένων που έχει σχεδιαστεί για να μαθαίνει διαφορετικές λειτουργίες από τα παρατηρούμενα δεδομένα. Το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο είναι ένας από τους πιο αποτελεσματικούς αλγόριθμους βαθιάς μάθησης. Το ANN ακολουθεί την αρχιτεκτονική που μοιάζει με νευρώνα και επιτρέπει σε διάφορες τεχνικές να χρησιμοποιούν τον τεράστιο όγκο δεδομένων. Η υψηλή υπολογιστική ισχύς του δικτύου και του διασυνδεδεμένου δικτύου μπορεί να περιορίσει εκ νέου τη λειτουργία νευρωνικού επιπέδου. Ο συνδυασμός πολλών επιπέδων, σχηματίζει το λεγόμενο νευρωνικό δίκτυο και τα πολλαπλά υποκείμενα επίπεδα αντιμετωπίζονται επίσης ως αντίληψη πολλαπλών επιπέδων. Οι νευρώνες θεωρούνται ασήμαντοι σε ένα

επίπεδο. Αυτοί οι κόμβοι έχουν μια μονάδα για τη λειτουργία ενεργοποίησης. Ο νευρώνας του ANN θα χρησιμοποιούσε τη γνωστική νοημοσύνη για να υπολογίσει την πολυπλοκότητά του. Ο σχεδιασμός αυτών των διασυνδέσεων σε ένα ANN είναι σημαντικός καθώς και η γενίκευση των λειτουργιών ενός ANN, που συνεπάγεται την εκπαίδευσή του σε μεγάλο όγκο δεδομένων για την επιτυχή αντιμετώπιση οποιοδήποτε νέου αόρατου δείγματος δεδομένων εισόδου, [27].

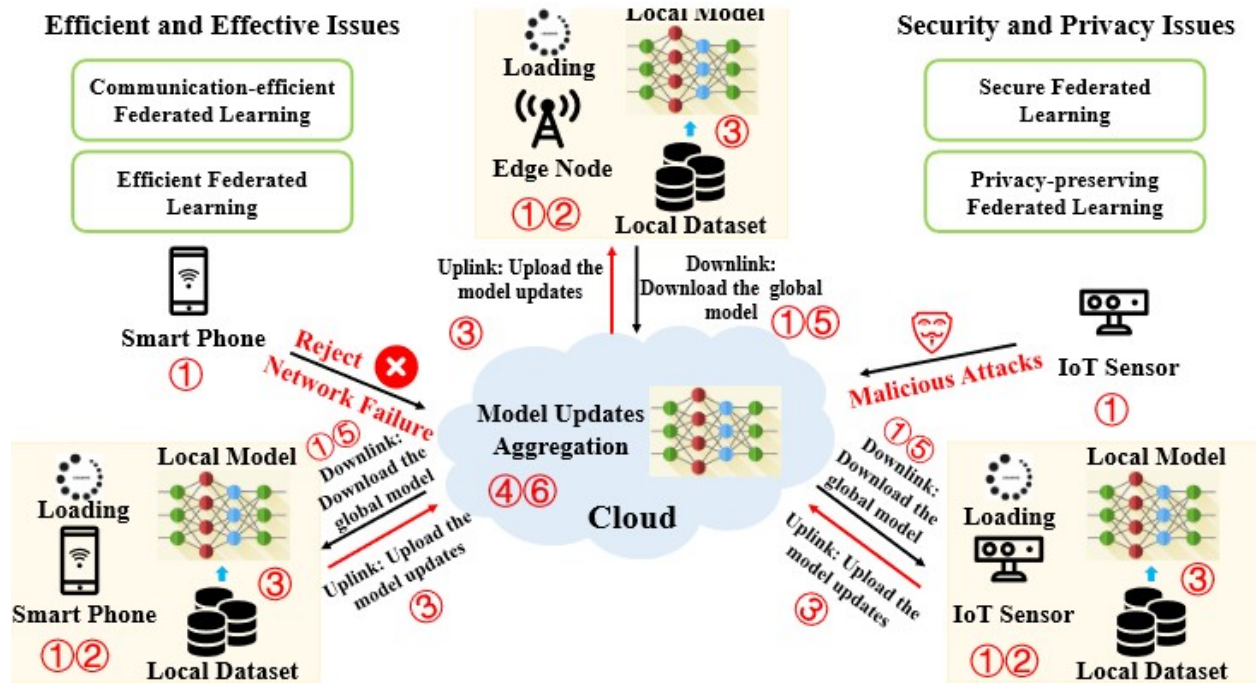
Βαθύ νευρωνικό δίκτυο

Το βαθύ νευρωνικό δίκτυο είναι ένα ειδικό τεχνητό σύστημα νευρώνων που έχει δυνατότητες ταξινόμησης και γενίκευσης. Η βαθιά μάθηση μπορεί να θεωρηθεί ως η γενίκευση ενός ανθρώπου με την έννοια ότι υπάρχουν πολλά επίπεδα ανθρώπινων νευρώνων, [25]. Και όπως ο ανθρώπινος εγκέφαλος είναι σε θέση να αναγνωρίσει μια συγκεκριμένη εικόνα και να τη διακρίνει από μια άλλη εικόνα, ένα βαθύ νευρωνικό δίκτυο μπορεί να μάθει ένα μοντέλο που μπορεί να αναγνωρίσει παρόμοιες εικόνες και να τις ταξινομήσει. Όπως ο ανθρώπινος εγκέφαλος, ένα βαθύ νευρωνικό δίκτυο χρησιμοποιεί μια τεχνητή είσοδο μέσω αισθητήρων, ένα διάνυσμα. Αυτή η είσοδος παρέχεται ως πίνακας που ονομάζεται επίπεδο εισόδου ή επίσης κρυφό επίπεδο (για αυτό και η βαθιά μάθηση ονομάζεται επίσης και βαθύ νευρωνικό δίκτυο). Με αυτό τον τρόπο η βαθιά μάθηση μπορεί να μάθει πολύ περίπλοκα πράγματα, όπως εικόνες, χαρακτήρες ή ομιλία, ενώ ένας γραμμικός ταξινομητής μπορεί να μάθει μόνο γραμμικές ταξινομήσεις. Η βαθιά δικτύωση θα υποστηρίξει το προηγμένο σύστημα επικοινωνίας 6G. Με τη βοήθεια της προηγμένης δικτύωσης, μπορούμε επίσης να ξαναχτίσουμε νευρωνικά δίκτυα για να επιταχύνουμε τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, [4].

Ομοσπονδιακή μάθηση στο 6G

Η Ομοσπονδιακή Μάθηση (Federated Learning – FL) είναι μια συνεργατική προσέγγιση μηχανικής μάθησης που επιτρέπει στα μοντέλα να διανέμονται μεταξύ των οντοτήτων που εμπλέκονται σε μια μαθησιακή εργασία χωρίς απαραίτητα να γνωρίζουν το ένα για το άλλο. Παρέχει μοντέλα μηχανικής μάθησης που εκπαιδεύονται από κοινού παράλληλα χωρίς να μοιράζονται ή να επικοινωνούν απευθείας για τις παραμέτρους του μοντέλου. Αντίθετα, κάθε οντότητα εκπαιδεύει ένα τοπικό μοντέλο που βασίζεται σε

τοπικά δεδομένα και στέλνει τις παραμέτρους του μοντέλου πίσω στον ομοσπονδιακό διακομιστή για τις τελικές ενημερώσεις του μοντέλου, ο οποίος στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση του ομοσπονδιακού συνόλου.



Εικόνα 8: Σύνοψη της ομοσπονδιακής μάθησης στο 6G, [35].

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 8, η αρχιτεκτονική που βασίζεται στην FL χωρίζεται σε τρεις φάσεις: στην αρχικοποίηση, στην εκπαίδευση και στη φάση συγκέντρωσης. Στη φάση της αρχικοποίησης, μια συσκευή θα αξιολογήσει τα αιτήματα υπηρεσιών της, τις ανάγκες και τις συνθήκες σύνδεσής της και θα αποφασίσει εάν θα εγγραφεί στο πλησιέστερο σύννεφο για να συμμετάσχει στην εκπαίδευση του κοινόχρηστου παγκόσμιου μοντέλου μέσω ενσύρματης ή ασύρματης σύνδεσης (π.χ. το 6G). Στη συνέχεια, το σύννεφο που ενεργεί ως κοινοποιητής των εργασιών θα επιλέξει τυχαία ένα υποσύνολο συσκευών από τις καταχωρημένες συσκευές για να συμμετάσχει σε αυτόν τον κύκλο εκπαίδευσης και θα απορρίψει τις υπόλοιπες καταχωρημένες συσκευές. Το σύννεφο θα στείλει επίσης αρχικοποιημένο ή προεκπαιδευμένο καθολικό μοντέλο ω_t σε κάθε επιλεγμένη συσκευή (βήματα ①, ②). Στη φάση εκπαίδευσης, κάθε επιλεγμένη συσκευή εκπαιδεύει το παγκόσμιο μοντέλο $\omega_t^k \leftarrow \omega_t$ χρησιμοποιώντας τοπικό σύνολο

δεδομένων για τη λήψη του ενημερωμένου καθολικού μοντέλου ω_t^{k+1} σε κάθε επανάληψη. Πιο συγκεκριμένα, για την k -στη συσκευή ($k \in \{1, 2, \dots, K\}$), η συνάρτηση απώλειας πρέπει να βελτιστοποιηθεί ως εξής:

$$\arg \min_{\omega \in R} F_k(\omega), F_k(\omega) = \frac{1}{D_k} \sum_{i \in D_k} f_i(\omega),$$

όπου D_k υποδηλώνει το μέγεθος του τοπικού συνόλου δεδομένων που περιέχει ζεύγη διανυσμάτων εισόδου-εξόδου (x_i, y_i) , $x_i, y_i \in R$, ω είναι τοπική παράμετρος μοντέλου και $f_i(\omega)$ είναι μια τοπική συνάρτηση απώλειας (π.χ. $f_i(\omega) = \frac{1}{2}(x_i^T \omega - y_i)$). Κάθε επιλεγμένη συσκευή ανεβάζει τις ενημερώσεις του μοντέλου στο σύννεφο (βήματα ③, ④, ⑤). Στη φάση συγκέντρωσης, το σύννεφο λαμβάνει ενημερώσεις μοντέλων όλων των επιλεγμένων συσκευών για συνάθροιση για να αποκτήσει ένα νέο καθολικό μοντέλο ω_{t+1}

για την επόμενη επανάληψη, δηλ. $\omega_{t+1} \leftarrow \omega t - \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K F_k(\omega)$, όπου το K υποδηλώνει τον αριθμό των κόμβων στα άκρα. Στον επόμενο γύρο, η συσκευή που επιλέγεται από το σύννεφο κατεβάζει το τρέχον πιο πρόσφατο καθολικό μοντέλο ω_{t+1} από το σύννεφο. Η συσκευή θα χρησιμοποιήσει το λαμβανόμενο νέο καθολικό μοντέλο για να ενημερώσει το αντίστοιχο μοντέλο. Στον επόμενο γύρο εκπαίδευσης, το σύννεφο θα επιλέξει τυχαία ένα νέο υποσύνολο συσκευών και θα επαναλάβει την παραπάνω διαδικασία έως ότου το εκπαιδευμένο μοντέλο συγκλίνει ή πληροί τα κριτήρια διακοπής (βήμα ⑥). Η FL ενισχύει το πανταχού παρόν δG (ubiquitous δG), το οποίο επιτρέπει στο μοντέλο που έχει μάθει να εξυπηρετεί μια ευρύτερη γεωγραφική περιοχή, [35].

Η προσέγγιση FL είναι εννοιολογικά παρόμοια με την ομοσπονδιακή μάθηση, καθώς όλα τα δεδομένα και οι παράμετροι του μοντέλου διαιρούνται και κατανέμονται μεταξύ των οντοτήτων. Ωστόσο, η κύρια διαφορά είναι ότι η εκπαίδευση εκτελείται μόνο τοπικά αντί για τοπικά και κεντρικά. Υπήρξαν πολλές προσπάθειες στα πλαίσια της ομοσπονδιακής μάθησης στο παρελθόν, ωστόσο, αυτά είτε δεν εγκρίθηκαν είτε δεν μπόρεσαν να επεκταθούν λόγω ανησυχιών σχετικά με το απόρρητο δεδομένων και τον

τεράστιο υπολογιστικό φόρτο της εκπαίδευσης. Το 6G θα επικεντρωθεί στην αυτομάθηση και θα παίρνει έξυπνες αποφάσεις για να κάνει τη ζωή πιο εύκολη.

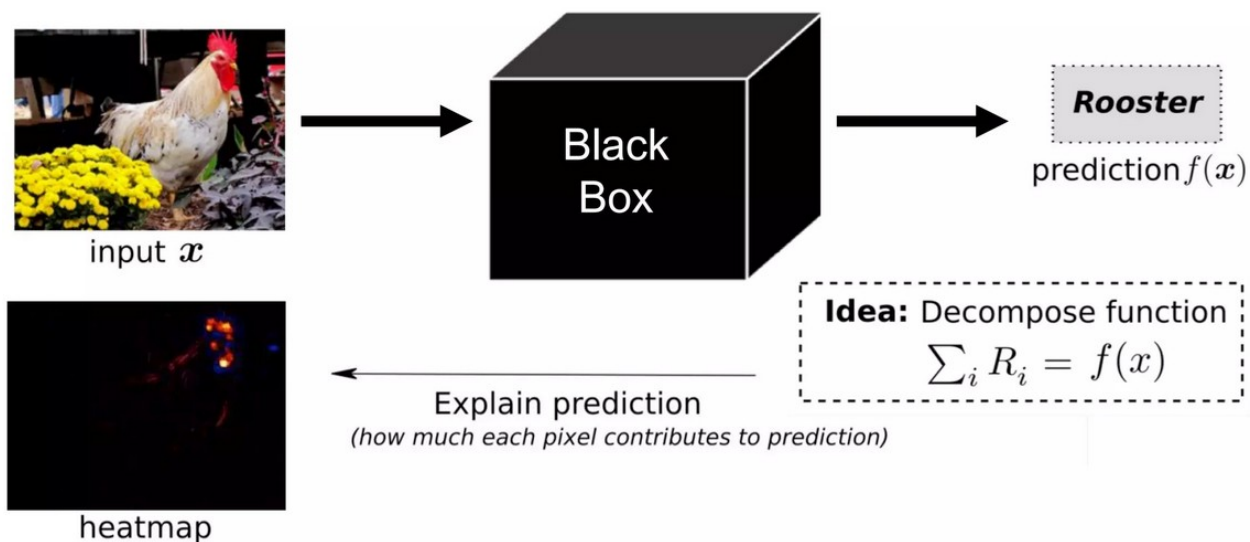
Η τεχνική της ομοσπονδιακής μάθησης έχει το πλεονέκτημα ότι διευκολύνει τη διαδικασία μάθησης μειώνοντας τον απαιτούμενο χρόνο και ανεξάρτητα μειώνοντας το θόρυβο των δεδομένων εκπαίδευσης. Η ομοσπονδιακή μάθηση και η συμπερασματική μάθηση (inferring learning) θα αναπτυχθούν για να κάνουν το δίκτυο πιο έξυπνο. Η ομοσπονδιακή μάθηση είναι μια τεχνική μηχανικής μάθησης στην οποία ένας αλγόριθμος εκπαιδεύεται μέσω πολλών αποκεντρωμένων συσκευών ή διακομιστών που διαθέτουν τοπικά δείγματα δεδομένων χωρίς αυτά να ανταλλάσσονται. Ένα αποκεντρωμένο σύστημα επιτρέπει στους αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης να αποκτούν γνώση από διάφορα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα σε πολλαπλούς ιστότοπους.

Μια θεμελιώδης μετάβαση προς τα ευφυή ραδιοπεριβάλλοντα υποτίθεται ότι αντιμετωπίζεται από τα σημερινά δίκτυα ασύρματης επικοινωνίας. Το σημαντικό στοιχείο σχετικά με τις λειτουργίες βαθιάς μάθησης σε τέτοια δίκτυα επικοινωνίας δεν είναι αν θα είναι αναπόσπαστο μέρος των μελλοντικών δικτύων, αλλά πότε και πώς μπορεί να συμπεριληφθεί. Η βαθιά μάθηση θα χρησιμοποιηθεί για να συμπληρώσει τις μεθόδους επεξεργασίας για την εκτίμηση και την αποκωδικοποίηση λεπτομερών πληροφοριών σε διαδοχικά μπλοκ ως μια λύση από άκρο σε άκρο. Η γνώση π.χ. του πώς ανιχνεύονται συμπτώματα ασθενειών σε κρίσιμες περιπτώσεις, ποια απόφαση θα πρέπει να ληφθεί στη συνέχεια και ποια παρέμβαση πρέπει να γίνει, εξαρτάται από την εμπειρία. Η ομοσπονδιακή μάθηση επιτρέπει στους αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης να αποκτήσουν εμπειρία από ένα ευρύ φάσμα δεδομένων από πολλαπλές τοποθεσίες. Η στρατηγική αυτή επιτρέπει σε πολλούς οργανισμούς να συνεργάζονται για την ανάπτυξη μοντέλων, αλλά χωρίς να χρειάζεται να συσχετίζουν κρίσιμα κλινικά δεδομένα απευθείας μεταξύ τους. Η ομοσπονδιακή μάθηση αποκεντρώνει τη βαθιά μάθηση εξαλείφοντας την ανάγκη συγκέντρωσης δεδομένων σε μια ενιαία τοποθεσία. Αντίθετα, το μοντέλο εκπαιδεύεται σε διάφορες τοποθεσίες με πολλαπλές επαναλήψεις. Για να εξασφαλιστεί ότι τα δεδομένα των ασθενών διατηρούνται ασφαλή, η ομοσπονδιακή μάθηση απαιτεί

μελέτη πριν την εφαρμογή της. Επίσης, μπορεί να λύσει ορισμένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι μέθοδοι που επιτρέπουν τον συνδυασμό ευαίσθητων επιδημιολογικών αρχείων. Οι διάφορες πλατφόρμες που αποτελούν μέρος του δικτύου εκμάθησης έχουν η καθεμία ένα αντίγραφο του μοντέλου, τοπικά σε ένα ομοσπονδιακό σύστημα εκμάθησης. Οι μεμονωμένες συσκευές χρησιμοποιούν τα τοπικά δεδομένα του πελάτη για να εκπαιδεύσουν το αντίγραφο του μοντέλου. Στη συνέχεια, οι παράμετροι/βάρη από τα μεμονωμένα μοντέλα αποστέλλονται σε έναν κεντρικό υπολογιστή ή διακομιστή, ο οποίος συγκεντρώνει τις παραμέτρους και ενημερώνει το καθολικό μοντέλο. Στη συνέχεια, είναι δυνατό να επαναληφθεί αυτή η φάση εκπαίδευσης μέχρι να επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός συνέπειας, [25], [28].

Μαύρο κουτί

Ο αλγόριθμος του μαύρου κουτιού, επίσης γνωστός ως μαύρο κουτί βαθιάς μάθησης, είναι ένας είδος μεθόδου προηγμένης μηχανικής μάθησης κατά την οποία η πρόσβαση στα δεδομένα εκπαίδευσης ή το «μαύρο κουτί», εμποδίζεται από τους ερευνητές. Ο κρυφός περιορισμός του μαύρου κουτιού εξαρτάται πλήρως από την υψηλή εξειδίκευση του δικτύου, όπου η τεχνολογία 6G μπορεί να επηρεάσει. Το αποτέλεσμα της εκπαιδευτικής διαδικασίας παρατηρείται αντί να επιχειρείται να κατανοηθούν οι εσωτερικές διαδικασίες του αλγορίθμου μάθησης. Σε ένα πρακτικό παράδειγμα, ένα εκπαιδευμένο μαύρο κουτί συνήθως αναπτύσσεται σε υπολογιστές και/ή smartphone για τη λήψη αποφάσεων ή προβλέψεων χωρίς την ικανότητα κατανόησης του τρόπου λειτουργίας του. Αυτές οι προβλέψεις χρησιμοποιούνται συνήθως σε ένα πραγματικό πλαίσιο, γεγονός που καθιστά τη διαδικασία εγγενώς απρόβλεπτη καθώς δεν έχει γνώση του περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργεί. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μαύρου κουτιού είναι ωφέλιμοι για διάφορους σκοπούς, όπως στην πρόβλεψη της μελλοντικής οικονομικής συμπεριφοράς ενός επενδυτή, στον εντοπισμό κακόβουλης δραστηριότητας στο Διαδίκτυο ή στη δημιουργία συστημάτων για εξόρυξη δεδομένων.



Εικόνα 9: Παράδειγμα εφαρμογής αλγορίθμου μαύρου κουτιού στην αναγνώριση εικόνας.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 9, ο αλγόριθμος μαύρου κουτιού εφαρμόζεται συνήθως σε ένα ταξινομητή με άγνωστο εσωτερικό μηχανισμό. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις περιπτώσεις αναγνώρισης εικόνας π.χ. και ένας θερμικός χάρτης (heatmap), ο οποίος ουσιαστικά βρίσκει πόσο συμβάλλει κάθε πίξελ στην αιτιολόγηση της πρόβλεψης. Ένας ταξινομητής μαύρου κουτιού εκπαιδεύεται σε ένα σύνολο δεδομένων και παρουσιάζεται με νέα δεδομένα εκπαίδευσης. Τα δεδομένα εκπαίδευσης που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του μοντέλου ονομάζονται σύνολο εκπαίδευσης. Η διαδικασία θα ήταν πιο απλή, με τη βοήθεια του προηγμένου δικτύου επικοινωνίας 6G με δυνατότητα τεχνητής νοημοσύνης, [23].

Επιστήμη δεδομένων και 6G

Η ίδια η επιστήμη των δεδομένων είναι ουσιαστικό μέρος της τεχνητής νοημοσύνης. Μπορεί να εξετάσει πολύτιμες εσωτερικές πληροφορίες από το σύνολο δεδομένων και να προβλέψει μελλοντικά ζητήματα. Η τεχνολογία τεχνητής νοημοσύνης ανοίγει τη δυνατότητα βελτιστοποίησης από άκρο σε άκρο ενός τρόπου ζωής συνδεδεμένου με την επιστήμη δεδομένων μέσω των ισχυρών δικτυακών εγκαταστάσεων του 6G.

Περιγραφική ανάλυση δεδομένων

Η περιγραφική ανάλυση δεδομένων ανακαλύπτει την συνθήκη «Τι» από τα δεδομένα. Ασχολείται με τον καθαρισμό, τη συσχέτιση, τη σύνοψη και την οπτικοποίηση των δεδομένων. Αυτοί οι περιορισμοί μπορούν εύκολα να επιλυθούν με ελάχιστη χρονική πολυπλοκότητα, κυρίως μέσω της ισχυρής συνδεσιμότητας. Η έννοια της χρήσης αναλυτικών τεχνικών για την επεξήγηση ή τη σύνοψη μιας συλλογής δεδομένων είναι περιγραφική ανάλυση. Η περιγραφική ανάλυση αναγνωρίζεται ως ένας από τους κύριους τύπους ανάλυσης δεδομένων για την παραγωγή προσβάσιμων πληροφοριών από διαφορετικά μη ερμηνεύσιμα δεδομένα. Η περιγραφική ανάλυση δεν προσπαθεί να κάνει εκτιμήσεις, σε αντίθεση με άλλες μορφές ανάλυσης δεδομένων. Αντί να χειρίζεται τρόπους για αύξηση της συσχέτισης, αντλεί πληροφορίες αποκλειστικά από προηγούμενα αποτελέσματα, [29].

Ανάλυση διαγνωστικών δεδομένων

Η ανάλυση διαγνωστικών δεδομένων αναδεικνύει πολύτιμες πληροφορίες, μέσω της αποσύνθεσης δεδομένων, της ανακάλυψης δεδομένων, της εξόρυξης δεδομένων, της συλλογής και της αιτιότητας. Η σύνδεση σε ένα σύστημα έξυπνου δικτύου μπορεί να αλλάξει δραστικά την ανάπτυξη της αγοράς. Οι αναλύσεις διαγνωστικών δεδομένων πραγματοποιούνται συνήθως μέσω της εξερεύνησης δεδομένων, της εξόρυξης δεδομένων, της εξειδίκευσης και της εύρεσης συσχετίσεων. Οι αναλυτές ταξινομούν τις πηγές δεδομένων στη διαδικασία ανακάλυψης, γεγονός που τους βοηθάει στη συνέχεια στην ερμηνεία των δεδομένων. Η εξειδίκευση σημαίνει η εστίαση σε μια συγκεκριμένη πτυχή των λεπτομερειών ή σε ένα συγκεκριμένο widget.

Ανάλυση αναμενόμενων δεδομένων

Η ανάλυση αναμενόμενων δεδομένων καθορίζει ουσιαστικά τη διαδικασία πρόβλεψης της μελλοντικής αξίας των δεδομένων. Η τεχνολογία 6G με δυνατότητα τεχνητής νοημοσύνης θα γεφυρώσει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο με τα δεδομένα από το παρελθόν και θα προβλέψει τις πιο κρίσιμες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο. Με τη βοήθεια της τεχνητής νοημοσύνης, μπορεί να δημιουργηθεί ένα συμπληρωματικό μοντέλο και ακριβή εργαλεία επιχειρηματικής νοημοσύνης σε ένα περιβάλλον βαθιάς

δικτύωσης. Ένας από τους τρόπους, με τους οποίους ανακαλύπτεται η γνώση από τις πληροφορίες και γίνεται λειτουργική για τους χρήστες, είναι οι αναλύσεις διαγνωστικών δεδομένων.

Ανάλυση προγνωστικών δεδομένων

Έχει παρατηρηθεί ότι τεχνητή νοημοσύνη είχε φέρει τον κόσμο στα χέρια μας με τη μορφή μιας μικροσκοπικής συσκευής, δηλαδή ενός κινητού τηλεφώνου. Η σωστή χρήση της τεχνητής νοημοσύνης σε ένα καλά εδραιωμένο περιβάλλον μπορεί να προβλέψει δεδομένα που θα ήταν πιο ακριβή. Η βελτιστοποίηση του μοντέλου θα ήταν πολύ πιο εύκολη μέσω της τεχνολογίας 6G. Η χρήση στατιστικών και μοντελοποίησης για την αξιολόγηση μελλοντικών εξόδων με βάση τις τρέχουσες και προηγούμενες πληροφορίες είναι ουσιαστικά η ανάλυση προγνωστικών δεδομένων. Με σημαντικό βαθμό ακρίβειας, η προγνωστική αναλυτική τεχνολογία θα παράγει επιπλέον γνώση. Οποιαδήποτε εταιρεία μπορεί πλέον να χρησιμοποιεί παλαιότερα και τρέχοντα δεδομένα για να προβλέψει με ακρίβεια μοτίβα και συμπεριφορές στα επόμενα χιλιοστά του δευτερολέπτου, ημέρες ή χρόνια στο μέλλον με τη βοήθεια προηγμένου λογισμικού και μοντέλων αναλυτικής πρόβλεψης. Η ανάλυση προγνωστικών δεδομένων είναι μια μορφή ανάλυσης δεδομένων που επικεντρώνεται σε προηγούμενα δεδομένα και αναλυτικές τεχνικές όπως η μηχανική μάθηση για να κάνει προβλέψεις για μελλοντικά αποτελέσματα. Η αρχιτεκτονική του δικτύου που βασίζεται στα δεδομένα της τεχνολογίας 6G θα επικεντρωθεί ιδιαίτερα στη συνδεσιμότητα και στη διαθεσιμότητα των δεδομένων. Επίσης, είναι κατανοητός ο τρόπος που το 6G και η τεχνητή νοημοσύνη θα ενθαρρύνουν κάθε οικονομικό μοντέλο μάρκετινγκ με την έξυπνη ισχύ του, [30].

Κεφάλαιο 3: Βιομηχανία 4.0 και ο ρόλος του 6G

Τα Ηνωμένα Έθνη έχουν θέσει ως στόχο την επίτευξη της βιωσιμότητας έως το 2030 από κοινωνική, οικονομική και περιβαλλοντική άποψη. Η ψηφιοποίηση έχει αποδειχθεί μια σημαντική προσέγγιση για την επίτευξη του στόχου της βιωσιμότητας. Μαζί με την ψηφιοποίηση και τη Βιομηχανία 4.0, αναφέρθηκε επίσης ότι το 6G θα είναι καθοριστικής σημασίας για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα, την αποτελεσματική διαχείριση των φυσικών πόρων κ.λπ. Σε αυτό το κεφάλαιο, δίνεται έμφαση σε θεμελιώδεις τεχνολογίες των ασύρματων επικοινωνιών 6G στο φυσικό επίπεδο και επίσης συζητούνται λεπτομερώς οι τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 που υποστηρίζουν τις επικοινωνίες 6G. Παρουσιάζονται συστάσεις και προκλήσεις για μελλοντικές κατευθύνσεις στο 6G για επικοινωνίες σε χαμηλή τροχιά και τους κόμβους του δικτύου 6G αλλά και για το aerial computing. Επιπλέον, επεξηγείται αναλυτικά η πτυχή της βιωσιμότητας και το όραμα του δικτύου 6G με θεμελιώδεις τεχνολογίες και τη Βιομηχανία 4.0. Αφορμή για αυτή την έρευνα, αποτελεί και η συσχέτιση με το επόμενο κεφάλαιο που αποτελεί η εξέλιξη της Βιομηχανίας 4.0, η Βιομηχανία 5.0 και η διασύνδεσή της με το 6G και τις νέες τεχνολογίες.

Επισκόπηση του 6G και της υποβοηθούμενης τεχνολογίας στη Βιομηχανία 4.0

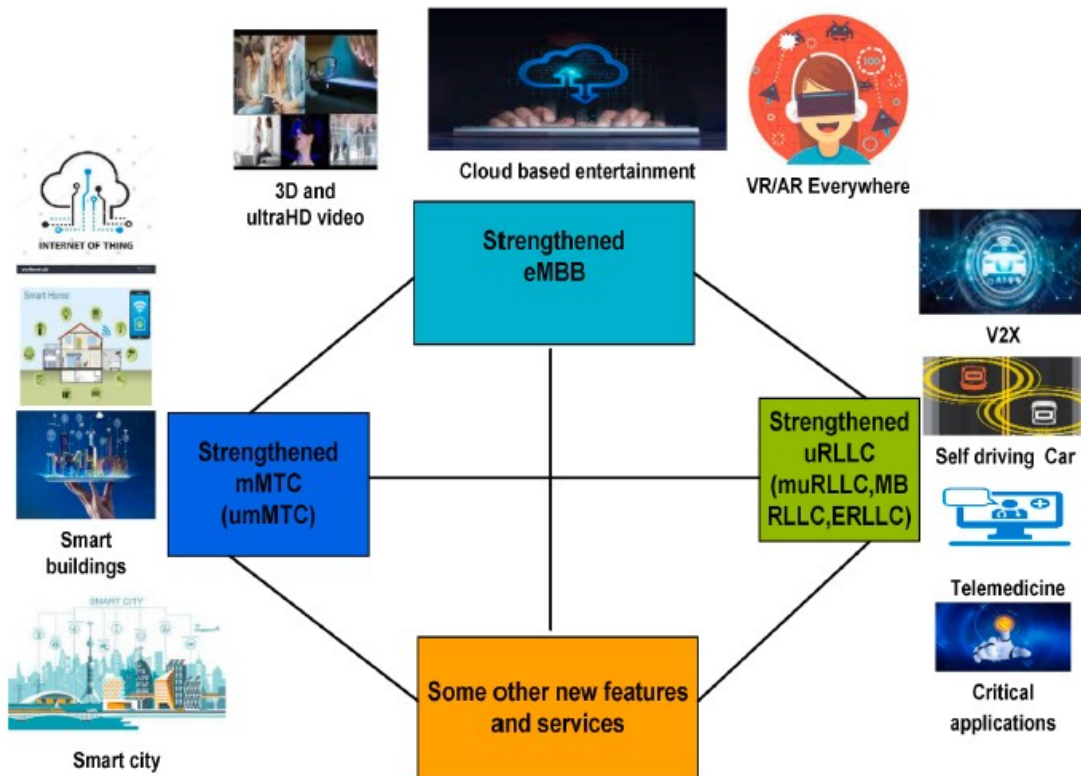
Ο όρος «Industry 4.0» επινοήθηκε εν όψει μιας σχεδιασμένης «τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης», με τον όρο να εμπλέκει το versioning λογισμικού. Οι πρόσφατες κατασκευαστικές εξελίξεις άνοιξαν το δρόμο για τη συστηματική ανάπτυξη των κυβερνοφυσικών συστημάτων (Cyber-Physical Systems – CPS) [20]. Η βιομηχανία κατασκευών ενσωματώνει νέες τεχνολογίες όπως IoT, τεχνητή νοημοσύνη, μεγάλα δεδομένα (Big Data), ψηφιακά δίδυμα (Digital twins), αλυσίδες εφοδιασμού (blockchain) κ.λπ., στην ανάπτυξη προϊόντων της. Αυτή η τεχνολογική πρόοδος στη βιομηχανία κατασκευών ονομάζεται βιομηχανική επανάσταση. Η επανάσταση ξεκίνησε από την πρώτη βιομηχανική επανάσταση του 18ου αιώνα και επί του παρόντος, στον 21ο αιώνα, η Βιομηχανία 4.0 είναι η πιο πρόσφατη σημαντική εξέλιξη. Η Βιομηχανία 4.0 είναι μια

«ψηφιοποίηση της παραγωγής ή της βιομηχανίας κατασκευών με τη βοήθεια του IoT και του CPS.

Στο Βιομηχανία 4.0, τα συνδεδεμένα συστήματα υπολογιστών, οι έξυπνες μηχανές και τα έξυπνα υλικά αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με το περιβάλλον και τελικά αποφασίζουν με αμελητέα ανθρώπινη παρέμβαση. Ο αυτοματισμός έχει το δικό του καθορισμένο σύνολο απαιτήσεων επικοινωνίας όσον αφορά την αξιοπιστία και την ασύγχρονη επικοινωνία, τις οποίες το 6G είναι έτοιμο να συζητήσει μέσω ενός ριζοσπαστικού συνόλου τεχνολογιών. Έτσι, η Βιομηχανία 4.0 θα δημιουργήσει εντελώς αυτόνομα, έξυπνα και ευφυή συστήματα. Το 6G θα ολοκληρώσει την επανάσταση του κλάδου 4.0 που ξεκίνησε με το 5G. Το 6G θα παρέχει λειτουργία σε πραγματικό χρόνο με jitter καθυστέρησης τάξης microsecond και μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων έως και gigabit/sec για βιομηχανικές εφαρμογές. Επί του παρόντος, οι περισσότερες χώρες εξακολουθούν να αναπτύσσουν ασύρματες επικοινωνίες 5G, αλλά η Κίνα έχει ήδη αναπτύξει δίκτυα 6G και θα εκτοξεύσει επίσης τον πρώτο δορυφόρο 6G στο διάστημα.

Η τεχνολογία 5G έχει τρία διακριτικά χαρακτηριστικά (Εικόνα 10), τα οποία είναι η εξαιρετικά αξιόπιστη και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνία (ultra-Reliable and Low Latency Communication – uRLLC), η μαζική επικοινωνία τύπου μηχανής (massive Machine Type Communication – mMTC) και η βελτιωμένη κινητή ευρυζωνική σύνδεση (enhanced Mobile BroadBand – eMBB). Με τη βοήθεια των υπηρεσιών 5G, το 6G θα υποστηρίξει τρεις νέες υπηρεσίες, οι οποίες είναι η Υπολογιστική Επικοινωνία (Computational Oriented Communication – COC), τις ευέλικτα πλαισιομένες επικοινωνίες eMBB (Contextually Agile eMBB Communications – CaeC) και το καθορισμένο από γεγονός uRLLC (Event Defined uRLLC – EDuRLLC). Λόγω των τεράστιων τμημάτων του αχρησιμοποίητου και μη ανακαλυφθέντος φάσματος, η ζώνη συχνοτήτων THz που κυμαίνεται μεταξύ 100GHz και 3THz είναι η κατάλληλη ζώνη συχνοτήτων για την επερχόμενη γενιά ασύρματης επικοινωνίας. Λόγω των απροσδόκητων καινοτομιών που θα αγκαλιάσουν τα δίκτυα επικοινωνιών 6G, όπως το THz (τεράστιο εύρος ζώνης) και τα εξαιρετικά ευφυή δίκτυα που περιλαμβάνουν σενάρια για λειτουργίες, το περιβάλλον καθώς και υπηρεσίες δικτύου, τα δίκτυα 6G αναμένεται

να προσφέρουν ευρεία κάλυψη, όπως υπηρεσίες που θα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους οποιαδήποτε στιγμή, παντού με υψηλή ταχύτητα δεδομένων.



Εικόνα 10: Τρία βελτιωμένα σενάρια για το σύστημα 6G.

Ο κύριος στόχος του δικτύου 6G είναι να παρέχει μια κοινωνία βασισμένη στα δεδομένα ή μπορούμε να πούμε ότι θα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το Διαδίκτυο των Πάντων. Η επανάσταση του κλάδου 4.0, που ξεκίνησε με το 5G, θα ολοκληρωθεί πλήρως με το 6G, δηλαδή την ψηφιακή επανάσταση της μαζικής παραγωγής μέσω φυσικών συστημάτων στον κυβερνοχώρο. Το 6G, σε συνδυασμό με διάφορα χαρακτηριστικά όπως την τεχνητή νοημοσύνη, τη μηχανική μάθηση και το Διαδίκτυο των Πάντων (Internet of Everything – IoE), επιτάχυνε την επανάσταση του κλάδου από τη βιομηχανία 4.0 στη βιομηχανία 5.0.

Το 6G αναμένεται να προσφέρει σημαντική υποστήριξη στη βιομηχανία 4.0 με ποικίλες εφαρμογές που θα ενισχύσουν την αυτοματοποίηση, τη συνδεσιμότητα και την ευφυΐα στην παραγωγή. Ας εξετάσουμε ορισμένα παραδείγματα:

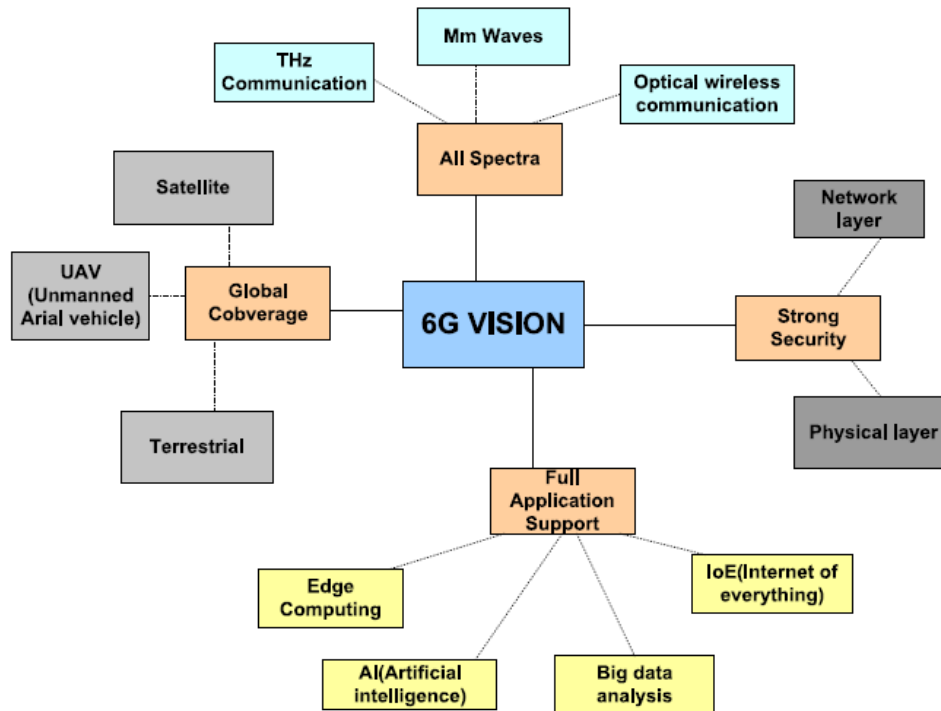
- Ευέλικτη Παραγωγή με Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR) και Εικονική Πραγματικότητα (VR):
 - Εφαρμογές AR και VR μπορούν να ενισχύσουν την εκπαίδευση του προσωπικού και να βοηθήσουν στην απομακρυσμένη επίλυση προβλημάτων παραγωγής.
 - Στη γραμμή παραγωγής, οι εργαζόμενοι μπορούν να χρησιμοποιούν AR γυαλιά για την παρακολούθηση των διαδικασιών, την εντοπισμό βλαβών και την εκτέλεση συντηρήσεων με ενισχυμένη πραγματικότητα.
 - Η ενσωμάτωση του 6G θα βελτιώσει την ταχύτητα και την ακρίβεια της μετάδοσης δεδομένων, βοηθώντας στην ομαλή λειτουργία των εφαρμογών AR και VR.
- Συνεργατικοί Ρομποτικοί Συνεργάτες:
 - Ρομπότ με εξελιγμένη τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να συνεργαστούν με εργαζομένους στη γραμμή παραγωγής.
 - Χάρη στην υψηλή ταχύτητα και χαμηλή καθυστέρηση του 6G, οι ρομποτικοί συνεργάτες μπορούν να ανταποκρίνονται άμεσα σε εντολές και να προσαρμόζονται σε αλλαγές στο περιβάλλον παραγωγής.
- Δικτύωση Ευφύων Εγκαταστάσεων:
 - Έξυπνα εργοστάσια με ενσωματωμένη τεχνολογία 6G μπορούν να διαχειρίζονται αυτόνομα τις διαδικασίες παραγωγής.
 - Αισθητήρες και συσκευές μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους με υψηλή ακρίβεια και ταχύτητα, επιτρέποντας την αυτόματη εναλλαγή σε πιο αποδοτικές διαδικασίες.
- Εκτεταμένη Χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης στον Έλεγχο Ποιότητας:

- Συστήματα ελέγχου ποιότητας που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να παρακολουθούν την παραγωγή και να ανιχνεύουν ανωμαλίες με υψηλή ακρίβεια.
- Η γρήγορη μετάδοση δεδομένων του 6G επιτρέπει την άμεση ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των συστημάτων ελέγχου και των μηχανημάτων παραγωγής.

Αυτά τα παραδείγματα αποτελούν μόνο μερικές πτυχές του πώς το 6G θα ενισχύσει τη βιομηχανία 4.0, δίνοντας ώθηση στην αυτοματοποίηση, τη συνδεσιμότητα και την ευφυΐα στον τομέα της παραγωγής.

Όραμα του 6G - αρχιτεκτονική του 6G

Ενώ το 5G εξακολουθεί να αναπτύσσεται σε πολλές χώρες, πολλές περισσότερες χώρες πρόκειται να χρησιμοποιήσουν το 6G τα επόμενα χρόνια. Διάφοροι ερευνητές αναρωτιούνται για την έννοια του 6G, την ανάπτυξή του, επίσης για τη λειτουργικότητα του δικτύου και πολλές άλλες υπηρεσίες. Το όραμα του 6G είναι ήδη σαφές ότι θα παρέχει απεριόριστη ασύρματη συνδεσιμότητα με πλήρως υποστηριζόμενη τεχνητή νοημοσύνη. Τα χαρακτηριστικά του 6G θα είναι μια ενοποίηση προηγούμενων γενεών κινητής τηλεφωνίας, όπως τα χαρακτηριστικά 5G και αναδυόμενες τάσεις, όπως το διαδίκτυο των πάντων, οι έξυπνες συσκευές και η τεχνητή νοημοσύνη. Παγκόσμια κάλυψη, ένα πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα διαχείρισης, ένα αυτοσυντηρούμενο δίκτυο, μια ευέλικτη και επεκτάσιμη δικτυακή υποδομή, ενισχυμένη ασφάλεια δικτύου, σύνδεση παντού, IoE κ.λπ. είναι τα βασικά χαρακτηριστικά της Επικοινωνίας 6G που απεικονίζονται στην Εικόνα 11.



Εικόνα 11: Προβλεπόμενο όραμα των 6G ασύρματων επικοινωνιών.

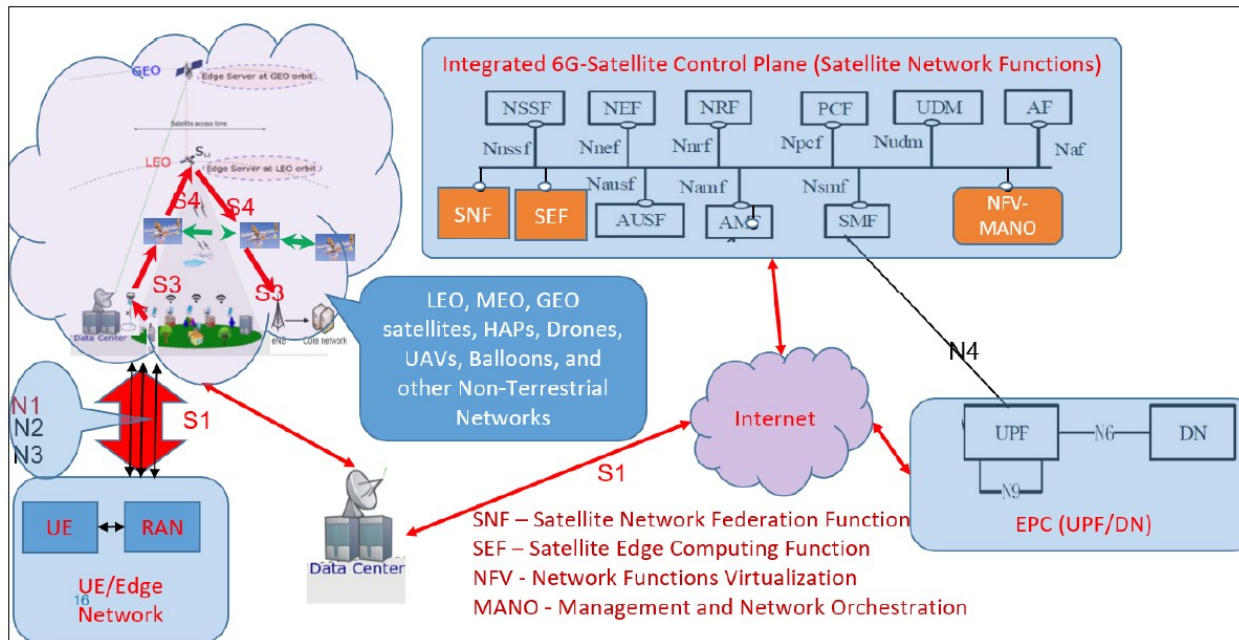
Υποστηρίζεται ότι η δημιουργία του δικτύου 6G, βασισμένου σε τεχνολογία τεχνητής νοημοσύνης, θα αποτελέσει αναπόφευκτη εξέλιξη, με το "έξυπνο" να καθίσταται εγγενές χαρακτηριστικό του. Αυτό ονομάζεται "έξυπνη συνδεσιμότητα". Η ευφυής συνδεσιμότητα είναι μια θεωρία, η οποία οραματίζεται τη χρήση του 6G, του Διαδικτύου των πραγμάτων και της τεχνητής νοημοσύνης για να επιταχύνει την τεχνική πρόοδο και να ενεργοποιήσει νέες πρωτοπόρες ψηφιακές υπηρεσίες. Τα ψηφιακά δεδομένα που δημιουργούνται από τις μηχανές, τα gadget και τους αισθητήρες που συνθέτουν το IoT αναλύονται και ενοποιοούνται από τις τεχνολογίες AI και παρουσιάζονται στους καταναλωτές με πιο σχετικό και χρήσιμο τρόπο στο όραμα της έξυπνης σύνδεσης. Η έξυπνη συνδεσιμότητα μπορεί να περιγραφεί στα πλαίσια βαθιάς, ολογραφικής και πανταχού παρούσας συνδεσιμότητας που λειτουργεί σε AI και ML.

Τα δίκτυα 6G θα αντιμετωπίζουν πληθώρα προκλήσεων, όπως η πολυπλοκότητα και το μέγεθος, με περισσότερους τύπους τερματικών και συσκευών, εξυπηρετώντας πιο σύνθετες επιχειρήσεις. Η "έξυπνη συνδεσιμότητα" θα απαιτεί έξυπνες συσκευές και υπηρεσίες σε όλο το δίκτυο, ενώ το ίδιο θα απαιτεί έξυπνη διαχείριση λόγω του

μεγέθους και της πολυπλοκότητας. Αναμένεται ότι, μέσα στα επόμενα 10 χρόνια (περίπου το 2030), τα συστήματα 6G θα προσανατολίσουν τις απαιτήσεις πρόσβασης προς τη "βαθιά συνδεσιμότητα". Τα χαρακτηριστικά της περιλαμβάνουν την Αφή, την Τηλεπάθεια, την Ανίχνευση, την Εξόρυξη Δεδομένων, την Ευφυή Συνδεσιμότητα, και την Πανταχού Παρούσα Συνδεσιμότητα. Σε αυτήν την εποχή, αναμένεται να δούμε την κυριαρχία της επικοινωνίας μέσω πολυμέσων, με υψηλής ποιότητας αλληλεπίδραση εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας, καθώς και ασύρματη ολογραφική επικοινωνία. Το 6G σχεδιάζει να εκπληρώσει τη φιλοδοξία της "ολογραφικής συνδεσιμότητας", προσφέροντας απρόσκοπτη ενοποίηση ανθρώπου και πραγμάτων.

Πιθανή αρχιτεκτονική του 6G

Η δομή του 6G θα πρέπει να παρουσιάζει ευελιξία και αποτελεσματικότητα, επιτρέποντας την άνετη ολοκλήρωση των πάντων, που σημαίνει ένα δίκτυο δικτύων. Αυτό περιλαμβάνει κόμβους που λειτουργούν σε συχνότητες άνω των 100 GHz, κοινή επικοινωνία και ανίχνευση, είτε επίγεια είτε μη, συμπεριλαμβανομένων νέων ενισχυμένων ενεργοποιητών τεχνητής νοημοσύνης και τοπικών/κατανεμημένων υπολογιστικών δυνατοτήτων. Ειδικότερα, η ένταξη στοιχείων μη επίγεια επικοινωνίας, όπως γεωστατικής ισημερινής τροχιάς (GEO), χαμηλής τροχιάς γης (LEO), μεσαίας τροχιάς γης (MEO), και γενικά εναέρια/διαστημικά στοιχεία πιθανώς διασυνδεδεμένα, προσφέρει εκτεταμένη και συμπληρωματική κάλυψη για συνδεσιμότητα, καθώς και κατανεμημένες υπηρεσίες αποθήκευσης και υπολογιστών.



Εικόνα 12: Προτεινόμενη αρχιτεκτονική για τη χρήση κεραιών 6G στο δίκτυο.

Στην Εικόνα 12 παρουσιάζεται η δομή κεραιών 6G, όπου ο σχεδιασμός του επιπέδου ελέγχου, οι λειτουργίες ελέγχου, ο διαχωρισμός δικτύου, οι λειτουργίες δικτύου, οι διεπαφές δικτύου, οι προσεγγίσεις ενορχήστρωσης δικτύου και οι λειτουργικές πτυχές του δικτύου ακολουθούν το ίδιο μοτίβο τόσο για τα εικονικά δορυφορικά όσο και για τα επίγεια δίκτυα 6G. Το εικονικό δίκτυο (δηλαδή, το ενσωματωμένο δορυφορικό και επίγειο 6G) διατηρεί μια ενιαία μονάδα διαχείρισης και ενορχήστρωσης δικτύου (MANO) για τις αντίστοιχες δραστηριότητες. Οι ευθύνες για τη διαχείριση πόρων, τη δρομολόγηση πακέτων, τη διαχείριση καναλιών, τη διαχείριση τμημάτων και τις αποφάσεις υπολογισμού στα άκρα ανήκουν στην ενσωματωμένη μονάδα MANO του δικτύου.

Πέρα από τις λειτουργίες που περιγράφονται στο 3GPP, ορίζονται δύο επιπλέον λειτουργίες δικτύου σύμφωνα με την Εικόνα 12: η Λειτουργία δορυφορικού υπολογιστικού άκρου (Satellite Edge-computing Function – SEF) και η Λειτουργία ομοσπονδίας δορυφορικού δικτύου (Satellite Network Federation Function – SNF). Για να καταστεί αντιληπτή αυτή η νέα έξυπνη πλατφόρμα υπηρεσιών και συνδεσιμότητας, πρέπει να μπορεί να ενσωματώνει δίκτυα με αξιοπιστία, διαθεσιμότητα και

ανθεκτικότητα πέρα από τις εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες χαμηλών καθυστερήσεων (ultra-Reliable Low Latency Communications – uRLLC) του 5G. Το σύστημα πρέπει επίσης να λαμβάνει υπόψη την ευελιξία στην παροχή υποδομής για εγγυήσεις υπηρεσιών από άκρο σε άκρο, [44], [45].

Προκλήσεις στην υιοθέτηση της νέας τεχνολογίας από τις βιομηχανίες

Για την επιτυχή εφαρμογή ενός δικτύου επικοινωνίας 6G στον τομέα της βιομηχανίας, πρέπει να επιλυθούν ορισμένα τεχνικά ζητήματα σχετικά με το ίδιο το 6G. Παρακάτω αναφέρονται συνοπτικά διάφορα πιθανά ζητήματα:

- Εξαιρετικά υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων: Σε παλαιότερα συστήματα κινητής επικοινωνίας, ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ήταν το κύριο μέλημα. Έχουν γίνει διάφορες προβλέψεις ότι το 6G θα παρέχει ταχύτητες δεδομένων έως και Tera (B/sec) για εφαρμογές όπως έξυπνα συστήματα και ανάλυση μεγάλων δεδομένων. Για την επέκταση της χωρητικότητάς του, η τεχνολογία 6G απαιτεί τη χρήση ζωνών εξαιρετικά υψηλής συχνότητας (Exceptionally High Frequency – EHF). Το σχετικά περιορισμένο εύρος επικοινωνίας των ζωνών EHF δημιουργείται από τις σημαντικές απώλειες διαδρομής στις οποίες υπόκεινται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα σε αυτές τις ζώνες. Για να αξιοποιηθεί αυτή η δυνατότητα, είναι απαραίτητος ένας τεράστιος αριθμός από access point, γεγονός που αποτελεί σημαντικό οικονομικό μειονέκτημα. Οι πελάτες κινητής τηλεφωνίας θα υπομείνουν μεγάλο αριθμό handover για να παραμείνουν συνδεδεμένοι στο δίκτυο 6G εάν η περιοχή κάλυψης κάθε access point είναι περιορισμένη.
- Τρισδιάστατη δικτύωση: Η ιδέα της τρισδιάστατης δικτύωσης για τον έλεγχο πολλών εναέριων πλατφορμών, όπως τα drones, οι αστερισμοί δορυφόρων Very-Low-Earth-Orbit και σταθμοί μεγάλου υψομέτρου που ταξιδεύουν σε απόσταση λίγων μόνο εκατοντάδων χιλιομέτρων στο διάστημα, για την παροχή χαρακτηριστικών και λειτουργικότητας σύννεφου, διατηρώντας παράλληλα τους ρυθμιζόμενους περιορισμούς καθυστερήσεων. Το δίκτυο 6G θα λειτουργεί σε φαινόμενα τρισδιάστατης δικτύωσης, υπονοώντας ότι το δίκτυο προσθέτει μια νέα

λειτουργικότητα. Για τη διαχείριση και τη βελτιστοποίηση των πόρων για την κινητικότητα των χρηστών, είναι απαραίτητες οι τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης.

- Πολύπλοκο και ετερογενές υλικό: Λόγω των διαφόρων τεχνικών που εμπλέκονται στο σύστημα 6G, όπως το massive MIMO, το περίπλοκο πρωτόκολλο δρομολόγησης και οι αλγόριθμοι, ο σχεδιασμός υλικού θα είναι πολύπλοκος στην αρχιτεκτονική 6G. Λόγω της πολύπλοκης δομής, η εφαρμογή τεχνικών όπως το AI και το IoT θα αποτελέσει πρόκληση για το δίκτυο. Επειδή η αρχιτεκτονική 6G βασίζεται σε IoT και AI, οι προσιτές, αξιόπιστες και προηγμένες πηγές ενέργειας είναι απαραίτητες για την επιτυχή εφαρμογή του δικτύου 6G. Έτσι, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο 6G μπορεί να είναι μια εξαιρετική πρωτοβουλία για το δίκτυο για να το κάνει αποτελεσματικό, [13].

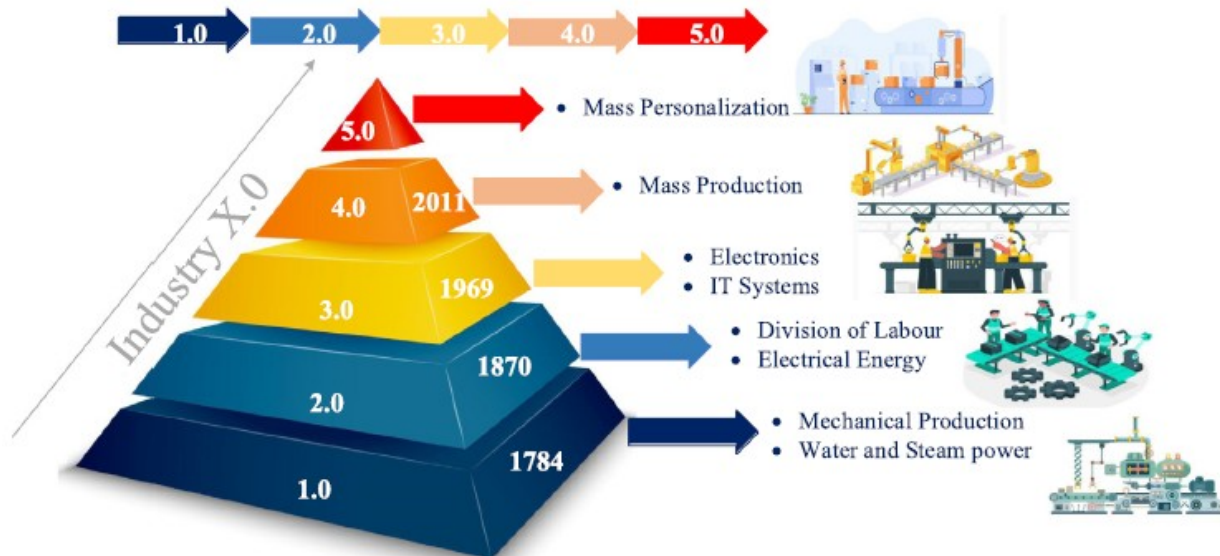
Διαχείριση πόρων και παρεμβολών φάσματος: Η διαχείριση του φάσματος και των παρεμβολών 6G δεν είναι απλή υπόθεση και απαιτεί επίσης αποτελεσματικές πολιτικές και λύσεις διαχείρισης φάσματος. Οι ερευνητές πρέπει να επικεντρωθούν στο θέμα του τρόπου κοινής χρήσης και διαχείρισης του φάσματος στην ετερογενή αρχιτεκτονική και επίσης στις τεχνικές ακύρωσης παρεμβολών. Τα κύματα Submillimeter (THz) έχουν χαρακτηριστικά διάδοσης και αυτά εξαρτώνται από την ατμοσφαιρική κατάσταση. Επειδή οι ατμοσφαιρικές συνθήκες είναι μεταβλητές και ως εκ τούτου απροσδόκητες, η μαθηματική μοντελοποίηση καναλιών για αυτήν τη ζώνη θα ήταν εξαιρετικά περίπλοκη και θα είναι δύσκολη η τέλεια μοντελοποίηση καναλιών.

Κεφάλαιο 4: Βιομηχανία 4.0 και εξέλιξη προς τη Βιομηχανία 5.0

Το Industry 5.0 θεωρείται ως η επόμενη βιομηχανική εξέλιξη, και στόχος του είναι να αξιοποιήσει τη δημιουργικότητα των ανθρώπων σε συνδυασμό με αποτελεσματικά, έξυπνα και ακριβή μηχανήματα, προκειμένου να παραχθούν οικονομικές από πλευράς πόρων κατασκευαστικές λύσεις και προτιμώμενες από τον χρήστη σε σύγκριση με το Industry 4.0. Αναμένεται να εμφανιστούν πολυάριθμες και πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες και εφαρμογές για την υποστήριξη της Βιομηχανίας 5.0 προκειμένου να αυξήσει την παραγωγή και να παραδώσει εξατομικευμένα προϊόντα στον τελικό χρήστη. Σε αυτό το κεφάλαιο, στόχος είναι η μελέτη σχετικών ερευνών έρευνες σχετικά με πιθανές εφαρμογές και τεχνολογίες που θα υποστηρίξουν τη Βιομηχανία 5.0. Αρχικά θα καθοριστούν σχετικές έννοιες της Βιομηχανίας 5.0 από την οπτική γωνία των διαφορετικών επαγγελματιών και ερευνητών του κλάδου. Στη συνέχεια, θα γίνει αναλυτική αναφορά σε πιθανές εφαρμογές της Βιομηχανίας 5.0, όπως στην έξυπνη υγειονομική περίθαλψη, στην κατασκευή σύννεφου, στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και στην παραγωγή. Στη συνέχεια, θα γίνει μελέτη βασικών τεχνολογιών για τη Βιομηχανία 5.0, όπως το edge computing, τα ψηφιακά δίδυμα (digital twins), τα συνεργατικά ρομπότ, το Διαδίκτυο όλων των πραγμάτων, το blockchain, τα δίκτυα 6G κλπ. Αξίζει να αναφερθούν αρκετές ερευνητικές προκλήσεις και ανοιχτά ζητήματα που θα πρέπει να αναπτυχθούν περαιτέρω για την υλοποίηση της Βιομηχανίας 5.0.

Ιστορία της Βιομηχανίας X.0

Οχήματα, ρούχα, σπίτια και όπλα έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί από ανθρώπους ή/ και με τη βοήθεια ζώων τους προηγούμενους αιώνες. Με την εμφάνιση της Βιομηχανίας 1.0 το 1974, η βιομηχανική παραγωγή άρχισε να αλλάζει σημαντικά. Η Εικόνα 13 δείχνει μια επισκόπηση της εξέλιξης της Βιομηχανίας X.0.



Εικόνα 13: Αναπαράσταση βιομηχανικής εξέλιξης.

Ο χρόνος ανάπτυξης για τις τρεις πρώτες επαναστάσεις βιομηχανίας ήταν περίπου 100 χρόνια και χρειάστηκαν μόνο 40 χρόνια για να φτάσει στην τέταρτη από την τρίτη. Το 1800, η Βιομηχανία 1.0 εξελίχθηκε μέσω της ανάπτυξης μηχανικών υποδομών παραγωγής για μηχανές που κινούνται με νερό και ατμό. Άρχισε να ανοίγεται ένα τεράστιο κέρδος στην οικονομία καθώς η παραγωγική ικανότητα έχει αυξηθεί. Η Βιομηχανία 2.0 εξελίχθηκε το έτος 1870 με την έννοια της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και γραμμής συναρμολόγησης. Η Βιομηχανία 2.0 επικεντρώθηκε κυρίως στη μαζική παραγωγή και διανομή φόρτου εργασίας, γεγονός που αύξησε την παραγωγικότητα των εταιρειών κατασκευής. Η Βιομηχανία 3.0 εξελίχθηκε το 1969 με την έννοια των ηλεκτρονικών, του μερικού αυτοματισμού και των τεχνολογιών πληροφοριών. Η Βιομηχανία 4.0 εξελίχθηκε το 2011 με την ιδέα της έξυπνης κατασκευής για το μέλλον. Ο κύριος στόχος είναι η μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας και η επίτευξη μαζικής παραγωγής χρησιμοποιώντας αναδυόμενες τεχνολογίες. Η Βιομηχανία 5.0 είναι μια μελλοντική εξέλιξη που έχει σχεδιαστεί για να χρησιμοποιήσει τη δημιουργικότητα εξειδικευμένου δυναμικού που θα συνεργάζονται με αποτελεσματικά, έξυπνα και ακριβή μηχανήματα.

Βιομηχανία 4.0 και σύγκριση με τη Βιομηχανία 5.0

Σήμερα, ζούμε στη Βιομηχανία 4.0, η οποία εξελίσσεται γρήγορα προς τη Βιομηχανία 5.0. Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση, συχνά γνωστή ως Βιομηχανία 4.0, κατασκευάστηκε πάνω από την τρίτη για περαιτέρω βελτίωση της τεχνολογίας, και όλα έγιναν «πιο έξυπνα» αυτή την περίοδο. Το IoT, το υπολογιστικό σύννεφο, τα κυβερνοφυσικά συστήματα παραγωγής και η έξυπνη υπολογιστική ήταν από τις πιο βασικές τεχνολογίες που συζητήθηκαν. Η Βιομηχανία 4.0 συνδέει συστήματα, εξαρτήματα και ανθρώπους μέσω ενός δικτύου, καθιστώντας τη διαδικασία παραγωγής πιο αποτελεσματική και αυτοματοποιημένη. Η Βιομηχανία 4.0 έχει μειώσει το κόστος παραγωγής, των logistics και της διαχείρισης ποιότητας με αυξημένη μαζική παραγωγή. Αν και η Βιομηχανία 4.0 έχει βελτιώσει το κόστος κατασκευής, έχει αγνοήσει το ανθρώπινο κόστος μέσω της βελτιστοποίησης της διαδικασίας. Αυτό οδηγεί ακούσια στην οπισθοδρόμηση της απασχόλησης και θα προκαλέσει αντίσταση από τα εργατικά συνδικάτα επηρεάζοντας έτσι την πλήρη υιοθέτηση της Βιομηχανίας 4.0. Οι άνθρωποι που συνεργάζονται με αυτές τις τεχνολογίες για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας είναι ο στόχος της πέμπτης επανάστασης, συχνά γνωστής ως Βιομηχανία 5.0. Για εκμετάλλευση στο μέγιστο των πλεονεκτημάτων, είναι ζωτικής σημασίας να αναπτυχθούν στρατηγικές τεχνικών ενσωμάτωσης ανθρώπου-ρομπότ, καθώς θα επιδιώξει να ταιριάζει με την αυξανόμενη ζήτηση για άτομα με μοναδικές προσαρμογές και τροποποιήσεις. Η βελτιωμένη ανθρώπινη εμπλοκή με έξυπνες μηχανές θα οδηγήσει σε αυξημένη απόδοση. Επιπλέον, ως αποτέλεσμα αυτής της μετατόπισης, θα δημιουργηθούν περισσότερες θέσεις με υψηλότερους μισθούς. Για την καλύτερη κατανόηση και οπτικοποίηση των οφελών της Βιομηχανίας 5.0, είναι σημαντικό να περιγραφούν οι διαφορές μεταξύ της Βιομηχανίας 4.0 και της 5.0· ο Πίνακας 6 συνοψίζει τη σύγκριση αυτή, [2].

Πίνακας 6: Σύγκριση μεταξύ Βιομηχανίας 4.0 και 5.0.

Βιομηχανία 4.0	Βιομηχανία 5.0
Σκοπός είναι η αυτοματοποίηση των διαδικασιών.	Σκοπός είναι η επίτευξη ισορροπίας μεταξύ συνεργασίας μηχανής και

	ανθρώπου.
Ο πιο σημαντικός παράγοντας είναι η τεχνολογία.	Η πιο σημαντική συνεργασία είναι μεταξύ ανθρώπων και ρομπότ.
Ολόκληρο το περιβάλλον είναι εικονικό.	Ολίσθηση πίσω στον πραγματικό κόσμο.
Καθώς νέες τεχνολογίες υιοθετούνταν, μειώνονταν το προσωπικό.	Αύξηση στο πλήθος των ατόμων που έρχονται σε επαφή με τις μηχανές.
Μηχανές που είναι πιο έξυπνες και πιο συνδεδεμένες με το χώρο εργασίας.	Συνδυάζονται έξυπνοι υπολογιστές και ανθρώπινη ευφυΐα.
Δεν υπάρχει τρόπος εξατομίκευσης και προσαρμογής του προϊόντος.	Είναι διαθέσιμες η εξατομίκευση και η προσαρμογή, επιτρέποντας κάθε προϊόν να βελτιώνεται ώστε να ικανοποιεί καλύτερα της ανάγκες του πελάτη.
Εξακολουθεί να ταλαντεύεται μεταξύ ανανεώσιμων και μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.	Είναι πιο φιλικό προς το περιβάλλον αφού οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα χρησιμοποιούνται συχνότερα.

Κίνητρα πίσω από την εξέλιξη προς τη Βιομηχανία 5.0

Το πρότυπο Industry 4.0 έχει εξελίξει τον κατασκευαστικό τομέα ενσωματώνοντας πολλές τεχνολογίες, όπως την τεχνητή νοημοσύνη, το Διαδίκτυο των πραγμάτων, το υπολογιστικό σύννεφο (cloud computing), τα φυσικά συστήματα στον κυβερνοχώρο (Cyber Physical Systems – CPS) και τους έξυπνους υπολογισμούς (cognitive computing). Η κύρια αρχή πίσω από το Industry 4.0 είναι να γίνει η βιομηχανία κατασκευών «έξυπνη» μέσω διασύνδεσης μηχανών, με συσκευές που μπορούν να ελέγχουν η μία την άλλη καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής. Στο Industry 4.0, η κύρια προτεραιότητα είναι η αυτοματοποίηση των διαδικασιών, μειώνοντας έτσι την παρέμβαση των ανθρώπων στη διαδικασία παραγωγής. Το Industry 4.0 εστιάζει στη βελτίωση της μαζικής παραγωγικότητας και απόδοσης μέσω της παροχής ευφυΐας

μεταξύ συσκευών και εφαρμογών που χρησιμοποιούν μηχανική μάθηση. Το Industry 5.0 έχει σχεδιαστεί επί του παρόντος για να αξιοποιήσει τη μοναδική δημιουργικότητα του ανθρώπινου παράγοντα σε συνεργασία με ισχυρά, έξυπνα και ακριβή μηχανήματα. Πολλοί τεχνικοί οραματιστές πιστεύουν ότι το Industry 5.0 θα επαναφέρει την ανθρώπινη επαφή στη βιομηχανία κατασκευών. Αναμένεται ότι το Industry 5.0 συνδυάζει τις μηχανές υψηλής ταχύτητας και ακρίβειας και την κριτική, γνωστική σκέψη των ανθρώπων. Η μαζική εξατομίκευση είναι μια άλλη σημαντική συμβολή του Industry 5.0, όπου οι πελάτες μπορούν να προτιμούν εξατομικευμένα και προσαρμοσμένα προϊόντα σύμφωνα με το γούστο και τις ανάγκες τους. Το Industry 5.0 θα αυξήσει σημαντικά την παραγωγική απόδοση και θα δημιουργήσει ευελιξία μεταξύ ανθρώπων και μηχανών, επιτρέποντας την ευθύνη για αλληλεπίδραση και συνεχείς δραστηριότητες παρακολούθησης. Η συνεργασία μεταξύ ανθρώπων και μηχανών στοχεύει στην αύξηση της παραγωγής με γρήγορους ρυθμούς. Το Industry 5.0 μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα της παραγωγής αναθέτοντας επαναλαμβανόμενες και μονότονες εργασίες στα ρομπότ/μηχανές και τις εργασίες που χρειάζονται κριτική σκέψη στους ανθρώπους.

Η Βιομηχανία 5.0 προωθεί θέσεις εργασίας με περισσότερες δεξιότητες σε σύγκριση με το Industry 4.0, καθώς οι επιστημονικοί επαγγελματίες εργάζονται με μηχανές. Η Βιομηχανία 5.0 εστιάζει κυρίως στη μαζική προσαρμογή, όπου οι άνθρωποι θα καθοδηγούν ρομπότ. Στο Industry 4.0, τα ρομπότ συμμετέχουν ήδη ενεργά σε μεγάλης κλίμακας παραγωγή, ενώ η Βιομηχανία 5.0 έχει σχεδιαστεί κυρίως για να ενισχύσει την ικανοποίηση των πελατών. Η Βιομηχανία 4.0 εστιάζει στη συνδεσιμότητα CPS, ενώ το Industry 5.0 συνδέεται με εφαρμογές Industry 4.0 και δημιουργεί μια σχέση μεταξύ συνεργατικών ρομπότ (collaborative robots – cobots). Ένα άλλο ενδιαφέρον πλεονέκτημα του Industry 5.0 είναι η παροχή πιο πράσινων λύσεων σε σύγκριση με τους υπάρχοντες βιομηχανικούς μετασχηματισμούς, κανένας από τους οποίους δεν εστιάζει στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος. Η Βιομηχανία 5.0 χρησιμοποιεί προγνωστικά αναλυτικά στοιχεία και λειτουργική ευφυΐα για να δημιουργήσει μοντέλα που στοχεύουν στη λήψη πιο ακριβών και λιγότερο ασταθών αποφάσεων. Στο Industry 5.0, η πλειονότητα της διαδικασίας παραγωγής θα είναι αυτοματοποιημένη, καθώς τα

δεδομένα σε πραγματικό χρόνο θα λαμβάνονται από μηχανές σε συνεργασία με άρτια εξοπλισμένο εξειδικευμένο προσωπικό, [3].

Τι είναι η Βιομηχανία 5.0 και τα χαρακτηριστικά της

Καθώς η Βιομηχανία 5.0 δεν έχει ακόμη εξελιχθεί πλήρως, διάφοροι επαγγελματίες του κλάδου και ερευνητές έχουν δώσει διάφορους ορισμούς. Μερικοί από τους ορισμούς είναι οι ακόλουθοι, [3]:

Ορισμός 1. Η Βιομηχανία 5.0 είναι μια πρώτη βιομηχανική εξέλιξη που καθοδηγείται από τον άνθρωπο που βασίζεται στις αρχές 6R (Recognize, Reconsider, Realize, Reduce, Reuse and Recycle) της βιομηχανικής ανακύκλωσης, μια συστηματική τεχνικής πρόληψης αποβλήτων και σχεδιασμού αποδοτικότητας logistics για την αξιολόγηση του επιπέδου ζωής, με καινοτόμες δημιουργίες που παράγουν προσαρμοσμένα προϊόντα υψηλής ποιότητας από τον Michael Rada, ιδρυτή και Leader, της Βιομηχανίας 5.0.

Ορισμός 2. Η Βιομηχανία 5.0 επαναφέρει το ανθρώπινο δυναμικό στο εργοστάσιο, όπου ο άνθρωπος και η μηχανή συνδυάζονται για να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας χρησιμοποιώντας την ανθρώπινη εγκεφαλική δύναμη και τη δημιουργικότητα μέσω της ενσωμάτωσης των ροών εργασίας με έξυπνα συστήματα.

Ορισμός 3. Η Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή δηλώνει ότι το νέο επαναστατικό κύμα, το Industry 5.0, ενσωματώνει τις εκτρέπουσες δυνάμεις των κυβερνοφυσικών συστημάτων παραγωγής (CPPS) και της ανθρώπινης νοημοσύνης για τη δημιουργία συνεργικών εργοστασίων. Επιπλέον, για την αντιμετώπιση της αποδυνάμωσης του ανθρώπινου δυναμικού από το Industry 4.0, οι υπεύθυνοι δημιουργίας πολιτικών αναζητούν καινοτόμο, ηθικό και ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό.

Ορισμός 4. Η Βιομηχανία 5.0 είναι η εποχή του κοινωνικά έξυπνου εργοστασίου (social smart factory) όπου τα cobots επικοινωνούν με τους ανθρώπους. Το κοινωνικά έξυπνο εργοστάσιο χρησιμοποιεί εταιρικά κοινωνικά δίκτυα για να επιτρέψει την απρόσκοπτη επικοινωνία μεταξύ ανθρώπου και εξαρτημάτων CPPS.

Ορισμός 5. Η Βιομηχανία 5.0, μια συμμετρική καινοτομία και η επόμενη γενιά παγκόσμιας διακυβέρνησης, είναι μια σταδιακή πρόοδος του Industry 4.0 (ασύμμετρη

καινοτομία). Στόχος της είναι να σχεδιάσει ορθογώνιες ασφαλείς εξόδους διαχωρίζοντας τα υπερσυνδεδεμένα συστήματα αυτοματισμού για τα στάδια της κατασκευής και παραγωγής.

Ορισμός 7. Το Industry 5.0 είναι μια ανθρωποκεντρική σχεδιαστική λύση όπου ο ιδανικός ανθρώπινος παράγοντας και τα cobot συνεργάζονται με το ανθρώπινο δυναμικό για να επιτρέψουν την εξατομικευμένη αυτόνομη κατασκευή μέσω εταιρικών κοινωνικών δικτύων. Αυτό, με τη σειρά του, επιτρέπει στον άνθρωπο και τη μηχανή να δουλεύουν «χέρι-χέρι». Τα cobot δεν είναι προγραμματιζόμενες μηχανές, αλλά μπορούν να αισθανθούν και να κατανοήσουν την ανθρώπινη παρουσία. Σε αυτό το πλαίσιο, τα cobots θα χρησιμοποιηθούν για επαναλαμβανόμενες εργασίες και εργασίες εντατικού φόρτου, ενώ ο ανθρώπινος παράγοντας θα φροντίσει για την προσαρμογή και την κριτική σκέψη (σκέψη έξω από το κουτί).

Χαρακτηριστικά της Βιομηχανίας 5.0

Η Βιομηχανία 5.0 είναι η βελτιωμένη έκδοση της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης. Τα πρόσθετα χαρακτηριστικά του Industry 5.0 συζητούνται σε αυτήν την υποενότητα.

1) Έξυπνη προσθετική κατασκευή (Smart Additive Manufacturing – SAM): Η πιο δημοφιλής οικονομικά αποδοτική προσέγγιση για τις τρέχουσες βιομηχανίες κατασκευών, που υποστηρίζουν τους παραγωγούς να εκτελέσουν αναπτυξιακά σχέδια, να μειώσουν τη ρύπανση και τη χρήση των πόρων σε όλη τη διάρκεια της ανάπτυξης, είναι η βιώσιμη παραγωγή. Η προσθετική κατασκευή είναι η βιώσιμη προσέγγιση που υιοθετείται για τη βιομηχανική παραγωγή, η οποία χτίζει το μέρος του προϊόντος ανά επίπεδα αντί για ένα συμπαγές μπλοκ, αναπτύσσοντας έτσι ελαφρύτερα αλλά πιο στιβαρά μέρη ανά επίπεδα. Προσθέτει υλικό ανά επίπεδα στα τρισδιάστατα αντικείμενα. Η έξυπνη προσθετική κατασκευή εφαρμόζει αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης, υπολογιστική όραση για να προσθέσει μεγαλύτερη ακρίβεια και καλύτερη γραφική αναπαράσταση του σχεδιασμού του προϊόντος στην τρισδιάστατη εκτύπωση. Τώρα, η 5D εκτύπωση, ένα νέο υποσύνολο της προσθετικής κατασκευής προσθέτων, χρησιμοποιείται για καλύτερες συνθέσεις. Οι νέες επιχειρήσεις και ερευνητές επικεντρώνονται στην ανάπτυξη έξυπνων προϊόντων κατασκευής στον ερευνητικό και

βιομηχανικό τους τομέα. Με την πρόσφατη πρόοδο τεχνολογιών όπως των AI, IoT, Cloud computing, Big Data, CPS, 5G, DT, EC και η κατασκευή, οι έξυπνες τεχνολογίες γίνονται δημοφιλείς και ενισχύουν εντυπωσιακά την ανάπτυξη της έξυπνης κατασκευής. Η βιωσιμότητα, η κερδοφορία και η παραγωγικότητα είναι τα κύρια πλεονεκτήματα της έξυπνης βιομηχανίας κατασκευών. Από την τελευταία δεκαετία, η έξυπνη προσθετική κατασκευή έχει γίνει αναδυόμενη τεχνολογία στον τομέα της έξυπνης κατασκευής, [65]. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του Industry 5.0 είναι η προσθετική κατασκευή που αναφέρεται ως τρισδιάστατη εκτύπωση, η οποία εφαρμόζεται για να κάνει τα προϊόντα κατασκευών πιο βιώσιμα. Η προσθετική κατασκευή στο Industry 4.0 επικεντρώθηκε στην ικανοποίηση των πελατών συμπεριλαμβάνοντας οφέλη σε προϊόντα και άλλες υπηρεσίες. Διευκολύνει επίσης τη διαφάνεια, τη διαλειτουργικότητα, τον αυτοματισμό και τις πρακτικές γνώσεις, [64]. Η SAM καθορίζει τις διάφορες διεργασίες στις οποίες το εξάρτημα που θα κατασκευαστεί αναπτύσσεται με την προσθήκη υλικών και η ανάπτυξη εκτελείται σε διάφορα επίπεδα. Η SAM έχει την ικανότητα να εξοικονομεί ενεργειακούς πόρους, να συμβάλλει στη μείωση της κατανάλωσης υλικών και πόρων, γεγονός που οδηγεί σε παραγωγή χωρίς ρύπανση του περιβάλλοντος.

2) Προβλεπτική Συντήρηση (PreDictive Maintainance – PdM): Καθώς η οικονομία του κόσμου κινείται προς την παγκοσμιοποίηση, οι βιομηχανίες αντιμετωπίζουν πολλές προκλήσεις. Αυτό αναγκάζει τις μονάδες παραγωγής να προχωρήσουν σε επερχόμενο μετασχηματισμό, όπως η προβλεπτική συντήρηση. Για να ενισχύσουν την παραγωγικότητα και την αποτελεσματικότητα, οι κατασκευαστές άρχισαν να χρησιμοποιούν εξελισσόμενες τεχνολογίες, όπως προσεγγίσεις CPS και προηγμένες αναλυτικές μεθόδους, [3]. Η διαφάνεια είναι η ικανότητα της βιομηχανίας να αποκαλύπτει και να αξιολογεί τις αβεβαιότητες προκειμένου να εκτιμήσει την κατασκευαστική ικανότητα και διαθεσιμότητα. Γενικά, τα περισσότερα από τα συστήματα παραγωγής προϋποθέτουν τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού συνεχώς. Ωστόσο, δεν συμβαίνει ποτέ πρακτικά στις πραγματικές βιομηχανίες. Έτσι, οι μονάδες παραγωγής θα πρέπει να διαθέτουν προβλεπτική συντήρηση για να αποκτήσουν διαφάνεια. Αυτός ο μετασχηματισμός χρειάζεται εφαρμογή εργαλείων πρόβλεψης στα οποία τα δεδομένα υποβάλλονται σε επεξεργασία εξαγοντας τις πληροφορίες συστηματικά και

καθορίζοντας τις αβεβαιότητες που επιτρέπουν στο ανθρώπινο δυναμικό να λάβει έξυπνες αποφάσεις. Η εφαρμογή του IoT παρέχει το βασικό πλαίσιο για την προβλεπτική συντήρηση με τη χρήση έξυπνων μηχανών και έξυπνων δικτύων αισθητήρων. Η ενεργοποίηση της αυτοσυνείδητης ικανότητας για συστήματα και μηχανές είναι ο κύριος στόχος της προγνωστικής συντήρησης. Ο έξυπνος υπολογιστικός πράκτορας (smart predictive agent) είναι η βασική τεχνολογία για την προβλεπτική συντήρηση που περιλαμβάνει έξυπνο λογισμικό για την παροχή λειτουργιών για προγνωστική μοντελοποίηση. Στη Βιομηχανία 5.0, το PdM βοηθά στην εκτέλεση δραστηριότητας συντήρησης για την αποφυγή προβλημάτων αντί για την εκτέλεση προγραμματισμένης συντήρησης και όταν προκύπτει ένα πρόβλημα.

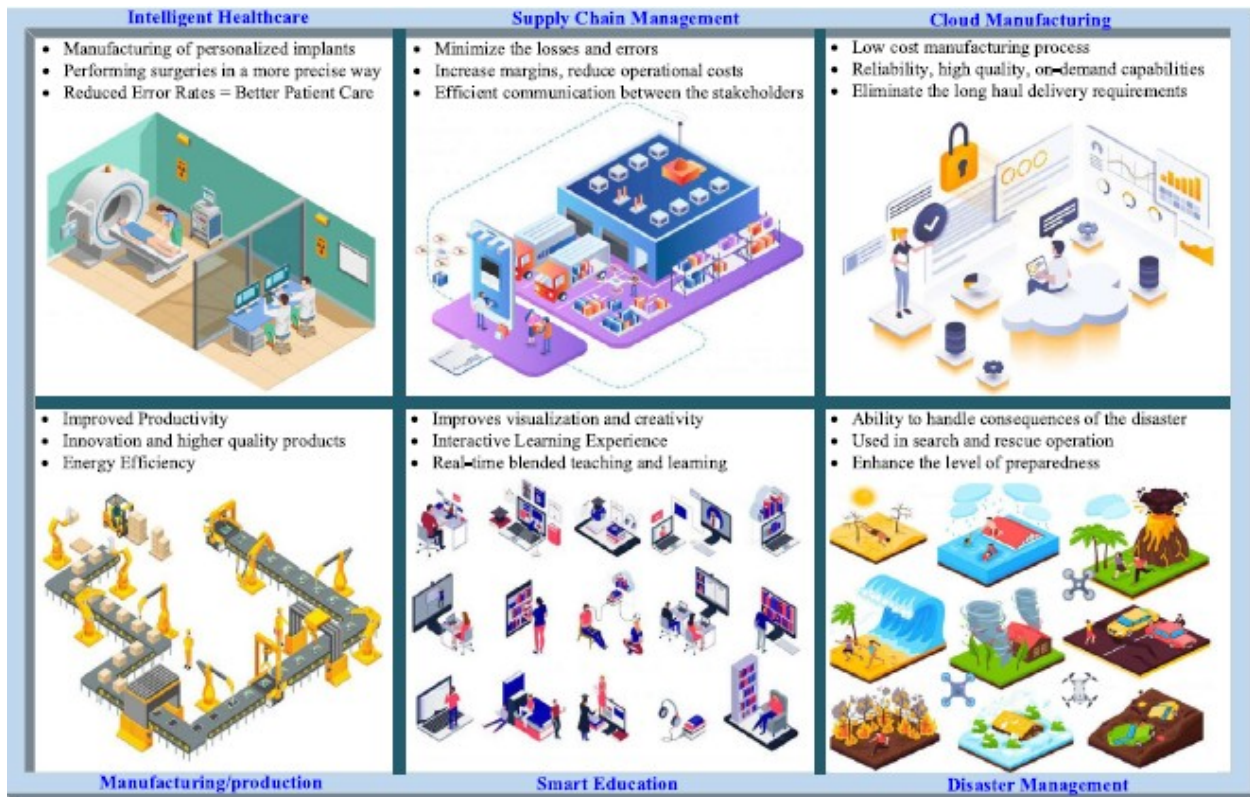
3) Υπερπροσαρμογή (Hyper customization): Η Βιομηχανία 4.0 στόχευσε στη διασύνδεση των μηχανών, δημιούργησε έξυπνες αλυσίδες εφοδιασμού, προώθησε την παραγωγή έξυπνων προϊόντων και απομόνωσε το ανθρώπινο δυναμικό από αυτοματοποιημένες βιομηχανίες. Αλλά η Βιομηχανία 4.0 δεν κατάφερε να διαχειριστεί την αυξανόμενη ζήτηση για προσαρμογή, ενώ η Βιομηχανία 5.0 το κάνει χρησιμοποιώντας υπερπροσαρμογή. Η υπερπροσαρμογή είναι μια εξατομικευμένη στρατηγική μάρκετινγκ που εφαρμόζει ισχυρές τεχνολογίες όπως AI, ML, έξυπνα συστήματα και υπολογιστική όραση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, προκειμένου να παρέχει πιο συγκεκριμένα προϊόντα, υπηρεσίες και περιεχόμενο σε κάθε πελάτη. Η ενοποίηση της ανθρώπινης νοημοσύνης με τα ρομπότ βοηθά τους κατασκευαστές να προσαρμόζουν τα προϊόντα μαζεμένα. Για να επιτευχθεί αυτό, πολλές παραλλαγές του λειτουργικού υλικού μοιράζονται με άλλο προσωπικό με κίνητρο την προσαρμογή του προϊόντος με διαφορετικές παραλλαγές για την επιλογή των πελατών. Η Βιομηχανία 4.0 στοχεύει σε τεράστια παραγωγή με χαμηλό κόστος και μέγιστη απόδοση, ενώ η Βιομηχανία 5.0 στοχεύει στη μαζική προσαρμογή με ελάχιστο κόστος και μέγιστη ακρίβεια. Η συνεργασία μεταξύ ανθρώπινου δυναμικού και ρομπότ μαζί με τα έξυπνα συστήματα επιτρέπουν στις βιομηχανίες να συντονίζουν τις διαδικασίες στην κατασκευή για να υλοποιήσουν τις ανάγκες των πελατών και τις αλλαγές της αγοράς. Το πρώτο βήμα στην υπερ-εξατομίκευση είναι η μετάβαση προς στην ευέλικτη διαδικασία παραγωγής και εφοδιαστική αλυσίδα. Επίσης, η δυνατότητα εφαρμογής της

υπερπροσαρμογής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αποδοτικότητα κόστους των αναπτυσσόμενων προϊόντων.

4) Κυβερνοφυσικά γνωστικά συστήματα (Cyber Physical Cognitive System - CPCS): Λόγω της προόδου τεχνολογιών όπως οι έξυπνες φορητές συσκευές, το IoT, το cloud computing και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, το CPS έχει γίνει δημοφιλές στις μέρες μας. Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση έχει μετατρέψει τη διαδικασία παραγωγής από πλήρη χειροκίνητα συστήματα σε CPS. Το πλαίσιο για τη Βιομηχανία 4.0 έχει δημιουργηθεί στην επικοινωνία μεταξύ CPS με τη βοήθεια του IoT. Η τεχνολογία cloud χρησιμοποιείται για τεράστιο όγκο αποτελεσματικής, ασφαλούς αποθήκευσης και ανταλλαγής δεδομένων. Επίσης, οι έξυπνες μέθοδοι χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές όπως στην παρακολούθηση, στο βιομηχανικό αυτοματισμό, στο έξυπνο δίκτυο, στα δίκτυα οχημάτων και στην παρακολούθηση περιβάλλοντος για την αύξηση της απόδοσης του συστήματος και ονομάζεται κυβερνοφυσικό γνωστικό σύστημα. Γνωστικές ικανότητες όπως η παρατήρηση/ μελέτη του περιβάλλοντος και η ανάληψη ανάλογων ενεργειών περιέχονται στους κόμβους του CPCS. Η μάθηση και η γνώση είναι τα κύρια συστατικά της λήψης αποφάσεων στο CPCS. Το CPCS έχει εισαχθεί για τη συνεργατική κατασκευή ανθρώπινων ρομπότ (Human Robot Collaborative – HRC). Το HRC εκτελεί τη συναρμολόγηση εξαρτημάτων στο κομμάτι της κατασκευής σε συνεργασία με ένα ρομπότ και έναν άνθρωπο. Η ενοποίηση της γνώσης μηχανής-ανθρώπου μοντελοποιείται και εφαρμόζεται για αυτήν τη συνεργασία σε πραγματικό χρόνο. Η πέμπτη βιομηχανική επανάσταση περιόρισε τα πλεονεκτήματα της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης και επαναφέρει την ανθρώπινη εργασία στην παραγωγή. Η πέμπτη επανάσταση διευκολύνει τα ρομπότ και το εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό να συνεργαστούν προκειμένου να παράγουν προσαρμοσμένα προϊόντα και υπηρεσίες στη Βιομηχανία 5.0, [3].

Εφαρμογές Βιομηχανίας 5.0

Αυτή η ενότητα εξετάζει μερικές από τις πιθανές εφαρμογές του Industry 5.0, όπως εξηγείται εικονογραφικά στην Εικόνα 14.



Εικόνα 14: Εφαρμογές της Βιομηχανίας 5.0.

1) Έξυπνη υγεία: Αυτές τις μέρες οι γιατροί χρησιμοποιούν μοντέλα ML για να τους βοηθήσουν στη διάγνωση ασθενειών. Αυτό βοηθά στη βελτίωση της ακρίβειας της διάγνωσης ασθενειών και ως εκ τούτου εξοικονομεί πολύ χρόνο και χρήμα για τους ασθενείς [62, 63]. Ωστόσο, αυτό δεν είναι αρκετό· μια τεχνολογία που μπορεί να εξασφαλίσει εξατομικευμένες απαιτήσεις ενός ασθενούς όπως η παρακολούθηση της μέτρησης της αρτηριακής πίεσης, των επιπέδων σακχάρου κ.λπ., και να παρέχει εξατομικευμένη θεραπεία στους ασθενείς με τη βοήθεια των γιατρών είναι σημαντικό να υλοποιηθεί. Η Βιομηχανία 5.0 μπορεί να το κάνει αυτό δυνατό, οι έξυπνες φορητές συσκευές όπως έξυπνα ρολόγια, έξυπνοι αισθητήρες κ.λπ. μπορούν να καταγράψουν συνεχώς τα δεδομένα υγείας του ασθενούς σε πραγματικό χρόνο και αυτά τα δεδομένα μπορούν να αποθηκευτούν στο σύννεφο. Οι αλγόριθμοι ML μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για τη διάγνωση της ιατρικής κατάστασης των ασθενών. Αυτές οι έξυπνες συσκευές μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους και σε περίπτωση που απαιτείται η προσοχή ενός γιατρού, αυτές οι συσκευές μπορούν να τροφοδοτήσουν με

την τρέχουσα κατάσταση του ασθενούς και να ειδοποιήσουν τους γιατρούς να θεραπεύσουν τον ασθενή. Μέσω των cobots, οι γιατροί μπορούν να λάβουν βοήθεια από τα ρομπότ που μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους για να κάνουν χειρουργική επέμβαση στους ασθενείς. Αυτά είναι μερικά παραδείγματα για το πώς η Βιομηχανία 5.0 μπορεί να φέρει επανάσταση στον κλάδο της υγείας. Αυτή η επανάσταση βοηθά στην κατασκευή εξατομικευμένων συσκευών, εμφυτευμάτων κ.λπ. Μέσω της Βιομηχανίας 5.0, επαναλαμβανόμενες εργασίες, όπως οι συνήθεις έλεγχοι που εκτελούνται από γιατρούς, μπορούν να αναληφθούν από τα cobots. Με αυτόν τον τρόπο οι γιατροί μπορούν να επικεντρωθούν σε εργασίες υψηλότερου επιπέδου. Ακόμη και οι περίπλοκες χειρουργικές επεμβάσεις μπορούν να γίνουν με ακρίβεια από cobots με συνεχείς οδηγίες από τους γιατρούς. Τεχνολογίες όπως τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βοηθήσουν τους γιατρούς να δίνουν εξατομικευμένη συνταγογράφηση φαρμάκων στους ασθενείς.

Οι Javaid et al., [53], μελέτησαν βασικές τεχνολογίες ενεργοποίησης στη Βιομηχανία 5.0 που μπορούν να βοηθήσουν στη θεραπεία των ασθενών κατά τη διάρκεια της πανδημίας Covid-19. Πρότειναν πώς οι βασικές τεχνολογίες ενδυνάμωσης του Industry 5.0, όπως τα cobots, μπορούν να βοηθήσουν στη θεραπεία χωρίς επαφή των ασθενών. Πρότειναν επίσης πώς τα έξυπνα ρομπότ με τη βοήθεια γιατρών μπορούν να βοηθήσουν στην εξέταση και τη θεραπεία ασθενών με Covid-19, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο έκθεσης της πρώτης γραμμής υγειονομικής περίθαλψης σε ασθενείς με Covid-19. Οι Priadytmama et al., [54], πρότειναν τη χρήση της υποστηρικτικής τεχνολογίας (assistive technology – AT), η οποία χρησιμοποιήθηκε για άτομα με ειδικές ανάγκες, ώστε να παρέχει υψηλότερη εξατομικευμένη ικανότητα. Πρότειναν ότι οι νέες τεχνολογίες στη βιομηχανία 5.0, όπως η τρισδιάστατη εκτύπωση, μπορούν να βοηθήσουν στην υλοποίηση της χρήσης για πολλούς ανθρώπους. Μέσω των προαναφερθεισών τεχνολογιών, ένα φορητό AT, όπως ορθώσεις, προσθετικά άκρα ή εξωσκελετικά, μπορούν να προσαρμοστούν σύμφωνα με τη γεωμετρία του σώματος του χρήστη.

2) Κατασκευή cloud: Η κατασκευή cloud είναι ένας νέος τρόπος για να φέρει επανάσταση το παραδοσιακό πρότυπο παραγωγής σε μια προηγμένη παραγωγική διαδικασία ενσωματώνοντας πιο πρόσφατες τεχνολογίες όπως το cloud και το υπολογιστικό άκρο, το IoT, η εικονικοποίηση και οι τεχνολογίες προσανατολισμένες στις υπηρεσίες. Σε μια διαδικασία κατασκευής cloud, τα πολυεθνικά ενδιαφερόμενα μέρη θα συνεργαστούν για να εφαρμόσουν αποτελεσματική και χαμηλού κόστους διαδικασία παραγωγής. Τα διακριτικά χαρακτηριστικά της κατασκευής cloud περιλαμβάνουν την αξιοπιστία, την υψηλή ποιότητα, την οικονομική αποδοτικότητα και τις δυνατότητες κατ' απαίτηση. Επιπλέον, έχει θετικό αντίκτυπο στο περιβάλλον καθώς η κατασκευή cloud μπορεί να εξαλείψει τις απαιτήσεις παράδοσης πρώτων υλών σε μεγάλες αποστάσεις για τη διαδικασία παραγωγής. Επιπλέον, η κατασκευή cloud πρωτοστατεί σε προηγμένα μοντέλα κατασκευής, όπως στην προσθετική κατασκευή και στο δίκτυο κατασκευής. Η Εικόνα 15 απεικονίζει την πολυεθνική συνεργατική φύση του τυπικού οικοσυστήματος κατασκευής cloud.



Εικόνα 15: Το οικοσύστημα της κατασκευής σύννεφου.

Η κατασκευή cloud επιτρέπει στους σχεδιαστές να προστατεύουν την πνευματική τους ιδιοκτησία, όπως τα αρχεία σχεδίασης των αντικειμένων κατασκευής, αποθηκεύοντας τα στο cloud με ισχυρό έλεγχο πρόσβασης και να χρησιμοποιούν τους κατασκευαστικούς πόρους διασκορπισμένους σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές, [55]. Με αυτόν τον τρόπο, επιτρέπεται στους σχεδιαστές να τοποθετούν τα εργοστάσια παραγωγής τους πιο κοντά στην πρώτη ύλη και επίσης σε χώρες όπου το κόστος κατασκευής είναι φθηνότερο. Εδώ, ο έλεγχος των μηχανών στο εργοστάσιο και οι λειτουργίες του κύκλου ζωής της κατασκευής, όπως η σύνθεση υπηρεσίας και ο προγραμματισμός διαχειρίζονται από το cloud. Οι πληροφορίες για τις συνθήκες λειτουργίας της διαδικασίας κατασκευής μπορούν να συλλεχθούν μέσω αισθητήρων IoT και να αναλυθούν στο cloud. Με τη Βιομηχανία 5.0, η επόμενη γενιά συστημάτων κατασκευής cloud αναμένεται να καλύψει διαφορετικές και πολύπλοκες απαιτήσεις στα πλαίσια της μηχανικής, της παραγωγής και των logistics.

3) Διαχείριση αλυσίδας εφοδιασμού (Supply Chain Management – SCM): Οι ανατρεπτικές τεχνολογίες που στηρίζουν τη Βιομηχανία 5.0 όπως τα ψηφιακά δίδυμα, τα cobots, το 5G και πέραν αυτού, το ML, το IoT, το υπολογιστικό άκρο κ.λπ. ευθυγραμμισμένες με την εξυπνάδα και την καινοτομία των ανθρώπων, μπορούν να βοηθήσουν τις βιομηχανίες να ανταποκριθούν στη ζήτηση και να παραδώσουν τα εξατομικευμένα και προσαρμοσμένα προϊόντα με ταχύτερο ρυθμό [78]. Αυτό βοηθά τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (SCM) στην ενσωμάτωση της μαζικής προσαρμογής, η οποία είναι βασική ιδέα στη Βιομηχανία 5.0, στα συστήματα παραγωγής τους.

Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ενός ψηφιακού αντιγράφου του SCM που αποτελείται από αποθήκες, θέσεις αποθέματος, περιουσιακά στοιχεία και logistics. Τα ψηφιακά δίδυμα περιλαμβάνουν εργοστάσια, προμηθευτές, κατασκευαστές με σύμβαση, εργοστάσια, γραμμές μεταφοράς, εγκαταστάσεις διανομής και τοποθεσίες πελατών. Τα ψηφιακά δίδυμα στηρίζουν ολόκληρο τον κύκλο ζωής του SCM, από τη φάση του σχεδιασμού, μέχρι την κατασκευή και την εφαρμογή και λειτουργία. Μέσω της προσομοίωσης των συστημάτων SCM σε πραγματικό χρόνο, τα

ψηφιακά δίδυμα μπορούν να ανιχνεύσουν τα δεδομένα του πραγματικού κόσμου μέσω αισθητήρων IoT. Το ML, τα μεγάλα δεδομένα κ.λπ. μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτά τα δεδομένα για να προβλέψουν τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν κατά τη διάρκεια διαφόρων φάσεων του SCM. Ως εκ τούτου, οι βιομηχανίες μπορούν να λάβουν προληπτικά διορθωτικά μέτρα για να ελαχιστοποιήσουν τις απώλειες και τα σφάλματα κατά τη διάρκεια πολλών φάσεων του SCM και μπορούν να βοηθήσουν στην παράδοση εξατομικευμένων προϊόντων στους πελάτες σε σύντομο χρονικό διάστημα. Με τα ψηφιακά δίδυμα, οι επιχειρήσεις μπορούν να αξιολογήσουν τα πολύπλοκα διασυνδεδεμένα tradeoff όσον αφορά τη χωρητικότητα, την υπηρεσία, το απόθεμα και το συνολικό κόστος. Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν επίσης να βοηθήσουν τις βιομηχανίες να αυξήσουν τα περιθώρια κέρδους τους, να μειώσουν το λειτουργικό κόστος κατά τη διάρκεια πολλών φάσεων του SCM.

Οι Defraeye et al., [56], πρότειναν μια προσέγγιση βασισμένη στα ψηφιακά δίδυμα που προσομοιώνει τη θερμική συμπεριφορά του φρούτου μάνγκο κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του με ψυγείο. Έχουν επίσης αναπτύξει μια καινοτόμα συσκευή ανίχνευσης για τα φρούτα για να επικυρώσει το μοντέλο θερμοκρασίας του πολτού φρούτων. Οι συγγραφείς απέδειξαν πώς τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για τη θερμική συμπεριφορά των φρούτων κατά τη διάρκεια της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτές οι πληροφορίες θα βοηθήσουν τη βιομηχανία SCM να εντοπίσει πού συμβαίνουν οι απώλειες κατά τη μεταφορά, για τα φρούτα που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και ως εκ τούτου μπορεί να λάβει διορθωτικά μέτρα για να ελαχιστοποιήσει τις απώλειες. Με αυτόν τον τρόπο τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βοηθήσουν στη βελτίωση των logistics και της διαδικασίας ψύξης για τη μείωση των απωλειών και την υλοποίηση της πράσινης αλυσίδας εφοδιασμού. Ο Marmolejo, [57], πρότεινε τα ψηφιακά δίδυμα για μια φαρμακευτική εταιρεία για να κάνει τη διαδικασία SCM πιο ισχυρή. Ο συγγραφέας έχει μοντελοποιήσει και αναλύσει διάφορα σενάρια λειτουργίας της διαδικασίας απογραφής, προμήθειας, κατασκευής και διανομής προϊόντων για μια φαρμακευτική εταιρεία. Τα ψηφιακά δίδυμα έχουν διευκολύνει την προγνωστική ανάλυση για πρόβλεψη διακοπών ή αλλαγών στην αλυσίδα εφοδιασμού στη φαρμακευτική εταιρεία και διασφάλισε καλύτερη επικοινωνία μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών.

Τα Cobots μπορούν να παίξουν πολύ σημαντικό ρόλο στο SCM. Εργασίες ρουτίνας/ επικίνδυνες όπως συσκευασίες, ποιοτικοί έλεγχοι ρουτίνας, μεταφορά βαρέων εμπορευμάτων κ.λπ., που οι άνθρωποι διστάζουν να κάνουν, μπορούν να εκτελεστούν από ρομπότ, όπου η τεχνογνωσία των ανθρώπων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πιο σύνθετες εργασίες στον κύκλο ζωής του SCM. Τα Cobots μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές σε όλη τη διάρκεια ζωής του SCM, όπως στο χειρισμό υλικών, στη συναρμολόγηση υλικών, στη συσκευασία, στην εκτέλεση ποιοτικών ελέγχων, στη μεταφορά, στην παράδοση των προϊόντων στους πελάτες και στην επιστροφή των προϊόντων από τους πελάτες. Μέσω των cobots, οι βιομηχανίες SCM μπορούν να μειώσουν το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας τους. Ως εκ τούτου, τα cobot εκσυγχρονίζουν όλες τις διαδικασίες στο SCM, όπως τη συστηματική διαχείριση αποθεμάτων, την παρακολούθηση των αποθεμάτων, την εκπόνηση παραγγελιών και την επιστροφή των προϊόντων.

4) Κατασκευή / παραγωγή: Είναι γενικά αποδεκτό ότι σε προηγούμενες τεχνολογικές επαναστάσεις, η εισαγωγή της ρομποτικής και του αυτοματισμού επέφερε αλλαγές στη μεταποιητική βιομηχανία παγκοσμίως. Τα ρομπότ έχουν ήδη κάνει επικίνδυνη, μονότονη ή σωματικά απαιτητική εργασία σε κατασκευαστικές εγκαταστάσεις, όπως συγκόλληση και βαφή σε εργοστάσια αυτοκινήτων και φόρτωση και εκφόρτωση βαρέων αποστολών σε αποθήκες. Η Βιομηχανία 5.0 στοχεύει στο συνδυασμό αυτών των γνωστικών υπολογιστικών δεξιοτήτων με την ανθρώπινη νοημοσύνη και επινοητικότητα σε συνεργατικές λειτουργίες, καθώς οι μηχανές στο χώρο εργασίας γίνονται πιο έξυπνες και διασυνδεδεμένες.

Οι Nahavandi et al., [58], παρείχαν ορισμένες πρακτικές συνέπειες ως προς το πώς θα μπορούσε να υλοποιηθεί η πέμπτη βιομηχανία και τον αντίκτυπό της από πλευράς παραγωγικότητας και οικονομίας. Αυτή η μελέτη περιλαμβάνει επίσης τις τεχνολογίες ενεργοποίησης για τη Βιομηχανία 5.0 για τη διαλειτουργικότητα δεδομένων δικτυωμένων αισθητήρων, την προσομοίωση πολλαπλών κλιμάκων και τη δυναμική μοντελοποίηση, την παρακολούθηση παραγωγής, την εικονική εκπαίδευση, τα αυτόνομα συστήματα και τη γνώση μηχανών. Πρότειναν επίσης ότι τα καθήκοντα των cobots στην πέμπτη

βιομηχανία θα είναι να αναλύσουν την ανθρώπινη πρόθεση πριν από την ανάλυση της ίδιας της εργασίας, προτείνοντας ότι τα robots πρέπει να καταλάβουν πότε ο συνεργαζόμενος άνθρωπος χρειάζεται βοήθεια. Η μελέτη υποδηλώνει ότι δεν είμαστε ακόμα κοντά στην εφαρμογή της Βιομηχανίας 5.0 καθώς αρκετοί ηγέτες του κλάδου εξακολουθούν να πιστεύουν στην ιδεολογία της Βιομηχανίας 4.0. Ωστόσο, εξήχθη το συμπέρασμα ότι η πέμπτη γενιά θα δημιουργήσει θέσεις εργασίας στον τομέα της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής. Ο Cary Sherburne, [59], πρότείνει την πιθανή χρήση της Βιομηχανίας 5.0 στην κλωστοϋφαντουργία. Η ποιοτική έρευνά τους παρέχει τη βάση για τη χρήση των χαρακτηριστικών της Βιομηχανίας 5.0 σε λύσεις υπολογιστών που τελικά θα οδηγήσουν στην υλοποίησή της στην κλωστοϋφαντουργία αρκετά σύντομα.

Άλλες εφαρμογές της Βιομηχανίας 5.0

Εκπαίδευση: Η εκπαίδευση θεωρείται απαραίτητη αναγκαιότητα και ο ακρογωνιαίος λίθος για τις μεταρρυθμίσεις κάθε χώρας. Ως αντίδραση στις εξελίξεις τόσο στον πολιτισμό όσο και στις επιχειρήσεις, η εκπαίδευση εξελίσσεται, δημιουργώντας τους πολύτιμους πνευματικούς πόρους που χρειάζονται οι επιχειρήσεις στο μέλλον για να επιτύχουν. Η εκπαίδευση στη Βιομηχανία 4.0 ήταν πιο τεχνολογικά προσανατολισμένη, δηλαδή ελαχιστοποιώντας την ανθρώπινη συμμετοχή και δίνοντας προτεραιότητα στις μηχανές, αλλά με την 5.0 το κίνητρο είναι να δημιουργηθεί μια συνέργεια μεταξύ αυτόνομων μηχανών και ανθρώπων. Το δίδυμο των ισχυρών μηχανών σε συνδυασμό με καλύτερα εκπαιδευμένους ειδικούς θα προωθήσει μια αποτελεσματική, βιώσιμη και ασφαλή παραγωγή. Η Βιομηχανία 5.0 θα φέρει τον ρόλο του "Lead Robotics Officer". Αυτό το άτομο ειδικεύεται στην αλληλεπίδραση μηχανής-χειριστή και έχει επίσης εμπειρία σε τομείς όπως τη ρομποτική και την τεχνητή νοημοσύνη. Η θέση του στον οργανισμό απαιτεί τη λήψη αποφάσεων και αυτό είναι δυνατό μόνο με τις δεξιότητες εκπαίδευσης στη Βιομηχανία 5.0, δηλαδή τη συγχώνευση τεχνολογικής επικοινωνίας και ηγεσίας.

Ανθρώπινα-κυβερνο-φυσικά συστήματα: Η τέταρτη βιομηχανία επικεντρώθηκε στην παροχή διεπαφής σε πραγματικό χρόνο μεταξύ φυσικών και εικονικών φαινομένων,

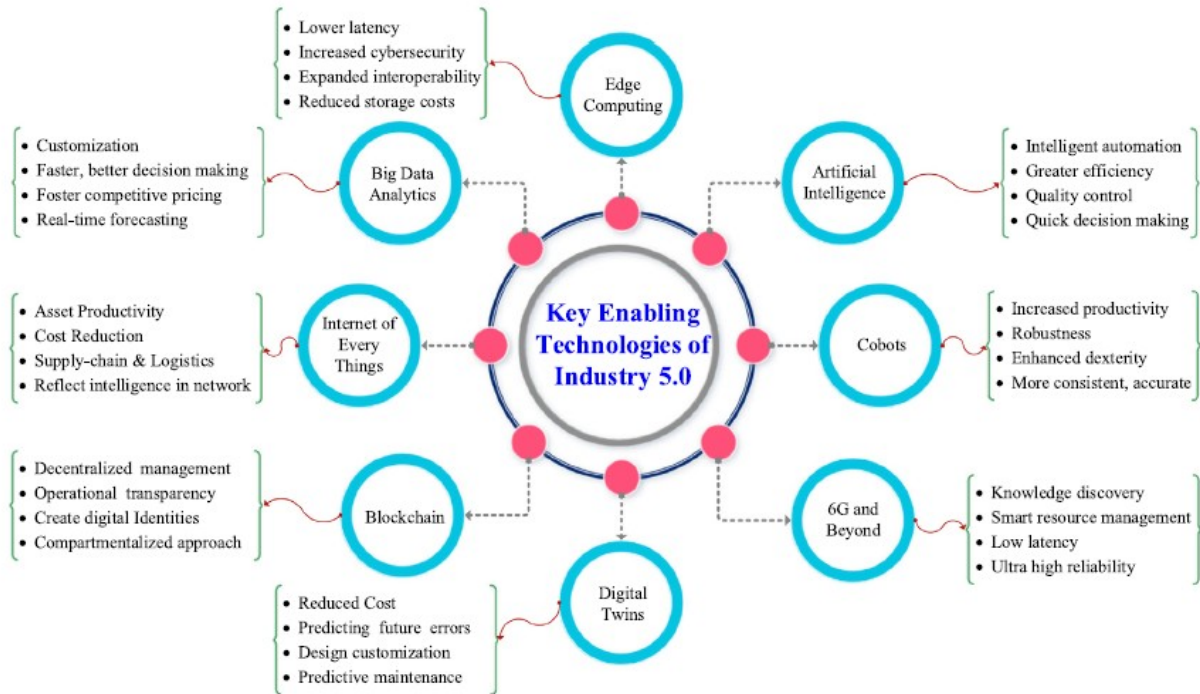
αξιοποιώντας παράλληλα την έννοια του υπολογιστικού σύννεφου και του IoT. Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση υποκινήθηκε από το σχέδιο στρατηγικής της γερμανικής κυβέρνησης με την πρόθεση να αξιοποιηθεί το καλύτερο και από τους δύο (φυσικούς και εικονικούς) κόσμους προκειμένου να μεταμορφωθεί η παραγωγή. Το κρίσιμο ζήτημα στη Βιομηχανία 4.0 είναι η αμέλεια του ανθρώπινου κόστους στη διαδικασία βελτιστοποίησης και βελτίωσης της απόδοσης. Οι αναλυτές εικάζουν ότι το εν λόγω πρόβλημα θα αυξηθεί και μπορεί να αντιμετωπίσει υψηλό βαθμό αντίστασης από πολιτικούς και εργατικά συνδικάτα καθώς προχωρά η Βιομηχανία 4.0. Η πέμπτη βιομηχανία έχει προταθεί έτσι ώστε οι προηγμένες τεχνολογίες να συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της απόδοσης, ενώ αντιμετωπίζεται η προαναφερθείσα πρόκληση. Οι Chen et al., [60], επικεντρώθηκαν στα συστήματα ανθρώπινου-κυβερνο-φυσικού για τη Βιομηχανία 5.0. Οι συγγραφείς πρότειναν τη χρήση ανθρώπινων κυβερνοφυσικών συστημάτων για μελλοντικές ανεμογεννήτριες. Αν και η μελέτη πρότεινε το μοντέλο σε εννοιολογικό επίπεδο, περιλαμβάνει τις βασικές τεχνολογίες όπως την παρακολούθηση της δομικής υγείας, τους μεταφραστές πληροφοριών και τα μοντέλα πρόβλεψης ζημιών που μπορούν να επιτευχθούν μέσω της ενσωμάτωσης του IoT και τεχνικών που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη.

Διαχείριση καταστροφών: Ένα ξαφνικό, ατυχές περιστατικό που βλάπτει ζωές ή περιουσίες είναι καταστροφή και οι στρατηγικές πρόληψης/ διαχείρισης του είναι αυτές που μας βοηθούν να μειώσουμε τις συνέπειες της καταστροφής. Μια βασική πτυχή οποιουδήποτε εταιρικού σχεδίου είναι η ανακούφιση από καταστροφές, αλλά εστιάζει μόνο σε βραχυπρόθεσμη βάση. Πολλά σχέδια αποκατάστασης από καταστροφές έχουν αναθεωρηθεί λόγω της εμφάνισης της πανδημίας COVID-19, η οποία πιθανώς φέρνει τη μακροπρόθεσμη ανθεκτικότητα ως πολιτική που αντικαθιστά τις στρατηγικές αποκατάστασης από καταστροφές. Οι Sukmono και Junaedi, [61], πρότειναν τη χρήση της πέμπτης βιομηχανικής επανάστασης στο πλαίσιο της διαχείρισης καταστροφών, συγκεκριμένα αυτή που συνέβη στην Ινδονησία το 2018 με μέγεθος σεισμού τα 7.0 ρίχτερ. Η ποιοτική τους μελέτη αποκάλυψε ότι η Βιομηχανία 4.0 αντιμετωπίζει περιορισμούς όσον αφορά τα συστήματα ανάκτησης και διαχείρισης καταστροφών. Επιπλέον, η ενσωμάτωση των ανθρώπων μαζί με την τεχνητή νοημοσύνη και το IoT

μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση των ζητημάτων που σχετίζονται με τον μετριασμό των καταστροφών. Επίσης, όχι μόνο οι σεισμοί αλλά και άλλες καταστροφές όπως η πανδημία μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά μέσω της συνεργασίας ανθρώπων και έξυπνων μηχανών.

Το 6G και άλλες τεχνολογίες που συνεισφέρουν

Αρκετές τεχνολογικές τάσεις, όπως το υπολογιστικό άκρο, τα ψηφιακά δίδυμα, το διαδίκτυο των πάντων, τα μεγάλα δεδομένα analytics, τα cobots, το 6G, η αλυσίδα εφοδιασμού, ο τεμαχισμός δικτύου, η εκτεταμένη πραγματικότητα (eXtended Reality - XR) και τα ιδιωτικά κινητά δίκτυα (Private Mobile Networks – PMNs), ενσωματώνονται με γνωστικές δεξιότητες και καινοτομία που μπορούν να βοηθήσουν τις βιομηχανίες να αυξήσουν την παραγωγή και να προσφέρουν προσαρμοσμένα προϊόντα πιο γρήγορα. Αυτές οι τεχνολογίες καθιστούν τη Βιομηχανία 5.0 ένα προηγμένο μοντέλο παραγωγής με έμφαση στην αλληλεπίδραση μεταξύ μηχανών και ανθρώπων. Οι έξυπνες μηχανές έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν συνεργατικά με ανθρώπους και αυτή η συλλογική εργασία κάνει τις ανθρώπινες δυνατότητες πιο παραγωγικές από ποτέ, και εξαιρετικά εύκολο να αυτοματοποιηθούν για ιδιώτες και μικρές επιχειρήσεις. Η Εικόνα 16 επισημαίνει βασικές τεχνολογίες ενεργοποίησης σε σχέση με τη Βιομηχανία 5.0.



Εικόνα 16: Τεχνολογίες ενεργοποίησης της Βιομηχανίας 5.0.

Ο Πίνακας 7 εξηγεί τον ρόλο των τεχνολογιών ενεργοποίησης στις εφαρμογές Βιομηχανίας 5.0.

Πίνακας 7: Ο ρόλος των τεχνολογιών ενεργοποίησης για τις εφαρμογές της Βιομηχανίας 5.0.

Τεχνολογίες ενεργοποίησης											
Εφαρμογές Βιομηχανίας 5.0	Υπολογιστικό	Ψηφιακά	Cobots	Διαδίκτυο των	AI	Μεγάλα	Αλυσίδα	6G and beyond	Τεμαχισμός	Εκτεταμένη	Ιδιωτικά κινητά
Έξυπνη υγεία	H	M	L	H	H	H	H	H	H	H	M
Κατασκευή σύννεφου	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	M
Διαχείριση αλυσίδας	M	L	L	H	H	H	H	H	L	L	L

εφοδιασμού											
Κατασκευή/ παραγωγή	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
Εκπαίδευση	H	M	L	M	M	M	M	H	H	H	M
Ανθρώπινα κυβερνοφυσικά συστήματα	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
Διαχείριση κατασκευών	H	M	M	H	H	H	M	H	M	H	M

Όπου H=High Utilization, M=Medium Utilization, L=Low Utilization.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, στην επόμενη υποενότητα εστιάζουμε στο 6G ως βασική τεχνολογία ενεργοποίησης της Βιομηχανίας 5.0.

6G and Beyond: τεχνολογία ενεργοποίησης στη Βιομηχανία 5.0

Η τεχνολογία 6G αναμένεται να επιφέρει μια νέα εποχή στις επικοινωνίες, με τη δυνατότητα να επηρεάσει σημαντικά τη Βιομηχανία 5.0. Οι επικοινωνίες έκτης γενιάς (6G) θα προσφέρουν υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, χαμηλότερες καθυστερήσεις, αυξημένη συνδεσιμότητα και νέες δυνατότητες που θα επηρεάσουν την παραγωγή, την καινοτομία και τη συνεργασία στη βιομηχανία.

- Υπερ-Συνδεδεμένη Παραγωγή: Το 6G θα ενεργοποιήσει τη Βιομηχανία 5.0 με τη δυνατότητα για υπερ-συνδεδεμένη παραγωγή, όπου οι συσκευές, οι αισθητήρες και οι μηχανές θα είναι ανεξάρτητα συνδεδεμένες, επιτρέποντας την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Για παράδειγμα, σε ένα εργοστάσιο στα πλαίσια της Βιομηχανίας 5.0, τα ρομπότ θα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους για να βελτιστοποιήσουν τις διαδικασίες παραγωγής με βάση τα πραγματικά δεδομένα αισθητήρων.
- Ενισχυμένη Τεχνητή Νοημοσύνη (AI): Το 6G θα επιτρέψει την ενίσχυση της τεχνητής νοημοσύνης στη Βιομηχανία 5.0, επιτρέποντας τη δημιουργία

προηγμένων συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης που μπορούν να λειτουργούν με ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια και αυτονομία. Για παράδειγμα, ένα εργοστάσιο μπορεί να χρησιμοποιεί ενισχυμένη τεχνητή νοημοσύνη για την ανίχνευση προβλημάτων στις μηχανές και την πρόβλεψη συντηρήσεων, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα και μειώνοντας τον χρόνο αδράνειας.

- Ενίσχυση της εικονικής πραγματικότητας και επαυξημένης πραγματικότητας: Το 6G θα δώσει ώθηση στην εικονική πραγματικότητα και την επαυξημένη πραγματικότητα στη Βιομηχανία 5.0, παρέχοντας νέες δυνατότητες όπως την εκπαίδευση εργαζομένων με εικονικά περιβάλλοντα ή την παρουσίαση επαυξημένων δεδομένων κατά τη διάρκεια της παραγωγής. Ένα παράδειγμα είναι η χρήση ενισχυμένης πραγματικότητας για την εκπαίδευση εργαζομένων σε περιβάλλοντα χωρίς κινδύνους και την προσομοίωση παραγωγικών διαδικασιών.
- Παγκόσμια διασύνδεση και επικοινωνία: Το 6G θα διαμορφώσει τη Βιομηχανία 5.0 σε ένα παγκόσμιο περιβάλλον, επιτρέποντας στις εταιρείες να επικοινωνούν και να συνεργάζονται αποτελεσματικά σε παγκόσμια κλίμακα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση υπερ-ταχείας επικοινωνίας και την παγκόσμια σύνδεση δικτύων, επιτρέποντας στις εταιρείες να συνεργαστούν σε πραγματικό χρόνο ανεξάρτητα από την γεωγραφική τους τοποθεσία.

Εν κατακλείδι, το 6G αναμένεται να επαναπροσδιορίσει τη Βιομηχανία 5.0, επιτρέποντας την ανάπτυξη της παραγωγής, την εξέλιξη της τεχνολογίας και την ενίσχυση της συνεργασίας σε νέα, προηγμένα επίπεδα.

Προκλήσεις

Παρά τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η Βιομηχανία 5.0, αντιμετωπίζει επίσης αρκετές προκλήσεις. Μερικές από τις πιο σημαντικές προκλήσεις της Βιομηχανίας 5.0, είναι οι εξής:

1) Αρχικό κόστος: Η Βιομηχανία 5.0 απαιτεί ένα σημαντικό ποσό δαπανών για την πλήρη εκτέλεση όλων των πυλώνων της, κάτι που είναι δύσκολο για τον κλάδο, ιδιαίτερα τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις, να επιτύχει.

2) Έλλειψη ακρίβειας: Για παράδειγμα, η Βιομηχανία 5.0 έχει πολλές δυνατότητες στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, αλλά απαιτεί μεγάλη ακρίβεια. Η έρευνα σε αυτόν τον τομέα βρίσκεται ακόμη σε αρχικό στάδιο και απαιτεί σημαντικές επενδύσεις και υποδομές.

3) Απαιτήσεις τεχνολογίας: Αυτό αποτελεί πρόκληση για τις νεοφυείς επιχειρήσεις και τους επιχειρηματίες, καθώς η Βιομηχανία 5.0 απαιτεί σημαντικό όγκο επενδύσεων και υποδομών, καθώς και απαιτήσεις τελευταίες τεχνολογίες (π.χ. IoT, ψηφιακά δίδυμα, αλυσίδα εφοδιασμού, cobots κλπ).

4) Χάσμα δεξιοτήτων: Αυτή η τάση επιδεινώνει την πόλωση των θέσεων εργασίας, καθώς η απασχόληση μεσαίας ειδίκευσης μειώνεται και το εργατικό δυναμικό χωρίζεται σε δύο ομάδες: υψηλά εκπαιδευμένο και εξειδικευμένο προσωπικό και χαμηλόμισθους και ανειδίκευτους εργαζόμενους. Αυτό μπορεί να συμβάλει στη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ των ειδικευμένων και των ανειδίκευτων στην κοινωνία.

5) Απαίτηση για εκπαίδευση: Λόγω των άκρως αυτοματοποιημένων συστημάτων παραγωγής, η ανάπτυξη δεξιοτήτων είναι ένα τεράστιο έργο που περιλαμβάνει την εκπαίδευση των εργαζομένων για να υιοθετήσουν προηγμένες τεχνολογίες π.χ. IoT, ψηφιακά δίδυμα, αλυσίδα εφοδιασμού, cobots κλπ) καθώς και την πρόκληση αλλαγών συμπεριφοράς για αλληλεπίδραση μαζί τους.

6) Ρίσκο: Η συνεργατική ρομποτική είναι ένας τύπος τεχνολογίας που, μαζί με τους ανθρώπινους συναδέλφους, ενέχει σημαντικό κίνδυνο στον ίδιο εργοστασιακό χώρο.

7) Ενοποίηση δεδομένων: Είναι δύσκολο να αποκτηθούν δεδομένα υψηλής ποιότητας και ακεραιότητας από βιομηχανικά συστήματα και είναι επίσης δύσκολο να ενσωματωθούν πολλές πηγές δεδομένων.

8) Ρυθμιστικό σύστημα: Λόγω του υψηλού επιπέδου αυτοματισμού στη Βιομηχανία 5.0, είναι δύσκολο να αναπτυχθούν ρυθμιστικά συστήματα. Για παράδειγμα, ποιος πρέπει να λογοδοτήσει και σε ποιο βαθμό σε περίπτωση αποτυχίας.

9) Προσαρμογή διαδικασιών: Η παλιά στρατηγική της εταιρείας και τα επιχειρηματικά μοντέλα πρέπει να προσαρμοστούν ώστε να ταιριάζουν με τις απαιτήσεις της Βιομηχανίας 5.0 λόγω του μεγαλύτερου βαθμού αυτοματοποίησης στις βιομηχανίες.

10) Μαζική εξατομίκευση: Ως αποτέλεσμα της μαζικής εξατομίκευσης, η στρατηγική της εταιρείας θα γίνει πιο πελατοκεντρική. Η υποκειμενικότητα των πελατών μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, καθιστώντας δύσκολη την τακτική προσαρμογή των εταιρικών στρατηγικών και μοντέλων.

11) Ασφάλεια και ιδιωτικότητα: Μία από τις πιθανές προκλήσεις είναι η ασφάλεια. Καθώς προχωράμε προς πιο ψηφιοποιημένη υπολογιστική, η ευπάθεια ασφαλείας πρέπει να διασταυρωθεί κατά τον ετερογενή χειρισμό δεδομένων και τη χρήση υπηρεσιών σύννεφου για ποικίλη διαχείριση δεδομένων χρηστών και βιομηχανικών δεδομένων. Επίσης, οι συναλλαγές δεδομένων που απαιτούν ιδιωτικότητα, η ιδιωτικότητα στη συσσώρευση δεδομένων και τα ηθικά ζητήματα πρέπει να εξετάζονται κατά την προσφορά εξατομικευμένων και πιο προγνωστικών υπηρεσιών στον πελάτη.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Διαπιστώνεται αναμφιβόλως πως το επερχόμενο 6G θα επιφέρει σημαντικό αντίκτυπο στην παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη, δημιουργώντας νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες που δεν θα ήταν προηγουμένως δυνατές με την παρούσα τεχνολογία 5G και τα δίκτυα προηγούμενων γενιών. Η τεχνολογία αναδεικνύεται ως θεμελιώδες στοιχείο για την πραγματοποίηση του μεταπλανητικού χώρου, υπόσχοντας να φέρει τη νοημοσύνη πιο κοντά στον χρήστη και να δημιουργήσει γέφυρες μεταξύ φυσικών και εικονικών χώρων για τη δημιουργία νέων περιπτώσεων χρήσης. Συνεπώς, η βιομηχανία πρέπει να βελτιστοποιήσει τις λειτουργίες της και τον επιχειρηματικό σχεδιασμό των μελλοντικών προϊόντων και υπηρεσιών.

Για την υλοποίηση αυτής της προοπτικής, το 6G πρέπει να θεμελιώσει πολλές τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων υπολογιστών, της τεχνητής νοημοσύνης και των τηλεπικοινωνιών. Αυτές οι τεχνολογίες πρέπει να συνεργαστούν για να επιφέρουν δομικές αλλαγές στον τρόπο σχεδιασμού της κινητής υποδομής. Η υποδομή του 6G πρέπει να επινοήσει νέα αρχιτεκτονικά πρότυπα, αντίθετα από τις προηγούμενες γενιές, που επικεντρώνονταν κυρίως στις λειτουργίες των κυψελωτών τηλεπικοινωνιών. Η ολοκληρωμένη προσέγγιση του 6G προβλέπει λύσεις σε κρίσιμες αδυναμίες του κλάδου, επιτυγχάνοντας πλήρως το ψηφιακό μετασχηματισμό της βιομηχανίας και τη δημιουργία προς το metaverse. Απαιτείται, ωστόσο, ένας σημαντικός αριθμός καινοτομιών σε τομείς όπως η ασφάλεια, η ενορχήστρωση από άκρο σε άκρο, η αυτοματοποίηση και άλλοι τεχνικοί τομείς για την υλοποίηση του εν λόγω οράματος, [9].

Η ανάπτυξη των δικτύων 6G αναμένεται να υποστηρίξει νέες ζώνες φάσματος, επιτρέποντας τη σύγκλιση των εξελίξεων σε όλο το δίκτυο. Οι προκλήσεις περιλαμβάνουν την κατασκευή ραδιοφώνων και κυκλωμάτων ραδιοσυχνοτήτων σε υπο-terahertz ζώνες, ενώ παραμένει κρίσιμο το θέμα της ισορροπίας μεταξύ απόδοσης, συσκευασίας και κόστους. Οι επικοινωνίες πρέπει να παρέχουν χαμηλές καθυστερήσεις,

και οι εξελίξεις στη διεπαφή αέρα, το δίκτυο ραδιοπρόσβασης και τα δίκτυα μεταφορών παίζουν καίριο ρόλο.

Η βιομηχανία προετοιμάζεται για να ανταποκριθεί σε αυτές τις προκλήσεις, με υπερκλιμάκωση, προμηθευτές υποδομών, τηλεπικοινωνιακούς φορείς και παρόχους περιεχομένου να ευθυγραμμίζονται προς τις δυνατότητες των δικτύων 5G και 6G. Αυτή η ευθυγράμμιση αποτελεί ήδη μέρος της εξέλιξης των προτύπων 5G, που χαρακτηρίζουν το 6G ως το δίκτυο δικτύων και βάση για τη σύγκλιση πολλών τεχνολογιών. Τα πρότυπα 5G επόμενης γενιάς αναμένεται να υποστηρίξουν περισσότερες λειτουργίες τεχνητής νοημοσύνης και υπολογιστών, προωθώντας την αυτοματοποίηση και τη βελτιστοποίηση των πόρων του δικτύου. Οι μελλοντικές εκδόσεις 5G θα παρέχουν υποστήριξη σε υπηρεσίες επαυξημένης και εκτεταμένης πραγματικότητας, προσεγγίζοντας περαιτέρω το όραμα του metaverse, [42].

Διεξοδικότητα του 6G στις επιχειρήσεις

Στον τομέα των ασύρματων και κινητών επικοινωνιών, η Ευρώπη βρίσκεται σε ισχυρή θέση ως βάση των τηλεπικοινωνιακών υποδομών. Δύο κολοσσοί, η Ericsson και η Nokia, αντιπροσωπεύουν το 30,4% της παγκόσμιας αγοράς και ηγούνται στην παγκόσμια τυποποίηση των τηλεπικοινωνιών. Παρόλα αυτά, υπάρχουν σημαντικά θέματα που μπορεί να επηρεάσουν την ευρωπαϊκή ηγεσία στον τομέα του 6G, όπως η έλλειψη θέσης στις καταναλωτικές συσκευές, η έλλειψη ευρωπαϊκών παρόχων υπηρεσιών, η απουσία μιας πραγματικά κοινής αγοράς υπηρεσιών δικτύου και η έλλειψη συνεργασίας μεταξύ εταιρειών σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Αυτή η κατάσταση μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στον τομέα του 6G, όπου οι απαιτήσεις για συνδυασμό και ενσωμάτωση πολλών στοιχείων είναι κρίσιμες. Ωστόσο, η αυξανόμενη δυνατότητα προγραμματισμού του δικτύου και νέες περιπτώσεις χρήσης εκτός του 5G και 6G μπορεί να δημιουργήσουν ευκαιρίες για τις ευρωπαϊκές εταιρείες, ειδικά σε τομείς όπως η βιομηχανία.

Ωστόσο, υπάρχουν προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Η έλλειψη ευρωπαϊκών προμηθευτών για καταναλωτικές συσκευές, η έλλειψη ενιαίας αγοράς υπηρεσιών, και η έλλειψη συνεργασίας μπορεί να δημιουργήσουν ανισορροπίες στον

τομέα. Η Ευρώπη πρέπει να επενδύσει σε καινοτόμες τεχνολογίες και να προωθήσει τη συνεργασία μεταξύ των εταιρειών για να διασφαλίσει την ηγετική της θέση στον επερχόμενο κόσμο του 6G.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες κατέθεσαν έκκληση για ανάληψη δράσης προκειμένου να τερματιστεί η φτώχεια, να προστατευθεί ο πλανήτης, και να διασφαλιστεί ότι όλοι οι άνθρωποι θα απολαύσουν ειρήνη και ευημερία έως το 2030. Το κλειδί για την εκπλήρωση αυτών των στόχων είναι οι ψηφιακές υπηρεσίες, παραμένοντας ταυτόχρονα αναπόσπαστο μέρος της εξίσωσης.

Καταρχάς, η παγκόσμια βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των ψηφιακών υπηρεσιών είναι απαραίτητη για την επίτευξη της βιωσιμότητας και της ουδετερότητας των εκπομπών άνθρακα. Πρέπει να υιοθετηθούν ολιστικές προσεγγίσεις πέρα από τη μεμονωμένη ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης των διαφόρων στοιχείων λογισμικού και υλικού δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική τους αλληλεξάρτηση. Δεύτερον, η ελέγχουσα αύξηση της κυκλοφορίας δεδομένων λόγω του 5G απαιτεί προσεκτικό έλεγχο για να μην θέσει σε κίνδυνο τις προσπάθειες μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης.

Επομένως, η προσέγγιση προς τη μετριοπάθεια στην παραγωγή και κατανάλωση υπηρεσιών, υλικών ή ενέργειας είναι απαραίτητη. Απαιτείται επίσης η ενσωμάτωση περιβαλλοντικών διακυβεύσεων σε όλα τα στάδια, από τη σύλληψη και την παραγωγή έως την εγκατάσταση, τη λειτουργία και την ανακύκλωση. Για τον σκοπό αυτό, πρέπει να καθοριστούν νέοι κοινωνικοί και περιβαλλοντικοί στόχοι και να υιοθετηθεί μια παγκόσμια στρατηγική, αμφισβητώντας τις ανάγκες και τη χρησιμότητα, συμπεριλαμβανομένης της ουδετερότητας του δικτύου.

Είναι αναγκαίο να επενδύσουμε στην εκπαίδευση και την ενίσχυση του ανθρώπινου δυναμικού, προσελκύοντας περισσότερους επαγγελματίες σε σχολές μηχανικών και προγράμματα υψηλού επιπέδου για τις αντίστοιχες τεχνολογίες. Επιπλέον, πρέπει να καταβληθούν προσπάθειες για την προσέλκυση φοιτητών και την ανάπτυξη τεχνικών ταλέντων, καθώς οι τομείς όπως η πληροφορική, οι τηλεπικοινωνίες, ο κυβερνοχώρος και η τεχνητή νοημοσύνη εξελίσσονται συνεχώς. Συνολικά, η Ευρώπη χρειάζεται

σημαντική συγκέντρωση πόρων σε παγκόσμιο επίπεδο για να ανταγωνιστεί τα μελλοντικά προϊόντα με δυνατότητα 6G σε διάφορους τομείς, ενισχυμένη από μια προληπτική προσαρμογή του κανονιστικού πλαισίου για τη δημιουργία στρατηγικών και επιχειρηματικών ευκαιριών στην ΕΕ, [43].

Χρονοδιάγραμμα του 6G

Οι αρχικές προσπάθειες για τον προσδιορισμό των επερχόμενων αναγκών υπηρεσιών για τη δεκαετία που έρχεται, όπως αυτές που παρουσιάστηκαν από την ITU-T με το Focus Group Network, έχουν προσδιορίσει τα εξελικτικά βήματα πέρα από τα τρέχοντα δίκτυα 5G. Επιπλέον, αναπτύσσονται επιλύσεις που ξεπερνούν το 5G, πλαισιωμένες από δραστηριότητες έρευνας και καινοτομίας σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές. Παραδείγματα αποτελούν τα έργα που εγκρίθηκαν στην πρόσκληση ICT-52-2020 από το πρόγραμμα Horizon 2020, με το Hexa-X ως το εμβληματικό έργο. Αναμένεται ότι αυτά τα πρώιμα βήματα, σε συνδυασμό με άλλες βιομηχανικές πρωτοβουλίες όπως η NGMN, θα επηρεάσουν τους φορείς τυποποίησης που θα ωθήσουν την ανάπτυξη προηγμένων λύσεων 6G. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι η ITU-R έχει δημιουργήσει μια ομάδα για το IMT προς το 2030 και μετά IMT (towards 2030 and beyond - 6G) με στόχο να ολοκληρώσει το έργο της έως τις αρχές του 2024.

Σχετικά με την ανάπτυξη προτύπων 3GPP, υπάρχουν ήδη χαρακτηριστικά και δυνατότητες από υπάρχουσες λύσεις 5G που απαιτούν πλήρεις προδιαγραφές, και αναμένεται να ολοκληρωθούν στην επερχόμενη Έκδοση 3GPP 18, προς το τέλος του 2023. Οι επόμενες εκδόσεις, μέχρι τα μέσα της δεκαετίας, δηλαδή το 2025, αναμένεται να επικεντρωθούν στην εξέλιξη του 5G, ταυτόχρονα με την ανάλυση του 6G και, τελικά, στις κατάλληλες προδιαγραφές για το 6G. Στην Εικόνα 17 φαίνεται το πλάνο ανάπτυξης του 6G.



Εικόνα 17: Πλάνο ανάπτυξης 6G.

Προβλέπεται ότι τα πρώτα συστήματα 5G New Radio για τα μη επίγεια δίκτυα θα είναι λειτουργικά κατά τις αρχές του 2024. Κατόπιν, η μετάβαση από παλαιού τύπου και υπάρχοντα ιδιόκτητα πρωτόκολλα ραδιοφώνου, π.χ. βασισμένα σε DVB, προς αυτά της 3GPP θα διαρκέσει περίπου 5-10 χρόνια. Αντιθέτως, η χρήση πρωτοποριακών τεχνολογιών μη επίγειων δικτύων, περιλαμβάνοντας νέες ή μερικώς ανεξερεύνητες ζώνες συχνοτήτων (π.χ. >50 GHz και πέραν των THz), θα εκμεταλλεύονται μακροπρόθεσμα, δηλαδή μετά το 2025, [66].

Κόστος επένδυσης 6G

Είναι δύσκολο να παρέχεται ένα συγκεκριμένο ενδεικτικό κόστος για την υποδομή του 6G, καθώς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η γεωγραφική θέση, το είδος της υποδομής, ο όγκος των εργασιών, οι τεχνικές απαιτήσεις και άλλοι παράγοντες. Επιπλέον, οι εκτιμήσεις για το κόστος του 6G υποδομής είναι εξαιρετικά προκαταρκτικές, καθώς η τεχνολογία αυτή είναι ακόμα στα πρώτα στάδια ανάπτυξης και δεν υπάρχουν συγκεκριμένα σχέδια υλοποίησης.

Ωστόσο, μπορεί να αναμένεται ότι η ανάπτυξη της υποδομής του 6G θα απαιτήσει σημαντικές επενδύσεις λόγω των αναγκών για νέες τεχνολογίες, υψηλής επεξεργαστικής ισχύος, αναβαθμίσεις σε υπάρχουσα δίκτυα, και επέκταση των υποδομών μεταφοράς δεδομένων. Οι χώρες και οι εταιρείες που θα ηγηθούν στην εξέλιξη του 6G θα πρέπει να προετοιμαστούν για σημαντικές επενδύσεις που θα καλύψουν την έρευνα, την ανάπτυξη και την υλοποίηση της νέας τεχνολογίας.

Η Sue Rudd, Διευθύντρια, Πλατφόρμες Δικτύων και Υπηρεσιών στο TechInsights επισημαίνει ότι οι πάροχοι ενδέχεται να μην έχουν τη δυνατότητα να συμμετάσχουν πλήρως σε επενδύσεις 6G έως ότου ολοκληρωθεί η διαδικασία ολοκλήρωσης του 5G, κάτι που θα μπορούσε να είναι ένας παράγοντας για την ημερομηνία παράδοσης του 6G: «Παρά τις προσπάθειες να διατηρηθεί ο ρυθμός 3GPP κατά τη διάρκεια της πανδημίας, οι εκδόσεις 3GPP αρχίζουν να έρχονται αντιμέτωπες η μία με την άλλη στην αγορά – ειδικά εάν υπάρξει οικονομική επιβράδυνση τον επόμενο χρόνο. Η ανάπτυξη της έκδοσης 17 είναι πιθανό να επικαλύπτεται με την έκδοση 18 το 2024/25. Οι στενοί προϋπολογισμοί CAPEX θα δυσκολέψουν επίσης τους παρόχους να πραγματοποιήσουν επενδύσεις 6G προτού ολοκληρωθεί πλήρως το 5G με τις εκδόσεις 3GPP 19 και 20. Η έκδοση 21 – που είναι η επίσημη πρώτη έκδοση 6G – είναι πιθανό να καθοριστεί αρχικά το 2027 με περιορισμένη ανάπτυξη περίπου 24 μήνες αργότερα το 2029 και πραγματικές αναπτύξεις 6G σε εμπορική κλίμακα το 2030», [67].

Επιπλέον, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη ότι το κόστος θα μπορούσε να διακυμαίνεται σημαντικά με την πάροδο του χρόνου, καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και οι διαδικασίες κατασκευής και υλοποίησης γίνονται πιο αποδοτικές.

Ευκαιρίες και προκλήσεις του 6G με τη μηχανική μάθηση και τεχνητή νοημοσύνη

Σε αυτή την υποενότητα, παρουσιάζονται μελλοντικές ερευνητικές προκλήσεις και ανοιχτά προβλήματα στις επικοινωνίες 6G, AI και ML. **Συλλογή και Διαθεσιμότητα Πλούσιων Συνόλων Δεδομένων Πραγματικού Κόσμου:** Σύμφωνα με τους ερευνητές, το μεγαλύτερο μέρος των φουτουριστικών εφαρμογών ασύρματων επικοινωνιών θα βασίζεται στην τεχνολογία AI/ML. Αυτά τα μοντέλα απαιτούν τεράστια ποσότητα δεδομένων κατά τη φάση της εκπαίδευσης. Ωστόσο, τέτοια δημόσια διαθέσιμα σύνολα δεδομένων για ασύρματη επικοινωνία βρίσκονται ακόμη σε πρώιμο στάδιο κατασκευής τους. Επιπλέον, η ελεύθερη πρόσβαση τέτοιων συνόλων δεδομένων μπορεί να προκαλέσει ζητήματα όπως η προστασία δεδομένων και το απόρρητο των χρηστών. **Επικοινωνία Ολογραφικού Τύπου (Holographic Type Communication – HTC):** Τα αληθινά ολογράμματα, σε αντίθεση με τις τυπικές ταινίες 3D που χρησιμοποιούν

διόφθαλμη παράλλαξη, μπορεί να ανταποκρίνονται σε όλα τα οπτικά σήματα της αντίληψης τρισδιάστατων πραγμάτων με γυμνό μάτι όσο πιο φυσικά είναι εφικτό. Τα τελευταία χρόνια έχουν σημειωθεί σημαντικές εξελίξεις σε αυτή την τεχνολογία. Το HoloLens της Microsoft είναι ένα από τα καλύτερα παραδείγματα αυτού. Ωστόσο, η χρήση του HTC απαιτεί μεγαλύτερο εύρος ζώνης της τάξης των terabit ανά δευτερόλεπτο και απαιτεί επίσης εξαιρετικά χαμηλές καθυστερήσεις και συγχρονισμό υψηλής ακρίβειας. **Εκτεταμένη πραγματικότητα:** Αυτή η τεχνολογία είναι ένας συνδυασμός επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας και βρίσκεται στο αρχικό της στάδιο, με εκκίνηση στην εποχή της τεχνολογίας επικοινωνιών 5G. Προκειμένου να επιτευχθεί παρόμοια οπτική ποιότητα όπως η ροή βίντεο 2D, οι συσκευές εκτεταμένης πραγματικότητας με ορατό πεδίου 360 μοιρών θα απαιτούν σημαντικά μεγαλύτερη χωρητικότητα δεδομένων. Μια απαίτηση εύρους ζώνης άνω των 1.6Gbps ανά συσκευή είναι μια αρχική πρόβλεψη απαίτησης. **Εμπειρία πολλαπλών αισθήσεων:** Αν και οι άνθρωποι έχουν πέντε αισθήσεις, οι σύγχρονες επικοινωνίες βασίζονται αποκλειστικά σε οπτικά μέσα (κείμενο, εικόνα και βίντεο) και ηχητικά (ήχος, φωνή και μουσική) για να ανιχνεύσουν το περιβάλλον τους. Η χρήση της μυρωδιάς και της γεύσης για τη δημιουργία μιας πραγματικά καθηλωτικής εμπειρίας μπορεί να οδηγήσει σε νέα προϊόντα στους τομείς των τροφίμων και της κλωστοϋφαντουργίας. **Ψηφιακό Δίδυμο:** Χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μιας ακριβούς εικονικής αναπαραγωγής ενός φυσικού (ή πραγματικού) αντικειμένου. Το λογισμικοποιημένο δίδυμο περιλαμβάνει πολλά από τα χαρακτηριστικά, τις πληροφορίες και τις ιδιότητες του αρχικού αντικειμένου. Το δίδυμο χρησιμοποιείται στη συνέχεια για αυτόματη και έξυπνη αντιγραφή ενός αντικειμένου. Οι πρώτες ψηφιακές δίδυμες υλοποιήσεις τράβηξαν την περιέργεια ορισμένων κάθετων επιχειρήσεων και κατασκευαστών. Ωστόσο, με την εισαγωγή των δικτύων 6G, αναμένεται να αναπτυχθεί πλήρως. **Διάχυτη νοημοσύνη (pervasive intelligence):** Η εισαγωγή έξυπνων φορητών συσκευών μαζί με σύγχρονες τεχνικές επικοινωνίας όπως UAV, γυαλιά εικονικής πραγματικότητας - οι έξυπνες υπηρεσίες over-the-air προβλέπεται να αυξηθούν σε δημοτικότητα. Ωστόσο, η πλειονότητα αυτών των εξελιγμένων καινοτομιών πραγματοποιούνται με παραδοσιακά μέσα και είναι κατανοητό ότι θα έχουν ραγδαίες και άμεσες αλλαγές στο μέλλον.

Τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης με ένταση υπολογιστικότητας (computation intensive): Για την αντιμετώπιση προβλημάτων όπως η αποτελεσματική χρήση υπολογιστικότητας, ισχύος και αποθήκευσης σε φορητές συσκευές περιορισμένων πόρων, το δίκτυο 6G θα πρέπει να χρησιμοποιήσει νέες τεχνολογίες. Αυτές οι τεχνολογίες θα περιλαμβάνουν τη χρήση καταναμημένων υπολογιστικών πόρων και φορητών συσκευών άκρου για την προώθηση αποτελεσματικών στρατηγικών εκπαίδευσης ML και παρεμβολών. Επιπλέον, επιβάλλεται η χρήση του "Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)", της υπολογιστικής όρασης και της αναγνώρισης προσώπου και ομιλίας. Ένα ανθρωποειδές ρομπότ όπως ο Atlas από τη «Boston Dynamics» μπορεί να θεωρηθεί ως μελλοντικό πρωτότυπο αυτής της τεχνολογίας.

Απόρρητο και ασφάλεια: Η κβαντική κρυπτογραφία και η ασφάλεια φυσικού επιπέδου έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια. Ωστόσο, όλες αυτές οι εξελίξεις απαιτούν κατάλληλη έρευνα για να δικαιολογηθεί η χρησιμότητά τους στα δίκτυα επικοινωνίας 6G. Επιπλέον, ζητήματα σχετικά με την προστασία της ιδιωτικής ζωής έχουν αποκτήσει τεράστια προσοχή στη χρήση ML και AI στις ασύρματες επικοινωνίες. Η προστασία του απορρήτου κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκπαίδευσης μοντέλου είναι ένα δύσκολο ζήτημα, που θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω, [7].

Σύνοψη

Το μέλλον του 6G αναδεικνύεται ως ένα σημαντικό κεφάλαιο στην εξέλιξη των τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών, με αναμενόμενες επιπτώσεις σε πολλούς τομείς της κοινωνίας. Οι ανησυχίες και οι σκέψεις γύρω από το θέμα αυτό καλύπτουν πολλές διαστάσεις, από την οικονομία και την υγεία μέχρι την ιδιωτικότητα και την ασφάλεια.

Σε πρώτη φάση, η αναβάθμιση στο 6G φαίνεται να υπόσχεται ακόμα υψηλότερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων και χαμηλότερες καθυστερήσεις, προσφέροντας ένα νέο επίπεδο σύνδεσης μεταξύ συσκευών. Αυτό θα έχει σημαντικές επιδράσεις στην ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης, των αυτόνομων οχημάτων, και των συνδεδεμένων συσκευών, δημιουργώντας έναν εντελώς νέο ψηφιακό οικοσύστημα.

Ωστόσο, με την εξέλιξη αυτή έρχονται και πολλές ανησυχίες. Η πρώτη είναι η ανησυχία για την υγεία, καθώς οι ακτινοβολίες που σχετίζονται με τις ασύρματες τεχνολογίες έχουν καταστεί αντικείμενο συζητήσεων. Πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά οι επιπτώσεις της μακροχρόνιας έκθεσης σε αυτές τις ακτινοβολίες, και πρέπει να εφαρμοστούν αυστηρά πρότυπα ασφαλείας.

Άλλη σημαντική ανησυχία αφορά την ιδιωτικότητα. Η συνεχώς αυξανόμενη συνδεσιμότητα σημαίνει ότι όλο και περισσότερες πληροφορίες θα μοιράζονται μεταξύ συσκευών, δημιουργώντας την ανάγκη για πιο αυστηρά μέτρα προστασίας της ιδιωτικότητας. Είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι οι καταναλωτές έχουν πλήρη έλεγχο επί των προσωπικών τους δεδομένων και ότι υπάρχουν διαφανείς κανόνες σχετικά με τη συλλογή και τη χρήση αυτών των πληροφοριών.

Σε οικονομικό επίπεδο, το 6G αναμένεται να επηρεάσει τη δομή της αγοράς και να δημιουργήσει νέες ευκαιρίες απασχόλησης. Η ανάπτυξη νέων εφαρμογών και υπηρεσιών θα δημιουργήσει νέους τομείς εργασίας και θα απαιτήσει νέες δεξιότητες. Ωστόσο, παράλληλα, υπάρχει η ανησυχία για τον κίνδυνο της ψηφιακής ανισότητας, καθώς ορισμένες περιοχές ή ομάδες κατοίκων ενδέχεται να έχουν περιορισμένη πρόσβαση στα νέα αυτά δίκτυα.

Η ασφάλεια αποτελεί επίσης έναν σημαντικό παράγοντα που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Καθώς η συνδεσιμότητα αυξάνεται, το 6G αποτελεί έναν δυνητικό στόχο για κυβερνοεπιθέσεις. Είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν αποτελεσματικά συστήματα προστασίας και να εφαρμοστούν πρότυπα ασφαλείας που θα προστατεύουν τα δίκτυα και τις συνδεδεμένες συσκευές. Ο Πίνακας 8 και ο Πίνακας 9 αναδεικνύουν εν συντομία τα προαναφερθείσα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συνολικά.

Πίνακας 8: Σύνοψη πλεονεκτημάτων 6G.

Πλεονεκτήματα				Επεξήγηση
Υψηλή	Ταχύτητα	και	Χαμηλή	Προσφέρει ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και χαμηλότερες
Καθυστέρηση				

	καθυστερήσεις.
Ανάπτυξη Τεχνητής Νοημοσύνης και IoT	Συνδέει άρρηκτα συσκευές και δημιουργεί τη βάση για προηγμένες εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης και IoT.
Αυξημένη Ευελιξία και Αξιοπιστία Δικτύου	Παρέχει ευελιξία στη σύνδεση διαφόρων συσκευών και εξασφαλίζει υψηλή αξιοπιστία του δικτύου.
Αναγκαία Υποδομή για Νέες Τεχνολογίες	Δημιουργεί τη βάση για την υλοποίηση νέων τεχνολογιών, όπως επικοινωνία με υψηλή ευφύια και αυτοκίνηση.
Ανάπτυξη Νέων Οικονομικών Ευκαιριών	Δημιουργεί νέες αγορές, αυξάνει την ανταγωνιστικότητα επιχειρήσεων και δημιουργεί θέσεις εργασίας.

Πίνακας 9: Σύνοψη μειονεκτημάτων 6G.

Μειονεκτήματα	Επεξήγηση
Υγεία και Ασφάλεια	Αυξημένη ανησυχία για τις επιπτώσεις των υψηλών συχνοτήτων και ακτινοβολιών στην υγεία των ανθρώπων.
Ιδιωτικότητα	Αυξημένη συλλογή και ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συσκευών αυξάνει τους κινδύνους για παραβίαση της ιδιωτικότητας.
Ψηφιακή Ανισότητα	Κίνδυνος ότι οι περιοχές ή ομάδες κατοίκων με περιορισμένη πρόσβαση σε αυτές τις τεχνολογίες θα παραμείνουν

	πίσω.
Κυβερνοαπειλές και Ανεσφάλεια Δικτύου	Αυξημένος κίνδυνος για κυβερνοεπιθέσεις και απειλές ασφάλειας, καθώς η συνδεσιμότητα αυξάνεται.
Οικονομικές και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις	Απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε υποδομές και εξοπλισμό, ενώ μπορεί να προκαλέσει περιβαλλοντικές ανησυχίες.

Συνολικά, το μέλλον του 6G φέρνει προκλήσεις και ευκαιρίες. Η τεχνολογία αυτή αναμένεται να επανασχεδιάσει τον τρόπο που ζούμε και εργαζόμαστε, ενώ παράλληλα θέτει ερωτήματα σχετικά με την υγεία, την ιδιωτικότητα, την ασφάλεια και την κοινωνική δικαιοσύνη. Η ανάπτυξη και η εφαρμογή του 6G απαιτούν προσεκτική διαχείριση και συνεργασία μεταξύ των εταιρειών, των κυβερνήσεων και των κοινοτήτων προκειμένου να διασφαλιστεί η βιώσιμη και ανθρώπινη ανάπτυξη.

Βιβλιογραφία

- 1 Wikipedia, 5G: <https://en.wikipedia.org/wiki/5G>
- 2 An imperative role of 6G communication with perspective of industry 4.0: Challenges and research directions": <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213138823000395>
- 3 P. K. R. Maddikunta, Q.-V. Pham, B. Prabadevi, N. Deepa, K. Dev, T. R. Gadekallu, R. Ruby, M. Liyanage, "Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications", *Journal of Industrial Information Integration* 26, 2022, 100257.
- 4 T. B. Ahammed, R. Patgiri, N. Sabuzima, "A vision on the artificial intelligence for 6G communication", *ScienceDirect, ICT Express* 9, 2023, pp. 197–210.
- 5 P. R. Singh, V. K. Singh, R. Yadav, S. N. Chaurasia, "6G networks for artificial intelligence-enabled smart cities applications: A scoping review", *Telematics and Informatics Reports* 9 (2023) 100044.
- 6 Jahid, M. H. Alsharif, T. J. Hall, "The convergence of blockchain, IoT and 6G: Potential, opportunities, challenges and research roadmap", *Journal of Network and Computer Applications* 217 (2023) 103677.
- 7 Banga, K. K. Kamal, P. Joshi, K. Bhatiab, "6G: The Next Giant Leap for AI and ML", *Procedia Computer Science* 218 (2023) 310–317.
- 8 C. -X. Wang et al., "On the Road to 6G: Visions, Requirements, Key Technologies, and Testbeds," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 25, no. 2, pp. 905-974, Second quarter 2023, doi: 10.1109/COMST.2023.3249835.
- 9 F. Tang, X. Chen, M. Zhao, N. Kato, "The Roadmap of Communication and Networking in 6G for the Metaverse," in *IEEE Wireless Communications*, vol. 30, no. 4, pp. 72-81, August 2023, doi: 10.1109/MWC.019.2100721.

- 10 M. Q. Khan, A. Gaber, P. Schulz, and G. Fettweis, "Machine learning for millimeter wave and terahertz beam management: A survey and open challenges," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 11 880–11 902, 2023.
- 11 M. Ashwin, A. S. Alqahtani, A. Mubarakali, and B. Sivakumar, "Efficient resource management in 6g communication networks using hybrid quantum deep learning model," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 106, p. 108565, 2023.
- 12 H. Lee, B. Lee, H. Yang, J. Kim, S. Kim, W. Shin, B. Shim, and H. V. Poor, "Towards 6g hyper-connectivity: Vision, challenges, and key enabling technologies," *arXiv preprint arXiv:2301.11111*, 2023.
- 13 J. Jeon et al., "MIMO Evolution toward 6G: Modular Massive MIMO in Low-Frequency Bands," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 59, no. 11, pp. 52-58, November 2021, doi: 10.1109/MCOM.211.2100164.
- 14 X. You, et al., "Towards 6G wireless communication networks: vision, enabling technologies, and new paradigm shifts", *Sci. China Life Sci.* 64 (1), January 2021, Science in China Press, doi: 10.1007/s11432-020-2955-6.
- 15 Z. Zhang, et al., "6G wireless networks: vision, requirements, architecture, and key technologies", *IEEE Veh. Technol. Mag.* 14 (3), September 2019, pp. 28–41, doi: 10.1109/MVT.2019.2921208.
- 16 B. Zong, C. Fan, X. Wang, X. Duan, B. Wang, J. Wang, "6G technologies: key drivers, core requirements, system architectures, and enabling technologies", *IEEE Veh. Technol. Mag.* 14 (3), September 2019, pp. 18–27, doi: 10.1109/MVT.2019.2921398.
- 17 L. Zhang, Y. C. Liang, D. Niyato, "6G visions mobile ultra broadband, super internet-of-things, artificial intelligence, *China Commun*, 2019, pp. 1–14.
- 18 S.J. Nawaz, S.K. Sharma, S. Wyne, M.N. Patwary, M. Asaduzzaman, "Quantum machine learning for 6G communication networks: state-of-the-art and vision for the future", *IEEE Access* 7, 2019, pp. 46317–46350, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2909490.

- 19 X. Zhu, C. Jiang, "Integrated satellite-terrestrial networks toward 6G: architectures, applications, and challenges", *IEEE Internet Things J.* 9 (1), January 2022, pp. 437–461, doi: 10.1109/JIOT.2021.3126825.
- 20 K.P. Jadhav, A. Mahor, A. Bhowmick, A. N, "A detailed review on non-orthogonal multiple access based spatial modulation systems", *Int. J. Pervasive Comput. Commun.* 16 (2), May 2020, pp. 143–164, doi: 10.1108/IJPCC-10-2019-0078.
- 21 J. Wang, C. Jiang, H. Zhang, Y. Ren, K. Chen, L. Hanzo, "Thirty years of machine learning: The road to Pareto-optimal wireless networks", *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, 2020.
- 22 Y. Liu, S. Bi, Z. Shi, L. Hanzo, "When machine learning meets big data: A wireless communication perspective", *IEEE Veh. Technol. Mag.* 15 (1), 2020, pp. 63–72.
- 23 H. Viswanathan, P.E. Mogensen, "Communications in the 6G era", *IEEE Access* 8, 2020, pp. 57063–57074.
- 24 A. Zappone, M. Di Renzo, M. Debbah, "Wireless networks design in the era of deep learning: Model-based, AI-based, or both?", *IEEE Trans. Commun.* 67 (10), 2019, pp. 7331–7376.
- 25 Y. Sun, J. Liu, J. Wang, Y. Cao, N. Kato, "When machine learning meets privacy in 6G: A survey", *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, 2020, 1.
- 26 S. Nayak, R. Patgiri, "6G communication technology: A vision on intelligent healthcare, in: *Health Informatics: A Computational Perspective in Healthcare*", Springer, Singapore, ISBN: 978-981-15-9734-3, 2021, pp. 1–18, http://dx.doi.org/10.1007/978-981-15-9735-0_1
- 27 K.B. Letaief, W. Chen, Y. Shi, J. Zhang, Y.A. Zhang, "The roadmap to 6G: AI empowered wireless networks", *IEEE Commun. Mag.* 57 (8), 2019, pp. 84–90.
- 28 C. Sergiou, M. Lestas, P. Antoniou, C. Liaskos, A. Pitsillides, "Complex systems: A communication networks perspective towards 6G", *IEEE Access* 8, 2020, pp. 89007–89030, <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2993527>

- 29 W. Saad, M. Bennis, M. Chen, "A vision of 6G wireless systems: Applications, trends, technologies, and open research problems", *IEEE Netw.* 34 (3), 2020, pp. 134–142.
- 30 M.H. Alsharif, A.H. Kelechi, M.A. Albreem, S.A. Chaudhry, M.S. Zia, S. Kim, "Sixth generation (6G) wireless networks: Vision, research activities, challenges and potential solutions", *Symmetry* 12 (4), 2020, pp. 676.
- 31 M.J. Piran, D.Y. Suh, "Learning-driven wireless communications, towards 6G", 2019, arXiv:1908.07335.
- 32 N.C. Luong, D.T. Hoang, S. Gong, D. Niyato, P. Wang, Y. Liang, D.I. Kim, Applications of deep reinforcement learning in communications and networking: A survey, *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 21 (4), 2019, pp. 3133–3174.
- 33 One6G, "Taking communications to the next level: 6G & Robotics" (2023): <https://one6g.org/resources/publications/>
- 34 Awe Robotics, "Emotional Intelligence in Robots – Advancing Human-Robot Interactions": <https://www.awerobotics.com/emotional-intelligence-in-robots-advancing-human-robot-interactions/>
- 35 Y. Liu, X. Yuan, Xingliang, Z. Xiong, J. Kang, X. Wang, D. Niyato, "Federated Learning for 6G Communications: Challenges, Methods, and Future Directions", 2020, 10.13140/RG.2.2.17652.99205.
- 36 S. Dang, O. Amin, B. Shihada, & M.S. & Alouini, "From a Human-Centric Perspective: What Might 6G Be?", *Networking and Internet Architecture*, arXiv, 2019.
- 37 E. Calvanese Strinati et al., "6G: The Next Frontier: From Holographic Messaging to Artificial Intelligence Using Subterahertz and Visible Light Communication", *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 14, no. 3, pp. 42-50, Sept. 2019.
- 38 G. Barb and M. Otesteanu, "4G/5G: A Comparative Study and Overview on What to Expect from 5G," 2020 43rd International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), Milan, Italy, 2020, pp. 37-40.
- 39 3GPP, Release 17: <https://www.3gpp.org/release-17>

- 40 M. Giordani, M. Polese, M. Mezzavilla, S. Rangan, and M. Zorzi, "Toward 6G networks: Use cases and technologies," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 58, no. 3, pp. 55–61, Mar. 2020.
- 41 A. T. Jawad, R. Maaloul, L. Chaari, "A comprehensive survey on 6G and beyond: Enabling technologies, opportunities of machine learning and challenges", *Computer Networks*, Volume 237, 2023, 110085, ISSN 1389-1286, <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2023.110085>
- 42 M. Saadi, " 6G: the network of technology convergence", *ABiresearch*, February 2022.
- 43 The 5G Infrastructure Association, "European Vision for the 6G Network Ecosystem", Version 1, June 2021.
- 44 T. S. Rappaport et al., "Wireless Communications and Applications Above 100 GHz: Opportunities and Challenges for 6G and Beyond", in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 78729- 78757, 2019.
- 45 I. F. Akyildiz, A. Kak and S. Nie, "6G and Beyond: The Future of Wireless Communications Systems", in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 133995-134030, 2020.
- 46 S. Bhatta, "12 Pros and Cons of 6G" (2022): <https://realproscons.com/pros-and-cons-of-6g/>
- 47 analyticsinsight.net, "Top Five Best Domestic Robotics Applications in Smart Cities" (2022): <https://www.analyticsinsight.net/top-five-best-domestic-robotics-applications-in-smart-cities/>
- 48 K. J. Macleish, "Mapping the integration of artificial intelligence into telecommunications", *IEEE journal on selected areas in communications*, 1988, 6(5), 892-898.
- 49 C. Muller, E. H. Magill, P. Prosser, & D. G. Smith, "Artificial intelligence in telecommunications", *Global Telecommunications Conference*, 1993.
- 50 V. Seshadri, Guest Editor, "AI in telecommunications", *IEEE Intelligent Systems*, 1996, (1), 36.

- 51 A. Μαργέτης, "Εφαρμογές της Μηχανικής Μάθησης και της Τεχνητής Νοημοσύνης σε δίκτυα 5G", Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, ΕΚΠΑ, Μάιος 2021.
- 52 automation-fair.com, "Mitsubishi Electric at Interpack: chocolate box of robotic automation" (March 2023): <https://www.automation-fair.com/mitsubishi-electric-interpack-chocolate-box-robotic-automation/>
- 53 M. Javaid, A. Haleem, R.P. Singh, M.I.U. Haq, A. Raina, R. Suman, "Industry 5.0: Potential applications in COVID-19", *J. Ind. Integr. Manag.* (2020).
- 54 I. Priadythama, L. Herdiman, S. Susmartini, "Role of rapid manufacturing technology in wearable customized assistive technology for modern industry", *AIP Conf. Proc.* 2217 (1) (2020) 030076.
- 55 H. Akbaripour, M. Houshmand, T. Van Woensel, N. Mutlu, "Cloud manufacturing service selection optimization and scheduling with transportation considerations: Mixed-integer programming models", *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 95 (1–4) (2018) 43–70.
- 56 T. Defraeye, G. Tagliavini, W. Wu, K. Prawiranto, S. Schudel, M.A. Kerisima, P. Verboven, A. Bühlmann, "Digital twins probe into food cooling and biochemical quality changes for reducing losses in refrigerated supply chains", *Resour. Conserv. Recy.* 149 (2019) 778–794.
- 57 J.A. Marmolejo-Saucedo, "Design and development of digital twins: a case study in supply chains", *Mob. Netw. Appl.* (2020) 1.
- 58 S. Nahavandi, "Industry 5.0 a human centric solution", *Sustainability* 11 (2019) 4371.
- 59 C. Sherburne, "Textile industry 5.0? Fiber computing coming soon to a fabric near you", *AATCC Rev.* 20 (6) (2020) 25–30.
- 60 X. Chen, M.A. Eder, A. Shihavuddin, "A concept for human-cyber-physical systems of future wind turbines towards industry 5.0", 2020, URL <http://dx.doi.org/10.36227/techrxiv.13106108.v1>.
- 61 F.G. Sukmono, F. Junaedi, "Towards industry 5.0 in disaster mitigation in lombok island", *Indonesia, J. Stud. Komun.* 4 (3) (2020) 553–564.

- 62 N. Deepa, B. Prabadevi, P.K. Maddikunta, T.R. Gadekallu, T. Baker, M.A. Khan, U. Tariq, "An AI-based intelligent system for healthcare analysis using ridge-adaline stochastic gradient descent classifier", *J. Supercomput.* (2020).
- 63 T. Reddy, S. Bhattacharya, P.K.R. Maddikunta, S. Hakak, W.Z. Khan, A.K. Bashir, A. Jolfaei, U. Tariq, "Antlion re-sampling based deep neural network model for classification of imbalanced multimodal stroke dataset", *Multimedia Tools Appl.* (2020) 1–25.
- 64 A. Haleem, M. Javaid, "Additive manufacturing applications in industry 4.0: a review", *J. Ind. Integr. Manag.* 4 (04) (2019) 1930001.
- 65 A. Majeed, Y. Zhang, S. Ren, J. Lv, T. Peng, S. Waqar, E. Yin, "A big datadriven framework for sustainable and smart additive manufacturing", *Robot. Comput.-Integr. Manuf.* 67 (2020) 102026.
- 66 NGMN, "NGMN Board has launched a project focusing on the Vision and Drivers for 6G": <https://www.ngmn.org/ngmn-news/press-release/ngmn-board-has-launched-a-project-focussing-on-the-vision-and-drivers-for-6g.html>
- 67 A. Wooden, " What is 6G? " (2023): <https://www.telecoms.com/5g-6g/what-is-6g->