



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
& ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΉ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΜΗΜΑ: ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Ασύρματα δίκτυα πέμπτης γενιάς (5G) και
εικονική πραγματικότητα

Γκούβελος Άγγελος

ΑΜ:1621

Επιβλέπων καθηγητής: Τζορμπατζόγλου Αντρέας, Επίκουρος Καθηγητής

ΑΡΤΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ, 2023

FIFTH GENERATION WIRELESS
NETWORKS (5G) AND VIRTUAL
REALITY

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Αρτα, 26/09/2023

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Άνδρεας Τζορμπατζόγλου

Επίκουρος Καθηγητής

2. Μέλος επιτροπής

Κωνσταντίνος Αγγέλης

Καθηγητής

3. Μέλος επιτροπής

Βασίλειος Χαριλόγης

Α

© Γκούβελος, Άγγελος, 2023.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ

"Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι είμαι αποκλειστικός συγγραφέας της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, για την ολοκλήρωση της οποίας κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις

πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάση επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής, γεγονός που σημαίνει αποτυχία στην Πτυχιακή μου Εργασία και κατά συνέπεια αποτυχία απόκτησης του Τίτλου Σπουδών, πέραν των λοιπών συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η Πτυχιακή Εργασία προετοιμάστηκε και ολοκληρώθηκε από εμένα προσωπικά και αποκλειστικά και ότι, αναλαμβάνω πλήρως όλες τις συνέπειες του νόμου στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δε μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας. Κλείνοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή ο οποίος με βοήθησε με συμβουλές και οδηγίες για ένα άρτιο αποτέλεσμα"

Όνομα και Επώνυμο Συγγραφέα : ΓΚΟΥΒΕΛΟΣ ΑΓΓΕΛΟΣ

Υπογραφή:



Ημερομηνία (Ημέρα – Μήνας – Έτος): 28/08/2023

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πίνακας εικόνων	6
Περίληψη.....	7
Abstract	8
Εισαγωγή.....	9
1. Η εξέλιξη από 1G σε 5G	10
1.1. 1G (Τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας πρώτης γενιάς)	10
1.2. 2G (Τεχνολογία κινητών επικοινωνιών δεύτερης γενιάς)	10
1.3 3G (Τεχνολογία κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς)	11
1.4. 4G (Τεχνολογία κινητών επικοινωνιών τέταρτης γενιάς)	12
1.5. 5G (Τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας πέμπτης γενιάς).....	13
1.6. Η διαφορά μεταξύ 4G και 5G	14
2. Τεχνολογία 5G.....	16
2.1. Βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας 5G.....	16
2.2. Η εξέλιξη της αρχιτεκτονικής 5G.....	17
2.2.1. Διαφορές από την αρχιτεκτονική 4G.....	20

2.3. Η ασφάλεια στην αρχιτεκτονική 5G	21
2.4. Καινοτομία της τεχνολογίας 5G.....	23
2.5. Η ισχυρή επίδραση της τεχνολογίας 5G.....	24
2.6. Εφαρμογές της τεχνολογίας 5G.....	25
2.6.1. Δίκτυο κινητής τηλεφωνίας υψηλής ταχύτητας	25
2.6.2. Ψυχαγωγία και πολυμέσα.....	26
2.6.3. Διαδίκτυο των πραγμάτων.....	26
2.6.4. IoT	28
2.6.5. Φροντίδα υγείας.....	29
2.6.6. Αυτόνομη οδήγηση	29
2.6.7. Δορυφορικό Internet.....	30
2.7 Μειονεκτήματα τεχνολογίας 5G	31
2.7.1. Αμφιβολίες για την τεχνολογία 5G	33
2.8 Το όραμα του Zuckerberg.....	32
3. Διασταύρωση του 5G και της εικονικής πραγματικότητας.....	34
3.1. Ορισμός της Εικονικής Πραγματικότητας	34
3.2. Τύποι συσκευών VR.....	35
3.2.1. VR Headsets	35
3.2.2. VR Motion Controllers.....	36
3.2.3. VR CAVE Systems	37
3.2.4. Augmented Reality (AR) Headsets	37
3.3. Δημιουργία και κατανάλωση περιεχομένου VR	38
3.3.1. Εφαρμογές της εικονικής πραγματικότητας.....	39
3.4. Ενίσχυση της εικονικής πραγματικότητας με συνδεσιμότητα 5G	42
3.5. Οφέλη χαμηλής καθυστέρησης και υψηλού εύρους ζώνης.....	46
3.6. Edge Computing στην ενσωμάτωση 5G-VR.....	49
4. Επιπτώσεις του 5G στην εικονική πραγματικότητα και Μελλοντικές δυνατότητες.....	51
4.1. Βελτιωμένη εμπειρία VR με το 5G	51
4.2. Απρόσκοπτη ροή και περιεχόμενο υψηλής ποιότητας	52
4.3. Εμπειρίες εικονικής πραγματικότητας πολλαπλών χρηστών	53
4.4. Προκλήσεις και προβληματισμοί	54
4.4.1. Κάλυψη δικτύου και υποδομή.....	55
4.4.2. Απόρρητο και ασφάλεια δεδομένων	55
4.4.3. Συμβατότητα συσκευών και κόστος.....	56
4.5. Μελλοντικές δυνατότητες	57
4.5.1. Εξελίξεις στην τεχνολογία 5G και VR.....	57

4.5.2. Βιομηχανικές και εκπαιδευτικές εφαρμογές	58
4.5.3. Μικτή πραγματικότητα (MR) και επαυξημένη πραγματικότητα (AR).....	59
Συμπέρασμα	60
Βιβλιογραφία.....	61

Πίνακας εικόνων

<u>Εικόνα 1 Evolution of 1G to 5G</u>	<u>12</u>
<u>Εικόνα 2 Comparing 4G and 5G System.....</u>	<u>21</u>
<u>Εικόνα 3 Architecture of 5G network</u>	<u>15</u>
<u>Εικόνα 4 5G Core Architecture</u>	<u>18</u>
<u>Εικόνα 5 5G Architecture Options</u>	<u>21</u>
<u>Εικόνα 6 The three next-generation technologies that make up the 5G Triangle.....</u>	<u>26</u>
<u>Εικόνα 7 5G network encompassing autonomous vehicle navigation.....</u>	<u>28</u>
<u>Εικόνα 8 How 5G Technology is Driving the Digital Transformation</u>	<u>29</u>
<u>Εικόνα 9 Η χρήση της εικονικής πραγματικότητας.....</u>	<u>33</u>
<u>Εικόνα 10 Schematic description of VR Headset the system.....</u>	<u>35</u>
<u>Εικόνα 11 Cave virtual reality.....</u>	<u>36</u>
<u>Εικόνα 12 AR architecture.....</u>	<u>37</u>
<u>Εικόνα 13 5G and AR/VR: Transformative Use Cases with Edge Computing.....</u>	<u>51</u>

Περίληψη

Η συγχώνευση της εικονικής πραγματικότητας (VR) με τα ασύρματα δίκτυα πέμπτης γενιάς (5G) έχει τη δυνατότητα να αλλάξει εντελώς τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούμε με την τεχνολογία και αντιλαμβανόμαστε τον κόσμο. Η πιο πρόσφατη εξέλιξη στην τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας, το 5G, παρέχει ασύγκριτες ταχύτητες δεδομένων, πολύ χαμηλή καθυστέρηση και ευρεία σύνδεση συσκευών, θέτοντας τις βάσεις για μια επαναστατική αλλαγή στις εμπειρίες κινητής τηλεφωνίας. Επιπλέον, η εικονική πραγματικότητα προσφέρει απεριόριστες ευκαιρίες σε όλους τους τομείς χάρη στα καθηλωτικά και διαδραστικά χαρακτηριστικά της, τα οποία καθιερώνουν ένα νέο παράδειγμα για την αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή.

Μια πιο ρεαλιστική και χωρίς καθυστερήσεις εμπειρία VR καθίσταται δυνατή χάρη στην αξιοσημείωτη χωρητικότητα δεδομένων των δικτύων 5G, τα οποία επιτρέπουν την άψογη μετάδοση εικονικού περιεχομένου υψηλής ποιότητας σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, η χαμηλή καθυστέρηση του δικτύου 5G βελτιώνει την άνεση του χρήστη κατά τη διάρκεια των αλληλεπιδράσεων VR.

Με την εκφόρτωση της υπολογιστικά βαριάς απόδοσης σε απομακρυσμένους διακομιστές, το gaming VR με βάση το cloud γίνεται εφικτό στα παιχνίδια, εκδημοκρατίζοντας την πρόσβαση σε εμπειρίες παιχνιδιών υψηλής πιστότητας. Η VR και το 5G παρέχουν ιατρική εκπαίδευση, διάγνωση και θεραπεία εξ αποστάσεως στον κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης, επιτρέποντας στους επαγγελματίες υγείας να συνεργάζονται και να θεραπεύουν ασθενείς ανεξάρτητα από γεωγραφικούς περιορισμούς. Για τις εταιρείες τηλεπικοινωνιών, η ανάγκη για τεράστιο εύρος ζώνης και αξιοπιστία δικτύου συνεπάγεται μεγάλες δαπάνες υποδομής, γεγονός που παρουσιάζει τόσο δυσκολίες όσο και ελκυστικές προοπτικές. Επιπλέον, όταν τα ευαίσθητα δεδομένα των χρηστών μεταφέρονται και διατηρούνται μέσα σε αυτά τα δικτυωμένα οικοσυστήματα, αρχίζουν να αναδύονται ζητήματα προστασίας της ιδιωτικής ζωής και ασφάλειας των δεδομένων. Η συμπληρωματική συνεργασία του 5G με την εικονική πραγματικότητα σηματοδοτεί ένα σημείο καμπής στην τεχνολογική ανάπτυξη. Μαζί, αυτές οι δύο επαναστατικές τεχνολογίες ανοίγουν νέες δυνατότητες για την κινητή καινοτομία, την ψυχαγωγία και την επικοινωνία. Παρόλο που υπάρχουν εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν, υπάρχει αναμφισβήτητη υπόσχεση για βελτιωμένες εμπειρίες χρηστών, απaráμιλλη σύνδεση και εφαρμογές που αλλάζουν το παράδειγμα.

Abstract

The fusion of Virtual Reality (VR) with Fifth Generation Wireless Networks (5G) has the potential to completely alter how we interact with technology and perceive the world. The most recent advancement in wireless communication technology, 5G, provides unmatched data speeds, very low latency, and widespread device connection, setting the stage for a revolutionary change in mobile experiences. In addition, virtual reality offers limitless opportunities across sectors thanks to its immersive and interactive features, which establish a new paradigm for human-computer interaction.

A more realistic and lag-free VR experience is made possible by the remarkable data capacity of 5G networks, which allow flawless real-time transmission of high-quality virtual content. Furthermore, the 5G network's low latency improves user comfort during VR interactions.

By offloading computationally heavy rendering to distant servers, cloud-based VR gaming is made possible in gaming, democratizing access to high-fidelity gaming experiences. VR and 5G provide remote medical training, diagnosis, and treatment in the healthcare industry, allowing healthcare professionals to cooperate and treat patients regardless of geographical limitations. For telecommunications companies, the need for vast bandwidth and network reliability entails large infrastructure expenditures, which presents both difficulties and attractive prospects. Furthermore, when sensitive user data is transported and kept inside these networked ecosystems, data privacy and security issues start to surface. The complementary partnership of 5G with VR signals a turning point in technological development. Together, these two revolutionary technologies open up new possibilities for mobile innovation, entertainment, and communication. Although there are obstacles to overcome, there is unquestionable promise for improved user experiences, unparalleled connection, and paradigm-shifting applications.

Εισαγωγή

Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας έχουν βελτιωθεί δραματικά με την πάροδο του χρόνου, παρέχοντας ταχύτερες ταχύτητες, αυξημένη χωρητικότητα και βελτιωμένη συνδεσιμότητα. Η πιο πρόσφατη εξέλιξη στην κινητή επικοινωνία είναι το 5G, το οποίο προσφέρει πρωτόγνωρες δυνατότητες και δυνατότητες που αλλάζουν τον κλάδο. Τα αρχιτεκτονικά και τεχνικά χαρακτηριστικά των δικτύων 5G τα διαφοροποιούν από τις προηγούμενες γενιές. Τα βασικά στοιχεία της υποδομής 5G περιλαμβάνουν τον τεμαχισμό του δικτύου, τον υπολογισμό των άκρων, τις τεράστιες τεχνολογίες MIMO και τις συχνότητες χιλιοστομετρικών κυμάτων. Για να αξιοποιηθεί πλήρως η υπόσχεση του 5G σε ένα ευρύ φάσμα επιχειρήσεων, είναι απαραίτητο να κατανοηθούν αυτές οι θεμελιώδεις έννοιες (Kumar et al., 2015).

Οι εφαρμογές του 5G εκτείνονται σε διάφορους κλάδους, βελτιώνοντας τον τρόπο με τον οποίο οι εταιρείες διεξάγουν τις δραστηριότητές τους και μεταβάλλοντας τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι ζουν την καθημερινή τους ζωή. Το 5G χρησιμοποιείται από τις έξυπνες πόλεις για τη βελτίωση των αστικών υποδομών, τη μείωση της χρήσης ενέργειας και τη δημιουργία συνδεδεμένων οικοσυστημάτων. Η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, η τηλεϊατρική και τα εξελιγμένα διαγνωστικά εργαλεία που καθίστανται δυνατά από τα δίκτυα 5G είναι επωφελείς για τον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Με την εφαρμογή της τεχνολογίας 5G, τομείς όπως η μεταποίηση, η εφοδιαστική και οι μεταφορές επωφελούνται από την αυξημένη αυτοματοποίηση, τη βοήθεια της επαυξημένης πραγματικότητας και την υψηλότερη επιχειρησιακή αποδοτικότητα. Ιδιαίτερα στον βιομηχανικό τομέα, το 5G προωθεί ουσιαστικές εξελίξεις. Ο βιομηχανικός αυτοματισμός αλλάζει ως αποτέλεσμα της απρόσκοπτης συνδεσιμότητας του 5G, της αποτελεσματικής επεξεργασίας δεδομένων και των ευέλικτων αρχιτεκτονικών ελέγχου. Οι εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας (AR) που τροφοδοτούνται από το 5G μεταμορφώνουν τη συνεργασία, την εκπαίδευση και τη συντήρηση σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Τα Cobots, ή συνεργατικά ρομπότ, κερδίζουν δημοτικότητα ως αποτέλεσμα της υψηλής αξιοπιστίας και της χαμηλής καθυστέρησης των δικτύων 5G. Επιπλέον, η ιδέα του "έξυπνου γραφείου", η οποία κατέστη δυνατή χάρη στη συνδεσιμότητα 5G, αλλάζει τους χώρους εργασίας και αυξάνει την αποδοτικότητα (Phuoc Dai et al., 2021).

1. Η εξέλιξη από 1G σε 5G

1.1. 1G (Τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας πρώτης γενιάς)

Η πρώτη γενιά τεχνολογίας κινητών επικοινωνιών, ή 1G, αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1980. Πρόκειται για ένα αναλογικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας που έχει πλέον ξεπεραστεί και κατείχε την πρώτη θέση στην ιστορία των ασύρματων επικοινωνιών. Τα ασύρματα συστήματα 1G αναπτύχθηκαν στην εποχή της αναλογικής τεχνολογίας επικοινωνιών 1G και είναι σε θέση να μεταφέρουν μόνο κίνηση ομιλίας λόγω των περιορισμών χωρητικότητας του δικτύου. Η διαπροσωπική επικοινωνία έχει πλέον απελευθερωθεί από τις σταθερές τηλεφωνικές γραμμές, παρά την περιορισμένη κάλυψη και τις αργές ταχύτητες που υπήρχαν τότε. Ένα τυπικό παράδειγμα δικτύου 1G είναι το AMPS. Το 1979, η ανάπτυξη της 1G ξεκίνησε. Προώθησε το πρώτο κύμα δικτύων κινητής επικοινωνίας, επιτρέποντας στους χρήστες να παραμένουν σε επαφή ενώ βρίσκονται εν κινήσει. Επειδή όμως ήταν μια νέα τεχνολογία, είχε προβλήματα με την ποιότητα του ήχου και την κάλυψη. Επιπλέον, οι χρήστες δεν είχαν πρόσβαση σε επιλογές περιήγησης. Επειδή κάθε τηλεπικοινωνιακή εταιρεία λειτουργούσε σε διαφορετική ζώνη συχνοτήτων, δεν υπήρχε υποστήριξη μεταξύ των παρόχων. Ακόμη και οι μεγάλες επιχειρήσεις δεν εξαιρούνται από τα μειονεκτήματα της 1G. Επειδή οι κλήσεις δεν είναι κρυπτογραφημένες, είναι εύκολο για κακόβουλα μέρη να τις υποκλέψουν και να τις παρακολουθήσουν (Agrawal et al., 2015).

1.2. 2G (Τεχνολογία κινητών επικοινωνιών δεύτερης γενιάς)

Η ψηφιακή τεχνολογία μετάδοσης φωνής που βρίσκεται στο επίκεντρό της, γνωστή ως 2G, αντικατέστησε την αναλογική μέθοδο επικοινωνίας και άνοιξε το δρόμο για την ψηφιακή επικοινωνία στη δεύτερη γενιά προδιαγραφών της τεχνολογίας επικοινωνίας κινητών τηλεφώνων. Η δεύτερη γενιά της τεχνολογίας κινητών επικοινωνιών διαθέτει πολύ περισσότερες υπηρεσίες μετάδοσης δεδομένων από την πρώτη γενιά, υψηλότερο επίπεδο εμπιστευτικότητας από την πρώτη γενιά και η χωρητικότητα του συστήματος έχει επίσης αυξηθεί σημαντικά. Τα κινητά τηλέφωνα μπορούν επίσης να αρχίσουν να συνδέονται με το Διαδίκτυο από αυτή τη γενιά και μετά, ενώ έχουν επίσης ξεκινήσει τα πρώτα μηνύματα κειμένου. Η πρώτη σημαντική

εξέλιξη σε αυτόν τον τομέα ήταν η 2G. Σύμφωνα με το πρότυπο GSM, η αγορά πέρασε από τα αναλογικά στα ψηφιακά ραδιοσήματα. Αν και είναι πλέον προϊστορικό, το 2G ήταν ένα σημαντικό βήμα στην ανάπτυξη της τεχνολογίας, όπως και το 5G είναι σήμερα εκπληκτικό. Επιπλέον, εισήγαγε τις δυνατότητες MMS και SMS. Το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (GSM), το οποίο αναπτύχθηκε στην Ευρώπη, αναδείχθηκε νικητής ως το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο πρότυπο κινητών επικοινωνιών κατά την έναρξη της εποχής 2G (Scharnhorst et al., 2006).

Η ποιότητα του ήχου είναι αισθητά πιο καθαρή κατά τη διάρκεια των κλήσεων και δίνονται ασφαλή πρότυπα κρυπτογράφησης. λειτουργεί σε εύρος ζώνης 30-200kHz. Η ψηφιακή τεχνολογία επικοινωνίας αντικατέστησε την αναλογική τεχνολογία επικοινωνίας στην εποχή 2G, προσφέροντας στα κινητά τηλέφωνα μεγαλύτερη κάλυψη σήματος, υψηλότερη ποιότητα κλήσης και χαμηλότερο κόστος επικοινωνίας. Η φωνητική επικοινωνία ήταν διαθέσιμη τόσο στα δίκτυα 1G όσο και στα δίκτυα 2G. Ξεκινώντας με την περίοδο 3G, όλα άλλαξαν και άρχισε να αναπτύσσεται η πραγματική τεχνολογία επικοινωνίας. Η μεταφορά δεδομένων έγινε η λειτουργική έννοια, και ως αποτέλεσμα της εμφάνισης και της γρήγορης ανόδου των smartphones, η τεχνολογία 3G κατέστη παρωχημένη (Zeqiri et al., 2019).

1.3 3G (Τεχνολογία κινητών επικοινωνιών τρίτης γενιάς)

Γίναμε μάρτυρες της απίστευτης ανάπτυξης του δικτύου 3G με τη συγχώνευση του 2G. Η τρίτη γενιά (3G) της κινητής τεχνολογίας είναι ένα νέο σύστημα κινητών επικοινωνιών που συνδυάζει την ασύρματη μετάδοση με την επικοινωνία πολυμέσων, όπως το παγκόσμιο Διαδίκτυο. Χρησιμοποιεί το πρότυπο UMTS και μεταφέρει πολλά από τα πλεονεκτήματα του φάσματος 2G. Στόχος του νέου προτύπου είναι να βελτιώσει και να προσφέρει μια πιο αξιόπιστη εμπειρία. Ωστόσο, το 3G είναι το πρώτο δίκτυο που παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα για την περιήγηση στο διαδίκτυο, πρέπει να το παραδεχτούμε. Ωστόσο, είναι αδύνατο να συγκρίνουμε αυτά τα αποτελέσματα με το σημερινό σημείο αναφοράς. Με την έκδοση τριών αδειών 3G στις 7 Ιανουαρίου 2009 -D-SCDMA για την China Mobile, W-CDMA για την China Unicom και WCDMA2000 για την China Telecom- η Κίνα εισήλθε επίσημα στην εποχή 3G. Με το 3G, η κινητή επικοινωνία προσφέρει πιο ποικίλες χρήσεις, καλύτερο

εύρος ζώνης και πιο αξιόπιστη μετάδοση. Οι βιντεοκλήσεις και η μετάδοση δεδομένων μεγάλης κλίμακας είναι επίσης όλο και πιο διαδεδομένες (Karjalainen, 2007).

Τα smartphones και τα tablet PC αναπτύχθηκαν γρήγορα ως αποτέλεσμα των ασύρματων επικοινωνιών και του Διαδικτύου, και το 3G θεωρείται ότι κατέχει το κλειδί για μια νέα εποχή κινητών επικοινωνιών. Μεγαλύτερο εύρος ζώνης και ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων, με ταχύτητες δεδομένων που πλησιάζουν τα 2 Mbps. Λειτουργία σε υψηλότερο εύρος σε εύρος ζώνης 15-20 MHz βελτιωμένη σαφήνεια των κλήσεων (Xenakis & Merakos, 2004).

1.4. 4G (Τεχνολογία κινητών επικοινωνιών τέταρτης γενιάς)

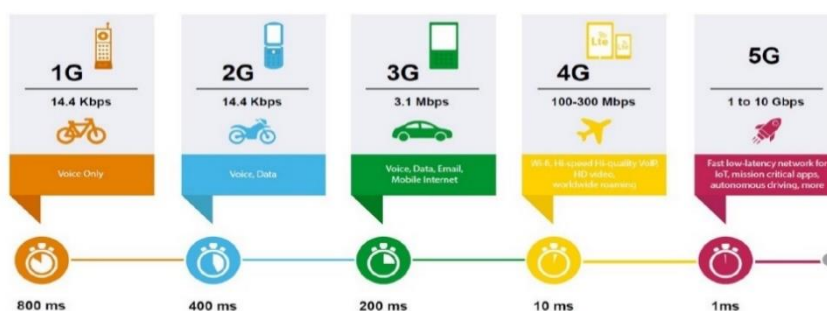
Το 2009 εισήχθη το 4G, το οποίο είχε σημαντικό αντίκτυπο στο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Αντιπροσώπευε τη μεγαλύτερη βελτίωση στην ταχύτητα του κινητού διαδικτύου και έκανε χρήση κρίσιμων τεχνολογιών όπως η MIMO και το OFDM. Επέτρεψε στους καταναλωτές να εξερευνήσουν επιτέλους τα κινητά έξυπνα χαρακτηριστικά των αρχικών smartphones. Είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι το 4G LTE δεν επέτρεπε αρχικά τις κινητές κλήσεις, αλλά το VoLTE το επέτρεψε λίγα χρόνια αργότερα. Τα πρότυπα για τις διεθνείς κινητές επικοινωνίες συγκλίνουν ολοένα και περισσότερο. Από πλευράς επιπτώσεων, το 4G μπορεί να περιγραφεί ως μια τεχνολογία επικοινωνίας που δημιουργήθηκε ειδικά για το κινητό διαδίκτυο. Η τέταρτη γενιά της τεχνολογίας 4G αποτελεί σημαντική πρόοδο σε σχέση με την τρίτη γενιά της τεχνολογίας 3G όσον αφορά την ταχύτητα, τη χωρητικότητα και την αξιοπιστία του δικτύου και μπορεί να καλύψει σχεδόν όλες τις ανάγκες των χρηστών για ασύρματες υπηρεσίες (Khan et al., 2009). Η γρήγορη μετάδοση δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων φωτογραφιών και βίντεο υψηλής ευκρίνειας, δημιούργησε ένα νέο κύμα κινητού διαδικτύου χάρη στη σημαντικά αυξημένη ταχύτητα σύνδεσης των δικτύων 4G. Τώρα, ένα τηλέφωνο 4G μπορεί να μεταφέρει δεδομένα με ρυθμούς έως και 20 Mbps, ενώ παράλληλα μειώνεται το κόστος ανά bit. αυξημένη κάλυψη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας σε παγκόσμια κλίμακα. Υποστήριξη δικτύων ad hoc και δικτύων πολλαπλών βημάτων (Govil, 2007).

1.5. 5G (Τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας πέμπτης γενιάς)

Το Διαδίκτυο των πάντων είναι η εποχή του 5G. Θα χρησιμεύσει ως θεμέλιο για τις τεχνολογίες IoT και άλλους τύπους συνδεσιμότητας. Οι μικρές κυψέλες και η διαμόρφωση δέσμης χρησιμοποιούνται για να προσφέρουν δίκτυα υπερ-υψηλών ταχυτήτων με μειωμένη καθυστέρηση. τα εξαιρετικά οφέλη που φέρνει η τεχνολογία 5G ξεπερνούν κατά πολύ αυτά του προκατόχου του 4G LTE. Οι αστραπιαίες μεταφορτώσεις και λήψεις δεδομένων είναι δυνατές χάρη στο 5G, το οποίο προσφέρει ταχύτητες μετάδοσης 10 έως 100 φορές ταχύτερες από αυτές του 4G. Η 10 φορές χαμηλότερη καθυστέρηση του 5G σε σχέση με αυτή του 4G καθιστά δυνατή την επικοινωνία των συσκευών σχεδόν άμεσα. Επιπλέον, το 5G διαθέτει καλύτερη σύνδεση, παρέχοντας 100 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα κίνησης, πράγμα που σημαίνει ότι τα δίκτυα μπορούν να εξυπηρετούν μεγάλο αριθμό συσκευών ταυτόχρονα. Ένα αξιοσημείωτο πλεονέκτημα του 5G είναι η βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση, η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιεί 10% λιγότερη ενέργεια από τα σημερινά δίκτυα 4G LTE. Αυτή η αποτελεσματικότητα μειώνει τον αντίκτυπο στο περιβάλλον, ενώ βοηθά επίσης τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων να μειώσουν το κόστος. Επιπλέον, το 5G καθιστά δυνατό τον αποτελεσματικότερο συντονισμό των επιχειρηματικών λειτουργιών, υποστηρίζοντας την αποτελεσματικότερη συνεργασία και τις βελτιστοποιημένες ροές εργασίας σε όλες τις συσκευές (Uwaechia & Mahyuddin, 2020).

Η εκπληκτική ταχύτητα λήψης του 5G, η οποία μπορεί να ξεπεράσει το 1 gigabyte ανά δευτερόλεπτο, είναι το πιο αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό του. Αυτή η εξαιρετική ταχύτητα οδηγεί σε πραγματικά πλεονεκτήματα για διάφορους τομείς. Μια ταινία υψηλής ευκρίνειας, για παράδειγμα, μπορεί να μεταφορτωθεί μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα, μεταμορφώνοντας την ψυχαγωγία. Τα έξυπνα ρολόγια, τα έξυπνα σπίτια, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), τα αυτοκίνητα χωρίς οδηγό, η τηλεκπαίδευση, η τηλεϊατρική και πολλοί άλλοι κλάδοι επηρεάζονται επίσης από το 5G, όπου η αυξημένη ταχύτητα και η συνδεσιμότητά του θα οδηγήσουν σε ουσιαστικές καινοτομίες. Τα smartphones είναι έτοιμα για τεράστιες αλλαγές χάρη στις τεράστιες δυνατότητες της χωρητικότητας του δικτύου 5G με εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες και εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση (Jain et al., 2018). Καινοτόμες δυνατότητες αρχίζουν να υλοποιούνται, όπως ολογραφικές κλήσεις προβολής και καθηλωτικές εμπειρίες

εικονικής πραγματικότητας που μπορούν να αποκτηθούν απευθείας στις κινητές συσκευές. Στο μέλλον, τα smartphones θα διαδραματίσουν ακόμη μεγαλύτερο ρόλο στη ζωή μας και θα μπορούν να εκτελούν λειτουργίες υψηλής τεχνολογίας αιχμής χάρη στα συναρπαστικά νέα σύνορα που ανοίγει το 5G για την τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας (Seetaiah Kilaru et al., 2014).



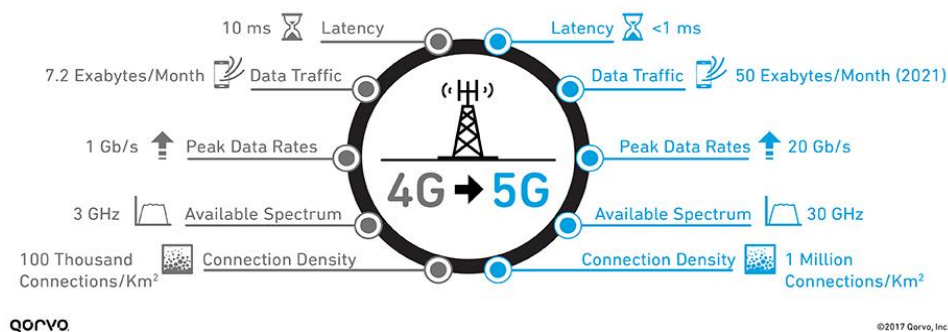
Εικόνα 1 Evolution of 1G to 5G

1.6. Η διαφορά μεταξύ 4G και 5G

Με την εισαγωγή του 5G, της πέμπτης γενιάς της τεχνολογίας κινητών επικοινωνιών, γίνονται ορισμένες βελτιώσεις που ξεπερνούν το 4G. Οι αστραπιαίοι χρόνοι λήψης και μεταφόρτωσης καθίστανται δυνατοί χάρη στο 5G, το οποίο προσφέρει ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων έως και 10 φορές ταχύτερους από αυτούς του 4G. Επιπλέον, το 5G εξασφαλίζει σχεδόν στιγμιαία επικοινωνία μεταξύ των συσκευών λόγω της πολύ χαμηλής καθυστέρησης και των πιθανών ταχυτήτων 60-120 φορές ταχύτερων από το 4G. Με ένα ευρύ φάσμα εύρους ζώνης λειτουργίας μεταξύ 30 GHz και 300 GHz, το 5G θέτει τις βάσεις για μετασχηματιστικές δυνατότητες. Ένα από τα πρωταρχικά χαρακτηριστικά του 5G είναι η τεράστια ταχύτητά του, η οποία ξεπερνά τις γρήγορες λήψεις βίντεο (Moysen & Giurponi, 2018).

Με τη βοήθεια του 5G, αυτές οι τεχνολογίες και το περιβάλλον μας μπορούν να συνδεθούν απρόσκοπτα, φέρνοντας την ευκολία και την παραγωγικότητα σε ένα εντελώς νέο επίπεδο. Επιπλέον, το 5G παρέχει καθυστερήσεις επικοινωνίας επιπέδου χιλιοστών του δευτερολέπτου και μεγάλη αξιοπιστία. Αυτή η δραματική μείωση της καθυστέρησης παρέχει το δρόμο για πρωτοποριακές χρήσεις όπως η τηλεχειρουργική και τα αυτοκίνητα χωρίς οδηγό. Καθώς η ακριβής επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο γίνεται κοινός τόπος, πλησιάζουμε όλο και πιο κοντά σε μια μέρα που αυτές οι προηγούμενες απρόσιτες δυνατότητες θα είναι πλέον εφικτές. Η ικανότητα του 5G να φιλοξενεί μεγάλο αριθμό τερματικών δικτύων, που ξεπερνούν τα εκατομμύρια συσκευές ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο, είναι ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό. Τα έξυπνα σπίτια και οι έξυπνες πόλεις μπορούν να ευδοκιμήσουν ως αποτέλεσμα της δημιουργίας ενός μεγαλύτερου και πιο ανοιχτού οικοσυστήματος του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) από αυτή την επεκτασιμότητα. Η καθημερινή μας ζωή γίνεται πιο αυτοματοποιημένη, αποδοτική και βολική λόγω της διασύνδεσης των συσκευών που καθιστά δυνατή η 5G (Ferrag et al., 2018). Πέρα από τις τεχνολογικές ανακαλύψεις, το 5G είναι σημαντικό. Καθώς βιομηχανίες από όλους τους τομείς αγκαλιάζουν τις ανατρεπτικές δυνατότητές του, προαναγγέλλει μια νέα οικονομική επανάσταση. Ενώ το 4G αφορούσε κυρίως την αύξηση των ταχυτήτων του διαδικτύου, το 5G προχωρά ένα βήμα παραπέρα, επιτρέποντας τον έλεγχο των ηλεκτρικών συσκευών. Αυτή η αλλαγή κατεύθυνσης δημιουργεί νέες ευκαιρίες για καινοτομία και θέτει τα θεμέλια για μια ημέρα κατά την οποία οι δυνατότητες των συνδεδεμένων συσκευών θα αξιοποιηθούν πλήρως (Johan Hoffstedt et al., 2002).

Comparing 4G and 5G



Εικόνα 2 Comparing 4G and 5G System

2. Τεχνολογία 5G

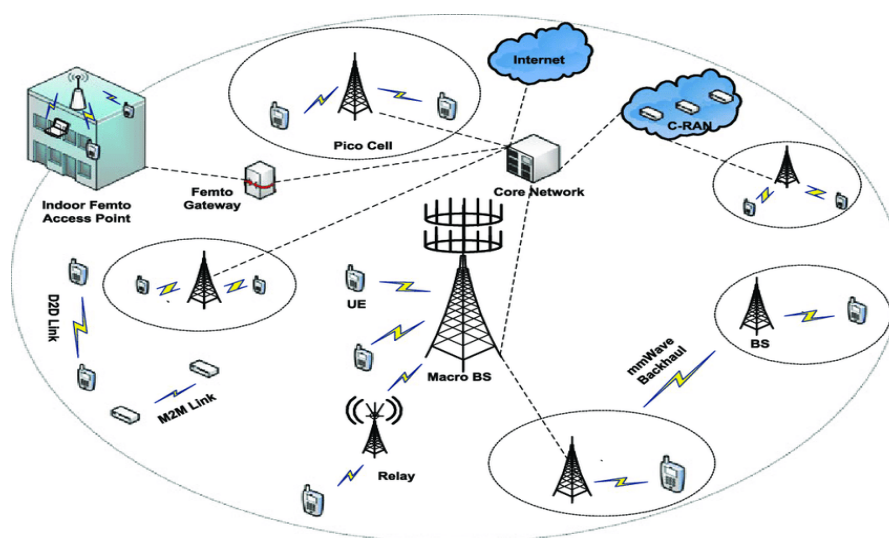
2.1. Βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας 5G

Η πέμπτη γενιά ασύρματης τεχνολογίας, ή 5G, αντιπροσωπεύει μια ουσιαστική πρόοδο στην κινητή δικτύωση και τις επικοινωνίες. Σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές, όπως το 4G ή το LTE, προσφέρει πολλές προόδους όσον αφορά την ταχύτητα, τη χωρητικότητα, την καθυστέρηση και τη συνδεσιμότητα. Η σημαντικά βελτιωμένη ταχύτητα του 5G είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του. Με μέγιστες ταχύτητες λήψης έως και 10 gigabits ανά δευτερόλεπτο (Gbps), το 5G καθιστά δυνατή τη γρηγορότερη λήψη αρχείων, την απρόσκοπτη ροή υλικού υψηλής ευκρίνειας και τη συμμετοχή σε συνομιλίες σε πραγματικό χρόνο με απίστευτα χαμηλή καθυστέρηση (Dangi et al., 2021). Ένα άλλο ουσιαστικό στοιχείο του 5G είναι η χαμηλή λανθάνουσα κατάσταση. Μειώνοντας την καθυστέρηση του δικτύου σε μόλις 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου (ms), η τεχνολογία καθιστά δυνατή τη σχεδόν άμεση επικοινωνία των συσκευών. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για εφαρμογές όπως τα παιχνίδια σε πραγματικό χρόνο, οι απομακρυσμένες χειρουργικές επεμβάσεις και τα οχήματα χωρίς οδηγό, όπου ακόμη και μια μικρή καθυστέρηση μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις. Τα δίκτυα 5G μπορούν να υποστηρίξουν μαζικούς αριθμούς συνδεδεμένων συσκευών ταυτόχρονα (Zong Chen, 2019).

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) είναι μια ταχέως αναπτυσσόμενη κατηγορία συνδεδεμένων συσκευών και το 5G ενισχύει τη χωρητικότητα του δικτύου με τη χρήση ζωνών συχνοτήτων αιχμής, συμπεριλαμβανομένων των χιλιοστομετρικών κυμάτων υψηλότερης συχνότητας. Η ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων, του βιομηχανικού αυτοματισμού και άλλων εφαρμογών που βασίζονται στο IoT εξαρτάται από αυτή την επεκτασιμότητα. Τα δίκτυα 5G χρησιμοποιούν μικρές κυψέλες, μαζική MIMO (πολλαπλή είσοδος πολλαπλή έξοδος), διαμόρφωση δέσμης και άλλες τεχνολογίες για να αυξήσουν την ισχύ του σήματος και να επεκτείνουν την κάλυψη ακόμη και σε περιοχές με μεγάλη συμφόρηση και απομακρυσμένες τοποθεσίες. Αυτό εγγυάται αξιόπιστη συνδεσιμότητα και καθιστά δυνατή την ομαλή αλληλεπίδραση των χρηστών σε διάφορα πλαίσια. Η τμηματοποίηση δικτύου, την οποία εισάγει το 5G, επιτρέπει στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων να δημιουργούν διάφορα εικονικά δίκτυα μέσα σε μια ενιαία φυσική υποδομή. Κάθε φέτα δικτύου μπορεί να

τροποποιηθεί ώστε να ικανοποιεί τις μοναδικές ανάγκες διαφόρων εφαρμογών, αγορών ή ομάδων χρηστών. Σύμφωνα με τους Gohil και συν. (2013), αυτή η ευελιξία και η προσαρμογή επιτρέπουν την αποτελεσματική διαχείριση των πόρων και τη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών.

Η τεχνολογία 5G επικεντρώνεται επίσης στην ενεργειακή αποδοτικότητα. Το 5G σκοπεύει να είναι ενεργειακά αποδοτικότερο από τις προηγούμενες γενιές μέσω της βελτιστοποιημένης αρχιτεκτονικής δικτύου, της μειωμένης κατανάλωσης ενέργειας του εξοπλισμού δικτύου και της εξυπνότερης διαχείρισης του δικτύου. Αυτό όχι μόνο μειώνει τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, αλλά βοηθά επίσης τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων να μειώσουν το κόστος. Γενικά, η τεχνολογία 5G χρησιμεύει ως κρίσιμος παράγοντας για τεχνολογίες αιχμής. Ικανοποιεί τις απαιτήσεις πραγμάτων όπως η τηλεϊατρική από απόσταση, οι εμπειρίες AR/VR, οι έξυπνες πόλεις και τα αυτοκίνητα χωρίς οδηγό. Το 5G ανοίγει νέες ευκαιρίες και ωθεί την καινοτομία σε πολλούς κλάδους χάρη στις γρήγορες ταχύτητες, τη χαμηλή καθυστέρηση, την τεράστια σύνδεση και την ικανότητα προσαρμογής, ανοίγοντας το δρόμο για ένα πιο συνδεδεμένο και τεχνολογικά εξελιγμένο μέλλον (Taboada & Shee, 2020).



Εικόνα 3 Architecture of 5G network

2.2. Η εξέλιξη της αρχιτεκτονικής 5G

Εκτός από το ότι υπερβαίνει τον αρχικό στόχο της παροχής γρήγορων και αξιόπιστων υπηρεσιών δεδομένων κινητής τηλεφωνίας, η τεχνολογία 5G σηματοδοτεί

μια σημαντική αλλαγή στην εξέλιξη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Με τα δίκτυα πολλαπλών επιπέδων και τις τεχνολογίες αιχμής, το 5G καθιστά δυνατή τη διάθεση μιας ποικιλίας ασύρματων υπηρεσιών που προσφέρονται μέσω διαφορετικών πλατφορμών πρόσβασης. Σύμφωνα με τους Rost και συν. (2016), η αρχιτεκτονική του 5G προορίζεται να είναι δυναμική, συνεκτική και ευέλικτη, υποστηρίζοντας ποικίλες εφαρμογές και παρέχοντας ένα πιο ευφυές πλαίσιο.

Η ιδέα της αποσύνδεσης του δικτύου, η οποία απαλλάσσει τους χρήστες από την εγγύτητα των σταθμών βάσης και τον περίπλοκο εξοπλισμό, είναι ουσιώδης για την αρχιτεκτονική 5G. Προκειμένου να υποστηριχθούν περισσότερα σημεία πρόσβασης δεδομένων και ένα πιο προσαρμόσιμο και κλιμακούμενο δίκτυο, το 5G υλοποιεί ένα εικονικοποιημένο δίκτυο ραδιοπρόσβασης (RAN) και προσθέτει νέες διεπαφές. Οι προδιαγραφές του έργου σύμπραξης τρίτης γενιάς (3GPP) περιγράφουν μια μεθοδολογία προσανατολισμένη στις υπηρεσίες που επιτρέπει στις υπηρεσίες δικτύου να χρησιμοποιούν μια κοινή αρχιτεκτονική. Αυτή η αρθρωτή δομή και η επαναχρησιμοποίηση εγγυώνται αποτελεσματικές και ανεξάρτητες λειτουργίες δικτύου, θέτοντας τις βάσεις για την προσαρμογή που απαιτείται στην εποχή του 5G. Μια ευρεία ποικιλία ζωνών συχνοτήτων, συμπεριλαμβανομένου του φάσματος των χιλιοστομετρικών κυμάτων (30 GHz έως 300 GHz), χρησιμοποιείται στην ανάπτυξη της τεχνολογίας 5G. Οι υψηλότερες συχνότητες είναι κατάλληλες για πυκνοκατοικημένες περιοχές, καθώς έχουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης αλλά μικρότερη εμβέλεια. Οι αχρησιμοποίητες συχνότητες UHF και C-band έχουν επίσης επαναχρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη του 5G. Η δυνατότητα τροποποίησης των εφαρμογών ώστε να ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένες απαιτήσεις εξασφαλίζει την καλύτερη δυνατή απόδοση και συνδεσιμότητα (Ghosh et al., 2019).

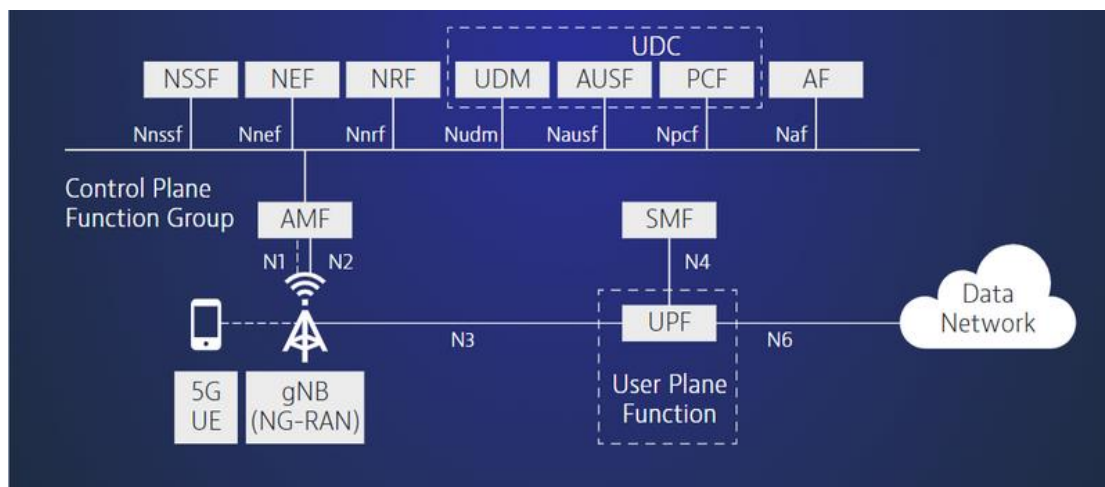
Το MEC, ή αλλιώς η υπολογιστική ακμή πολλαπλής πρόσβασης, είναι ζωτικής σημασίας για την αρχιτεκτονική 5G. Ο MEC μειώνει την καθυστέρηση και ενισχύει το εύρος ζώνης φέρνοντας τις εφαρμογές πιο κοντά στους τελικούς καταναλωτές και τις συσκευές τους. Αυτό το είδος υπολογιστικού νέφους καθιστά δυνατή την αποτελεσματική παροχή υλικού, τη βελτίωση της εμπειρίας των χρηστών και την άμεση πρόσβαση σε δεδομένα RAN. Οι εφαρμογές IoT μεγάλου όγκου μπορούν να αξιοποιήσουν τη διασκορπισμένη ικανότητα επεξεργασίας, τη βελτιωμένη καθυστέρηση και το αυξημένο εύρος ζώνης χάρη στη σύμπραξη μεταξύ MEC και αρχιτεκτονικής 5G (Vij & Jain, 2016).

Η εικονικοποίηση των λειτουργιών δικτύου (NFV) είναι ένα ακόμη κρίσιμο στοιχείο της αρχιτεκτονικής 5G. Με την αντικατάσταση των συμβατικών λειτουργιών δικτύου με εικονικοποιημένες περιπτώσεις που εκτελούνται ως λογισμικό, αποσυνδέει το λογισμικό από το υλικό. Με την εικονικοποίηση των δικτυακών συσκευών, το NFV επιτρέπει την τεμαχισμό και την προσαρμογή του δικτύου για διάφορες εφαρμογές και τμήματα πελατών, υποστηρίζοντας το 5G. Για τη διαχείριση του αναπτυσσόμενου οικοσυστήματος εφαρμογών IoT και τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης των πόρων, η ευελιξία και η επεκτασιμότητα του NFV είναι ζωτικής σημασίας. Η ιδέα του δικτυακού τεμαχισμού είναι απαραίτητη για τη μεγιστοποίηση των δυνατοτήτων της αρχιτεκτονικής 5G. Οι φορείς εκμετάλλευσης μπορούν να διαχειριστούν μια ποικιλία περιπτώσεων χρήσης με διαφορετικές ανάγκες σε ρυθμό μετάδοσης, καθυστέρηση και διαθεσιμότητα, καταμερίζοντας τους πόρους του δικτύου. Η κατανομή των πόρων, η βελτιστοποίηση του κόστους και ο γρήγορος χρόνος διάθεσης στην αγορά νέων υπηρεσιών καθίστανται δυνατές με το τεμαχισμό του δικτύου. Αυτή η λειτουργικότητα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε εφαρμογές IoT, όπου η συνολική ζήτηση εύρους ζώνης μπορεί να είναι ελάχιστη παρά την παρουσία μεγάλου αριθμού χρηστών (Abdelwahab et al., 2016).

Μια άλλη εξέλιξη στον σχεδιασμό του 5G είναι η διαμόρφωση δέσμης. Η διαμόρφωση δέσμης προσφέρει αποτελεσματικά κανάλια μετάδοσης σε στοχευμένους χρήστες ή συσκευές χρησιμοποιώντας συστοιχίες πολλαπλών εισόδων, πολλαπλών εξόδων (MIMO) και αλγορίθμους επεξεργασίας σήματος. Η απόδοση είναι μεγάλη, ο εντοπισμός των χρηστών βελτιώνεται και το φάσμα των χιλιοστομετρικών κυμάτων χρησιμοποιείται στο έπακρο με τη χρήση αυτής της τεχνολογίας. Ο πυρήνας των νέων προδιαγραφών 5G είναι η αρχιτεκτονική του κεντρικού δικτύου 5G. Ο πυρήνας 5G ενσωματώνει όλες τις υπηρεσίες 5G, όπως η πιστοποίηση ταυτότητας, η ασφάλεια, η διαχείριση συνόδου και η συγκέντρωση κίνησης, χρησιμοποιώντας μια αρχιτεκτονική βασισμένη στο σύννεφο, βασισμένη σε υπηρεσίες (SBA). Ο πυρήνας 5G επιτρέπει τις απαιτήσεις υψηλότερης απόδοσης των δικτύων 5G δίνοντας έμφαση στο NFV και στις εικονικοποιημένες λειτουργίες λογισμικού που αναπτύσσονται πάνω στην αρχιτεκτονική MEC (Mumtaz et al., 2016).

Η θεμελιώδης αρχιτεκτονική δικτύου των νέων προδιαγραφών 5G, η οποία υποστηρίζει την υψηλότερη απαίτηση ρυθμού μετάδοσης που πρέπει να καλύψει το 5G, αποτελεί το θεμέλιο της τεχνολογίας. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές 3GPP, ο νέος

πυρήνας 5G κάνει χρήση μιας αρχιτεκτονικής βασισμένης στο σύννεφο, βασισμένης σε υπηρεσίες (SBA), η οποία καλύπτει όλες τις αλληλεπιδράσεις και τις υπηρεσίες 5G, συμπεριλαμβανομένης της πιστοποίησης ταυτότητας, της ασφάλειας, της διαχείρισης συνόδου και της συγκέντρωσης κίνησης από τις τελικές συσκευές. Η υποδομή MEC, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για τις αρχιτεκτονικές αρχές του 5G, υλοποιείται με εικονικοποιημένες λειτουργίες λογισμικού που αποτελούν το επίκεντρο του πυρήνα 5G (Akkari & Dimitriou, 2020).



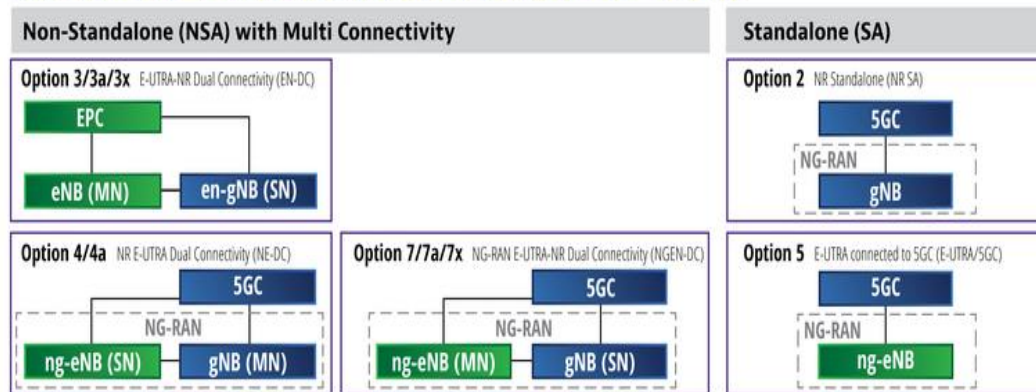
Εικόνα 4 5G Core Architecture

2.2.1. Διαφορές από την αρχιτεκτονική 4G

Η μετάβαση από το 4G στο 5G συνοδεύεται από μια πληθώρα αρχιτεκτονικών αλλαγών, συμπεριλαμβανομένης της υιοθέτησης του χιλιοστομετρικού κύματος, του μαζικού MIMO, του δικτυακού τεμαχισμού και σχεδόν κάθε άλλου στοιχείου του διαφοροποιημένου οικοσυστήματος 5G. Μία από αυτές τις αλλαγές είναι σε επίπεδο πυρήνα. Ο πυρήνας 5G διαφέρει σημαντικά από τον πυρήνα εξελιγμένων πακέτων (EPC) του 4G, καθώς κάνει πρωτοφανή χρήση της εικονικοποίησης και του σχεδιασμού λογισμικού native cloud. Η λειτουργία επιπέδου χρήστη (UPF), η οποία διαχωρίζει τις λειτουργίες ελέγχου πύλης πακέτων και επιπέδου χρήστη, και η λειτουργία διαχείρισης πρόσβασης και κινητικότητας (AMF), η οποία διαχωρίζει τις εργασίες διαχείρισης συνόδου από τις εργασίες διαχείρισης σύνδεσης και κινητικότητας, είναι δύο επιπλέον αλλαγές που διαφοροποιούν τον πυρήνα 5G από τον προκάτοχό του 4G (Ganchev et al., 2004).

Για τη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ 4G και 5G απαιτούνται ένα καλά μελετημένο σχέδιο παιχνιδιού και σταδιακές ενέργειες. Η σταθερή μετατόπιση από τη μη αυτόνομη λειτουργία στην αυτόνομη λειτουργία των αρχιτεκτονικών επιλογών 5G συμβολίζει αυτή την αλλαγή. Με την προσθήκη ενός φορέα συνιστωσών 5G, το πρότυπο μη αυτόνομης λειτουργίας 5G χρησιμοποιεί το τρέχον RAN και τα δίκτυα πυρήνα LTE ως άγκυρα. Οριστικοποιήθηκε στα τέλη του 2017. Η μη αυτόνομη λειτουργία χρησιμοποιεί συχνότητες χιλιοστομετρικών κυμάτων για την ενίσχυση του εύρους ζώνης παρά την εξάρτησή της από την αρχιτεκτονική 4G. Στην ουσία, η αυτόνομη λειτουργία 5G είναι μια πλήρης ανάπτυξη όλου του υλικού, των χαρακτηριστικών και της λειτουργικότητας του 5G ξεκινώντας από το μηδέν με τη νέα αρχιτεκτονική πυρήνα. Ο προσεκτικός σχεδιασμός και η εκτέλεση θα καταστήσουν τη μετάβαση από τη μη αυτόνομη λειτουργία σε όλες τις νέες εγκαταστάσεις αρχιτεκτονικής δικτύων κινητής τηλεφωνίας 5G απρόσκοπτη για τον πληθυσμό των χρηστών (den Ouden et al., 2022).

5G NR DEPLOYMENT ARCHITECTURE OPTIONS



Εικόνα 3. 5G Architecture Options

2.3. Η ασφάλεια στην αρχιτεκτονική 5G

Αξιοποιώντας πόρους που βασίζονται στο νέφος, την εικονικοποίηση, το τεμαχισμό δικτύων και άλλες τεχνολογίες αιχμής, η υιοθέτηση της τεχνολογίας 5G οδηγεί σε εντυπωσιακά πλεονεκτήματα απόδοσης και σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Ωστόσο, οι εξελίξεις αυτές διευρύνουν επίσης τις "επιφάνειες επίθεσης" στο πλαίσιο της αρχιτεκτονικής ασφάλειας του 5G και παρουσιάζουν πρόσθετες απειλές για την ασφάλεια (Afaq et al., 2021).

Οι διαδικασίες ασφαλείας που χρησιμοποιήθηκαν από προηγούμενες γενιές τεχνολογιών κινητής τηλεφωνίας βασίστηκαν και η ασφάλεια 5G λαμβάνει υπόψη το διευρυνόμενο "μοντέλο εμπιστοσύνης" με περισσότερα μέρη που συμμετέχουν στην παροχή υπηρεσιών. Η αύξηση των συσκευών IoT και των τελικών σημείων των χρηστών, πολλά από τα οποία λειτουργούν αυτόνομα χωρίς άμεση ανθρώπινη επίβλεψη, περιπλέκει σημαντικά τα ζητήματα ασφάλειας. Οι προδιαγραφές του έργου σύμπραξης τρίτης γενιάς (3GPP) έχουν περιγράψει ενισχυμένες δυνατότητες ασφάλειας 5G για την επίλυση αυτών των ζητημάτων. Αυτές περιλαμβάνουν τεχνικές κρυπτογράφησης με βάση το δημόσιο κλειδί για τη μείωση του κινδύνου εκμετάλλευσης μεταδεδομένων και ενοποιημένη πιστοποίηση για την αποσύνδεση της πιστοποίησης από τα σημεία πρόσβασης. Οι κρίσιμοι κόμβοι επιδόσεων στο πλαίσιο του 5G εικονικοποιούνται όλο και περισσότερο, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη συνεχή παρακολούθηση και αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ασφάλειας (Ji et al., 2018).

Ολόκληρη η αρχιτεκτονική του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των συσκευών και των εφαρμογών, θα πρέπει να καλύπτεται από πλήρη παρακολούθηση της ασφάλειας του δικτύου 5G από άκρο σε άκρο που ακολουθεί τις βέλτιστες πρακτικές. Αυτή η ολοκληρωμένη στρατηγική εγγυάται ότι οι πιθανές ευπάθειες εντοπίζονται και διορθώνονται γρήγορα, προστατεύοντας την ακεραιότητα και την ιδιωτικότητα των δεδομένων και των επικοινωνιών (Schneider & Horn, 2015). Αν και η εκθετική βελτίωση της ταχύτητας του 5G είναι αναμφισβήτητα εκπληκτική, η επιρροή αυτής της τεχνολογίας υπερβαίνει κατά πολύ την απλή ταχύτητα. Πολλοί αναφέρονται στο 5G ως τον ερχομό της βιομηχανικής επανάστασης, καθώς έχει τη δυνατότητα να αλλάξει τομείς όπως η γεωργία, η μεταποίηση και οι προσωπικές μεταφορές. Ο πολύπλευρος σχεδιασμός 5G, ο οποίος συνδυάζει στοιχεία όπως το Υπολογιστικό άκρων πολλαπλής πρόσβασης (MEC), την Εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (NFV), το τεράστιο MIMO και μια αρχιτεκτονική πυρήνα που συνδέεται με υπηρεσίες βασισμένες στο υπολογιστικό νέφος, βρίσκεται στο επίκεντρο αυτής της αλλαγής παραδείγματος. Σύμφωνα με τους Fang και συν. (2018), τα στοιχεία αυτά

συνδυάζονται για να προσφέρουν ένα νέο κύμα υπηρεσιών και να ανοίξουν μετασχηματιστικές δυνατότητες.

Οι κύριοι παράγοντες που θα επιτρέψουν την επικείμενη μετάβαση στο 5G θα είναι οι λύσεις δοκιμών 5G που θα γίνουν για να ταιριάζουν στις αρχιτεκτονικές τροποποιήσεις και να εγγυώνται την ομαλή ανάπτυξη. Αυτές οι λύσεις δοκιμών είναι απαραίτητες για την επικύρωση και επιβεβαίωση των επιδόσεων, της ασφάλειας και της λειτουργικότητας των δικτύων 5G, παρέχοντας μια απρόσκοπτη και αξιόπιστη μετάβαση σε αυτή την πρωτοποριακή τεχνολογία (Arfaoui et al., 2018).

2.4. Καινοτομία της τεχνολογίας 5G

Η αρχιτεκτονική του δικτύου θα εξελιχθεί χάρη στις τεχνολογίες 5G. Τα φάσματα που δεν καταλαμβάνονται από το 4G θα καλυφθούν από το 5G New Radio, το διεθνές πρότυπο για μια πιο ικανή ασύρματη διεπαφή αέρα 5G. Η τεχνολογία Massive MIMO (πολλαπλή είσοδος, πολλαπλή έξοδος), η οποία επιτρέπει σε πολλούς πομπούς και δέκτες να στέλνουν περισσότερα δεδομένα ταυτόχρονα, θα συμπεριληφθεί στις νέες κεραίες. Ωστόσο, η τεχνολογία 5G δεν είναι διαθέσιμη μόνο στη νέα ραδιοσυχνότητα. Σκοπός της είναι να παρέχει ένα δίκτυο που συνδυάζει αδειοδοτημένες και μη αδειοδοτημένες ασύρματες τεχνολογίες με συγκλίνοντα, ετερογενή τρόπο. Ως αποτέλεσμα, οι χρήστες θα έχουν πρόσβαση σε μεγαλύτερο εύρος ζώνης (Janevski, 2009).

Οι αρχιτεκτονικές 5G θα είναι πλατφόρμες που θα καθορίζονται από το λογισμικό, όπου το λογισμικό και όχι το υλικό θα χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των δυνατοτήτων δικτύωσης. Η ικανότητα της αρχιτεκτονικής 5G να είναι ευέλικτη και ευλύγιστη και να παρέχει πρόσβαση στους χρήστες οποτεδήποτε και οπουδήποτε, καθίσταται δυνατή χάρη στις εξελίξεις στην εικονικοποίηση, τις τεχνολογίες που βασίζονται στο νέφος, την πληροφορική και την αυτοματοποίηση των επιχειρηματικών διαδικασιών. Οι φέτες δικτύου είναι κατασκευές υποδικτύων που καθορίζονται από λογισμικό και μπορούν να παραχθούν από τα δίκτυα 5G. Με τη βοήθεια αυτών των φέτες, οι διαχειριστές δικτύου μπορούν να καθορίσουν τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες και οι συσκευές θα πρέπει να αλληλεπιδρούν με το δίκτυο. Επιτρέποντας την αυτοματοποίηση μέσω της μηχανικής μάθησης (ML), το 5G βελτιώνει επίσης τις διαδικτυακές εμπειρίες. Είναι απαραίτητο τα δίκτυα 5G να χρησιμοποιήσουν

αυτοματοποίηση με μηχανική μάθηση (ML) και τελικά βαθιά μάθηση και τεχνητή νοημοσύνη (AI), για να ικανοποιήσουν τη ζήτηση για χρόνους απόκρισης σε κλάσματα του δευτερολέπτου, όπως για τα αυτοκινούμενα αυτοκίνητα. Το κόστος των υποδομών θα μειωθεί λόγω της αυτοματοποιημένης παροχής και του προληπτικού ελέγχου της κυκλοφορίας και των υπηρεσιών, γεγονός που θα βελτιώσει επίσης την εμπειρία σύνδεσης (Tullberg et al., 2016).

2.5. Η ισχυρή επίδραση της τεχνολογίας 5G

Οι επιχειρήσεις και η κοινωνία στο σύνολό της μπορούν να επωφεληθούν σε μεγάλο βαθμό από την τεχνολογία 5G. Οι επιχειρήσεις έχουν πλέον περισσότερες ευκαιρίες για καινοτομία και καλύτερες εμπειρίες για τους καταναλωτές χάρη στο 5G. Η ανάπτυξη λύσεων αυτόνομης κινητικότητας καθίσταται δυνατή χάρη στη μειωμένη καθυστέρηση του 5G, αυξάνοντας τη βιωσιμότητα των αυτοκινούμενων αυτοκινήτων και άλλων αυτόνομων οχημάτων. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) υποστηρίζεται από το 5G, επιτρέποντας στα έξυπνα εργοστάσια να αναπτύξουν υπερ-συνδεδεμένα περιβάλλοντα που θα βελτιστοποιήσουν τις λειτουργίες και θα επιτρέψουν την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) γίνονται επίσης πιο προσιτές από τη χαμηλή καθυστέρηση και το υψηλό εύρος ζώνης του 5G, γεγονός που βελτιώνει την εκπαίδευση, τη συνεργασία και τη δέσμευση των πελατών. Η ανάπτυξη του edge computing υποβοηθείται περαιτέρω από το 5G, το οποίο καθιστά δυνατή την έξυπνη επεξεργασία πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο (Khuntia et al., 2020).

Το 5G έχει τη δυνατότητα να μετατρέψει τις πόλεις σε έξυπνες πόλεις σε κοινωνικό επίπεδο. Οι πόλεις μπορούν να αυξήσουν τον αστικό σχεδιασμό, να μειώσουν τη ρύπανση, να βελτιώσουν τις δημόσιες υπηρεσίες και να βελτιστοποιήσουν τη ροή της κυκλοφορίας με τη χρήση συσκευών IoT και την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Το 5G προσφέρει ανταλλαγή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο στον κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης, επιτρέποντας καινοτομίες όπως η εξ αποστάσεως χειρουργική επέμβαση, οι διαβουλεύσεις μέσω βίντεο και τα φορητά gadgets για την παρακολούθηση των ασθενών. Καθίσταται δυνατή η εξατομικευμένη φροντίδα και βελτιώνεται η παροχή υγειονομικής περίθαλψης. Επιπλέον, η

αποδοτικότητα και η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας του 5G συμβάλλουν στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα μειώνοντας τις παγκόσμιες εκπομπές (Rao & Prasad, 2018). Η παρακολούθηση περιβαλλοντικών δεικτών σε πραγματικό χρόνο και η υποστήριξη προγραμμάτων όπως τα έξυπνα κτίρια και τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα ενισχύουν την υπόθεση ενός καθαρότερου μέλλοντος. Οι επιχειρήσεις έχουν ευκαιρίες να καινοτομήσουν, να γίνουν πιο αποτελεσματικές και να βελτιώσουν τις εμπειρίες των καταναλωτών χάρη στην τεχνολογία 5G. Προάγει την υγειονομική περίθαλψη, ενισχύει την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και βοηθά την κοινωνία με την προώθηση των έξυπνων πόλεων. Το 5G έχει τη δυνατότητα να αναστατώσει τις βιομηχανίες, να βελτιώσει την ποιότητα ζωής και να προωθήσει πολλούς άλλους τομείς χάρη στα επαναστατικά χαρακτηριστικά του (Boccardi et al., 2014).

2.6. Εφαρμογές της τεχνολογίας 5G

2.6.1. Δίκτυο κινητής τηλεφωνίας υψηλής ταχύτητας

Με ένα υπερτροφοδοτούμενο ασύρματο δίκτυο ικανό να υποστηρίζει ταχύτητα λήψης δεδομένων έως και 10 έως 20 GBPS, το 5G θα μεταμορφώσει την εμπειρία της κινητής τηλεφωνίας. Είναι συγκρίσιμη με μια ασύρματη πρόσβαση σε σύνδεση Internet μέσω οπτικών ινών. Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους μετάδοσης κινητής τηλεφωνίας, το 5G επιτρέπει την αποτελεσματική ταυτόχρονη παροχή φωνής και δεδομένων υψηλής ταχύτητας. Μία από τις πιο κρίσιμες πτυχές της τεχνολογίας 5G είναι η χαμηλή καθυστέρηση, η οποία είναι απαραίτητη για κρίσιμες εφαρμογές και εφαρμογές αυτόνομης οδήγησης. Τα δίκτυα 5G μπορούν να επιτύχουν καθυστέρηση μικρότερη από ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου (Song et al., 2022).

Τα νέα ραδιοχιλιοστομετρικά κύματα θα χρησιμοποιηθούν από το 5G για τη μετάδοση. Σε σύγκριση με τις μικρότερες ζώνες LTE, έχει σημαντικά υψηλότερο εύρος ζώνης και πολύ υψηλότερη απόδοση δεδομένων. οι ταχύτητες λήψης δεδομένων από το κινητό θα είναι σημαντικά ταχύτερες και το ευαίσθητο κινητό διαδίκτυο θα προσφέρει μια ισχυρή κινητή εμπειρία. Η ασφαλής πρόσβαση στην αποθήκευση στο υπολογιστικό νέφος, η πρόσβαση σε επιχειρηματικές εφαρμογές και η εικονική εκτέλεση απαιτητικών δραστηριοτήτων με μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ θα καταστούν δυνατές από τα δίκτυα 5G. Περισσότερες ευκαιρίες θα είναι διαθέσιμες για

τους νέους κατασκευαστές συσκευών και τους προγραμματιστές εφαρμογών χάρη στην ασύρματη τεχνολογία 5G. Περισσότερες έξυπνες συσκευές και συσκευές VoIP θα κυκλοφορήσουν στην αγορά, δημιουργώντας περισσότερες προοπτικές εργασίας (Cui et al., 2020).

2.6.2. Ψυχαγωγία και πολυμέσα

Ένας εικονικός κόσμος υψηλής ευκρίνειας θα είναι διαθέσιμος στο τηλέφωνό σας χάρη στο 5G. Χρειάζονται μόλις λίγα δευτερόλεπτα για τη ροή βίντεο 4K σε υψηλή ταχύτητα και η ποιότητα του ήχου είναι εξαιρετικά καθαρή. Η ζωντανή μετάδοση εκδηλώσεων υψηλής ευκρίνειας είναι δυνατή μέσω ασύρματου δικτύου. Στις κινητές συσκευές, τα τηλεοπτικά κανάλια HD είναι προσβάσιμα χωρίς προβλήματα. Τα ασύρματα δίκτυα 5G θα είναι εξαιρετικά ευεργετικά για τον τομέα της ψυχαγωγίας. Η ροή βίντεο χωρίς παύση με 120 εικόνες ανά δευτερόλεπτο, υψηλή ποιότητα και καλύτερο δυναμικό εύρος είναι δυνατή με το 5G. Οι πιο πρόσφατες καινοτομίες που οδηγούνται από το ασύρματο δίκτυο 5G θα εφαρμοστούν, ξαναγράφοντας πλήρως την οπτικοακουστική εμπειρία. Με γρήγορο διαδίκτυο, τα δίκτυα 5G θα μπορούσαν να παρέχουν καλύτερη εμπειρία παιχνιδιού (Imran et al., 2019).

2.6.3. Διαδίκτυο των πραγμάτων

Ένας άλλος τεράστιος τομέας ανάπτυξης με ένα υπερφορτωμένο ασύρματο δίκτυο 5G είναι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT). Κάθε αντικείμενο, συσκευή, αισθητήρας, gadget και εφαρμογή θα συνδεθεί με το Διαδίκτυο μέσω του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Σύμφωνα με τους Li και συν. (2014), οι εφαρμογές IoT θα συγκεντρώνουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων από εκατομμύρια αισθητήρες και συσκευές.

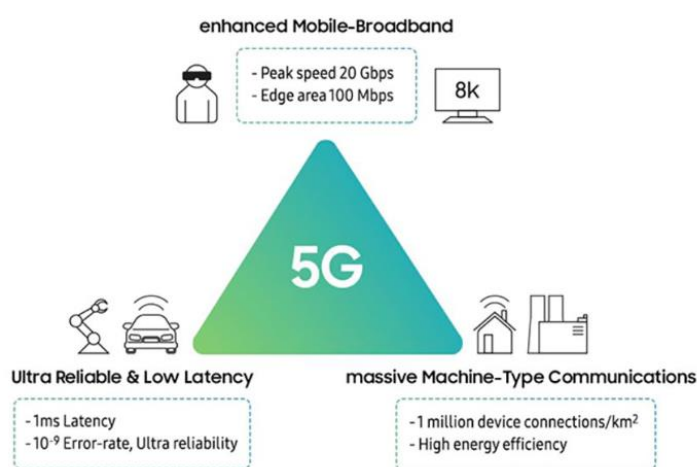
Στην αγορά σήμερα, οι έξυπνες οικιακές συσκευές και τα gadgets πλησιάζουν. Τα δίκτυα 5G θα χρησιμοποιηθούν από την έννοια του έξυπνου σπιτιού για την παρακολούθηση των εφαρμογών και την επικοινωνία των συσκευών. Οι έξυπνες συσκευές που μπορούν να ελέγχονται και να έχουν πρόσβαση από απόσταση θα χρησιμοποιούν το ασύρματο δίκτυο 5G. Για λόγους ασφαλείας, οι κάμερες κλειστού κυκλώματος θα προσφέρουν υλικό υψηλής ευκρίνειας σε πραγματικό χρόνο (Skouby & Lynggaard, 2014).

Η υιοθέτηση της ευφυούς τεχνολογίας 5G θα είναι εξαιρετικά επωφελής για τον τομέα της εφοδιαστικής και των μεταφορών. Το 5G έχει πολλά πλεονεκτήματα για τις επιχειρήσεις εφοδιαστικής σε σχέση με τα παραδοσιακά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, λόγω του ταχύτερου δικτύου και της ικανότητάς του να συνδέει περισσότερες συσκευές ταυτόχρονα. Η αποτελεσματική χρήση των ετικετών RFID είναι μία από τις σημαντικές εφαρμογές του 5G στα logistics. Οι ετικέτες αυτές μπορούν να τοποθετηθούν σε μεμονωμένα εμπορεύματα ή σε ολόκληρες παλέτες, καθιστώντας δυνατή την ακριβή και αυτόματη ανίχνευση των προϊόντων κατά μήκος ολόκληρης της αλυσίδας εφοδιασμού. Τα δεδομένα από αυτές τις ετικέτες μπορούν να ανταλλάσσονται άμεσα και εύκολα χάρη στη βελτιωμένη συνδεσιμότητα του 5G, δίνοντας ορατότητα σε πραγματικό χρόνο στα αποθέματα και βελτιώνοντας τις διαδικασίες logistics. Η χρήση της τεχνολογίας 5G μπορεί να συμβάλει στην επιτάχυνση των διαδικασιών συσκευασίας και σήμανσης. Το διαδίκτυο υψηλής ταχύτητας επιτρέπει στο προσωπικό των logistics να έχει πρόσβαση σε κεντρικές βάσεις δεδομένων και να τις ενημερώνει σε πραγματικό χρόνο, εξασφαλίζοντας ακριβή και αποτελεσματική διαχείριση αποθεμάτων. Αυτό αυξάνει τη συνολική επιχειρησιακή αποδοτικότητα μειώνοντας τα λάθη και τις καθυστερήσεις στη ροή εργασιών των logistics (Agarwala & Guduru, 2021).

Επιπλέον, το 5G καθιστά δυνατή τη χρήση έξυπνων gadgets παρακολούθησης που μπορούν να παρακολουθούν διάφορες περιβαλλοντικές μεταβλητές, όπως η θερμοκρασία, οι κραδασμοί, η έκθεση στο φως και η υγρασία. Αυτά τα gadgets προσφέρουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, διασφαλίζοντας ότι τα εμπορεύματα χειρίζονται και παραδίδονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Ο κίνδυνος αλλοίωσης ή καταστροφής των προϊόντων μπορεί να μειωθεί με την προσεκτική παρακολούθηση αυτών των παραγόντων, τη διατήρηση της ποιότητας των προϊόντων και την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων. Τα χαρακτηριστικά εντοπισμού θέσης GPS σε πραγματικό χρόνο του 5G είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στον κλάδο της εφοδιαστικής. Οι εταιρείες logistics μπορούν να βελτιώσουν τον προγραμματισμό διαδρομών, να εξορθολογήσουν τις διαδικασίες παράδοσης και να παρέχουν στους καταναλωτές ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο για τις παραγγελίες τους με τη χρήση ακριβών και τρεχουσών πληροφοριών σχετικά με τη συγκεκριμένη θέση των αποστολών. Ως αποτέλεσμα, αυξάνεται η επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα, αυξάνεται η

ικανοποίηση των πελατών και μειώνεται η πιθανότητα σφαλμάτων παράδοσης (Al-Turjman, 2019).

Η μελλοντική χρήση αυτόνομων οχημάτων και μη επανδρωμένων αεροσκαφών για την παράδοση πακέτων είναι ένα άλλο βασικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας 5G στην εφοδιαστική. Τα αυτόνομα οχήματα μπορούν να επικοινωνούν με τα κεντρικά συστήματα ελέγχου και να πλοηγούνται με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα λόγω της χαμηλής καθυστέρησης και της συνδεσιμότητας υψηλής ταχύτητας του 5G. Αυτό δημιουργεί ευκαιρίες για παράδοση στο τελευταίο μίλι που είναι ταχύτερη και πιο προσιτή, ιδίως σε μητροπολιτικές περιοχές (Mamun et al., 2019).



Εικόνα 4 The three next-generation technologies that make up the 5G Triangle

2.6.4. IoT

Η αποτελεσματική αυτοματοποίηση του εξοπλισμού, η προληπτική συντήρηση, η ασφάλεια, η παρακολούθηση των διαδικασιών, η έξυπνη συσκευασία, η ναυτιλία, η εφοδιαστική και η διαχείριση της ενέργειας θα εξαρτηθούν από τις έξυπνες ασύρματες τεχνολογίες όπως το 5G και το LTE που θα αναπτυχθούν στο μέλλον. Η τεχνολογία ευφών αισθητήρων έχει αμέτρητες βιομηχανικές εφαρμογές IoT που μπορούν να κάνουν τις διαδικασίες πιο έξυπνες, ασφαλείς, προσιτές και ενεργειακά αποδοτικές (Li et al., 2018).

2.6.5. Φροντίδα υγείας

Οι επαγγελματίες του ιατρικού κλάδου θα μπορούν να αναλαμβάνουν ιατρικές θεραπείες αιχμής με τη βοήθεια της τεχνολογίας 5G χάρη σε ένα αξιόπιστο ασύρματο δίκτυο που είναι συνδεδεμένο με ένα άλλο μέρος του κόσμου. Οι συνδεδεμένες αίθουσες διδασκαλίας θα διευκολύνουν τους φοιτητές να παρακολουθούν διαλέξεις και αξιόλογους ομιλητές. οι έξυπνες συσκευές και η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο θα είναι χρήσιμες για τα άτομα με χρόνια ιατρικά προβλήματα. Οι γιατροί θα μπορούν να συμβουλευόμαστε τους ασθενείς ανά πάσα στιγμή, από οπουδήποτε, και να τους παρέχουν συμβουλές ανάλογα με τις ανάγκες τους. Οι επιστήμονες αναπτύσσουν έξυπνα χειρουργικά εργαλεία που μπορούν να κάνουν χειρουργικές επεμβάσεις από απόσταση. Ένα ισχυρό δίκτυο πρέπει να χρησιμοποιείται από τον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης για την ενσωμάτωση όλων των λειτουργιών του (Li, 2019).

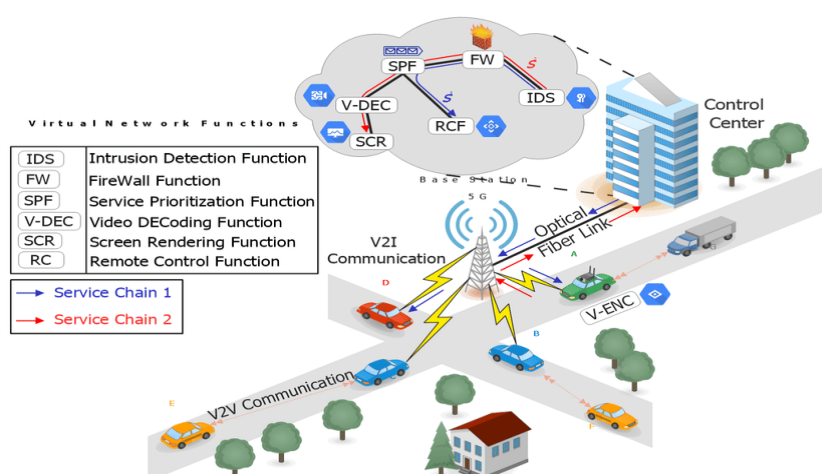
Οι έξυπνες ιατρικές συσκευές, το Διαδίκτυο των ιατρικών πραγμάτων, οι έξυπνες αναλύσεις και οι τεχνολογίες ιατρικής απεικόνισης υψηλής ευκρίνειας θα τροφοδοτούνται από το 5G στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Η κατάσταση ενός ασθενούς θα παρακολουθείται συνεχώς από έξυπνες ιατρικές συσκευές, όπως τα wearables, οι οποίες θα ενεργοποιούν επίσης ειδοποιήσεις σε περίπτωση κρίσεων. Σε σενάρια έκτακτης ανάγκης, τα νοσοκομεία και οι υπηρεσίες ασθενοφόρων θα λαμβάνουν ειδοποιήσεις, επιτρέποντάς τους να διαγνώσουν και να θεραπεύσουν γρήγορα τους ασθενείς. Ειδικές ετικέτες και ακριβής εξοπλισμός εντοπισμού θέσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση ασθενών με ειδικές ανάγκες. Η πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων υγειονομικής περίθαλψης είναι διαθέσιμη από οπουδήποτε και η ανάλυση των συλλεχθέντων δεδομένων είναι χρήσιμη για την έρευνα και τη βελτίωση της θεραπείας. Χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο 5G, οι επαγγελματίες του ιατρικού τομέα θα μπορούν να μεταφέρουν τεράστια αρχεία, όπως μια έκθεση μαγνητικής τομογραφίας, η οποία συχνά έχει μέγεθος μεγαλύτερο από 1 GB, σε λίγα μόνο δευτερόλεπτα (Dananjayan & Raj, 2020).

2.6.6. Αυτόνομη οδήγηση

Με τη βοήθεια των ασύρματων δικτύων 5G, τα αυτοκινούμενα αυτοκίνητα δεν απέχουν πολύ από το να γίνουν πραγματικότητα. Για την αυτόνομη οδήγηση, ένα ασύρματο δίκτυο υψηλής απόδοσης με χαμηλή καθυστέρηση είναι απαραίτητο. Στο

μέλλον, τα αυτοκίνητα θα μπορούν να επικοινωνούν με έξυπνα σήματα κυκλοφορίας, αντικείμενα στο περιβάλλον τους και άλλα κινούμενα οχήματα. Για τα αυτοκινούμενα αυτοκίνητα, κάθε χιλιοστό του δευτερολέπτου μετράει. Η επιλογή πρέπει να γίνει σε κλάσματα του δευτερολέπτου για να αποφευχθεί μια σύγκρουση και να εξασφαλιστεί η ασφάλεια των επιβατών (Hakak et al., 2023).

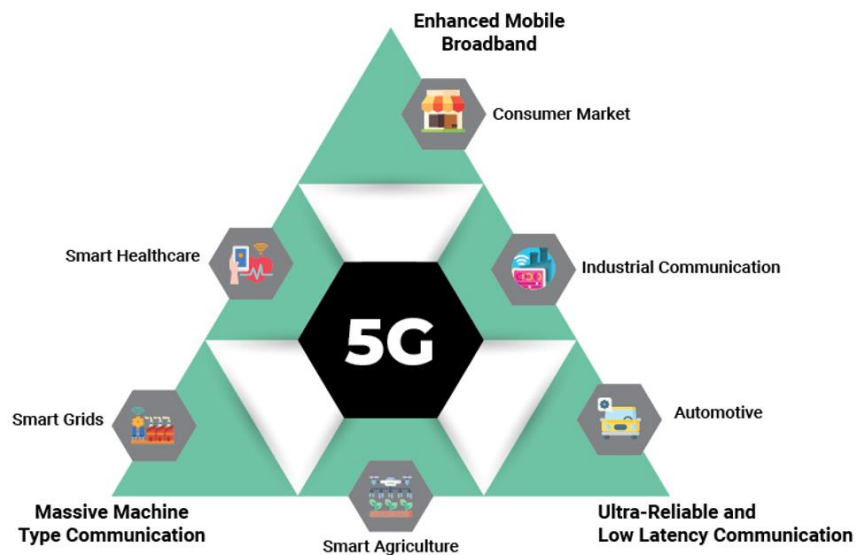
Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη γίνονται ολοένα και πιο διαδεδομένα για διάφορους σκοπούς, όπως η ψυχαγωγία, η λήψη βίντεο, η πρόσβαση σε ιατρικές υπηρεσίες και υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης, τα έξυπνα συστήματα παράδοσης, η ασφάλεια και η επιτήρηση. Σε μια ποικιλία εφαρμογών, το δίκτυο 5G θα προσφέρει ισχυρή υποστήριξη και ασύρματη συνδεσιμότητα υψηλής ταχύτητας στο διαδίκτυο για τη λειτουργία των drone. Οι άνθρωποι έχουν περιορισμένη πρόσβαση σε πολλές τοποθεσίες όπου τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να φτάσουν και να συλλέξουν σημαντικές πληροφορίες κατά τη διάρκεια καταστάσεων όπως οι φυσικές καταστροφές (Ullah et al., 2019).



Εικόνα 5 5G network encompassing autonomous vehicle navigation

2.6.7. Δορυφορικό Internet

Μια από τις σημαντικότερες εξελίξεις στην τεχνολογία του διαδικτύου για αγροτικές περιοχές όπου δεν υπάρχουν συμβατικοί επίγειοι σταθμοί βάσης είναι η συνδεσιμότητα δικτύου υψηλής ταχύτητας 5G μέσω δορυφόρου. Με τη βοήθεια ενός αστερισμού χιλιάδων μικρών δορυφόρων, η δορυφορική τεχνολογία διαδικτύου παρέχει πρόσβαση σε αστικές και αγροτικές τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο (Marchese et al., 2019).



Εικόνα 6 How 5G Technology is Driving the Digital Transformation

2.7 Μειονεκτήματα τεχνολογίας 5G

Με όλα τα πλεονεκτήματά της, η τεχνολογία 5G έχει επίσης αρκετά μειονεκτήματα και δυσκολίες που πρέπει να ξεπεραστούν πριν από την ευρεία χρήση της. Η περιορισμένη εμβέλεια των δικτύων 5G είναι ένας από τους μεγαλύτερους περιορισμούς τους. Προς το παρόν, μόνο λίγες πόλεις έχουν πρόσβαση στο 5G, αφήνοντας απομακρυσμένα μέρη με ελάχιστη έως καθόλου πρόσβαση στην τεχνολογία. Για την αύξηση της κάλυψης του 5G απαιτούνται σημαντικές επενδύσεις σε υποδομές, συμπεριλαμβανομένης της κατασκευής πρόσθετων σταθμών πύργων. Η δαπανηρή δαπάνη για την αύξηση της κάλυψης παρουσιάζει προβλήματα για τις εταιρείες τηλεπικοινωνιών και τις κυβερνήσεις, επιβραδύνοντας την ανάπτυξη του 5G σε ορισμένες περιοχές. Η μικρότερη εμβέλεια εκπομπής της τεχνολογίας 5G σε σύγκριση με το 4G είναι ένα άλλο μειονέκτημα. Τα μικρότερα μήκη κύματος των ζωνών υψηλότερων συχνοτήτων που χρησιμοποιεί το 5G τις καθιστούν πιο ευαίσθητες σε παρεμβολές από φυσικά αντικείμενα όπως δέντρα και κτίρια. Ως αποτέλεσμα, η ισχύς και η κάλυψη του σήματος μπορεί να υποφέρουν, καθιστώντας αναγκαία την ανάπτυξη περισσότερων μικρών κυψελών και πύργων προκειμένου να διατηρηθεί μια σταθερή σύνδεση. Η ανάπτυξη αυτών των πρόσθετων κομματιών υποδομής αυξάνει

τις δυσκολίες της υιοθέτησης του 5G, επειδή απαιτεί πολύ χρόνο και κοστίζει πολλά χρήματα (Kishore & Senapati, 2022).

Επιπλέον, σε σύγκριση με το 4G, οι ρυθμοί μεταφόρτωσης στα δίκτυα 5G ενδέχεται να μην αυξηθούν σημαντικά. Παρόλο που το 5G υπόσχεται καλύτερες ταχύτητες λήψης, οι ρυθμοί μεταφόρτωσης δεν θα μπορούσαν να λειτουργήσουν στο ίδιο επίπεδο. Εφαρμογές που βασίζονται σημαντικά σε γρήγορους ρυθμούς μεταφόρτωσης, όπως οι τηλεδιασκέψεις, η συνεργασία σε πραγματικό χρόνο και οι υπηρεσίες που βασίζονται στο σύννεφο, ενδέχεται να επηρεαστούν από αυτόν τον περιορισμό. Για την αποτελεσματική αξιοποίηση των δυνατοτήτων του 5G σε μια ποικιλία επιχειρήσεων, οι πάροχοι δικτύου πρέπει να αντιμετωπίσουν αυτόν τον περιορισμό (El-Shorbagy, 2021).

Ένα άλλο ζήτημα που σχετίζεται με την τεχνολογία 5G είναι η διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας μπορεί να επηρεαστεί από την αυξημένη κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για την ενεργοποίηση της συνδεσιμότητας υψηλής ταχύτητας του 5G, η οποία θα μπορούσε να μειώσει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Καθώς εργάζονται για τη δημιουργία συσκευών που μπορούν να διαχειριστούν τις απαιτήσεις του 5G διατηρώντας παράλληλα αξιοπρεπή απόδοση της μπαταρίας, αυτό αποτελεί δίλημμα για τους κατασκευαστές κινητών τηλεφώνων. Για να ξεπεραστεί αυτός ο περιορισμός και να προσφέρουν στους χρήστες μια απρόσκοπτη εμπειρία 5G, απαιτούνται εξελίξεις στην τεχνολογία της μπαταρίας, συμπεριλαμβανομένων βελτιώσεων στην ενεργειακή απόδοση και τη χωρητικότητα. Έχουν εκφραστεί ανησυχίες σχετικά με το ενδεχόμενο το 5G να παρεμβαίνει στις λειτουργίες αεροδρομίων και αεροσκαφών. Ανησυχίες σχετικά με πιθανές παρεμβολές έχουν εκφραστεί λόγω της χρήσης συγκεκριμένων ζωνών συχνοτήτων για τα δίκτυα 5G, ιδίως εκείνων που βρίσκονται κοντά σε συχνότητες που χρησιμοποιούνται από όργανα αεροσκαφών. Η ασφάλεια και η αξιοπιστία των λειτουργιών των αεροσκαφών εξακολουθούν να αποτελούν ύψιστη προτεραιότητα, παρόλο που έχουν γίνει βήματα για τη μείωση αυτού του κινδύνου, όπως η δημιουργία ζωνών απομόνωσης και η χρήση χαμηλότερων επιπέδων ισχύος κοντά σε αεροδρόμια (Chochliouros et al., 2021).

Επιπλέον, η ενισχυμένη συνδεσιμότητα των δικτύων 5G και οι ταχύτεροι ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων φέρνουν μαζί τους νέους κινδύνους κυβερνοασφάλειας. Τα δίκτυα 5G ενδέχεται να είναι πιο ευάλωτα σε απειλές στον κυβερνοχώρο λόγω της

αυξημένης χωρητικότητας και της μεγαλύτερης επιφάνειας επίθεσης. Οι συσκευές ενδέχεται να είναι ευάλωτες σε απόπειρες πειρατείας εάν δεν χρησιμοποιείται κρυπτογράφηση κατά την πρώτη διαδικασία σύνδεσης. Η επέκταση των συνδεδεμένων συσκευών στο οικοσύστημα του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) εντός ενός δικτύου 5G καθιστά επίσης πιο δύσκολη τη διαχείριση της ασφάλειας και απαιτεί ισχυρή άμυνα έναντι πιθανών εισβολών. Για τη σωστή μείωση αυτών των απειλών, οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων, οι κατασκευαστές συσκευών και οι επαγγελματίες ασφαλείας πρέπει να επενδύουν συνεχώς σε λύσεις κυβερνοασφάλειας (Mohan et al., 2022).

2.7.1. Αμφιβολίες για την τεχνολογία 5G

Σύμφωνα με τους ειδικούς, η ανταπόκριση ενός ατόμου στο 5G μπορεί να διαφέρει από την ανταπόκριση ενός άλλου ατόμου λόγω γενετικής και ευαισθησίας στην ακτινοβολία. Σύμφωνα με έρευνες, τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία (EMF) μπορούν να έχουν αντίκτυπο στα γονίδια, με τις ακριβείς συνέπειες να εξαρτώνται από τη συχνότητα, την ένταση και τη διάρκεια της έκθεσης. Ορισμένοι υποστηρίζουν ότι οι ισχύοντες κυβερνητικοί κανονισμοί ραδιοσυχνοτήτων (RF) θα πρέπει να αναθεωρηθούν, επειδή βασίστηκαν σε πενιχρές έρευνες που έγιναν στα τέλη της δεκαετίας του 1990. Οι πιθανοί κίνδυνοι της μη ιονίζουσας ακτινοβολίας, όπως ο καρκίνος, το κυτταρικό στρες, οι γενετικές βλάβες, οι αναπαραγωγικές ανωμαλίες και οι νευρολογικές ασθένειες, έχουν αναφερθεί από περισσότερους από 3.500 γιατρούς διαφόρων ειδικοτήτων (Chiaraviglio et al., 2021).

Υπάρχουν διαφορετικές απόψεις μεταξύ των επαγγελματιών, παρά το γεγονός ότι οργανισμοί όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας και ο FDA θεωρούν το 5G ασφαλές. Αναμένεται περαιτέρω παρακολούθηση καθώς συνεχίζεται η μελέτη των πιθανών επιπτώσεων του 5G στην υγεία του εγκεφάλου. Ορισμένες παρανοήσεις σχετικά με τις συζητήσεις για το 5G έχουν ήδη διαλυθεί. Οι ισχυρισμοί ότι το 5G προκαλεί COVID-19 ή θέτει σε κίνδυνο την ασφάλεια των αεροσκαφών έχουν καταρριφθεί. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν πραγματικές ανησυχίες σχετικά με τα τρωτά σημεία της κυβερνοασφάλειας που συνδέονται με την ακεραιότητα της αλυσίδας εφοδιασμού 5G και την αυξανόμενη μετάδοση πληροφοριών (Tarikere et al., 2021).

2.8 Το όραμα του Zuckerberg

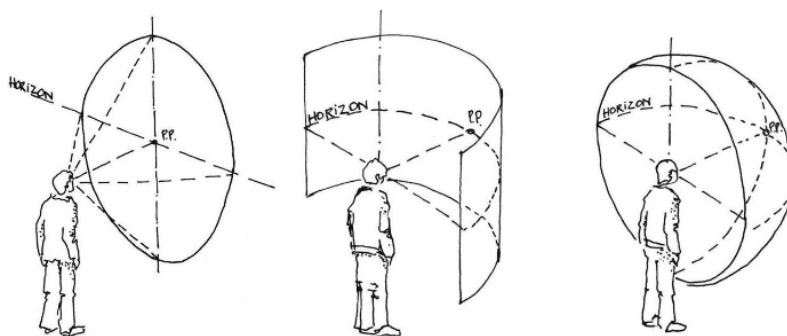
Το όραμα του Zuckerberg για το metaverse αναφέρεται σε μια φάση του διαδικτύου. Το metaverse αντιπροσωπεύει μια ευρύτερη αφηγηματική ιδέα που αναφέρεται σε έναν συνδυασμό εικονικής πραγματικότητας και επαυξημένης πραγματικότητας, όπου οι χρήστες δρουν ψηφιακά με τρόπους σχεδόν όμοιους με τον πραγματικό κόσμο. Παρόλο που η ιδέα αυτή ανοίγει δρόμους στην τεχνολογία και επομένως στην καθημερινότητα των ανθρώπων, έχει πολλές προκλήσεις και ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια, την ιδιωτικότητα, της υπερβολικής εξάρτησης από την τεχνολογία και της διάδρασης μεταξύ πραγματικού και εικονικού κόσμου. Συνοψίζοντας, το όραμα του Zuckerberg για το metaverse έχει ως στόχο να δημιουργήσει έναν πιο συνδεδεμένο και διαδραστικό κόσμο, στον οποίο ο άνθρωπος θα επεκτείνει τις δυνατότητες της δημιουργίας και της αλληλεπίδρασης.

3. Διασταύρωση του 5G και της εικονικής πραγματικότητας

3.1. Ορισμός της Εικονικής Πραγματικότητας

Η Εικονική Πραγματικότητα (VR) αφορά μια προσομοίωση ή μια καθηλωτική συνάντηση που δημιουργείται με υπολογιστή και επιτρέπει στους χρήστες να εμπλακούν σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον. Στη σφαίρα της εικονικής πραγματικότητας, τα άτομα είναι συνήθως εφοδιασμένα με εξειδικευμένες ηλεκτρονικές συσκευές, όπως ακουστικά και ελεγκτές κίνησης, οι οποίες παρακολουθούν επιμελώς τις φυσικές τους ενέργειες και τους εμπλέκουν σε ένα τεχνητό πεδίο. Ο πρωταρχικός στόχος της εικονικής πραγματικότητας (VR) είναι να δημιουργήσει μια βαθιά αίσθηση παρουσίας, παρακινώντας έτσι τους χρήστες να βιώσουν μια κατάσταση ύπαρξης όπου αντιλαμβάνονται ότι βρίσκονται φυσικά μέσα στο προσομοιωμένο περιβάλλον. Η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας (VR) χρησιμοποιεί εξελιγμένη γραφική απεικόνιση, αναπαραγωγή ήχου υψηλής ποιότητας και μηχανισμούς απτικής ανατροφοδότησης για την αποτελεσματική προσομοίωση της αισθητηριακής αντίληψης του χρήστη, παρέχοντας έτσι μια συναρπαστική και βαθιά ελκυστική εμπειρία. Μέσω της διευκόλυνσης της εμπλοκής του χρήστη με εικονικά περιβάλλοντα, η εικονική πραγματικότητα (VR) παρουσιάζει πληθώρα δυνατοτήτων σε διάφορους τομείς, που περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, την ψυχαγωγία, τα παιχνίδια,

την εκπαίδευση, την κατάρτιση, την υγειονομική περίθαλψη και άλλους τομείς (Orlosky et al., 2017).



Εικόνα 7 Η χρήση της εικονικής πραγματικότητας

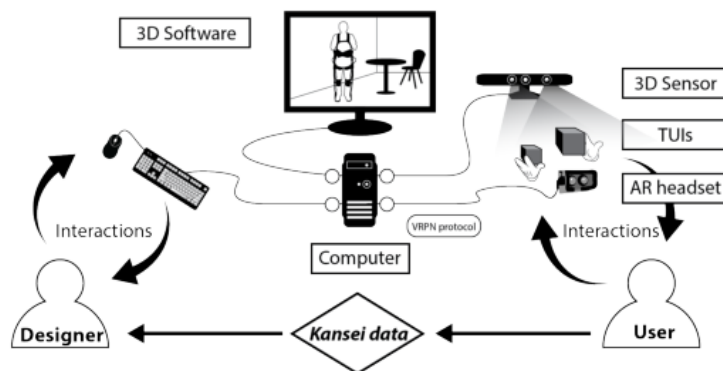
3.2. Τύποι συσκευών VR

Οι συσκευές εικονικής πραγματικότητας κυκλοφορούν σε διάφορες μορφές, κάθε μία από τις οποίες έχει σχεδιαστεί για να προσφέρει στους χρήστες διαφορετικά επίπεδα εμπύθισης και αλληλεπίδρασης μέσα σε εικονικά περιβάλλοντα. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι συσκευών VR περιλαμβάνουν ακουστικά VR, ελεγκτές κίνησης VR, συστήματα VR CAVE και ακουστικά επαυξημένης πραγματικότητας (AR) (Buttussi & Chittaro, 2018).

3.2.1. VR Headsets

Τα ακουστικά εικονικής πραγματικότητας (VR) χρησιμεύουν ως η κύρια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη διευκόλυνση των καθηλωτικών συναντήσεων VR. Η συνήθης διαμόρφωση περιλαμβάνει τη χρήση μιας οθόνης που τοποθετείται στο κεφάλι (HMD), την οποία τα άτομα φορούν πάνω στα οφθαλμικά τους όργανα, δημιουργώντας έτσι μια στερεοσκοπική τρισδιάστατη εντύπωση. Τα ακουστικά εικονικής πραγματικότητας (VR) μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες: ακουστικά συνδεδεμένα, αυτόνομα ακουστικά και ακουστικά βασισμένα σε κινητά. Τα συνδεδεμένα ακουστικά είναι εγγενώς συνδεδεμένα με ένα ισχυρό υπολογιστικό σύστημα, παρέχοντας έτσι στους χρήστες πρόσβαση σε ανώτερες

δυνατότητες γραφικής απόδοσης και επεξεργασίας. Αντίθετα, τα αυτόνομα ακουστικά διαθέτουν εγγενείς δυνατότητες επεξεργασίας, με αποτέλεσμα να μην απαιτείται ανεξάρτητος υπολογιστής ή κονσόλα. Τα φορητά ακουστικά, στην ουσία τους, εξαρτώνται από τις υπολογιστικές δυνατότητες των smartphones για να διευκολύνουν την καθηλωτική εμπειρία εικονικής πραγματικότητας. Επιπλέον, τα εν λόγω ακουστικά χαρακτηρίζονται συχνά από αυξημένη προσβασιμότητα και αυξημένη φορητότητα, καθιστώντας τα ευνοϊκή επιλογή για τους χρήστες που αναζητούν μια βολική και εν κινήσει λύση εικονικής πραγματικότητας (Buttussi & Chittaro, 2018).



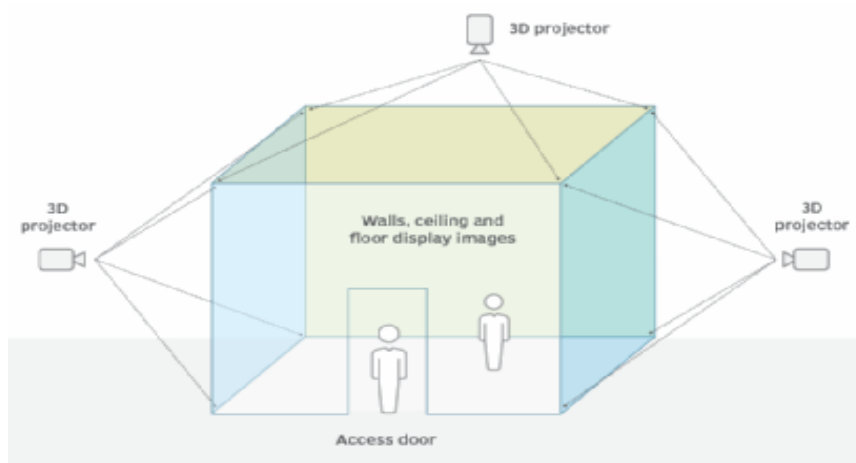
Εικόνα 8 Schematic description of VR Headset the system

3.2.2. VR Motion Controllers

Οι ελεγκτές κίνησης εικονικής πραγματικότητας (VR) είναι χειροκίνητες συσκευές που διευκολύνουν την εμπλοκή και την αλληλεπίδραση του χρήστη στο προσομοιωμένο περιβάλλον. Εξοπλισμένοι με πλήθος αισθητήρων, οι ελεγκτές κίνησης παρακολουθούν και καταγράφουν επιδέξια τις περίπλοκες αποχρώσεις των κινήσεων του χεριού και του βραχίονα του χρήστη. Αυτή η εξελιγμένη τεχνολογία δίνει τη δυνατότητα στα άτομα να χειρίζονται επιδέξια εικονικά αντικείμενα, να εκτελούν εκφραστικές χειρονομίες και να περιηγούνται απρόσκοπτα στο καθηλωτικό βασίλειο της εικονικής πραγματικότητας. Η ενσωμάτωση αυτού του επιπέδου διαδραστικότητας εισάγει μια νέα διάσταση ρεαλισμού και εμπλοκής στις εμπειρίες εικονικής πραγματικότητας (VR), προωθώντας έτσι μια αυξημένη αίσθηση σύνδεσης μεταξύ των χρηστών και του εικονικού πεδίου (Buttussi & Chittaro, 2018).

3.2.3. VR CAVE Systems

Τα συστήματα αυτόματου εικονικού περιβάλλοντος σπηλαίου (CAVE), γνωστά για την επεκτατική τους φύση, συναντώνται συνήθως σε αξιόλογα ερευνητικά ιδρύματα και σε εξελιγμένους τομείς εικονικής πραγματικότητας (VR). Τα συστήματα αυτά είναι ικανά να προβάλλουν τρισδιάστατες εικόνες υψηλής ανάλυσης στους τοίχους και το δάπεδο ενός χώρου μεγέθους δωματίου. Οι χρήστες χρησιμοποιούν συνήθως τρισδιάστατα γυαλιά καθώς και συσκευές παρακολούθησης κίνησης για την αποτελεσματική ανίχνευση και παρακολούθηση των κινήσεών τους. Καθώς τα άτομα επιδίδονται σε σωματική μετακίνηση εντός του περιβάλλοντος CAVE, το εικονικό πεδίο υφίσταται αντίστοιχες προσαρμογές, διευκολύνοντας έτσι μια βαθιά καθηλωτική και διαδραστική συνάντηση (Buttussi & Chittaro, 2018).

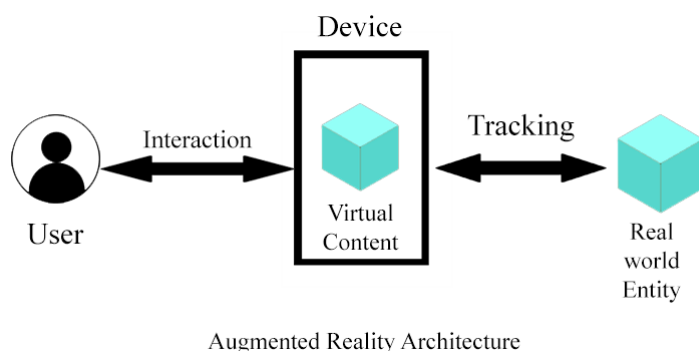


Εικόνα 9 Cave virtual reality

3.2.4. Augmented Reality (AR) Headsets

Αν και δεν εμπίπτουν αποκλειστικά στην κατηγορία της εικονικής πραγματικότητας (VR), είναι σκόπιμο να αναγνωρίσουμε τα ακουστικά επαυξημένης πραγματικότητας (AR) λόγω του συγκρίσιμου χαρακτήρα τους και της δυνατότητας σύγκλισης με την τεχνολογία VR. Τα ακουστικά επαυξημένης πραγματικότητας (AR) ενσωματώνουν απρόσκοπτα εικονικά στοιχεία στο χειροπιαστό περιβάλλον, επιτρέποντας στους χρήστες να αντιλαμβάνονται ψηφιακό περιεχόμενο τοποθετημένο πάνω στο άμεσο φυσικό τους περιβάλλον. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει εικονικές οντότητες, δεδομένα ή οπτικές αναπαραστάσεις που εκτίθενται σε ημιδιαφανείς

φακούς. Τα ακουστικά AR προσφέρουν μια ολοκληρωμένη συνάντηση μικτής πραγματικότητας, διευκολύνοντας τους χρήστες να ασχοληθούν ταυτόχρονα με εικονικά και πραγματικά στοιχεία (Buttussi & Chittaro, 2018).



Εικόνα 10 AR architecture

3.3. Δημιουργία και κατανάλωση περιεχομένου VR

Η διαδικασία δημιουργίας περιεχομένου εικονικής πραγματικότητας (VR) περιλαμβάνει μια συνεργιστική συγχώνευση διαφόρων τεχνολογιών, δηλαδή τρισδιάστατης μοντελοποίησης, γραφικών υπολογιστών, μηχανικής ήχου και διαδραστικού σχεδιασμού. Οι προγραμματιστές και οι καλλιτέχνες χρησιμοποιούν εξειδικευμένα εργαλεία λογισμικού προκειμένου να κατασκευάσουν εικονικά περιβάλλοντα, χαρακτήρες και αντικείμενα. Σημαντικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία περιεχομένου εικονικής πραγματικότητας (VR) περιλαμβάνουν μηχανές παιχνιδιών όπως η Unity και η Unreal Engine, λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης όπως το Blender και η Autodesk Maya, και λογισμικό επεξεργασίας ήχου όπως τα Pro Tools και Ableton Live. Μετά τη δημιουργία περιεχομένου εικονικής πραγματικότητας (VR), οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να ασχοληθούν με το εν λόγω περιεχόμενο μέσω συμβατών συσκευών VR. Τα άτομα φορούν τη συσκευή εικονικής πραγματικότητας (VR) με οθόνη που τοποθετείται στο κεφάλι (HMD) και συχνά χρησιμοποιούν ελεγκτές κίνησης ως μέσο για να διασχίσουν και να εμπλακούν με το προσομοιωμένο περιβάλλον. Το φάσμα του περιεχομένου της εικονικής πραγματικότητας (VR) περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα προσφορών, από συναρπαστικά διαδραστικά παιχνίδια και προσομοιώσεις έως διαφωτιστικές εικονικές

περιηγήσεις, εκπαιδευτικές συναντήσεις και καλλιτεχνικές εκθέσεις (Kardong-Edgren et al., 2019).

3.3.1. Εφαρμογές της εικονικής πραγματικότητας

Η έλευση της Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality - VR) έχει επιφέρει μια αλλαγή παραδείγματος στον τομέα των παιχνιδιών και της ψυχαγωγίας, καθώς παρέχει στους παίκτες έναν πρωτοφανή βαθμό εμπύθισης που μέχρι σήμερα ήταν αδιανόητος. Τα παιχνίδια εικονικής πραγματικότητας (VR) παρέχουν στους χρήστες την ευκαιρία να βυθιστούν σε προσομοιωμένα περιβάλλοντα, επιτρέποντάς τους να εμπλακούν με διάφορα στοιχεία και οντότητες μέσα σε αυτά τα ψηφιακά πεδία. Με την υιοθέτηση μιας οπτικής γωνίας πρώτου προσώπου, οι παίκτες μπορούν να συμμετέχουν ενεργά στο παιχνίδι, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική τους εμπειρία παιχνιδιού. Η σφαίρα των παιχνιδιών εικονικής πραγματικότητας προσφέρει ένα εξαιρετικό επίπεδο εμπύθισης και αιχμαλωσίας, περιλαμβάνοντας την εξερεύνηση ευφάνταστων περιοχών, τη συμμετοχή σε συναρπαστικές μάχες και την επίλυση περίπλοκων γρίφων. Με τις συνεχείς εξελίξεις στην τεχνολογία και την αυξανόμενη πολυπλοκότητα του περιεχομένου εικονικής πραγματικότητας (VR), είναι προφανές ότι ο τομέας των παιχνιδιών και της ψυχαγωγίας βρίσκεται στα πρόθυρα σημαντικής ανάπτυξης και προώθησης νέων καινοτομιών (Li et al., 2017).

Στον τομέα της εκπαίδευσης και της προσομοίωσης, η εικονική πραγματικότητα (VR) έχει αναδειχθεί σε απαραίτητο εργαλείο που καλύπτει ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών. Στον τομέα της αεροπορίας και της στρατιωτικής εκπαίδευσης, οι πιλότοι και οι στρατιώτες έχουν την ευκαιρία να συμμετάσχουν σε περίπλοκους ελιγμούς και σενάρια αποστολής μέσα σε ένα ασφαλές και ρυθμιζόμενο εικονικό περιβάλλον. Αυτό τους παρέχει το πλεονέκτημα του μετριασμού των κινδύνων που συνήθως συνδέονται με τις πραγματικές ασκήσεις εκπαίδευσης. Με παρόμοιο τρόπο, η εικονική πραγματικότητα (VR) βρίσκει εφαρμογή στον ιατρικό τομέα, συγκεκριμένα στο πεδίο των χειρουργικών προσομοιώσεων. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει στους χειρουργούς να βελτιώσουν την τεχνογνωσία τους και να σχεδιάσουν στρατηγικές περίπλοκων διαδικασιών πριν από την επαφή με πραγματικούς ασθενείς. Στο πλαίσιο των βιομηχανικών περιβαλλόντων, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωριστεί ότι οι εργαζόμενοι έχουν την ευκαιρία να συμμετέχουν σε ολοκληρωμένα προγράμματα

κατάρτισης που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να τους εξοπλίσουν με τις απαραίτητες δεξιότητες και γνώσεις ώστε να χειρίζονται αποτελεσματικά επικίνδυνες εργασίες ή σενάρια έκτακτης ανάγκης. Είναι ζωτικής σημασίας να αναγνωρίσουμε ότι τέτοιες πρωτοβουλίες κατάρτισης διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην αύξηση τόσο της ασφάλειας όσο και της αποτελεσματικότητας στο χώρο εργασίας. Στον τομέα της εκπαίδευσης, η εικονική πραγματικότητα (VR) υφίσταται βαθιά μεταμόρφωση όσον αφορά τον αντίκτυπό της στη μαθησιακή διαδικασία και τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές αλληλεπιδρούν με τις πληροφορίες και τις αφομοιώνουν. Η εικονική πραγματικότητα παρέχει μια εξαιρετικά καθηλωτική εκπαιδευτική εμπειρία, επιτρέποντας στους μαθητές να υπερβούν τους περιορισμούς του χρόνου και του χώρου. Μέσω αυτής της τεχνολογίας, οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να ταξιδέψουν στην ιστορία, να γίνουν μάρτυρες σημαντικών γεγονότων από πρώτο χέρι, να περιηγηθούν σε απομακρυσμένες τοποθεσίες και να αποκτήσουν μια απτή κατανόηση αφηρημένων επιστημονικών αρχών. Η αξιοποίηση μιας βιωματικής μαθησιακής προσέγγισης διευκολύνει την καλλιέργεια μιας πιο βαθιάς κατανόησης και διαρκή διατήρησης της γνώσης, ενισχύοντας έτσι τη δέσμευση και την αποτελεσματικότητα της εκπαίδευσης (Li et al., 2017).

Ο κλάδος της υγειονομικής περίθαλψης έχει επίσης εύκολα υιοθετήσει την εικονική πραγματικότητα (VR) ως ισχυρό εργαλείο για ποικίλες εφαρμογές. Η εικονική πραγματικότητα (VR) χρησιμοποιείται στον τομέα της διαχείρισης του πόνου, όπου χρησιμοποιούνται καθηλωτικές εμπειρίες για να αποσπάσουν την προσοχή των ασθενών από τη δυσφορία που μπορεί να προκύψει κατά τη διάρκεια ιατρικών διαδικασιών ή θεραπευτικών συνεδριών. Η θεραπεία έκθεσης, μια θεραπευτική προσέγγιση που χρησιμοποιείται στη θεραπεία των φοβιών και των αγχωδών διαταραχών, έχει επιδείξει αποτελεσματικότητα όταν εφαρμόζεται μέσω προσομοιώσεων εικονικής πραγματικότητας (VR). Οι προσομοιώσεις αυτές διευκολύνουν τη σταδιακή και ελεγχόμενη έκθεση των ασθενών στους συγκεκριμένους φόβους τους, επιτρέποντας έτσι μια θεραπευτική παρέμβαση που είναι τόσο ασφαλής όσο και αποτελεσματική. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι η εικονική πραγματικότητα (VR) έχει αναδειχθεί ως ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο στον τομέα της φυσικής αποκατάστασης, καθώς έχει τη δυνατότητα να βοηθήσει τους ασθενείς στη διαδικασία ανάρρωσής τους μετά από τραυματισμούς ή στην ενίσχυση της κινητικότητας και των κινητικών τους δεξιοτήτων. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι

οι αρχιτέκτονες και οι σχεδιαστές έχουν αγκαλιάσει εύκολα την εικονική πραγματικότητα (VR) ως ένα εξαιρετικά αποτελεσματικό εργαλείο οπτικοποίησης για τα αντίστοιχα έργα τους. Μέσω της χρήσης τρισδιάστατων μοντέλων, οι αρχιτέκτονες διαθέτουν τη δυνατότητα να συνοδεύουν τους πελάτες σε καθηλωτικές εικονικές περιηγήσεις, παρέχοντάς τους έτσι την ευκαιρία να συμμετάσχουν σε μια βιωματική συνάντηση και να αποκτήσουν μια ολοκληρωμένη αντίληψη του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού πριν από την έναρξη της διαδικασίας κατασκευής. Η χρήση μιας διαδραστικής προσέγγισης διευκολύνει την ενισχυμένη επικοινωνία μεταξύ σχεδιαστών και πελατών, με αποτέλεσμα να λαμβάνονται σε μεγαλύτερο βαθμό τεκμηριωμένες και ικανοποιητικές αποφάσεις σχεδιασμού (Li, 2019).

Η αξιοποίηση της εικονικής πραγματικότητας έχει επίσης παρατηρηθεί στον τομέα του τουρισμού. Η τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας (VR) έχει φέρει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο τα άτομα μπορούν να ασχοληθούν με ταξιδιωτικούς προορισμούς, ιστορικά ορόσημα και μουσεία. Αξιοποιώντας τις εικονικές περιηγήσεις που βασίζονται στην εικονική πραγματικότητα, οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να βιώσουν μια απaráμιλλη εμπειρία εμπύθισης που υπερβαίνει τους περιορισμούς της φυσικής παρουσίας. Αυτή η καινοτόμος προσέγγιση δίνει τη δυνατότητα στα άτομα να εξερευνήσουν και να αλληλεπιδράσουν με διάφορους τόπους που διαφορετικά μπορεί να τους είναι απρόσιτοι στην πραγματικότητα. Αυτή η τεχνολογική καινοτομία διευκολύνει την ικανοποίηση της έμφυτης επιθυμίας για εξερεύνηση μεταξύ των ατόμων που έχουν ένα έντονο πάθος για την περιήγηση σε διάφορους τόπους, ενώ παραμένουν μέσα στα όρια της προσωπικής τους κατοικίας. Επιπλέον, η ικανότητα της εικονικής πραγματικότητας (VR) να καλλιεργεί κοινωνικές αλληλεπιδράσεις και να διευκολύνει τη συνεργασία έχει αποκαλύψει νέες προοπτικές για την εξ αποστάσεως επικοινωνία και τη συλλογική εργασία. Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να συγκεντρώνονται σε εικονικά περιβάλλοντα, να συμμετέχουν σε εικονικές διασκέψεις και να συμμετέχουν σε συνεργατικές προσπάθειες που ξεπερνούν τους γεωγραφικούς περιορισμούς. Η έλευση της συνδεσιμότητας επιφέρει βαθιές συνέπειες για τις επιχειρήσεις, την ακαδημαϊκή κοινότητα και τις διαπροσωπικές δεσμεύσεις, αμβλύνοντας αποτελεσματικά τα γεωγραφικά εμπόδια και ενισχύοντας τους διαπροσωπικούς δεσμούς (Li et al., 2017).

3.4. Ενίσχυση της εικονικής πραγματικότητας με συνδεσιμότητα 5G

Η σύγκλιση της τεχνολογίας 5G και της Εικονικής Πραγματικότητας (VR) σηματοδοτεί ένα τρομερό αμάλγαμα που έχει την ικανότητα να μεταμορφώσει ριζικά τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε και εμπλεκόμαστε με προσομοιωμένες πραγματικότητες. Η πέμπτη γενιά ασύρματων δικτύων, που συνήθως αναφέρεται ως 5G, αναμένεται να προσφέρει εξαιρετικές επιδόσεις όσον αφορά την ταχύτητα, την καθυστέρηση και τη χωρητικότητα. Αυτή η τεχνολογική πρόοδος ενέχει σημαντικές δυνατότητες για την επανάσταση στις εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας (VR). Μέσω της αξιοποίησης των τεράστιων δυνατοτήτων που προσφέρει η συνδεσιμότητα 5G, οι συναντήσεις εικονικής πραγματικότητας (VR) μπορούν να αυξηθούν σημαντικά, παρουσιάζοντας έτσι νέες προοπτικές σε διάφορους τομείς, όπως τα παιχνίδια, η εκπαίδευση, η υγειονομική περίθαλψη και η ψυχαγωγία. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του δικτύου πέμπτης γενιάς (5G) στο πλαίσιο της εικονικής πραγματικότητας (VR) έγκειται στην αξιοσημείωτη αύξηση των ταχυτήτων μετάδοσης δεδομένων. Η έλευση των δικτύων 5G εγκαινίασε μια νέα εποχή δυνατοτήτων μετάδοσης δεδομένων, με ταχύτητες που μπορούν να φτάσουν τα εντυπωσιακά 20 gigabits ανά δευτερόλεπτο (Gbps). Αυτό αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό άλμα προς τα εμπρός σε σύγκριση με τα συγκριτικά πιο αργά δίκτυα 4G LTE. Το σημαντικό εύρος ζώνης διευκολύνει την αδιάλειπτη μετάδοση και ανάκτηση εκτεταμένου περιεχομένου εικονικής πραγματικότητας (VR), που περιλαμβάνει βίντεο υψηλής ανάλυσης 360 μοιρών και περίπλοκα εικονικά περιβάλλοντα. Κατά συνέπεια, οι τελικοί χρήστες έχουν την ευκαιρία να συμμετέχουν σε συνενυρέςεις εικονικής πραγματικότητας (VR) ανώτερης ποιότητας, χωρίς τις εξοργιστικές διακοπές που απορρέουν από τις διάρκειες προσωρινής αποθήκευσης και φόρτωσης, ενισχύοντας έτσι τη συνολική αίσθηση εμβύθισης και ικανοποίησης (Erol-Kantarci & Sukhmani, 2018).

Επιπλέον, η χαμηλή καθυστέρηση που προσφέρει η τεχνολογία 5G έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στις εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας (VR). Η λανθάνουσα κατάσταση αναφέρεται στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της έναρξης μιας ενέργειας από τον χρήστη εντός του εικονικού πεδίου και της επακόλουθης λήψης μιας αντίστοιχης απόκρισης από το υποκείμενο σύστημα. Αυξημένα επίπεδα καθυστέρησης έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν συμπτώματα

ναυτίας από την κίνηση και να δημιουργήσουν ένα αίσθημα απομάκρυνσης από το εικονικό περιβάλλον. Η εφαρμογή της τεχνολογίας 5G είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της καθυστέρησης, με δυνατότητα να φτάσει το ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου. Αυτό το αξιοσημείωτο επίτευγμα έχει εξαλείψει αποτελεσματικά τις καθυστερήσεις μεταξύ κίνησης και φωτός, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική εμπειρία της εικονικής πραγματικότητας (VR), κάνοντας τις αλληλεπιδράσεις να μοιάζουν εξαιρετικά φυσικές και με μεγάλη ανταπόκριση. Η βελτίωση της καθυστέρησης έχει ιδιαίτερη σημασία στη σφαίρα των γρήγορων παιχνιδιών εικονικής πραγματικότητας (VR), όπου οι στιγμιαίες αντιδράσεις έχουν τη δυνατότητα να επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στο παιχνίδι. Επιπλέον, η σημαντική χωρητικότητα και οι δυνατότητες διαχωρισμού σε τμήματα δικτύου της τεχνολογίας 5G εγγυώνται μια σταθερή και αξιόπιστη σύνδεση για εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας (VR). Μέσω της υλοποίησης του τεμαχισμού δικτύου, η πέμπτη γενιά ασύρματης τεχνολογίας, που συνήθως αναφέρεται ως 5G, διαθέτει τη δυνατότητα να αναθέτει διακριτά τμήματα του δικτύου αποκλειστικά σε συγκεκριμένες εφαρμογές ή χρήστες εικονικής πραγματικότητας (VR). Η κατανομή αυτή εγγυάται την παροχή επαρκούς εύρους ζώνης και την ιεράρχηση προτεραιοτήτων στις εν λόγω οντότητες, βελτιστοποιώντας έτσι την απόδοση και την εμπειρία χρήσης τους. Το προαναφερθέν χαρακτηριστικό έχει ιδιαίτερη σημασία σε πυκνοκατοικημένα περιβάλλοντα ή εκτεταμένες συγκεντρώσεις εικονικής πραγματικότητας, όπου ένα πλήθος χρηστών μπορεί να ασχοληθεί ταυτόχρονα με υλικό εικονικής πραγματικότητας (Erol-Kantarci & Sukhmani, 2018).

Ένας επιπλέον τομέας στον οποίο η πέμπτη γενιά ασύρματης τεχνολογίας, κοινώς γνωστή ως 5G, ενισχύει τις δυνατότητες της εικονικής πραγματικότητας (VR) είναι μέσω της διευκόλυνσης εμπειριών πολλαπλών χρηστών. Η αξιοποίηση της τεχνολογίας 5G, που χαρακτηρίζεται από τη σημαντική χωρητικότητα μετάδοσης δεδομένων και την ελάχιστη καθυστέρηση, επιτρέπει στις πλατφόρμες εικονικής πραγματικότητας (VR) να διευκολύνουν την ταυτόχρονη εμπλοκή πολλών χρηστών σε ένα κοινό εικονικό περιβάλλον. Αυτή η συγκεκριμένη ικανότητα παρουσιάζει ενδιαφέρουσες προοπτικές για συνεργατικές εμπειρίες εικονικής πραγματικότητας (VR), όπου άτομα που βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες μπορούν να συγκληθούν και να συμμετάσχουν σε συνεργατικές προσπάθειες, προσομοιώνοντας μια κοινή φυσική παρουσία σε ένα ενοποιημένο χωρικό πλαίσιο. Η αξιοποίηση της

εικονικής πραγματικότητας (VR) με ισχύ 5G διευκολύνει την ομαλή διευκόλυνση των αλληλεπιδράσεων και καλλιεργεί μια συλλογική αίσθηση παρουσίας σε ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβανομένων εικονικών συναντήσεων, συνεδρίων, κοινωνικών συγκεντρώσεων και ασκήσεων ομαδικής ανάπτυξης. Επιπλέον, η σύγκλιση της τεχνολογίας 5G και της εικονικής πραγματικότητας (VR) συμβάλλει καταλυτικά στην έλευση πλατφόρμων ροής VR με επίκεντρο το σύννεφο. Δεδομένων των εξελίξεων στην τεχνολογία 5G, η οποία χαρακτηρίζεται από αξιοσημείωτη ταχύτητα και ελάχιστη καθυστέρηση, η προοπτική της απρόσκοπτης ροής περιεχομένου εμβυθιστικής εικονικής πραγματικότητας (VR) ανώτερης ποιότητας από πλατφόρμες που βασίζονται στο σύννεφο σε ακουστικά VR και άλλες συμβατές συσκευές έχει γίνει απτή πραγματικότητα. Το φαινόμενο αυτό μετριάζει αποτελεσματικά την ανάγκη για δαπανηρό και απαιτητικό σε πόρους υλικό, ενισχύοντας έτσι την προσβασιμότητα της εικονικής πραγματικότητας σε ένα ευρύτερο φάσμα ατόμων. Οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε εμπειρίες εικονικής πραγματικότητας με διάφορα μέσα, όπως smartphones, αυτόνομα ακουστικά ή άλλες συσκευές, χωρίς να χρειάζονται υπολογιστές ή κονσόλες παιχνιδιών υψηλών προδιαγραφών (Orlosky et al., 2017).

Ο τομέας της υγειονομικής περίθαλψης αξιοποιεί ενεργά τις δυνατότητες ενσωμάτωσης του 5G και της εικονικής πραγματικότητας (VR). Οι χειρουργοί διαθέτουν τη δυνατότητα να εκτελούν χειρουργικές επεμβάσεις από απομακρυσμένη τοποθεσία χρησιμοποιώντας τηλεϊατρική με τη βοήθεια της εικονικής πραγματικότητας (VR). Αυτή η καινοτόμος προσέγγιση περιλαμβάνει τη χρήση καμερών υψηλής ευκρίνειας τοποθετημένων εντός της χειρουργικής αίθουσας, οι οποίες μεταδίδουν απρόσκοπτα σε πραγματικό χρόνο βίντεο 360 μοιρών σε χειρουργούς που βρίσκονται σε απομακρυσμένη τοποθεσία. Η έλευση της τεχνολογίας 5G, που χαρακτηρίζεται από την αξιοσημείωτα χαμηλή καθυστέρηση, άνοιξε το δρόμο για τους απομακρυσμένους χειρουργούς να ασκούν ακριβή έλεγχο στα ρομποτικά χειρουργικά εργαλεία. Κατά συνέπεια, αυτή η ανακάλυψη επέτρεψε την εκτέλεση περίπλοκων χειρουργικών επεμβάσεων σε εκτεταμένες γεωγραφικές αποστάσεις. Ο τομέας της εκπαίδευσης πρόκειται να αποκομίσει σημαντικά πλεονεκτήματα από τη σύγκλιση των τεχνολογιών 5G και εικονικής πραγματικότητας (VR). Η αξιοποίηση συνδέσεων 5G υψηλής ταχύτητας διευκολύνει την πρόσβαση των μαθητών σε καθηλωτικό εκπαιδευτικό περιεχόμενο και εικονικές εκδρομές, ελαχιστοποιώντας έτσι

τυχόν διαταραχές. Οι εκπαιδευτικοί διαθέτουν την ικανότητα να ενσωματώνουν απρόσκοπτα συναντήσεις εικονικής πραγματικότητας (VR) στις παιδαγωγικές τους προσπάθειες, παρέχοντας έτσι στους μαθητές την ανεκτίμητη ευκαιρία να ασχοληθούν ενεργά με ιστορικά γεγονότα, να διασχίσουν μακρινές τοποθεσίες ή να εμβαθύνουν σε περίπλοκες επιστημονικές αρχές. Η παιδαγωγική μεθοδολογία που χρησιμοποιείται σε αυτό το πλαίσιο προάγει ένα διαδραστικό και συναρπαστικό περιβάλλον που βελτιστοποιεί τα εκπαιδευτικά επιτεύγματα και πυροδοτεί την περιέργεια των μαθητών. Ο κλάδος της ψυχαγωγίας γνωρίζει καλά τις δυνατότητες που προσφέρει η σύγκλιση του 5G και της εικονικής πραγματικότητας (VR). Η αξιοποίηση του σημαντικού εύρους ζώνης του 5G επιτρέπει στις πλατφόρμες ροής να παρέχουν απευθείας στους χρήστες καθηλωτικές κινηματογραφικές εμπειρίες εικονικής πραγματικότητας στις αντίστοιχες συσκευές τους. Σκεφτείτε το υποθετικό σενάριο της συμμετοχής σε μια εμπειρία εικονικής πραγματικότητας (VR) όπου κάποιος έχει την ευκαιρία να συμμετάσχει σε μια ζωντανή συναυλία ή αθλητική εκδήλωση. Μέσα σε αυτό το καθηλωτικό περιβάλλον, τα άτομα έχουν τη δυνατότητα να ασκούν εξουσία επιλέγοντας το σημείο θέασης που προτιμούν, δημιουργώντας έτσι μια αίσθηση φυσικής παρουσίας που μοιάζει με το να βρίσκονται φυσικά μέσα στον πραγματικό χώρο. Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας 5G με την εικονική πραγματικότητα (VR) έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στο πεδίο της διαδραστικής αφήγησης και της δημιουργίας καθηλωτικού περιεχομένου, αλλάζοντας έτσι ριζικά τα πρότυπα κατανάλωσης μέσω ενημέρωσης και τις εμπειρίες ψυχαγωγίας (Li, 2019).

Παρ' όλα αυτά, η σύγκλιση του 5G και της εικονικής πραγματικότητας (VR) παρουσιάζει σημαντικές προοπτικές- ωστόσο, δεν στερείται και εμποδίων. Η ιεράρχηση της επίτευξης ευρείας υιοθέτησης απαιτεί την επέκταση της κάλυψης του δικτύου 5G και τη δημιουργία σταθερών συνδέσεων σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Επιπλέον, οι απαιτήσεις που επιβάλλουν οι απαιτήσεις δεδομένων του περιεχομένου ανώτερης εικονικής πραγματικότητας (VR) ασκούν πίεση στην υποδομή δικτύου, αναγκάζοντας έτσι την αδιάκοπη εξέλιξη της τεχνολογίας δικτύου και της διαχείρισης δεδομένων. Επιπλέον, είναι επιτακτική ανάγκη να αντιμετωπιστούν οι επικρατούσες ανησυχίες σχετικά με την προστασία της ιδιωτικής ζωής και την ασφάλεια σε σχέση με την εικονική πραγματικότητα (VR) και την πέμπτη γενιά ασύρματης τεχνολογίας (5G). Οι εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας (VR) αποκτούν συχνά ευαίσθητα δεδομένα χρηστών, ενώ η εκτεταμένη συνδεσιμότητα που προσφέρουν τα δίκτυα 5G

μπορεί να τις εκθέσει σε πιθανές απειλές στον κυβερνοχώρο. Η εφαρμογή ισχυρών πρωτοκόλλων κρυπτογράφησης, αυστηρών μέτρων προστασίας δεδομένων και ολοκληρωμένων μηχανισμών συναίνεσης των χρηστών είναι επιτακτική ανάγκη για τη διασφάλιση της ιδιωτικότητας και της ασφάλειας των εμπειριών εικονικής πραγματικότητας (VR) (Li, 2019).

3.5. Οφέλη χαμηλής καθυστέρησης και υψηλού εύρους ζώνης

Η σύγκλιση του 5G και της Εικονικής Πραγματικότητας (VR) αποφέρει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα: ελάχιστη καθυστέρηση και άφθονο εύρος ζώνης, τα οποία επηρεάζουν σημαντικά το διαμέτρημα και την εμπλοκή των χρηστών στις εφαρμογές VR. Η αξιοποίηση της τεχνολογίας 5G επιτρέπει τη μείωση της καθυστέρησης, ελαχιστοποιώντας έτσι το χρονικό χάσμα μεταξύ της εισόδου του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον και της επακόλουθης απόκρισης του συστήματος. Η στιγμιαία ανταπόκριση που παρουσιάζει αυτή η τεχνολογία δημιουργεί μια οργανική και συναρπαστική συνάντηση, παρέχοντας στους χρήστες την ευκαιρία να εμπλακούν με εικονικές οντότητες και πρόσωπα με τρόπο παρόμοιο με την αλληλεπίδρασή τους με απτές οντότητες στη σωματική σφαίρα. Ένα άλλο πλεονέκτημα της χαμηλής καθυστέρησης είναι ο μετριασμός της ασθένειας κίνησης. Τα αυξημένα επίπεδα καθυστέρησης στη σφαίρα της εικονικής πραγματικότητας (VR) μπορούν δυνητικά να προκαλέσουν συμπτώματα ασθένειας κίνησης και αποπροσανατολισμού, καθώς οι γνωστικές ικανότητες παλεύουν με την πρόκληση της συμφιλίωσης της χρονικής ασυμφωνίας μεταξύ της σωματικής κίνησης και των αντίστοιχων οπτικών ερεθισμάτων. Η εφαρμογή της τεχνολογίας 5G έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των καθυστερήσεων μεταξύ κίνησης και φωτός, με αποτέλεσμα τον αποτελεσματικό μετριασμό της πιθανής εμφάνισης ασθένειας κίνησης και την αύξηση της συνολικής άνεσης που βιώνουν οι χρήστες κατά τη διάρκεια παρατεταμένων συνεδριών εικονικής πραγματικότητας (VR). Επιπλέον, το χαρακτηριστικό της χαμηλής καθυστέρησης διευκολύνει την επίτευξη ακριβούς ελέγχου στο πλαίσιο εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας (VR). Η εκτέλεση ενεργειών με αυξημένη ακρίβεια σε εμπειρίες εικονικής πραγματικότητας (VR), όπως η στόχευση σε παιχνίδια σκοποβολής, η εκτέλεση περίπλοκων χειρουργικών επεμβάσεων σε ιατρικές

προσομοιώσεις ή ο χειρισμός αντικειμένων σε εικονικά περιβάλλοντα, συμβάλλει σε ένα αυξημένο επίπεδο ρεαλισμού και εμπλοκής (Cui et al., 2020).

Αντίθετα, το σημαντικό εύρος ζώνης που προσφέρουν τα δίκτυα 5G διευκολύνει την αδιάλειπτη ροή και λήψη ογκώδους περιεχομένου εικονικής πραγματικότητας (VR), που περιλαμβάνει βίντεο υψηλής ανάλυσης 360 μοιρών και περίπλοκα εικονικά περιβάλλοντα. Οι χρήστες έχουν την ευκαιρία να συμμετάσχουν σε καθηλωτικές συναντήσεις εικονικής πραγματικότητας (VR) που χαρακτηρίζονται από αδιάλειπτη, απρόσκοπτη απόδοση, χωρίς ρυθμιστική μνήμη ή μειωμένη γραφική πιστότητα. Κατά συνέπεια, αυτό δημιουργεί ένα περιβάλλον που είναι οπτικά συναρπαστικό και ενισχύει τη συνολική εμπειρία εμπύθισης. Τα πλεονεκτήματα που παρέχονται στους δημιουργούς περιεχομένου εικονικής πραγματικότητας (VR) από μια ισχυρή υποδομή εύρους ζώνης είναι πολλαπλά. Αξιοποιώντας τη δύναμη του υψηλού εύρους ζώνης, αυτοί οι δημιουργοί έχουν τη δυνατότητα να προσδώσουν στις δημιουργίες τους ένα αυξημένο επίπεδο πολυπλοκότητας, ρεαλισμού και οπτικής μεγαλοπρέπειας. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της απρόσκοπτης παροχής εξαιρετικά λεπτομερών γραφικών, υφών και κινούμενων σχεδίων, τα οποία αποδίδονται με απόλυτη ακρίβεια και πιστότητα. Αυτό το φαινόμενο οδηγεί στη δημιουργία εικονικών περιβαλλόντων που διαπνέονται από μια αυξημένη αίσθηση ρεαλισμού και αυθεντικότητας, βελτιώνοντας έτσι το συνολικό επίπεδο των συναντήσεων εικονικής πραγματικότητας και καθιστώντας τις αισθητικά γοητευτικές και συναρπαστικές. Ο ρόλος του υψηλού εύρους ζώνης είναι εξαιρετικά σημαντικός για τη διευκόλυνση των εμπειριών εικονικής πραγματικότητας (VR) πολλαπλών χρηστών, όπου πολλοί χρήστες συμμετέχουν σε ταυτόχρονες αλληλεπιδράσεις σε ένα κοινό εικονικό περιβάλλον. Ανεξάρτητα από τη φύση της εκδήλωσης, είτε πρόκειται για εικονικό συνέδριο, συνεργατικό έργο ή κοινωνική συγκέντρωση, η παρουσία άφθονου εύρους ζώνης εγγυάται μια ομοιόμορφη και αδιάλειπτη εμπειρία χρήστη, ανεξάρτητα από τον αριθμό των συμμετεχόντων (Cui et al., 2020).

Η σύγκλιση της χαμηλής καθυστέρησης και του υψηλού εύρους ζώνης αποδίδει ένα συνεργατικό αποτέλεσμα, με αποκορύφωμα μια αξιοσημείωτα απρόσκοπτη και βαθιά καθηλωτική συνάντηση εικονικής πραγματικότητας (VR). Οι χρήστες έχουν την ευκαιρία να εμπλακούν με εικονικά περιβάλλοντα, βιώνοντας ελάχιστη καθυστέρηση, ενώ αλληλεπιδρούν ενεργά με διάφορα στοιχεία και οντότητες με σύγχρονο τρόπο. Επιπλέον, μπορούν να επιδοθούν σε οπτικά συναρπαστικά γραφικά και να μεταδώσουν

απρόσκοπτα περιεχόμενο ανώτερης ποιότητας. Τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα ασκούν ιδιαίτερα βαθιά επίδραση σε ταχύτετες εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας (VR), όπως τα παιχνίδια, όπου οι στιγμιαίες αντιδράσεις και οι σχολαστικοί ελιγμοί είναι επιτακτικοί για το βέλτιστο παιχνίδι. Επιπλέον, η ενσωμάτωση των δυνατοτήτων χαμηλής καθυστέρησης και υψηλού εύρους ζώνης διευκολύνει τη διερεύνηση νέων εφαρμογών, όπως η χρήση της εικονικής πραγματικότητας για την υποβοήθηση απομακρυσμένων χειρουργικών επεμβάσεων στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, η διευκόλυνση συνεργατικών συνεδριών σχεδιασμού σε πραγματικό χρόνο στον τομέα της αρχιτεκτονικής και η εφαρμογή καθηλωτικών προγραμμάτων εικονικής εκπαίδευσης σε διάφορους κλάδους. Οι δικτυακές δυνατότητες του 5G είναι εξαιρετικά σημαντικές, καθώς χρησιμεύουν ως βασικοί διευκολυντές για διάφορες εφαρμογές. Οι δυνατότητες αυτές προσφέρουν μια αξιόπιστη και άμεση σύνδεση, μειώνοντας έτσι τα εμπόδια εισόδου και διευρύνοντας το πεδίο εφαρμογής της εικονικής πραγματικότητας σε διάφορους τομείς (Domeke et al., 2022).

Προκειμένου να αξιοποιηθούν πλήρως αυτά τα πλεονεκτήματα, είναι επιτακτική ανάγκη να δοθεί προτεραιότητα στην προώθηση βελτιστοποιημένων εφαρμογών και περιεχομένου εικονικής πραγματικότητας (VR). Προκειμένου να παρασχεθούν πραγματικά καθηλωτικές και συναρπαστικές αλληλεπιδράσεις, είναι επιτακτική ανάγκη οι δημιουργοί περιεχομένου να σχεδιάσουν στρατηγικά εμπειρίες που αξιοποιούν αποτελεσματικά τα πλεονεκτήματα της χαμηλής καθυστέρησης και του υψηλού εύρους ζώνης. Επιπλέον, η αδιάκοπη πρόοδος στη σφαίρα της τεχνολογίας 5G και του υλικού και του λογισμικού εικονικής πραγματικότητας (VR) θα ωθήσει επίμονα τα όρια των δυνατοτήτων που μπορούν να επιτευχθούν, οδηγώντας μας έτσι προς μια επικείμενη εποχή όπου η εικονική πραγματικότητα θα συγχωνεύεται απρόσκοπτα στον ιστό της καθημερινής μας ύπαρξης. Καθώς η συνεχιζόμενη εξέλιξη και ωρίμανση αυτών των τεχνολογιών επιμένει, είναι αναπόφευκτο ότι οι δυνατότητες για εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας (VR) που τροφοδοτούνται από το 5G θα επεκταθούν, διευκολύνοντας έτσι μια βαθιά μεταμόρφωση στις αλληλεπιδράσεις και τις συναντήσεις μας μέσα σε εικονικά περιβάλλοντα (Song et al., 2022).

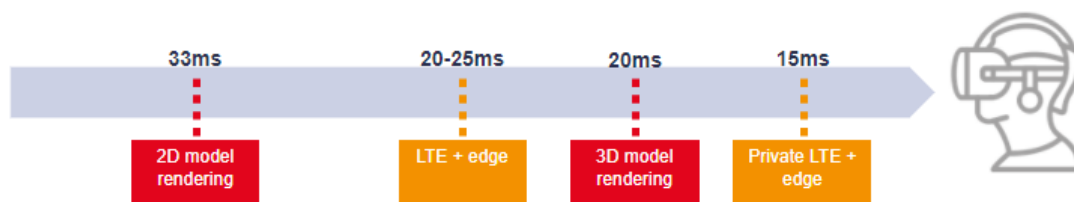
3.6. Edge Computing στην ενσωμάτωση 5G-VR

Η υπολογιστική αιχμή παίζει καθοριστικό ρόλο στη διευκόλυνση της απρόσκοπτης ενσωμάτωσης του 5G και της εικονικής πραγματικότητας (VR), αυξάνοντας έτσι την απόδοση και την αποδοτικότητα των εφαρμογών VR. Μέσω του εντοπισμού της επεξεργασίας δεδομένων και του υπολογισμού σε κοντινή απόσταση από την άκρη του δικτύου, η υπολογιστική άκρη μετριάζει αποτελεσματικά την καθυστέρηση και διευκολύνει την επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο, καθιστώντας την εξαιρετικά κατάλληλη λύση για εφαρμογές που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην καθυστέρηση και απαιτούν σημαντικό εύρος ζώνης, όπως η εικονική πραγματικότητα (VR). Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που συνεπάγεται η συγχώνευση του υπολογιστικού συστήματος άκρων και της ολοκλήρωσης 5G-VR είναι ο αξιοσημείωτος μετριασμός της καθυστέρησης. Με την τοποθέτηση της επεξεργασίας δεδομένων σε πιο κοντινή απόσταση από τους χρήστες, η χρονική διάρκεια που απαιτείται για τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ της συσκευής εικονικής πραγματικότητας (VR) και ενός κεντρικού κέντρου δεδομένων μειώνεται αποτελεσματικά. Η παρουσία χαμηλής καθυστέρησης σε ένα σύστημα είναι υψίστης σημασίας, καθώς εγγυάται ένα αυξημένο επίπεδο απόκρισης και εμπύθισης στη σφαίρα της εικονικής πραγματικότητας (VR). Αυτό το χαρακτηριστικό καθίσταται ιδιαίτερα κρίσιμο σε εφαρμογές που απαιτούν στιγμιαίες αλληλεπιδράσεις, όπως τα παιχνίδια και οι απομακρυσμένες χειρουργικές προσομοιώσεις. Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να εμπλέκονται με εικονικά αντικείμενα και περιβάλλοντα με σύγχρονο τρόπο, χωρίς διακριτές χρονικές καθυστερήσεις, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια εντονότερη κατάσταση αντιληπτικής εμπύθισης και εμπλοκής. Ένα πρόσθετο όφελος που συνεπάγεται η αξιοποίηση της υπολογιστικής ακμής στο πλαίσιο των σεναρίων 5G-VR αφορά τη βελτιστοποίηση του εύρους ζώνης. Αντί της μετάδοσης σημαντικών ποσοτήτων ανεπεξέργαστων δεδομένων από τη συσκευή εικονικής πραγματικότητας (VR) σε ένα απομακρυσμένο κέντρο δεδομένων για υπολογιστικούς σκοπούς, οι κόμβοι ακμής που βρίσκονται σε πιο κοντινή απόσταση από τον χρήστη έχουν τη δυνατότητα να διεξάγουν τοπική επεξεργασία και φιλτράρισμα δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο, μέσω του δικτύου μεταφέρονται αποκλειστικά σχετικές πληροφορίες ή συμπυκνωμένα δεδομένα, μειώνοντας έτσι την απαίτηση για εκτεταμένο εύρος ζώνης και εξασφαλίζοντας μια πιο βέλτιστη μετάδοση δεδομένων. Η βελτιστοποίηση του

εύρους ζώνης δεν χρησιμεύει μόνο για τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης των εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας (VR), αλλά και για την ελάφρυνση της επιβάρυνσης της δικτυακής υποδομής, καθιστώντας την έτσι πιο επεκτάσιμη και οικονομικά αποδοτική (Chakareski, 2017).

Στη σφαίρα των εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας που περιλαμβάνουν τη λήψη αποφάσεων και την ανταπόκριση σε πραγματικό χρόνο, η αναγκαιότητα του υπολογιστικού συστήματος άκρων γίνεται εμφανής. Στο πλαίσιο των εμπειριών εικονικής πραγματικότητας (VR) πολλαπλών χρηστών, αξίζει να σημειωθεί ότι οι διακομιστές άκρων διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διευκόλυνση του συγχρονισμού των ενεργειών των χρηστών και του συντονισμού των συμβάντων. Αυτό, με τη σειρά του, επιτρέπει την υλοποίηση απρόσκοπτων και συγχρονισμένων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των χρηστών εντός του εικονικού περιβάλλοντος. Η προαναφερθείσα ικανότητα έχει σημαντική σημασία στο πλαίσιο των συνεργατικών εμπειριών εικονικής πραγματικότητας (VR), όπου οι χρήστες απαιτείται να συμμετέχουν σε αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους και να μοιράζονται ένα συνεκτικό εικονικό περιβάλλον. Η υπολογιστική ακμής, όπως διευκρινίζεται από τον Chakareski (2017), προσφέρει πολύτιμη βοήθεια για τη διευκόλυνση εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας (VR) σε περιβάλλοντα που χαρακτηρίζονται από περιορισμένη ή σποραδική συνδεσιμότητα δικτύου. Με την αξιοποίηση των τοπικών δυνατοτήτων επεξεργασίας δεδομένων στην άκρη, οι εμπειρίες εικονικής πραγματικότητας (VR) μπορούν να σχεδιαστούν στρατηγικά ώστε να λειτουργούν απρόσκοπτα σε σενάρια όπου η συνδεσιμότητα δικτύου απουσιάζει, εξασφαλίζοντας έτσι αδιάλειπτη λειτουργικότητα και διαρκή εμπλοκή των χρηστών. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για εφαρμογές που απαιτούν κινητικότητα ή ανάπτυξη σε απομακρυσμένες περιοχές που χαρακτηρίζονται από πιθανούς περιορισμούς στην κάλυψη του δικτύου. Επιπλέον, η εφαρμογή της υπολογιστικής ακμής παρέχει ένα πρόσθετο στρώμα ιδιωτικότητας και ασφάλειας για τους χρήστες εικονικής πραγματικότητας (VR). Αντί της συμβατικής πρακτικής της διαβίβασης ευαίσθητων δεδομένων σε απομακρυσμένα κέντρα δεδομένων, η χρήση των κόμβων ακμής παρουσιάζει μια βιώσιμη εναλλακτική λύση με την οποία η επεξεργασία και η ανάλυση δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί τοπικά. Η προσέγγιση αυτή μετριάζει αποτελεσματικά τους εγγενείς κινδύνους που συνδέονται με παραβιάσεις δεδομένων και μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση. Η εφαρμογή αυτής της εντοπισμένης προσέγγισης χρησιμεύει στην ενίσχυση της ιδιωτικότητας των χρηστών

και στην οχύρωση της προστασίας των δεδομένων, ένα ζήτημα ύψιστης σημασίας, ιδίως σε εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας που περιλαμβάνουν προσωπικά ή ευαίσθητα δεδομένα (Han et al., 2022).



Εικόνα 11 5G and AR/VR: Transformative Use Cases with Edge Computing

4. Επιπτώσεις του 5G στην εικονική πραγματικότητα και Μελλοντικές δυνατότητες

4.1. Βελτιωμένη εμπειρία VR με το 5G

Η επιρροή της τεχνολογίας 5G στη σφαίρα της Εικονικής Πραγματικότητας (VR) είναι σημαντικού μεγέθους, καθώς ενισχύει σημαντικά την ολοκληρωμένη εμπειρία VR. Μια από τις σημαντικότερες εξελίξεις αξιοσημείωτης σημασίας έγκειται στη μείωση της καθυστέρησης, η οποία αφορά το χρονικό διάστημα που απαιτείται για τη διέλευση των δεδομένων μεταξύ της συσκευής εικονικής πραγματικότητας και του διασυνδεδεμένου δικτύου. Η χρήση της τεχνολογίας 5G διευκολύνει τη μείωση της καθυστέρησης, επιτρέποντας έτσι στους χρήστες να αντιμετωπίζουν ελάχιστες καθυστερήσεις κατά τις αλληλεπιδράσεις τους στο εικονικό περιβάλλον. Κατά συνέπεια, αυτό δημιουργεί μια αυξημένη αίσθηση ρεαλισμού και εμπύθισης στη σφαίρα της εικονικής πραγματικότητας. Η εφαρμογή των χειρονομιών, της παρακολούθησης του κεφαλιού και των εισόδων του ελεγκτή ενισχύει το επίπεδο απόκρισης και ρεαλισμού, μετριάζοντας έτσι την πιθανή απομάκρυνση που προκαλείται από τη σημαντική καθυστέρηση. Επιπλέον, το σημαντικό εύρος ζώνης που προσφέρει το 5G επιτρέπει την αδιάλειπτη ροή και λήψη καθηλωτικού περιεχομένου

εικονικής πραγματικότητας ανώτερης ποιότητας. Οι χρήστες έχουν την ευκαιρία να συμμετάσχουν στην καθηλωτική εμπειρία βίντεο υψηλής ανάλυσης 360 μοιρών, σχολαστικά επεξεργασμένων υφών και περίτεχνα σχεδιασμένων εικονικών περιβαλλόντων, χωρίς να αντιμετωπίζουν διακοπές ή καθυστερήσεις προσωρινής αποθήκευσης. Η συμπερίληψη αυτού του ανώτερου περιεχομένου συμβάλλει στην αυθεντικότητα και την απορρόφηση των συναντήσεων εικονικής πραγματικότητας (VR), ενισχύοντας έτσι την οπτική γοητεία και τη διαδραστικότητά τους (Orlosky et al., 2017).

Επιπλέον, η χρήση συσκευών εικονικής πραγματικότητας (VR) με δυνατότητα 5G διευκολύνει την ενισχυμένη πρόσβαση σε περιεχόμενο και εφαρμογές που φιλοξενούνται στο cloud με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. Δεδομένων των αξιοσημείωτων χαρακτηριστικών του 5G, δηλαδή της χαμηλής καθυστέρησης και των υψηλών ταχυτήτων του, καθίσταται εφικτή η ταχεία σύνδεση των ακουστικών και των συσκευών εικονικής πραγματικότητας (VR) με απομακρυσμένους διακομιστές και η αποτελεσματική διεκπεραίωση εργασιών επεξεργασίας δεδομένων. Κατά συνέπεια, η δυνατότητα αυτή μειώνει την ανάγκη για εκτεταμένη εξάρτηση από την τοπική επεξεργαστική ισχύ και τις δυνατότητες αποθήκευσης. Αυτό όχι μόνο διευκολύνει τη χρήση εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας που απαιτούν σημαντικούς πόρους, αλλά διευκολύνει επίσης τη συνεχή βελτίωση και τελειοποίηση του περιεχομένου εικονικής πραγματικότητας, εξασφαλίζοντας έτσι στους χρήστες διαρκή πρόσβαση στις πιο σύγχρονες και συναρπαστικές εμπειρίες (Orlosky et al., 2017).

4.2. Απρόσκοπτη ροή και περιεχόμενο υψηλής ποιότητας

Οι υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων του 5G διευκολύνουν την αδιάλειπτη ροή περιεχομένου εικονικής πραγματικότητας (VR), εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη λήψης σημαντικών αρχείων προκειμένου να συμμετάσχετε σε εμπειρίες VR. Οι χρήστες είναι σε θέση να ανακτήσουν γρήγορα περιεχόμενο εικονικής πραγματικότητας (VR) από το σύννεφο, παρακάμπτοντας έτσι τις παρατεταμένες περιόδους αναμονής και μειώνοντας την ανάγκη για αποθήκευση στο χώρο. Η απρόσκοπτη ροή περιεχομένου παρέχει επίσης πλεονεκτήματα στον τομέα των παιχνιδιών εικονικής πραγματικότητας (VR), καθώς επιτρέπει στους παίκτες να έχουν

άμεση πρόσβαση σε νέα παιχνίδια και εμπειρίες. Κατά συνέπεια, αυτό διευκολύνει τη διαδικασία εξερεύνησης και πειραματισμού με νέο περιεχόμενο, καθιστώντας την πιο εξορθολογισμένη και αποτελεσματική. Επιπλέον, η εφαρμογή της τεχνολογίας 5G διευκολύνει την απρόσκοπτη μετάδοση περιεχομένου καθηλωτικής εικονικής πραγματικότητας (VR), διατηρώντας ταυτόχρονα τα βέλτιστα πρότυπα επιδόσεων. Λόγω της σημαντικής χωρητικότητας εύρους ζώνης, οι δημιουργοί περιεχομένου εικονικής πραγματικότητας έχουν την ευκαιρία να μεταφέρουν ένα αυξημένο επίπεδο οπτικής πολυπλοκότητας, που περιλαμβάνει πιο λεπτομερή γραφικά, ρεαλιστικές υφές και ρεαλιστικά κινούμενα σχέδια. Σύμφωνα με τους Njoku και συν. (2022), η χρήση αυτής της τεχνολογίας ενισχύει τον βαθμό εμπλοκής και την ακρίβεια της αντίληψης στις συναντήσεις εικονικής πραγματικότητας, επιτρέποντας στα άτομα να περιηγηθούν σε προσομοιωμένα περιβάλλοντα με εξαιρετική αληθοφάνεια και σχολαστικότητα.

Στον τομέα της βιομηχανίας ψυχαγωγίας, η έλευση της τεχνολογίας 5G έχει εγκαινιάσει μια πληθώρα ευκαιριών που αφορούν τη διανομή περιεχομένου εικονικής πραγματικότητας (VR). Αυτό αποδίδεται κυρίως στις δυνατότητες απρόσκοπτης ροής που προσφέρουν τα δίκτυα 5G, τα οποία έχουν διευρύνει αποτελεσματικά τους ορίζοντες της διάδοσης περιεχομένου VR. Τα άτομα έχουν την ευκαιρία να συμμετάσχουν σε συμβάντα σε πραγματικό χρόνο, μουσικές παραστάσεις και αθλητικούς αγώνες μέσω της χρήσης της τεχνολογίας εικονικής πραγματικότητας, προσφέροντάς τους έτσι μια ολοκληρωμένη και συναρπαστική οπτική γωνία, και όλα αυτά μέσα στα όρια της κατοικίας τους. Επιπλέον, η αυξημένη προσβασιμότητα σε αφηγήσεις και κινηματογραφικές συναντήσεις εικονικής πραγματικότητας (VR) υψηλού επιπέδου έχει τη δυνατότητα να επαναπροσδιορίσει τον τρόπο με τον οποίο ασχολούμαστε και συμμετέχουμε σε διάφορες μορφές μέσων ενημέρωσης και ψυχαγωγίας (Judith Nkechinyere Njoku et al., 2022).

4.3. Εμπειρίες εικονικής πραγματικότητας πολλαπλών χρηστών

Η χαμηλή καθυστέρηση και η υψηλή χωρητικότητα της τεχνολογίας 5G επιτρέπουν την ομαλή και αδιάλειπτη εμπλοκή πολλών χρηστών σε εμπειρίες εικονικής πραγματικότητας. Στο πλαίσιο ενός περιβάλλοντος εικονικής πραγματικότητας (VR) που ενισχύεται από την τεχνολογία πέμπτης γενιάς (5G), καθίσταται εφικτή η

ταυτόχρονη εμπλοκή πολλών χρηστών σε διαδραστικές και συνεργατικές δραστηριότητες σε έναν κοινόχρηστο εικονικό χώρο. Η προαναφερθείσα δυνατότητα έχει σημαντική αξία στο πεδίο των κοινωνικών εμπειριών εικονικής πραγματικότητας (VR), καθώς επιτρέπει στους χρήστες να συγκεντρώνονται, να επικοινωνούν και να ανταλλάσσουν εμπειρίες με άλλα άτομα με σύγχρονο τρόπο. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι οι εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας (VR) πολλαπλών χρηστών έχουν τη δυνατότητα να καλύψουν ένα ευρύ φάσμα τομέων, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, εικονικών συναντήσεων, ομαδικών συνεργατικών προσπαθειών και κοινών συναντήσεων παιχνιδιών. Όπως αναφέρθηκε, άτομα με εξειδίκευση που προέρχονται από διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές έχουν τη δυνατότητα να συνεδριάζουν σε μια εικονική αίθουσα συνεδριάσεων, συμμετέχοντας έτσι σε συγχρονισμένους διαλόγους και πραγματοποιώντας παρουσιάσεις. Αυτός ο τρόπος αλληλεπίδρασης διευκολύνει τη διεθνή συνεργασία, εξαλείφοντας την ανάγκη για φυσική κινητικότητα (Zhang, Han, et al., 2022).

Στον τομέα των τυχερών παιχνιδιών, η έλευση της τεχνολογίας 5G έχει διευκολύνει τη δημιουργία ολοένα και πιο καθηλωτικών και δυναμικών εμπειριών πολλαπλών παικτών. Οι παίκτες έχουν τη δυνατότητα να συμμετέχουν σε εικονικά πεδία μαζί με τους συντρόφους τους, συμμετέχοντας σε αλληλεπιδράσεις σε πραγματικό χρόνο που ενισχύουν την κοινωνική διάσταση των παιχνιδιών και προωθούν μια συλλογική αντίληψη συνύπαρξης. Παρ' όλα αυτά, στο πεδίο των εμπειριών εικονικής πραγματικότητας (VR) πολλαπλών χρηστών, η ύψιστη σημασία έγκειται στη διατήρηση της σταθερότητας του δικτύου και στην ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης. Αυτοί οι παράγοντες είναι απαραίτητοι για την εξασφάλιση μιας άψογης και συγχρονισμένης συνάντησης. Οι δυνατότητες τεμαχισμού δικτύου του 5G επιτρέπουν την κατανομή αποκλειστικών πόρων δικτύου σε μεμονωμένες εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας (VR), εξασφαλίζοντας έτσι συνεπή και αξιόπιστη απόδοση, ακόμη και σε πυκνοκατοικημένα περιβάλλοντα με πολυάριθμους χρήστες (Zhang, Han, et al., 2022).

4.4. Προκλήσεις και προβληματισμοί

4.4.1. Κάλυψη δικτύου και υποδομή

Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις που αφορούν τη συγχώνευση της τεχνολογίας 5G με την Εικονική Πραγματικότητα (VR) έγκειται στη διασφάλιση επαρκούς κάλυψης δικτύου και υποδομής. Ενώ η πέμπτη γενιά (5G) της ασύρματης τεχνολογίας έχει τη δυνατότητα να προσφέρει βελτιωμένη συνδεσιμότητα με αξιοσημείωτη ταχύτητα και μειωμένη καθυστέρηση, είναι ζωτικής σημασίας να αναγνωριστεί ότι η εφαρμογή της βρίσκεται σε εξέλιξη και, ως εκ τούτου, η έκταση της κάλυψής της μπορεί να μην είναι ομοιόμορφη σε όλες τις γεωγραφικές περιοχές. Οι εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας (VR) εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από συνεπείς και αξιόπιστες συνδέσεις δικτύου. Οποιαδήποτε διακοπή ή ανεπάρκεια στην κάλυψη του δικτύου μπορεί να οδηγήσει σε διακοπές και επιδείνωση της συνολικής εμπειρίας του χρήστη. Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, είναι επιτακτική ανάγκη να καταβάλλεται επίμονη προσπάθεια για την επέκταση της κάλυψης του δικτύου 5G και την ενίσχυση της υποδομής. Αυτό απαιτεί την υλοποίηση πρόσθετων σταθμών βάσης 5G και μικρών κυψελών τόσο σε αστικές όσο και σε αγροτικές περιοχές, εξασφαλίζοντας έτσι την αδιάλειπτη συνδεσιμότητα για τους χρήστες εικονικής πραγματικότητας (VR) ανεξάρτητα από τη γεωγραφική τους θέση. Προκειμένου να επιταχυνθεί η υλοποίηση των δικτύων 5G και να αμβλυνθεί το ψηφιακό χάσμα, είναι επιτακτική ανάγκη οι κυβερνήσεις, οι τηλεπικοινωνιακοί φορείς και οι πάροχοι τεχνολογίας να συμμετάσχουν σε συνεργατικές προσπάθειες. Αυτή η συντονισμένη προσέγγιση θα επιτρέψει τη διάδοση της εικονικής πραγματικότητας (VR) που τροφοδοτείται από το 5G σε ευρύτερο δημογραφικό κοινό, επεκτείνοντας έτσι τα πλεονεκτήματα που συνδέονται με αυτή την τεχνολογία (Kenwright, 2018).

4.4.2. Απόρρητο και ασφάλεια δεδομένων

Η σύγκλιση του 5G και της εικονικής πραγματικότητας (VR) δημιουργεί αξιοσημείωτες ανησυχίες σχετικά με τη διασφάλιση της ιδιωτικότητας και της ασφάλειας των δεδομένων. Οι εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας (VR) συγκεντρώνουν συχνά εκτεταμένες ποσότητες προσωπικών δεδομένων και δεδομένων συμπεριφοράς από τους χρήστες, που περιλαμβάνουν βιομετρικά δεδομένα, πληροφορίες θέσης και αλληλεπιδράσεις εντός του εικονικού περιβάλλοντος. Τα προαναφερθέντα δεδομένα έχουν σημαντική αξία για τους δημιουργούς περιεχομένου και τους παρόχους υπηρεσιών στην προσπάθειά τους να βελτιώσουν τις εμπειρίες των

χρηστών. Ωστόσο, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωριστεί ότι τα δεδομένα αυτά δημιουργούν επίσης ανησυχίες σχετικά με την προστασία της ιδιωτικής ζωής. Το αυξημένο μέγεθος και η αυξημένη διάκριση των δεδομένων εικονικής πραγματικότητας (VR) αποτελούν τρομερά εμπόδια στη διαφύλαξη της ιδιωτικής ζωής των χρηστών και στην αποτροπή μη εξουσιοδοτημένης εισβολής. Η επιτακτική ανάγκη για την εφαρμογή ισχυρών μηχανισμών προστασίας δεδομένων, ασφαλών πρωτοκόλλων μετάδοσης δεδομένων και αυστηρών ελέγχων πρόσβασης προκύπτει από την ανάγκη να διασφαλιστούν τα δεδομένα των χρηστών από συμβιβασμό ή κατάχρηση. Επιπλέον, είναι επιτακτική ανάγκη να τονιστεί η σημασία της τήρησης των κανονισμών προστασίας της ιδιωτικής ζωής, όπως ο Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων (GDPR) και ο Νόμος περί Προστασίας της Ιδιωτικής Ζωής των Καταναλωτών της Καλιφόρνιας (CCPA), προκειμένου να προστατευθούν αποτελεσματικά τα δικαιώματα των χρηστών και να ενισχυθεί το αίσθημα εμπιστοσύνης στην κοινότητα των χρηστών εικονικής πραγματικότητας (VR) (Di Pietro & Cresci, 2021).

4.4.3. Συμβατότητα συσκευών και κόστος

Η ενσωμάτωση του 5G και της εικονικής πραγματικότητας (VR) αντιμετωπίζει αξιοσημείωτες προκλήσεις σχετικά με τη συμβατότητα των συσκευών και τις οικονομικές εκτιμήσεις. Στο σημερινό τοπίο, ο πολλαπλασιασμός των συσκευών εικονικής πραγματικότητας (VR) με δυνατότητα 5G βρίσκεται σε άνοδο. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ένας σημαντικός αριθμός ακουστικών και συσκευών VR εξακολουθούν να μην υποστηρίζουν τη συνδεσιμότητα 5G. Ο δυνητικός κατακερματισμός που παρατηρείται στο σημερινό τοπίο θα μπορούσε ενδεχομένως να εμποδίσει την ευρεία υιοθέτηση εμπειριών εικονικής πραγματικότητας (VR) που τροφοδοτούνται από την τεχνολογία 5G. Επιπλέον, έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει μια διακριτή ανισότητα μεταξύ των ατόμων που διαθέτουν τα μέσα πρόσβασης στα δίκτυα 5G και εκείνων που δεν τα διαθέτουν. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι η ενσωμάτωση της τεχνολογίας 5G σε συσκευές εικονικής πραγματικότητας (VR) μπορεί δυνητικά να οδηγήσει σε αυξημένες οικονομικές επιπτώσεις, αποτελώντας έτσι πιθανό εμπόδιο για ορισμένα άτομα που επιδιώκουν να υιοθετήσουν αυτή την τεχνολογία. Δεδομένης της εκκολαπτόμενης φύσης της τεχνολογίας 5G και της εγγενούς απαίτησης για εξειδικευμένο υλικό, είναι εύλογο να

ισχυριστεί κανείς ότι οι συσκευές εικονικής πραγματικότητας (VR) που είναι εξοπλισμένες με συνδεσιμότητα 5G ενδέχεται να παρουσιάζουν υψηλότερη τιμή σε σύγκριση με τις αντίστοιχες συσκευές που δεν διαθέτουν 5G. Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, είναι επιτακτική ανάγκη οι κατασκευαστές να δώσουν προτεραιότητα στη μείωση των δαπανών που σχετίζονται με τις συσκευές εικονικής πραγματικότητας (VR) με δυνατότητα 5G, ενώ ταυτόχρονα θα ενισχύσουν την προσβασιμότητά τους σε ένα ευρύτερο δημογραφικό κοινό. Επιπλέον, η επιτυχής ενσωμάτωση της τεχνολογίας 5G στις συσκευές εικονικής πραγματικότητας (VR) απαιτεί τη χρήση αποδοτικών και συμπαγών εξαρτημάτων. Αυτή η επιτακτική ανάγκη οδηγείται από τον στόχο της διευκόλυνσης μιας απρόσκοπτης εμπειρίας χρήστη, ενώ ταυτόχρονα μετριάζεται η ταχεία εξάντληση της χωρητικότητας της μπαταρίας της συσκευής. Προκειμένου να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των καταναλωτών, οι κατασκευαστές συσκευών έρχονται αντιμέτωποι με το επιτακτικό καθήκον της επίτευξης μιας ευαίσθητης ισορροπίας μεταξύ των επιδόσεων, της μακροζωίας της μπαταρίας και του κόστους. Αυτή η περίπλοκη πράξη εξισορρόπησης είναι απαραίτητη για να εφοδιαστεί η αγορά με ελκυστικές και οικονομικά βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις εικονικής πραγματικότητας (VR) που είναι ενισχυμένες με δυνατότητες 5G (Kenwright, 2018).

4.5. Μελλοντικές δυνατότητες

4.5.1. Εξελίξεις στην τεχνολογία 5G και VR

Η μελλοντική πορεία του 5G και της Εικονικής Πραγματικότητας (VR) κρύβει μια πληθώρα συναρπαστικών προοπτικών, καθώς οι δύο αυτές τεχνολογίες εξελίσσονται διαρκώς και φτάνουν σε κατάσταση αυξημένης τελειοποίησης. Η αναμενόμενη πορεία των δικτύων 5G συνεπάγεται προοδευτική εξέλιξη, όπου η καθυστέρηση θα μειωθεί περαιτέρω, το εύρος ζώνης θα αυξηθεί και η κάλυψη θα ενισχυθεί. Καθώς η διάδοση των υποδομών 5G συνεχίζεται, η απρόσκοπτη σύγκλιση του 5G και της εικονικής πραγματικότητας (VR) θα εκδηλωθεί ως απτή πραγματικότητα για μια διευρυμένη δημογραφική ομάδα χρηστών. Το μέλλον των εμπειριών VR θα επηρεαστεί σημαντικά από τις εξελίξεις στην τεχνολογία VR. Είναι πολύ πιθανό ότι τα ακουστικά εικονικής πραγματικότητας (VR) θα υποστούν

μετασχηματισμό προς την κατεύθυνση των βελτιωμένων ελαφρών ιδιοτήτων, της συμπαγούς κατασκευής και της αυξημένης άνεσης, διευκολύνοντας έτσι τους χρήστες να συμμετάσχουν σε παρατεταμένες εμπειρίες VR χωρίς καμία μορφή σωματικής δυσφορίας. Η ενσωμάτωση οθονών υψηλότερης ανάλυσης, διευρυμένου οπτικού πεδίου και βελτιωμένων δυνατοτήτων επεξεργασίας γραφικών θα αποφέρει αναμφίβολα εικονικά περιβάλλοντα που θα χαρακτηρίζονται από αυξημένο ρεαλισμό και οπτικά συναρπαστική αισθητική. Επιπλέον, αναμένεται ότι θα υπάρξουν εξελίξεις στην τεχνολογία απτικής ανάδρασης, επιτρέποντας στους χρήστες να βυθιστούν σε εμπειρίες εικονικής πραγματικότητας μέσω της αντίληψης απτικών αισθήσεων. Η συνεχής πρόοδος στις τεχνολογίες παρακολούθησης κίνησης και παρακολούθησης των ματιών είναι έτοιμη να αυξήσει σημαντικά τις αλληλεπιδράσεις των χρηστών και να αυξήσει τον βαθμό εμπύθισης που βιώνουν μέσα σε εικονικά περιβάλλοντα (Zhang et al., 2022).

4.5.2. Βιομηχανικές και εκπαιδευτικές εφαρμογές

Η συμβολή του 5G και της εικονικής πραγματικότητας (VR) παρουσιάζει πληθώρα προοπτικών στους τομείς της βιομηχανίας και της εκπαίδευσης. Σε διάφορους τομείς, όπως η μεταποίηση, η αρχιτεκτονική και οι κατασκευές, η αξιοποίηση της εικονικής πραγματικότητας (VR) με δυνατότητα 5G έχει τη δυνατότητα να επιφέρει αλλαγή παραδείγματος στις μεθοδολογίες σχεδιασμού και να ενισχύσει τις συνεργατικές ροές εργασίας. Οι αρχιτέκτονες και οι μηχανικοί διαθέτουν τη δυνατότητα να συμμετέχουν σε συνεργασία από απόσταση, όπου μπορούν να συμμετέχουν ενεργά σε αλληλεπιδράσεις σε πραγματικό χρόνο που αφορούν εκτεταμένα έργα. Αυτή η συνεργασία συνεπάγεται τη δυνατότητα απεικόνισης και τροποποίησης τρισδιάστατων μοντέλων μέσα σε ένα αμοιβαία προσβάσιμο εικονικό περιβάλλον. Στον τομέα της εκπαίδευσης, η ενσωμάτωση της εικονικής πραγματικότητας με δυνατότητα 5G έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στο παιδαγωγικό τοπίο, παρέχοντας στους μαθητές την ευκαιρία να ασχοληθούν με διαδραστικό και καθηλωτικό εκπαιδευτικό υλικό. Η αξιοποίηση εμπειριών εικονικής πραγματικότητας (VR) με τεχνολογία 5G επιτρέπει τη διευκόλυνση διαφόρων εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων, όπως εικονικές εκδρομές σε ιστορικές τοποθεσίες, καθηλωτικά επιστημονικά πειράματα και προσομοιώσεις περίπλοκων εννοιών. Η απόκτηση βαθύτερης κατανόησης διαφόρων θεμάτων μπορεί να διευκολυνθεί μέσω

της άμεσης βιωματικής εμπλοκής των μαθητών, ενισχύοντας έτσι την αποτελεσματικότητα και την ελκυστικότητα της μαθησιακής διαδικασίας. Επιπλέον, η ενσωμάτωση του 5G και της εικονικής πραγματικότητας (VR) ενέχει σημαντικές δυνατότητες για τη διευκόλυνση της επαγγελματικής κατάρτισης και την προώθηση ευκαιριών ανάπτυξης. Η εικονική πραγματικότητα (VR) έχει τη δυνατότητα να παρέχει ασφαλείς και οικονομικά βιώσιμες εκπαιδευτικές εμπειρίες που αναπαράγουν στενά πραγματικές καταστάσεις, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από ιατρικές προσομοιώσεις έως εκπαίδευση σε επικίνδυνο περιβάλλον για βιομηχανικούς εργάτες. Η αξιοποίηση της τεχνολογίας 5G, που χαρακτηρίζεται από την ελάχιστη καθυστέρηση και το εκτεταμένο εύρος ζώνης, επιτρέπει την παροχή άμεσης ανατροφοδότησης και ενημερώσεων καθ' όλη τη διάρκεια των εκπαιδευτικών συνεδριών, αυξάνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα της εκπαιδευτικής διαδικασίας (Liu, 2021).

4.5.3. Μικτή πραγματικότητα (MR) και επαυξημένη πραγματικότητα (AR)

Καθώς η διάδοση των δικτύων 5G συνεχίζεται, θα διευκολύνει την απρόσκοπτη ενσωμάτωση εμπειριών Μικτής Πραγματικότητας (MR) και Επαυξημένης Πραγματικότητας (AR) με την Εικονική Πραγματικότητα (VR). Η μικτή πραγματικότητα (MR) συνδυάζει στοιχεία τόσο από την εικονική πραγματικότητα (VR) όσο και από την επαυξημένη πραγματικότητα (AR), επιτρέποντας στους χρήστες να εμπλέκονται ταυτόχρονα με εικονικές και πραγματικές οντότητες. Η χαμηλή καθυστέρηση και το υψηλό εύρος ζώνης που προσφέρει η τεχνολογία 5G είναι υψίστης σημασίας για τις εφαρμογές στη σφαίρα της μικτής πραγματικότητας (MR). Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι εφαρμογές MR απαιτούν την απρόσκοπτη και στιγμιαία παρακολούθηση καθώς και την απόδοση εικονικών αντικειμένων στο πραγματικό περιβάλλον του χρήστη. Η επαυξημένη πραγματικότητα (AR), αντίθετα, επικαλύπτει εικονικά στοιχεία στον φυσικό κόσμο, αυξάνοντας έτσι την αντίληψη του χρήστη για την πραγματικότητα. Η χαμηλή καθυστέρηση του 5G θα αποδειχθεί απαραίτητη για τη διευκόλυνση της απεικόνισης σε πραγματικό χρόνο και την απρόσκοπτη αλληλεπίδραση με το περιεχόμενο της επαυξημένης πραγματικότητας (AR), ενισχύοντας έτσι την απόκριση και τη ρευστότητά του. Η αξιοποίηση της τεχνολογίας επαυξημένης πραγματικότητας (AR) με δυνατότητα 5G επιτρέπει στα άτομα να ανακτούν εύκολα σχετικές πληροφορίες και να εμπλέκονται με εικονικά στοιχεία μέσα στο άμεσο φυσικό τους περιβάλλον, αυξάνοντας έτσι την

αποτελεσματικότητα, τη διασκέδαση και τις συνολικές καθημερινές τους συναντήσεις (Morimoto et al., 2022).

Η συγχώνευση της MR (Μικτή Πραγματικότητα) και της AR (Επαυξημένη Πραγματικότητα) με την VR (Εικονική Πραγματικότητα) μέσω της τεχνολογίας 5G θα δημιουργήσει ένα ευρύ φάσμα συναντήσεων διευρυμένης πραγματικότητας (XR), παρέχοντας στους χρήστες μια ομαλή και αδιάλειπτη εξέλιξη μεταξύ εντελώς εικονικών, επαυξημένων και μικτών πραγματικοτήτων. Η εν λόγω σύγκλιση έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει μια αλλαγή παραδείγματος στον τρόπο με τον οποίο τα άτομα εμπλέκονται με το ψηφιακό πεδίο και το άμεσο περιβάλλον τους. Οι συνέπειες της καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τομέων, το οποίο περιλαμβάνει όχι μόνο την ψυχαγωγία και τα παιχνίδια, αλλά επεκτείνεται και σε βιομηχανικά και επιχειρηματικά πλαίσια (Morimoto et al., 2022).

Συμπέρασμα

Η σύγκλιση των ασύρματων δικτύων πέμπτης γενιάς (5G) και της εικονικής πραγματικότητας (VR) σηματοδοτεί την έλευση μιας εποχής αλλαγής παραδείγματος στο πεδίο της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή και της κινητής επικοινωνίας. Η άψογη συγχώνευση αυτών των δύο τεχνολογιών αιχμής παρουσιάζει ένα πεδίο απaráμιλλων δυνατοτήτων σε διάφορους κλάδους, προωθώντας την εφευρετικότητα και αναδιαμορφώνοντας τις τεχνολογικές μας αλληλεπιδράσεις. Η αξιοσημείωτη ταχύτητα, η εντυπωσιακά ελάχιστη καθυστέρηση και η εκτεταμένη συνδεσιμότητα των συσκευών που προσφέρουν τα δίκτυα 5G θέτουν τα θεμέλια για μια αυθεντικά καθηλωτική και απαλλαγμένη από καθυστερήσεις συνάντηση εικονικής πραγματικότητας. Η σύγκλιση του 5G και της εικονικής πραγματικότητας δημιούργησε πρωτοφανείς προοπτικές σε διάφορους τομείς, που εκτείνονται από τα παιχνίδια και την υγειονομική περίθαλψη έως την εκπαίδευση και την ψυχαγωγία. Αυτές οι ευκαιρίες θεωρούνταν προηγουμένως ανέφικτες, αλλά τώρα είναι πλέον εφικτές. Η σύγκλιση των παιχνιδιών εικονικής πραγματικότητας που βασίζονται στο cloud, της ιατρικής εκπαίδευσης εξ αποστάσεως και των εικονικών αιθουσών διδασκαλίας αποτελεί μια απλή ματιά στις τεράστιες δυνατότητες που απελευθερώνονται μέσω αυτής της τρομερής συμμαχίας.

Ωστόσο, εν μέσω αυτής της ευφορίας, είναι επιτακτική ανάγκη να αναγνωρίσουμε και να αντιμετωπίσουμε τα εμπόδια που είναι εγγενή σε αυτή τη συγχώνευση μετασχηματιστικών στοιχείων. Οι απαιτήσεις που θέτει η εφαρμογή των δικτύων 5G απαιτούν σημαντικές επενδύσεις σε υποδομές, επιβάλλοντας έτσι μια συλλογική προσπάθεια μεταξύ κυβερνητικών φορέων, επιχειρήσεων και βιομηχανιών για να εξασφαλιστεί η εκτεταμένη προσβασιμότητα. Επιπλέον, υπό το πρίσμα του αυξανόμενου όγκου ευαίσθητων δεδομένων που μεταδίδονται και αποθηκεύονται σε αυτά τα διασυνδεδεμένα οικοσυστήματα, είναι επιτακτική ανάγκη να διατηρηθεί η ύψιστη σημασία της ιδιωτικότητας και της ασφάλειας των δεδομένων καθ' όλη τη διαδικασία ανάπτυξης και υλοποίησης. Στο ορατό μέλλον, είναι λογικό να αναμένουμε πρόσθετες εξελίξεις και εναρμόνιση μεταξύ της πέμπτης γενιάς ασύρματης τεχνολογίας (5G) και της εικονικής πραγματικότητας (VR), η οποία θα μας ωθήσει σε μια επερχόμενη εποχή που θα χαρακτηρίζεται από αυξημένες εμπειρίες, επαναστατικούς μετασχηματισμούς σε διάφορους κλάδους και ένα άνευ προηγουμένου επίπεδο διάχυτης συνδεσιμότητας. Υιοθετώντας αυτό το συγχώνευμα με οξυδέρκεια και υπευθυνότητα, είναι αδιαμφισβήτητο ότι θα οδηγήσει τελικά σε ένα πιο διασυνδεδεμένο, ελκυστικό και περιεκτικό ψηφιακό πεδίο για το σύνολο της ανθρωπότητας.

Βιβλιογραφία

- Abdelwahab, S., Hamdaoui, B., Guizani, M. and Znati, T. (2016). Network function virtualization in 5G. *IEEE Communications Magazine*, 54(4), pp.84–91. doi:<https://doi.org/10.1109/mcom.2016.7452271>.
- Afaq, A., Haider, N., Baig, M.Z., Khan, K.S., Imran, M. and Razzak, I. (2021). Machine learning for 5G security: Architecture, recent advances, and challenges. *Ad Hoc Networks*, [online] 123, p.102667. doi:<https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2021.102667>.
- Agarwala, N. and Guduru, S.S. (2021). The potential of 5G in commercial shipping. *Maritime Technology and Research*, 3(3), p.Manuscript. doi:<https://doi.org/10.33175/mtr.2021.248995>.

Agrawal, J., Patel, R., Mor, P., Dubey, P. and Keller, J.M. (2015). Evolution of Mobile Communication Network: from 1G to 4G. *J. of Multidisciplinary and Current Research International Journal of Multidisciplinary and Current Research*, [online] 33. Available at: <http://ijmcr.com/wp-content/uploads/2015/11/Paper11100-1103.pdf>.

Akkari, N. and Dimitriou, N. (2020). Mobility management solutions for 5G networks: Architecture and services. *Computer Networks*, 169, p.107082. doi:<https://doi.org/10.1016/j.comnet.2019.107082>.

Al-Turjman, F. (2019). 5G-enabled devices and smart-spaces in social-IoT: An overview. *Future Generation Computer Systems*, 92, pp.732–744. doi:<https://doi.org/10.1016/j.future.2017.11.035>.

Arfaoui, G., Bisson, P., Blom, R., Borgaonkar, R., Englund, H., Felix, E., Klaedtke, F., Nakarmi, P.K., Naslund, M., O’Hanlon, P., Papay, J., Suomalainen, J., Surridge, M., Wary, J.-P. and Zahariev, A. (2018). A Security Architecture for 5G Networks. *IEEE Access*, 6, pp.22466–22479. doi:<https://doi.org/10.1109/access.2018.2827419>.

Boccardi, F., Heath, R.W., Lozano, A., Marzetta, T.L. and Popovski, P. (2014). Five disruptive technology directions for 5G. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), pp.74–80. doi:<https://doi.org/10.1109/mcom.2014.6736746>.

Buttussi, F. and Chittaro, L. (2018). Effects of Different Types of Virtual Reality Display on Presence and Learning in a Safety Training Scenario. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(2), pp.1063–1076. doi:<https://doi.org/10.1109/tvcg.2017.2653117>.

Chakareski, J. (2017). VR/AR Immersive Communication. *Proceedings of the Workshop on Virtual Reality and Augmented Reality Network*. doi:<https://doi.org/10.1145/3097895.3097902>.

Chiaraviglio, L., Elzanaty, A. and Alouini, M.-S. (2021). Health Risks Associated With 5G Exposure: A View From the Communications Engineering Perspective. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, [online] 2, pp.2131–2179. doi:<https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2021.3106052>.

Chochliouros, I.P., Kourtis, M.-A., Spiliopoulou, A.S., Lazaridis, P., Zaharis, Z., Zarakovitis, C. and Kourtis, A. (2021). Energy Efficiency Concerns and Trends in Future 5G Network Infrastructures. *Energies*, [online] 14(17), p.5392. doi:<https://doi.org/10.3390/en14175392>.

Cui, L., Yuan, Z., Ming, Z. and Yang, S. (2020). Improving the Congestion Control Performance for Mobile Networks in High-Speed Railway via Deep Reinforcement Learning. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, [online] 69(6), pp.5864–5875. doi:<https://doi.org/10.1109/TVT.2020.2984038>.

Dananjayan, S. and Raj, G.M. (2020). 5G in healthcare: how fast will be the transformation? *Irish Journal of Medical Science (1971 -)*. doi:<https://doi.org/10.1007/s11845-020-02329-w>.

Dangi, R., Lalwani, P., Choudhary, G., You, I. and Pau, G. (2021). Study and Investigation on 5G Technology: A Systematic Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, [online] 22(1), p.26. doi:<https://doi.org/10.3390/s22010026>.

den Ouden, J., Ho, V., van der Smagt, T., Kakes, G., Rommel, S., Passchier, I., Juza, J. and Tafur Monroy, I. (2022). Design and Evaluation of Remote Driving Architecture on 4G and 5G Mobile Networks. *Frontiers in Future Transportation*, 2. doi:<https://doi.org/10.3389/ffutr.2021.801567>.

Di Pietro, R. and Cresci, S. (2021). Metaverse: Security and Privacy Issues. *2021 Third IEEE International Conference on Trust, Privacy and Security in Intelligent Systems and Applications (TPS-ISA)*. doi:<https://doi.org/10.1109/tpsisa52974.2021.00032>.

Domeke, A., Cimoli, B. and Monroy, I.T. (2022). Integration of Network Slicing and Machine Learning into Edge Networks for Low-Latency Services in 5G and beyond Systems. *Applied Sciences*, 12(13), p.6617. doi:<https://doi.org/10.3390/app12136617>.

El-Shorbagy, A. (2021). 5G Technology and the Future of Architecture. *Procedia Computer Science*, 182, pp.121–131. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.02.017>.

- Erol-Kantarci, M. and Sukhmani, S. (2018). Caching and Computing at the Edge for Mobile Augmented Reality and Virtual Reality (AR/VR) in 5G. *Ad Hoc Networks*, pp.169–177. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-74439-1_15.
- Fang, D., Qian, Y. and Hu, R.Q. (2018). Security for 5G Mobile Wireless Networks. *IEEE Access*, [online] 6, pp.4850–4874. doi:<https://doi.org/10.1109/access.2017.2779146>.
- Ferrag, M.A., Maglaras, L., Argyriou, A., Kosmanos, D. and Janicke, H. (2018). Security for 4G and 5G cellular networks: A survey of existing authentication and privacy-preserving schemes. *Journal of Network and Computer Applications*, 101, pp.55–82. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.10.017>.
- Ganchev, I., Mairtin O'Droma, Hakima Chaouchi, Armuelles, I., Siebert, M. and Nikos Houssos (2004). Requirements for an integrated system and service 4G architecture. *Vehicular Technology Conference*. doi:<https://doi.org/10.1109/vetecs.2004.1391480>.
- Ghosh, A., Maeder, A., Baker, M. and Chandramouli, D. (2019). 5G Evolution: A View on 5G Cellular Technology Beyond 3GPP Release 15. *IEEE Access*, 7, pp.127639–127651. doi:<https://doi.org/10.1109/access.2019.2939938>.
- Gohil, A., Modi, H. and Patel, S.K. (2013). 5G technology of mobile communication: A survey. *2013 International Conference on Intelligent Systems and Signal Processing (ISSP)*. [online] doi:<https://doi.org/10.1109/issp.2013.6526920>.
- Govil, J. (2007). 4G Mobile Communication Systems: Turns, Trends and Transition. doi:<https://doi.org/10.1109/iccit.2007.305>.
- Hakak, S., Gadekallu, T.R., Maddikunta, P.K.R., Ramu, S.P., M, P., De Alwis, C. and Liyanage, M. (2023). Autonomous vehicles in 5G and beyond: A survey. *Vehicular Communications*, [online] 39, p.100551. doi:<https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2022.100551>.
- Han, Y., Wang, W., Chen, N., Zhong, Y., Zhou, R., Yan, H., Wang, J. and Bai, Y. (2022). A 5G-Based VR Application for Efficient Port Management. *World Electric Vehicle Journal*, [online] 13(6), p.101. doi:<https://doi.org/10.3390/wevj13060101>.

Imran, M.A., Sambo, Y.A. and Abbasi, Q.H. (2019). *Enabling 5G Communication Systems to Support Vertical Industries*. [online] Google Books. John Wiley & Sons. Available at: https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=4GObDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA179&dq=Entertainment+and+multimedia+5G&ots=7t963I0LzM&sig=zZKVkRtS-_ycyu87ECNIU5htjUY&redir_esc=y#v=onepage&q=Entertainment%20and%20multimedia%205G&f=false.

Jain, A.Kr., Acharya, R., Jakhar, S. and Mishra, T. (2018). *Fifth Generation (5G) Wireless Technology 'Revolution in Telecommunication'*. [online] IEEE Xplore. doi:<https://doi.org/10.1109/ICICCT.2018.8473011>.

Janevski, T. (2009). *5G Mobile Phone Concept*. [online] IEEE Xplore. doi:<https://doi.org/10.1109/CCNC.2009.4784727>.

Ji, X., Huang, K., Jin, L., Tang, H., Liu, C., Zhong, Z., You, W., Xu, X., Zhao, H., Wu, J. and Yi, M. (2018). Overview of 5G security technology. *Science China Information Sciences*, 61(8). doi:<https://doi.org/10.1007/s11432-017-9426-4>.

Johan Hoffstedt, Andersson, I., Lars Åke Persson, Isaksson, B. and Arner, P. (2002). The common -675 4G/5G polymorphism in the plasminogen activator inhibitor –1 gene is strongly associated with obesity. 45(4), pp.584–587. doi:<https://doi.org/10.1007/s00125-001-0774-5>.

Judith Nkechinyere Njoku, Cosmas Ifeanyi Nwakanma and Kim, D.-S. (2022). The Role of 5G Wireless Communication System in the Metaverse. doi:<https://doi.org/10.1109/apcc55198.2022.9943778>.

Kardong-Edgren, S. (Suzie), Farra, S.L., Alinier, G. and Young, H.M. (2019). A Call to Unify Definitions of Virtual Reality. *Clinical Simulation in Nursing*, [online] 31, pp.28–34. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecns.2019.02.006>.

Karjaluoto, H. (2007). An Investigation of Third Generation (3G) Mobile Technologies and Services. *Contemporary Management Research*, 2(2), p.91. doi:<https://doi.org/10.7903/cmr.653>.

- Kenwright, B. (2018). Virtual Reality: Ethical Challenges and Dangers [Opinion]. *IEEE Technology and Society Magazine*, 37(4), pp.20–25.
doi:<https://doi.org/10.1109/mts.2018.2876104>.
- Khan, A.H., Qadeer, M.A., Ansari, J.A. and Waheed, S. (2009). *4G as a Next Generation Wireless Network*. [online] IEEE Xplore.
doi:<https://doi.org/10.1109/ICFCC.2009.108>.
- Khuntia, M., Singh, D. and Sahoo, S. (2020). Impact of Internet of Things (IoT) on 5G. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, pp.125–136.
doi:https://doi.org/10.1007/978-981-15-6202-0_14.
- Kishore, N. and Senapati, A. (2022). 5G smart antenna for IoT application: A review. *International Journal of Communication Systems*, 35(13).
doi:<https://doi.org/10.1002/dac.5241>.
- Kumar, S., Gupta, G. and Singh, K.R. (2015). 5G: Revolution of future communication technology. *2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT)*. doi:<https://doi.org/10.1109/icgciot.2015.7380446>.
- Li, D. (2019). 5G and Intelligence Medicine—How the Next Generation of Wireless Technology Will Reconstruct Healthcare? *Precision Clinical Medicine*, 2(4).
doi:<https://doi.org/10.1093/pcmedi/pbz020>.
- Li, L., Yu, F., Shi, D., Shi, J., Tian, Z., Yang, J., Wang, X. and Jiang, Q. (2017). Application of virtual reality technology in clinical medicine. *American journal of translational research*, [online] 9(9), pp.3867–3880. Available at:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5622235/>.
- Li, S., Xu, L.D. and Zhao, S. (2014). The internet of things: a survey. *Information Systems Frontiers*, [online] 17(2), pp.243–259. doi:<https://doi.org/10.1007/s10796-014-9492-7>.
- Li, S., Xu, L.D. and Zhao, S. (2018). 5G Internet of Things: A survey. *Journal of Industrial Information Integration*, [online] 10, pp.1–9.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jii.2018.01.005>.

- Liu, H. (2021). *Research on the Development of 5G Industry Assisted by Virtual Reality Technology*. [online] IEEE Xplore. doi:<https://doi.org/10.1109/ICPICS52425.2021.9524249>.
- Mamun, Md.I., Rahman, A., Khaleque, Md.A., Mridha, M.F. and Hamid, Md.A. (2019). Healthcare Monitoring System Inside Self-driving Smart Car in 5G Cellular Network. *2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. doi:<https://doi.org/10.1109/indin41052.2019.8972144>.
- Marchese, M., Moheddine, A. and Patrone, F. (2019). IoT and UAV Integration in 5G Hybrid Terrestrial-Satellite Networks. *Sensors*, [online] 19(17), p.3704. doi:<https://doi.org/10.3390/s19173704>.
- Mohan, J.P., Sugunaraj, N. and Ranganathan, P. (2022). *Cyber Security Threats for 5G Networks*. [online] IEEE Xplore. doi:<https://doi.org/10.1109/eIT53891.2022.9813965>.
- Morimoto, T., Kobayashi, T., Hirata, H., Otani, K., Sugimoto, M., Tsukamoto, M., Yoshihara, T., Ueno, M. and Mawatari, M. (2022). XR (Extended Reality: Virtual Reality, Augmented Reality, Mixed Reality) Technology in Spine Medicine: Status Quo and Quo Vadis. *Journal of Clinical Medicine*, 11(2), p.470. doi:<https://doi.org/10.3390/jcm11020470>.
- Moysen, J. and Giupponi, L. (2018). From 4G to 5G: Self-organized network management meets machine learning. *Computer Communications*, 129(129), pp.248–268. doi:<https://doi.org/10.1016/j.comcom.2018.07.015>.
- Mumtaz, S., Rodriguez, J. and Dai, L. (2016). *mmWave Massive MIMO: A Paradigm for 5G*. [online] Google Books. Academic Press. Available at: https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=rg1YCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=The+evolution+of+5G+architecture+mimo&ots=gNs2-2QWlo&sig=w2g7RsDL3BJQSIWPpgLoWmMviHY&redir_esc=y#v=onepage&q=The%20evolution%20of%205G%20architecture%20mimo&f=false.
- Orlosky, J., Kiyokawa, K. and Takemura, H. (2017). Virtual and Augmented Reality on the 5G Highway. *Journal of Information Processing*, 25(0), pp.133–141. doi:<https://doi.org/10.2197/ipsjip.25.133>.

Phuoc Dai, N.H., Ruiz, L. and Zoltan, R. (2021). *5G revolution: Challenges and opportunities*. [online] IEEE Xplore. doi:<https://doi.org/10.1109/CINTI53070.2021.9668550>.

Rao, S.K. and Prasad, R. (2018). Impact of 5G Technologies on Smart City Implementation. *Wireless Personal Communications*, [online] 100(1), pp.161–176. doi:<https://doi.org/10.1007/s11277-018-5618-4>.

Rost, P., Banchs, A., Berberana, I., Breitbach, M., Doll, M., Droste, H., Mannweiler, C., Puente, M.A., Samdanis, K. and Sayadi, B. (2016). Mobile network architecture evolution toward 5G. *IEEE Communications Magazine*, 54(5), pp.84–91. doi:<https://doi.org/10.1109/mcom.2016.7470940>.

Scharnhorst, W., Hilty, L. and Joliet, O. (2006). Life cycle assessment of second generation (2G) and third generation (3G) mobile phone networks. *Environment International*, 32(5), pp.656–675. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.03.001>.

Schneider, P. and Horn, G. (2015). *Towards 5G Security*. [online] IEEE Xplore. doi:<https://doi.org/10.1109/Trustcom.2015.499>.

Seetaiah Kilaru, Harikishore K, T Sravani, Anvesh Chowdary L and Balaji, T. (2014). Review and analysis of promising technologies with respect to Fifth generation networks. doi:<https://doi.org/10.1109/cnsc.2014.6906653>.

Skouby, K.E. and Lynggaard, P. (2014). Smart home and smart city solutions enabled by 5G, IoT, AAI and CoT services. *2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*. [online] doi:<https://doi.org/10.1109/ic3i.2014.7019822>.

Song, F., Li, L., You, I., Yu, S. and Zhang, H. (2022). Optimizing High-Speed Mobile Networks with Smart Collaborative Theory. *IEEE Wireless Communications*, [online] 29(3), pp.48–54. doi:<https://doi.org/10.1109/MWC.001.2100579>.

Taboada, I. and Shee, H. (2020). Understanding 5G technology for future supply chain management. *International Journal of Logistics Research and Applications*, pp.1–15. doi:<https://doi.org/10.1080/13675567.2020.1762850>.

Tarikere, S., Donner, I. and Woods, D. (2021). Diagnosing a healthcare cybersecurity crisis: The impact of IoMT advancements and 5G. *Business Horizons*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.bushor.2021.07.015>.

Tullberg, H., Popovski, P., Li, Z., Uusitalo, M.A., Hoglund, A., Bulakci, O., Fallgren, M. and Monserrat, J.F. (2016). The METIS 5G System Concept: Meeting the 5G Requirements. *IEEE Communications Magazine*, 54(12), pp.132–139. doi:<https://doi.org/10.1109/mcom.2016.1500799cm>.

Ullah, H., Gopalakrishnan Nair, N., Moore, A., Nugent, C., Muschamp, P. and Cuevas, M. (2019). 5G Communication: An Overview of Vehicle-to-Everything, Drones, and Healthcare Use-Cases. *IEEE Access*, 7, pp.37251–37268. doi:<https://doi.org/10.1109/access.2019.2905347>.

Uwaechia, A.N. and Mahyuddin, N.M. (2020). A Comprehensive Survey on Millimeter Wave Communications for Fifth-Generation Wireless Networks: Feasibility and Challenges. *IEEE Access*, [online] 8, pp.62367–62414. doi:<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2984204>.

Vij, S. and Jain, A. (2016). *5G: Evolution of a secure mobile technology*. [online] IEEE Xplore. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7724653>.

Xenakis, C. and Merakos, L. (2004). Security in third Generation Mobile Networks. *Computer Communications*, 27(7), pp.638–650. doi:<https://doi.org/10.1016/j.comcom.2003.12.004>.

Zeqiri, R., Idrizi, F. and Halimi, H. (2019). Comparison of Algorithms and Technologies 2G, 3G, 4G and 5G. *2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*. doi:<https://doi.org/10.1109/ismsit.2019.8932896>.

Zhang, W., Han, B. and Hui, P. (2022). SEAR: Scaling Experiences in Multi-user Augmented Reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, [online] 28(5), pp.1982–1992. doi:<https://doi.org/10.1109/TVCG.2022.3150467>.

Zhang, Z., Wen, F., Sun, Z., Guo, X., He, T. and Lee, C. (2022). Artificial Intelligence-Enabled Sensing Technologies in the 5G/Internet of Things Era: From

Virtual Reality/Augmented Reality to the Digital Twin. *Advanced Intelligent Systems*, 4(7), p.2100228. doi:<https://doi.org/10.1002/aisy.202100228>.

Zong Chen, Dr.J.I. (2019). TECHNOLOGY AND ADVANCEMENTS IN CONNECTED LIVING-COMPREHENSIVE SURVEY. *December 2019*, 2019(02), pp.71–79. doi:<https://doi.org/10.36548/jei.2019.2.002>.