



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

**Μελέτη της Ενσωμάτωσης των Δικτυακών Τεχνολογιών
Έκτης Γενιάς (6G) σε Καινοτόμες Υπηρεσίες Τηλεϊατρικής**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΘΕΟΔΩΡΑΣ ΒΑΛΙΩΤΗ

Επιβλέπων : Επ. Καθηγητής κ. Δημήτριος Σκούτας

Μέλη εξεταστικής επιτροπής:

Καθηγητής κ. Γεώργιος Κορμέντζας

Καθηγητής κ. Χαράλαμπος Σκιάνης

Σάμος, Ιούλιος 2023

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πρόλογος

Η συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των σπουδών μου για την απόκτηση του πτυχίου, του Τμήματος Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων, του Πανεπιστημίου Αιγαίου με έδρα τη Σάμο.

Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και δηλώνω ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω αναφέρει τις πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες.

Τέλος, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

© 2023

της

ΘΕΟΔΩΡΑΣ ΒΑΛΙΩΤΗ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Ευχαριστίες

Η συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης των σπουδών μου για την απόκτηση του πτυχίου, του Τμήματος Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων, του Πανεπιστημίου Αιγαίου με έδρα τη Σάμο.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Δημήτρη Σκούτα, καθηγητή του Τμήματος, που ανέλαβε να με βοηθήσει στην ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω θερμά για την βοήθεια του, την πολύ καλή συνεργασία μας και τον χρόνο που αφιέρωσε.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, που είναι πάντα δίπλα μου και με στηρίζει σε κάθε προσπάθεια μου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και ιδιαίτερα τη μητέρα μου, για την στήριξη τους σε κάθε μου βήμα, όπως και την πολυαγαπημένη μου αδερφούλα που είναι πάντα στο πλευρό μου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω την θεία μου, τα ξαδέρφια μου, τον αγαπημένο μου θείο και τους αγαπημένους μου παππούδες, που είναι πάντα δίπλα μου. Θα ήθελα να τους ευχαριστήσω θερμά έναν προς έναν, χωρίς αυτούς δεν θα είχα καταφέρει όσα έχω πετύχει μέχρι σήμερα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τους δικούς μου ανθρώπους που ήταν δίπλα μου σε αυτά τα όμορφα χρόνια των σπουδών μου.

© 2023

της

ΘΕΟΔΩΡΑΣ ΒΑΛΙΩΤΗ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πίνακας περιεχομένων

1	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Εισαγωγή	1
1.1	Εισαγωγή.....	1
1.2	Δομή της διπλωματικής	2
2	ΚΕΦΑΛΑΙΟ : Τηλεϊατρική	3
2.1	Τι είναι η τηλεϊατρική;	3
2.2	Κατηγορίες τηλεϊατρικής.....	6
2.3	Πως λειτουργεί ένα σύστημα τηλεϊατρικής σήμερα;	7
2.4	Προκλήσεις του Συστήματος Υγείας.....	9
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Ολογραφία και Ολογράμματα	14
3.1	Τι είναι η ολογραφία;.....	14
3.2	Τι είναι τα ολογράμματα;.....	15
3.3	Τι είναι η ολογραφική επικοινωνία;.....	18
3.4	Ολογραφική Επικοινωνία και Τηλεϊατρική	19
3.5	Αλγόριθμοι Ολογραφικής Επικοινωνίας.....	22
3.5.1	<i>Computer-generated holograms</i>	22
3.5.2	<i>Point-based method</i>	22
3.5.3	<i>Polygon-based method</i>	23
3.5.4	<i>Layer-based method</i>	24
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Τηλεχειρουργική και Ρομποτική	26
4.1	Τι είναι η Τηλεχειρουργική;.....	26
4.2	Τι είναι η Ρομποτική;	28
4.3	Παραδείγματα Τηλεχειρουργικής.....	29
4.3.1	Επέμβαση Lindbergh.....	30
4.3.2	EESS – Extreme Environment Surgical System.....	31
4.3.3	ISS – International Space Station Telesurgery	32
4.3.4	Χειρουργική επέμβαση με τη βοήθεια των 5G.....	32
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Τεχνητή Νοημοσύνη	Error! Bookmark not defined.
5.1	Τι είναι η Τεχνητή Νοημοσύνη;.....	75
5.2	Αλγόριθμοι Τεχνητής Νοημοσύνης.....	78
5.2.1	<i>Machine Learning</i>	78
5.2.2	<i>Deep Learning</i>	80

6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Δίκτυα 6G	34
6.1	Τι είναι τα δίκτυα 6G;	34
6.2	Γιατί υπάρχει ανάγκη για τα δίκτυα 6G;	35
6.3	Τι θα προσφέρουν τα δίκτυα 6G;	39
6.3.1	Υψηλές ταχύτητες με χαμηλή καθυστέρηση	40
6.3.2	Βελτιστοποίηση Φάσματος	41
6.3.1	Ενίσχυση χωρητικότητας	44
6.3.1	Ενίσχυση κάλυψης	45
6.3.2	Βελτιστοποίηση επικοινωνίας με χαμηλή καθυστέρηση	47
6.3.3	Ακριβής τοποθέτηση και εντοπισμός θέσης	49
6.3.4	Δορυφορική Επικοινωνία	50
6.3.5	Εξέλιξη των HAP και UAV	53
6.3.6	Επικοινωνίες Ορατού Φωτός (VLC)	55
6.3.7	Εξέλιξη Εικονικής και Επαυξημένης Πραγματικότητας	56
6.3.8	Ολογραφική Επικοινωνία	58
6.3.9	Απτική Ανάδραση και Αίσθηση Αφής	61
6.4	Ασφάλεια 6G	63
6.5	Εφαρμογές Τηλεϊατρικής μέσω 6G	68
6.5.1	Τηλεχειρουργική	68
6.5.2	“Εξυπνα” Ασθενοφόρα	70
6.5.3	Βελτίωση Μονάδας Αντιμετώπισης Έκτακτης Ανάγκης	72
7	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Συμπεράσματα	75
	Βιβλιογραφία	85

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Σύστημα τηλεϊατρικής.....	22
Εικόνα 2: Ανθρώπινο Ολόγραμμα.....	29
Εικόνα 3: Yuri Denisyuk με ολόγραμμα αυτοπροσωπίας του.....	31
Εικόνα 4: Εξ αποστάσεως παρακολούθηση χειρουργείου.....	33
Εικόνα 5: Εξ αποστάσεως συνάντηση γιατρού.....	34
Εικόνα 6: Απεικόνιση οργάνων ολογραφικά.....	34
Εικόνα 7: Μέθοδοι υπολογισμού CGH.....	38
Εικόνα 8: Χειρουργικό Σύστημα da Vinci.....	42
Εικόνα 9: Σύνδεση μέσω France Telecom.....	44
Εικόνα 10: Ολογραφική χειρουργική επέμβαση.....	46
Εικόνα 11: Εκτιμώμενες Συνδρομές Κινητής Τηλεφωνίας 2020-2030.....	52
Εικόνα 12: Παγκόσμιες Τάσεις Ασύρματης Συνδεσιμότητας.....	52
Εικόνα 13: Πίνακας σύγκρισης συστημάτων επικοινωνίας.....	53
Εικόνα 14: Δορυφορική Επικοινωνία.....	66
Εικόνα 15: 3D αναπαράσταση αντικειμένου.....	75
Εικόνα 16: Μηχανισμός "Εξυπνου" Ασθενοφόρου	86
Εικόνα 17: "Εξυπνο" Σύστημα Υγειονομικής Περίθαλψης.....	92
Εικόνα 18: Υποσύνολα τεχνητής νοημοσύνης.....	96

Λίστα Ορισμών

τηλε-ψυχιατρική	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Telepsychiatry?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
τηλε-χειρουργική	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Remote_surgery?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
τηλε-παθολογία	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Telepathology?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
τηλε-οφθαλμολογία	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Teleophthalmology?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
τηλε-οδοντιατρική	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Teledentistry?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
τηλε-νοσηλευτική	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Telepharmacy?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
τηλε-νευροψυχολογία	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Telehealth?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
τηλε-νευροχειρουργική	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Telehealth?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
τηλε-νευρολογία	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Telehealth?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
τηλε-καρδιολογία	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Electrocardiography?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
τηλε-θεραπεία τραυματία	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Telehealth?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
τηλε-θεραπεία	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Telehealth?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
τηλε-δερματολογία	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Teledermatology?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
τηλε-αποκατάσταση	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Telerehabilitation?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
τηλε-ακτινολογία	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Teleradiology?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
τηλε-ακοή	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Teleaudiology?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
Τεχνητοί νευρώνες	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Artificial_neuron?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
Νευρωνικά δίκτυα	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Artificial_neural_network?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
Μηχανική Μάθηση	https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/PT187/11.DEEP%20LEARNING%2C%20MACHINE%20LEARNING.pdf
Ευφυείς πράκτορες	https://enmwikipediaorg.translate.google/wiki/Intelligent_agent?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc

Εκτεταμένη πραγματικότητα	https://enmwikipediaorg.translate.goog/wiki/Extended_reality?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
Εικονική Πραγματικότητα	https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality
Διαδίκτυο των Πραγμάτων	https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things
ZEUS	https://enmwikipediaorg.translate.goog/wiki/ZEUS_robot?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
Yuri N. Denisyuk	https://en.wikipedia.org/wiki/Yuri_Denisyuk
Rina Dechter	https://enmwikipediaorg.translate.goog/wiki/Rina_Dechter?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
Perceptron	https://enmwikipediaorg.translate.goog/wiki/Perceptron?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
Optica - OSA	https://en.wikipedia.org/wiki/Optica_(society)
Juris Upatnieks	https://en.wikipedia.org/wiki/Juris_Upatnieks
Jacques Marescaux	https://enmwikipediaorg.translate.goog/wiki/Jacques_Marescaux?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
IoMT	https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/IoMT-Internet-of-Medical-Things
Gerald Tesauro	https://wwwchessprogrammingorg.translate.goog/Gerald_Tesauro?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
Frank Rosenblatt	https://enmwikipediaorg.translate.goog/wiki/Frank_Rosenblatt?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
France Telecom	https://en.wikipedia.org/wiki/Orange_S.A.
Emmett N. Leith	https://en.wikipedia.org/wiki/Emmett_Leith
Edge Computing	https://en.wikipedia.org/wiki/Edge_computing
Dennis Gabor	https://en.wikipedia.org/wiki/Dennis_Gabor
Cloud Computing	https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing
Chen Yundai	https://loop.frontiersin.org/people/1009005/overview
Charles Augustus Lindbergh	https://enmwikipediaorg.translate.goog/wiki/Charles_Lindbergh?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=el&_x_tr_hl=el&_x_tr_pto=sc
Blockchain	https://en.wikipedia.org/wiki/Blockchain
Arthur Samuel	https://en.wikipedia.org/wiki/Arthur_Samuel_(computer_scientist)

Ακρωνύμια

AI	Artificial Intelligence
ANN	Artificial Neural Network
AR	Augmented Reality
CGH	Computer Generated Holograms
CNN	Convolutional Neural Networks
DL	Deep Learning
DRL	Deep Reinforcement Learning
EMBB	Enhanced Mobile Broadband
EMS	Emergency Mobile Service
ERU	Emergency Response Unit
FP	Fringe Patterns
GB	Gigabyte
GDPR	General Data Protection Regulation
GEO	Geosynchronous Equatorial Orbit
GHz	Gigahertz
GS	Gerchberg-Saxton
HAP	High Altitude Platform
HHS	Health and Human Services
HIPAA	Health Insurance Portability and Accountability Act
IFRC	International Federation of Red Cross & Red Crescent Societies
IoBNT	Internet of Bio-Nano Things
IoT	Internet of Things
JRC	Joint Radar Communication
LED	Light Emitting Diodes
LEO	Low Earth Orbit
M2M	Machine to Machine
MBB	Mobile Broadband
MFA	Multi-Factor Authentication
MHz	Megahertz
MR	Mixed Reality
NN	Neural Networks
NTN	New Technology Network
OFDM	Orthogonal Frequency-division Multiplexing
OSA	Optical Society of America

OWC	Optical Wireless Communications
PFP	Principal Fringe Pattern
QoS	Quality of Service
RAP	Random Phase
RIS	Radiology Information System
RNN	Recurrent Neural Networks -
RPM	Remote Patient Monitoring
SAR	Synthetic Aperture Radar
TDoA	Time Difference of Arrival
THz	Terahertz
ToA	Time of Arrival
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UHB	University Hospital Birmingham
URLLC	Ultra-Reliable Low Latency Communications
VLC	Visible Light Communications
VR	Virtual Reality
WBAN	Wireless Body Area Networks
WSN	Wireless Sensor Network
XR	Extended Reality
ZRSS	ZEUS Robotics Surgical System

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια έχει ήδη αρχίσει να υιοθετείται ευρέως η λειτουργία της πέμπτης γενιάς δικτύων 5G, όμως οι ερευνητές εκτιμούν ότι τα δίκτυα αυτά δεν θα είναι σε θέση να καλύψουν τον τεράστιο όγκο δεδομένων και απαιτήσεων των ασύρματων δικτύων επικοινωνίας και τη λειτουργία προηγμένων εφαρμογών που απαιτείται σήμερα. Έτσι έχει προκύψει η ανάγκη δημιουργίας μιας καινούργιας γενιάς δικτύων, τα δίκτυα έκτης γενιάς 6G, τα οποία θα σχεδιαστούν κατάλληλα με σκοπό να βελτιωθεί κατά το μέγιστο δυνατό η παροχή υπηρεσιών σε όλους τους τομείς και να μπορέσει να καλύψει και να ανταποκριθεί στις συνεχείς απαιτήσεις και ρυθμούς της κοινωνίας.

Ένας άλλος παράγοντας που οδήγησε στην ανάγκη δημιουργίας των 6G δικτύων ήταν το ξέσπασμα της πανδημίας του COVID-19 στις αρχές του 2020. Η πανδημία αυτή είχε καταστροφικές συνέπειες προς όλους τους τομείς, ιδιαίτερα στον τομέα υγείας, προκαλώντας τεράστια υγειονομική κρίση σε παγκόσμιο βαθμό. Αυτό οδήγησε στην ανάγκη άμεσης αναβάθμισης και εξέλιξης των δυνατοτήτων των δικτύων υιοθετώντας μια περισσότερο “έξυπνη” προσέγγιση για να μπορέσουν να ανταποκριθούν σε αυτές τις νέες προκλήσεις και να προσφέρουν άμεσα υπηρεσίες ιδιαίτερα στον τομέα της υγείας που είχε κλονιστεί περισσότερο.

Η “έξυπνη” προσαρμογή και λειτουργία των δικτύων για την παροχή προηγμένων υπηρεσιών θα γίνει εφικτή αποκλειστικά με την βοήθεια των δικτύων 6G. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να έχουν εξελιγμένη υποδομή και χαρακτηριστικά σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές δικτύων, να ενισχύσουν τις ήδη υπάρχον εφαρμογές και να είναι σε θέση να υποστηρίξουν νέες δυνατότητες λειτουργιών. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να αλλάξουν ριζικά τον παραδοσιακό τρόπο διεξαγωγής υπηρεσιών του τομέα υγείας, υιοθετώντας μια ανθρωποκεντρική προσέγγιση, εισάγοντας ρομποτικά συστήματα, προηγμένες τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης και υποστηρίζοντας τη λειτουργία εφαρμογών απομακρυσμένης παροχής.

Λέξεις Κλειδιά: *Δίκτυα 6G, Τηλεϊατρική, Τηλεχειρουργική, Ολογραφική Επικοινωνία, Τεχνητή Νοημοσύνη, Ασύρματη Επικοινωνία, Ολογράμματα, Ρομποτικά Συστήματα*

Abstract

In recent years, the operation of the fifth generation of 5G networks has already begun to be widely adopted, but researchers estimate that these networks will not be able to cover the huge amount of data and requirements of wireless communication networks and the operation of advanced applications required today. This has arisen the need to create a new generation of networks, the sixth-generation networks (6G), which will be designed appropriately in order to improve the provision of services in all sectors as much as possible and to be able to cover and respond to the constant demands and rates of society.

Another factor that led to the need to create 6G networks was the outbreak of the COVID-19 pandemic at the beginning of 2020. This pandemic had devastating consequences for all sectors, especially the health sector, causing a huge health crisis on a global scale. This led to the need to immediately upgrade and develop the capabilities of the networks by adopting a more "intelligent" approach to be able to respond to these new challenges and immediately offer services, especially in the health sector, that had been shaken the most.

The “intelligent” adaptation and operation of networks to provide advanced services will be possible exclusively with the help of 6G networks. 6G networks are expected to have advanced infrastructure and features compared to previous generations of networks, enhance existing applications and be able to support new functionality capabilities. 6G networks are expected to fundamentally change the traditional way of conducting healthcare services by adopting a human-centric approach, introducing robotic systems, advanced artificial intelligence technologies and support the operation of remote service applications.

Keywords: *6G Networks, Telemedicine, Telesurgery, Holographic Communication, Artificial Intelligence, Wireless Communication, Holograms, Robotic Systems*

1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Η σημερινή εποχή χαρακτηρίζεται από την κυρίαρχη θέση και ενσωμάτωση του ψηφιακού κόσμου στη καθημερινότητα, αλλάζοντας ριζικά τους ρυθμούς ζωής και τον παραδοσιακό τρόπο διεξαγωγής λειτουργιών. Η τελευταία δεκαετία έχει σημειώσει μεγάλη αύξηση της κινητής τηλεφωνίας και των δεδομένων παγκοσμίως, έχει αυξηθεί εκθετικά ο αριθμός χρήσης και κίνησης δεδομένων και συνδρομητών και έχει αναπτυχθεί μεγάλος αριθμός νέων προηγμένων τεχνολογιών. Η μετάβαση από την μια γενιά δικτύων στην επόμενη, γίνεται διαδοχικά όταν υπάρχει ανάγκη αλλαγής και μεγάλος αριθμός απαιτήσεων που δεν μπορεί να καλυφθεί.

Τα τελευταία χρόνια έχει ήδη αρχίσει να υιοθετείται ευρέως η λειτουργία της πέμπτης γενιάς δικτύων 5G, όμως οι ερευνητές εκτιμούν ότι τα δίκτυα αυτά δεν θα είναι σε θέση να καλύψουν τον τεράστιο όγκο δεδομένων και απαιτήσεων των ασύρματων δικτύων επικοινωνίας και τη λειτουργία προηγμένων εφαρμογών. Έτσι έχει προκύψει η ανάγκη δημιουργίας μιας καινούργιας γενιάς δικτύων, τα δίκτυα έκτης γενιάς 6G, τα οποία θα σχεδιαστούν κατάλληλα με σκοπό να βελτιωθεί κατά το μέγιστο δυνατό η παροχή υπηρεσιών σε όλους τους τομείς.

Τα δίκτυα 6G θα σχεδιαστούν κατάλληλα ώστε να είναι σε θέση να καλύψουν και να ανταποκριθούν στις συνεχείς απαιτήσεις και ρυθμούς της κοινωνίας. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να ενισχύσουν τις ήδη υπάρχον εφαρμογές και υποδομές δικτύου, να είναι σε θέση να υποστηρίξουν νέες δυνατότητες λειτουργιών, για να μπορέσουν να ανταποκριθούν σε αυτές τις νέες προκλήσεις και να προσφέρουν άμεσα υπηρεσίες ιδιαίτερα στον τομέα της υγείας.

Ο τομέας υγείας που είχε κλονιστεί περισσότερο από κάθε τομέα με το ξέσπασμα της πανδημίας του COVID-19 στις αρχές του 2020. Η πανδημία αυτή είχε καταστροφικές συνέπειες προς όλους τους τομείς, ιδιαίτερα στον τομέα υγείας, προκαλώντας τεράστια υγειονομική κρίση σε παγκόσμιο βαθμό. Αυτό οδήγησε στην ανάγκη για την άμεση αναβάθμιση και εξέλιξη των δυνατοτήτων των δικτύων και του συστήματος υγείας υιοθετώντας μια περισσότερο “έξυπνη” προσέγγιση.

1.2 Δομή της διπλωματικής

Η δομή της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτελείται από 6 κεφάλαια.

- Το 1^ο κεφάλαιο είναι εισαγωγικό και περιλαμβάνει μια σύντομη εισαγωγή για τους λόγους που οδήγησαν στην ανάγκη δημιουργίας των δικτύων 6G.
- Το 2^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει την έννοια την τηλεϊατρικής, τις κατηγορίες της, τον τρόπο λειτουργίας ενός συστήματος τηλεϊατρικής σήμερα και τις προκλήσεις του συστήματος υγείας.
- Το 3^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει έννοιες της ολογραφίας, ολογραμμάτων, ολογραφικής επικοινωνίας και μια αναφορά για την ολογραφική επικοινωνία στη τηλεϊατρική.
- Το 4^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει έννοιες της τηλεχειρουργικής, ρομποτικής και παραδείγματα τηλεχειρουργικής.
- Το 5^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει την έννοια των δικτύων 6G, τον λόγο ανάγκης δημιουργίας των 6G, τι υπηρεσίες πρόκειται να προσφέρουν και τη διασφάλιση ασφάλειας των 6G
- Το 6^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει αλγόριθμους τηλεϊατρικής και συγκεκριμένα αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης και ολογραφικής επικοινωνίας.

2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Τηλεϊατρική

2.1 Τι είναι η τηλεϊατρική;

Η τηλεϊατρική αναφέρεται στην παροχή άμεσης ιατρικής περίθαλψης από απόσταση, με τη χρήση εφαρμογών των τηλεπικοινωνιών και της πληροφορικής. Η σύνδεση μεταξύ γιατρού και ασθενή και η αποστολή ιατρικών δεδομένων γίνεται απομακρυσμένα, με την χρήση τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών και πληροφορικής που διευκολύνουν την επικοινωνία, μέσω της μετάδοσης ήχου και εικόνας με μορφή βίντεο, σε πραγματικό χρόνο. Η κύρια λειτουργία της τηλεϊατρικής είναι να παρέχει σε πραγματικό χρόνο κλινική βοήθεια και ιατρική υποστήριξη στους ασθενείς απομακρυσμένα, με στόχο να διευκολύνει το έργο των γιατρών, ιδιαίτερα για τις περιπτώσεις όπου υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί ή για τα περιστατικά έκτακτης ανάγκης που είναι αρκετά κρίσιμη η παροχή άμεσης ιατρικής βοήθειας. Μερικά παραδείγματα περιορισμών είναι αν οι ασθενείς κατοικούν σε απομακρυσμένες γεωγραφικές περιοχές όπως οι αγροτικές περιοχές, αν δεν βρίσκονται στην ίδια περιοχή με τον γιατρό τους, αν υπάρχει έλλειψη συγκοινωνιών, μέσων μεταφοράς και περιορισμός δρομολογίων, μειωμένο εισόδημα το οποίο επιβαρύνει σημαντικά τον ασθενή να καλύψει τα έξοδα της μετακίνησης, το κόστος μεταφοράς ιδιαίτερα για τις απομακρυσμένες περιοχές και το κυριότερο, οι συνθήκες επιδημιών ή της πανδημίας η οποία κυριάρχησε τα προηγούμενα χρόνια σε παγκόσμιο επίπεδο. Ο όρος τηλεϊατρική πολλές φορές συγχέεται με τον όρο τηλε-υγεία, η κύρια διαφορά τους είναι ότι η τηλε-υγεία σύμφωνα με το Υπουργείο Υγείας και Ανθρώπινων Υπηρεσιών των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (United States Department of Health and Human Services – HHS) αναφέρεται σε κλινικές και μη κλινικές υπηρεσίες, όπως εκπαίδευση, πρόληψη, διαχείριση κλινικών υπηρεσιών, διάγνωση και παρακολούθηση ασθενών, ενώ η τηλεϊατρική αναφέρεται στην απομακρυσμένη παροχή βοήθειας μέσω αυτών των κλινικών υπηρεσιών.

Η τηλεϊατρική μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την αποθήκευση και προώθηση ιατρικών δεδομένων όπως πληροφοριών σχετικά με την κατάσταση υγείας του ασθενή, ιατρικών φωτογραφιών, ακτινογραφιών, αποτελέσματα εξετάσεων, τα οποία θα λάβει και θα εξετάσει ο γιατρός απομακρυσμένα προκειμένου να προβεί στην θεραπεία και διάγνωση του ασθενή. Με την τεχνολογία αυτή δίνεται η δυνατότητα στους ασθενείς να έχουν πρόσβαση σε ένα μεγάλο εύρος υπηρεσιών υγείας, γιατρών τόσο εντός όσο και εκτός Ελλάδας, θεραπειών και ιατρικής περίθαλψης, από την άνεση του σπιτιού τους. Η λειτουργία αυτή χάρη στην τηλεϊατρική δεν απαιτεί ταυτόχρονη σύνδεση ή συνύπαρξη γιατρού και ασθενή στον ίδιο χώρο. Η τηλεϊατρική χωρίζεται σε 3 βασικές κατηγορίες, την αποθήκευση- προώθηση η οποία περιλαμβάνει τα ιατρικά δεδομένα του ασθενή τα οποία αποστέλλονται στον γιατρό για να προβεί στην εξέταση και θεραπεία του ασθενή, την

απομακρυσμένη παρακολούθηση του ασθενή, ειδικά για τις περιπτώσεις των ασθενών με χρόνιες παθήσεις ή κρίσιμων καταστάσεων που απαιτούν συχνή παρακολούθηση και τις διαδραστικές υπηρεσίες, οι οποίες παρέχουν άμεση ανταπόκριση και επικοινωνία μεταξύ γιατρού και ασθενή. Οι λειτουργίες της τηλεϊατρικής είναι πολυάριθμες και επεκτείνονται σε αρκετούς τομείς, τηλεϊατρική θα μπορούσε να αποτελέσει μια τηλεδιάσκεψη γιατρών, μια χειρουργική επέμβαση η οποία πραγματοποιείται απομακρυσμένα με την βοήθεια ρομποτό, διαδικτυακά σεμινάρια, εξ αποστάσεως παρακολούθηση των ιατρικών δεδομένων ενός ασθενή καθώς και η κατάσταση υγείας του. Η τηλεϊατρική εκτός από την παροχή κλινικών υπηρεσιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την απομακρυσμένη εκπαίδευση, γνωστή με τον όρο τηλεεκπαίδευση, γιατρών, μαθητευόμενων και νοσοκομειακού προσωπικού, χωρίς να απαιτείται η φυσική παρουσία των γιατρών στα εργαστήρια. Η τηλεεκπαίδευση πραγματοποιείται μέσω τηλεδιασκέψεων όπου με μορφή βίντεο οι γιατροί εκπαιδεύουν και ενημερώνουν τους μαθητευόμενους σχετικά με τις κλινικές δεξιότητες και διαδικασίες, έχοντας τη δυνατότητα να διεξάγουν απομακρυσμένα τα πειράματα. Στόχος της τηλεϊατρικής είναι η βελτίωση της ποιότητας ζωής των ατόμων, καθώς διευκολύνει και μειώνει σημαντικά τις καθημερινές δυσκολίες όπως το κόστος του ταξιδιού για τον ασθενή ή αντίστοιχα για τον γιατρό, η χρονοκαθυστέρηση, ο προγραμματισμός και η αναμονή των ιατρικών συναντήσεων με τον γιατρό και η συνολική διαδικασία μετακίνησης όπως ο χρόνος, το μέσο μετακίνησης και η διάρκεια του ταξιδιού.

Σύμφωνα με τη χρονολογική αναδρομή και ιστορία της τηλεϊατρικής, ο δημιουργός της τηλεϊατρικής ήταν ο Έλληνας χειρουργός Σκεύος Ζερβός, ο οποίος υπήρξε πρωτοπόρος στις μεταμοσχεύσεις και αργότερα πήρε τον τίτλο “πατέρα της τηλεϊατρικής”. Το πρώτο πείραμα που πραγματοποιήθηκε με επιτυχία ήταν στην δεκαετία του 1940, στην Πενσυλβανία, όπου έγινε μεταφορά και αποστολή ιατρικών δεδομένων και συγκεκριμένα ακτινολογικών εικόνων μέσω τηλεφωνικής γραμμής για 24 μίλια. Στην δεκαετία του 1900, μετά την ανακάλυψη και δημιουργία του τηλεφώνου, το τηλέφωνο άρχισε να εντάσσεται στον τομέα υγείας για την εξ αποστάσεως επικοινωνία και ανταλλαγή πληροφοριών. Συγκεκριμένα το 1905 έγινε η πρώτη μετάδοση ήχων καρδιάς μέσω τηλεφώνου από τον Willem Einthoven από το νοσοκομείο στο εργαστήριο του και μόλις μια πενταετία αργότερα, το 1910, έγινε και η επιτυχής μετάδοση ηλεκτροκαρδιογραφημάτων μέσω καλωδίων. Στην δεκαετία του 1920 υιοθετήθηκε η χρήση αμφίδρομης ραδιο-επικοινωνίας μεταξύ γιατρών και ναυτικών για την παροχή υγειονομικής περίθαλψης στους ναυτικούς, το 1923 υιοθετήθηκε η χρήση της και από τις αστυνομικές δυνάμεις και ένα χρόνο αργότερα, το 1924 παρουσιάστηκε για πρώτη φορά ο όρος “τηλεϊατρική” από το περιοδικό Radio News, το οποίο αποτελούσε ένα μέσο ενημέρωσης εκείνη την εποχή καθώς πολλές κατοικίες δεν διαθέταν τηλεοράσεις. Το 1959 καθώς είχε πλέον υιοθετηθεί ευρέως η χρήση της αμφίδρομης επικοινωνίας μέσω βίντεο, κλινικοί γιατροί μπόρεσαν να μεταδώσουν νευρολογικές εξετάσεις σε όλους τους φοιτητές ιατρικής του πανεπιστημίου σε πραγματικό χρόνο. Το 1967 ιδρύθηκε η πρώτη κλινική τηλεϊατρικής στο γενικό νοσοκομείο Μασαχουσέτης των Ηνωμένων Πολιτειών και το 1989 πραγματοποιήθηκε το πρώτο διαδραστικό τηλεϊατρικό σύστημα στην Αμερική από την εταιρεία MedPhone. Το σύστημα αυτό λειτουργούσε με τυπικές τηλεφωνικές γραμμές και η κύρια λειτουργία του ήταν η απομακρυσμένη παρακολούθηση και διάγνωση των ασθενών.

Η απομακρυσμένη παρακολούθηση γίνεται με τη χρήση ιατρικών πληροφοριακών συσκευών που είναι εγκατεστημένες στον χώρο που βρίσκεται ο γιατρός όπως το ιατρείο ή η κλινική και στον χώρο που βρίσκεται ο ασθενής. Οι συσκευές αυτές μεταφέρουν στον γιατρό χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της υγείας του ασθενή όπως η πίεση του αίματος, το ποσοστό γλυκόζης, οι καρδιακοί παλμοί κ.τ.λ. Έτσι, εφόσον ο γιατρός συλλέξει αυτές τις πληροφορίες θα μπορέσει να προβεί στην κατάλληλη θεραπεία και να βοηθήσει απομακρυσμένα τον ασθενή. Στην δεκαετία του 1980 εφευρέθηκε η ακτινολογία, η οποία αποτέλεσε σημαντική ανακάλυψη για την τηλεϊατρική, καθώς έδωσε την δυνατότητα στους γιατρούς να ανταλλάζουν αποτελεσματικά ιατρικά δεδομένα και εικόνες. Μέχρι την δεκαετία του 1990 όλα τα πειράματα που είχαν διεξαχθεί από τους γιατρούς δεν είχαν μεγάλη διάρκεια λειτουργίας και αντοχής στο χρόνο καθώς υπήρχαν πολλά τεχνικά προβλήματα, περιορισμένες δυνατότητες και ελλιπή εκπαίδευση. Η δημιουργία και χρήση του Διαδικτύου έπαιξε καθοριστικό και κρίσιμο ρόλο στην αποτελεσματική και ομαλή λειτουργία της τηλεϊατρικής, καθώς έδωσε την ευκαιρία στους γιατρούς να στέλνουν ιατρικά δεδομένα και εικόνες σε μικρό χρόνο και κόστος, αύξησε το εύρος των δυνατοτήτων και υπηρεσιών και επέτρεψε σε γιατρούς και ασθενείς να μπορούν να συνδέονται απομακρυσμένα.

Η χρήση της τηλεϊατρικής ενώ ήταν ευρέως διαδεδομένη και έχει υιοθετηθεί σε παγκόσμιο βαθμό από όλους τους γιατρούς, δεν υπήρξε ξανά μεγαλύτερη ανάγκη χρήση της πριν την εμφάνιση της πανδημίας του COVID-19 το 2020. Η παρουσία και ο ρόλος της τηλεϊατρικής, κατά την διάρκεια της πανδημίας, αποτέλεσε κρίσιμο παράγοντα για την καλύτερη και άμεση αντιμετώπιση της πανδημίας, των περιστατικών που νοσούν, ταυτόχρονα τον περιορισμό της εξάπλωσης του ιού και του αριθμού των κρουσμάτων καθώς οι γιατροί ήταν σε θέση να εξετάζουν και να παρακολουθούν τους ασθενείς απομακρυσμένα. Η τηλεϊατρική μείωσε σημαντικά την προσωπική επαφή γιατρού και ασθενή, ενισχύοντας τα μέτρα ασφάλειας και πρόληψης του ιού με σκοπό την αποφυγή μετάδοσης και εξάπλωσης του. Παράλληλα διευκόλυνε το έργο των γιατρών αντιμετωπίζοντας ξεχωριστά τα περιστατικά που είχαν νοσήσει από τον ιό και ξεχωριστά τους ασθενείς που αντιμετώπιζαν άλλες ασθένειες ή χρόνιες παθήσεις χωρίς τον κίνδυνο μετάδοσης και επιδείνωσης της κατάστασης υγείας τους. Η τεχνολογία αυτή άλλαξε ριζικά τον τρόπο ζωής των ατόμων, ανέτρεψε σημαντικά τα δεδομένα των γιατρών και τη λειτουργία των νοσοκομείων. Η τηλεϊατρική αναπτύσσεται ραγδαία τα τελευταία χρόνια, καθώς όλο και περισσότεροι γιατροί υιοθετούν και εφαρμόζουν την νέα αυτή τεχνολογία, για το λόγο αυτό είναι σημαντικό να υπάρχει το κατάλληλο δίκτυο που θα μπορέσει να υποστηρίξει την λειτουργία αυτής της τεχνολογίας, καθώς η χρήση της συνεχώς αυξάνεται.

Συνοπτικά, οι απαιτήσεις που έχει η τηλεϊατρική για να λειτουργήσει αποτελεσματικά είναι μια καλή και άμεση σύνδεση στο διαδίκτυο τόσο από πλευρά του ασθενή όσο και του γιατρού, καλό δίκτυο, ισχυρή και αξιόπιστη ευρυζωνική σύνδεση και ευρυζωνική τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας τουλάχιστον τέταρτης γενιάς (4G) η οποία χρησιμοποιείται σήμερα, για την αντιμετώπιση τεχνικών προβλημάτων όπως η ταχύτητα και σταθερότητα της βίντεο μετάδοσης και οι περιορισμοί εύρους ζώνης. Οι απαιτήσεις όμως σήμερα ολοένα και αυξάνονται, η υιοθέτηση και ευρεία χρήση της τηλεϊατρικής και οι ανάγκες άμεσης ανταπόκρισης σε πραγματικό χρόνο έχουν κάνει τα δίκτυα 4G να φτάσουν στο όριο των δυνατοτήτων τους. Τα δίκτυα επόμενης γενιάς 5G, τα οποία έχουν δημιουργηθεί και λειτουργούν τα τελευταία χρόνια, έχουν ήδη αρχίσει να αντικαθιστούν τα 4G

δίκτυα, όμως αναμένεται από τους ειδικούς ότι ούτε αυτά δεν θα είναι σε θέση να καλύψουν πλήρως τις απαιτήσεις των τεχνολογιών της τηλεϊατρικής. Η τηλεϊατρική αποτελεί πλέον ένα αναπόσπαστο κομμάτι του τομέα υγείας καθώς επίσης αναμένεται ότι μελλοντικά η χρήση της θα αντικαταστήσει κάποιες λειτουργίες υγείας που γίνονται με τον παραδοσιακό τρόπο και φυσική παρουσία. Έτσι, υπάρχει η άμεση ανάγκη δημιουργίας μια νέας γενιάς δικτύων, τα δίκτυα έκτης γενιάς 6G, τα οποία θα προσφέρουν νέες και καλύτερες υπηρεσίες τόσο στους γιατρούς όσο και στους ασθενείς, άμεση απόδοση και θα είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν τις απαιτήσεις και τα υπάρχον προβλήματα που οι προηγούμενες γενιές δικτύων δεν κατάφεραν να καλύψουν, με κυριότερα τα προβλήματα σύνδεσης, σταθερότητας βίντεο, καθυστέρησης και εύρους ζώνης.

2.2 Κατηγορίες τηλεϊατρικής

Η τηλεϊατρική προσφέρει όλες τις υπηρεσίες στους ασθενείς τις απομακρυσμένα, όπου οι υπηρεσίες αυτές ανάλογα με το είδος τους, χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες, τη γενική ιατρική θεραπεία, την εξειδικευμένη θεραπεία και τις διαδραστικές ή εξειδικευμένες υπηρεσίες. Στη πρώτη κατηγορία την ιατρική θεραπεία ανήκουν 4 υποκατηγορίες: την τηλε-νοσηλευτική, τηλε-φαρμακευτική, τηλε-αποθεραπεία και τηλε-θεραπεία τραυματία. Η τηλε-νοσηλευτική παρέχει κλινική βοήθεια στους ασθενείς απομακρυσμένα, μέσα από εφαρμογές που βασίζονται στις τηλεπικοινωνίες και την πληροφορική, η τηλε-φαρμακευτική αναφέρεται στην απομακρυσμένη παροχή φαρμακευτικής αγωγής και θεραπείας του ασθενή, η τηλε-αποθεραπεία περιλαμβάνει την κλινική εκτίμηση της κατάστασης της υγείας του ασθενή και τη κλινική θεραπεία και η τηλε-θεραπεία τραυματία αναφέρεται στην διαδικασία κατά την οποία ο γιατρός εκτιμά απομακρυσμένα την κρισιμότητα της κατάστασης του ασθενή. Στην τηλε-φαρμακευτική αν κριθεί αναγκαίο είναι εφικτό να γίνει και τηλε-συνδιάσκεψη με τον γιατρό ή φαρμακοποιό για την παρακολούθηση του συνταγολογίου.

Η δεύτερη κατηγορία είναι η εξειδικευμένη θεραπεία η οποία περιλαμβάνει 7 υποκατηγορίες: την τηλε-καρδιολογία κατά την οποία γίνεται αποστολή των καρδιολογικών εξετάσεων του ασθενή στον γιατρό, τη τηλε-ψυχιατρική κατά την οποία παρέχεται ψυχολογική υποστήριξη του ασθενή, μέσω διάγνωσης και συνεχής επικοινωνίας του με τον αντίστοιχο ψυχίατρο, την τηλε-ακτινολογία και τηλε-παθολογία κατά τις οποίες γίνεται αποστολή ακτινολογικών και παθολογικών εξετάσεων αντίστοιχα, τη τηλε-δερματολογία κατά την οποία γίνεται ανταλλαγή δερματολογικών δεδομένων και εξέταση του ασθενή απομακρυσμένα, τη τηλε-οδοντιατρική, τηλε-ακοή και τηλε-οφθαλμολογία κατά τις οποίες επίσης γίνεται απομακρυσμένα η εξέταση του ασθενή μέσω τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών.

Η τρίτη κατηγορία ονομάζεται διαδραστικές ή εξειδικευμένες υπηρεσίες και περιλαμβάνει την τηλε-χειρουργική, η οποία συνδυάζει τηλεπικοινωνιακές τεχνολογίες, πληροφοριακά συστήματα και τη ρομποτική, δίνοντας την ευκαιρία στους γιατρούς να διεξάγουν απομακρυσμένα και αποτελεσματικά μια χειρουργική επέμβαση, χωρίς τη φυσική παρουσία του γιατρού στο ίδιο δωμάτιο με τον ασθενή. Οι ιατρικές υπηρεσίες αυτές λόγω και της κρισιμότητάς τους έχουν αρκετές απαιτήσεις ως προς υλοποίηση και την επιτυχή διεξαγωγή τους, για αυτό, είναι σημαντικό να

υπάρχει το κατάλληλο δίκτυο που θα μπορέσει να υποστηρίξει αυτές τις λειτουργίες σε πραγματικό χρόνο, χωρίς καθυστέρηση και περιορισμούς. Τα δίκτυα 4G τα οποία χρησιμοποιούνται σήμερα ευρέως δεν είναι πλέον σε θέση να καλύψουν αυτό τον μεγάλο όγκο απαιτήσεων, αυτών των ιατρικών τεχνολογιών. Η επόμενη γενιά δικτύων 5G η οποία έχει ήδη αρχίσει να υιοθετείται και να λειτουργεί σε ευρύ βαθμό, θα προσπαθήσει να καλύψει κάποιους από τους σημαντικότερους περιορισμούς και δυσκολίες που αντιμετωπίζουν τα 4G δίκτυα όμως αναμένεται ότι και αυτά δεν θα μπορέσουν να καλύψουν πλήρως όλες αυτές τις απαιτήσεις.

2.3 Πως λειτουργεί ένα σύστημα τηλεϊατρικής σήμερα;

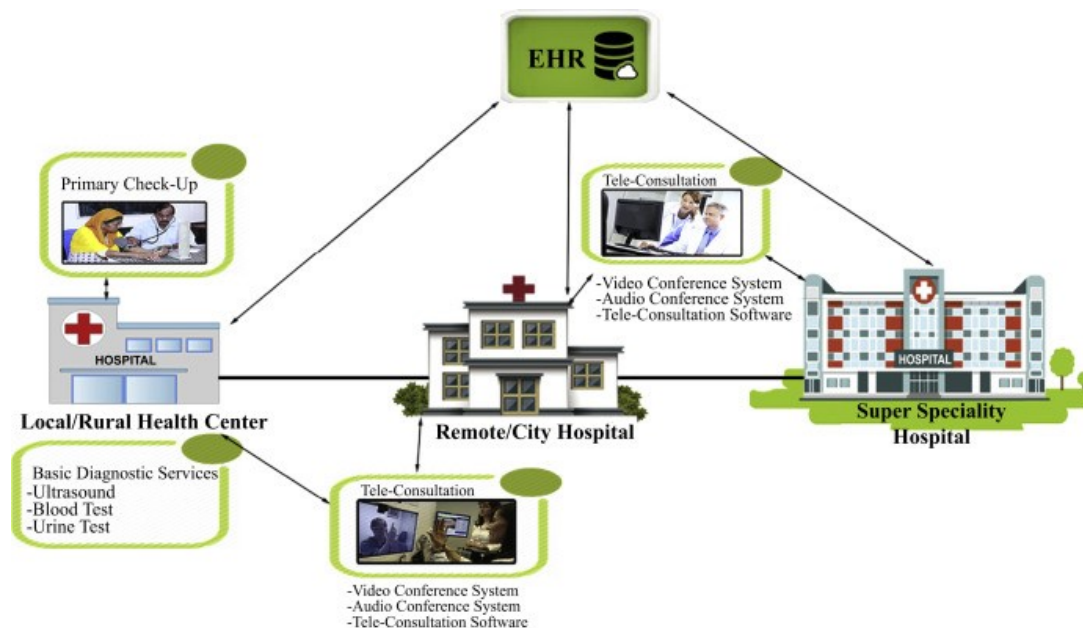
Το σύστημα τηλεϊατρικής επιτρέπει την παροχή υγειονομικής περίθαλψης απομακρυσμένα χρησιμοποιώντας τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών. Οι γιατροί μπορούν να εξετάσουν, να διαγνώσουν και να επιβλέπουν οποιαδήποτε χρονική στιγμή τον ασθενή χωρίς να βρίσκονται με φυσική παρουσία στον ίδιο χώρο. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης και για τους ασθενείς που πάσχουν από σοβαρές χρόνιες παθήσεις και είναι αναγκαία η συνεχής παρακολούθηση τους. Ένα σύστημα τηλεϊατρικής περιλαμβάνει συσκευές απομακρυσμένης παρακολούθησης, ψηφιακή απεικόνιση, ακουστική επικοινωνία, κατάλληλο εξοπλισμό βίντεο και ήχου, τεχνολογίες και πληροφοριακά συστήματα τα οποία διαφέρουν ως προς την πολυπλοκότητα τους. Το σύστημα υγείας κλονίστηκε σημαντικά με το ξέσπασμα της πανδημίας του COVID-19 το 2020, όπου ο τρόπος λειτουργίας και τα μέχρι τότε ιατρικά και μη δεδομένα άλλαξαν ριζικά. Η πανδημία του COVID-19 αποτέλεσε την μεγαλύτερη και σοβαρότερη πανδημία στην ιστορία, προκαλώντας καταστροφές σε όλους τους τομείς, με κυριότερο τον τομέα υγείας, με συνέπειες όπως ο μεγάλος αριθμός απώλειας ανθρώπινων ζωών, τα μακροχρόνια προβλήματα υγείας που δημιουργήθηκαν στις ευπαθείς ή μη ευπαθείς ομάδες, την οικονομική και υλική κατάρρευση του συστήματος υγείας, τον περιορισμό του αριθμού των απαραίτητων πόρων και την ελλιπή παροχή άμεσης βοήθειας. Η πανδημία αυτή, έδειξε ότι παράγοντες όπως η έλλειψη άμεσης απαιτούμενης ιατρικής περίθαλψης, η έλλειψη ιατρικών εγκαταστάσεων, η ραγδαία αύξηση των ασθενών και η αποτυχία πρόληψης λοιμώξεων εγκαίρως μπορούν να οδηγήσουν στην κατάρρευση της υποδομής του υγειονομικού συστήματος ακόμη και στις πιο ανεπτυγμένες χώρες στον κόσμο όπως η Ουχάν, η πιο πυκνοκατοικημένη πόλη της κεντρικής Κίνας. Τα προβλήματα και οι περιορισμοί αυτοί οδήγησαν στην ανάγκη δημιουργίας ενός “έξυπνου” συστήματος υγειονομικής περίθαλψης, το οποίο θα εξασφαλίζει άμεσες, γρήγορες και ασφαλείς υπηρεσίες στους ασθενείς ακόμη και απομακρυσμένα [2].

Το σύστημα υγείας πριν κάποια χρόνια λειτουργούσε βασισμένο αποκλειστικά στα δίκτυα τέταρτης γενιάς (4G) υποστηρίζοντας τις βασικές και αναγκαίες λειτουργίες. Λόγω όμως της γρήγορης ανάπτυξης, των κοινωνικών απαιτήσεων και κάποιων βασικών περιορισμών που έχουν τα δίκτυα 4G, όπως για παράδειγμα το περιορισμένο εύρος ζώνης, δεν μπορούσαν να υποστηριχθούν πολλές λειτουργίες άμεσα αλλά και μακροπρόθεσμα. Έτσι, υιοθετήθηκαν και ενσωματώθηκαν τα δίκτυα πέμπτης γενιάς (5G), τα οποία προσφέρουν καλύτερες ευρυζωνικές υπηρεσίες σε σύγκριση με τα δίκτυα 4G, αξιόπιστες επικοινωνίες με χαμηλή καθυστέρηση και σύνδεση στο Διαδίκτυο των Ιατρικών Πραγμάτων (Internet of Medical Things - IoMT). Η υποστήριξη του IoMT είναι πολύ

σημαντική για την τηλεϊατρική καθώς προσφέρει υψηλής ποιότητας βιντεοκλήσεις γιατρών με ασθενείς, δυνατότητα υποστήριξης επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας και πραγματοποίηση εξ αποστάσεως χειρουργικής με χρήση μικτής πραγματικότητας και ρομποτικής. Παρότι η συμβολή και βοήθεια των δικτύων 5G είναι αξιοσημείωτη υπάρχουν ορισμένες κύριες λειτουργίες που δεν μπορούν να καλύψουν, όπως η πανταχού παρούσα επικοινωνία για την τηλεϊατρική ιδιαίτερα για τις απομακρυσμένες περιοχές ή τις περιοχές με ανεπαρκή υποδομή. Για τον λόγο αυτό οι ερευνητές ήδη έχουν ξεκινήσει την δημιουργία μιας νέας γενιάς δικτύων, της έκτης γενιάς δικτύων 6G.

Τα δίκτυα 6G θα συνεισφέρουν θετικά στο έργο των γιατρών προσφέροντας νέες τεχνολογίες και υπηρεσίες προκειμένου να αναπτύξουν την επικοινωνία των γιατρών με τους ασθενείς μέσω τεχνολογιών επικοινωνίας, επικοινωνίας φωτός (VLC) και τεχνολογιών Terahertz (THz). Οι υπηρεσίες αυτές αναμένεται να προσφέρουν εξαιρετική αξιοπιστία, άμεση συνδεσιμότητα σε παγκόσμιο βαθμό, συνεχής σύνδεση και γρήγορη ανταπόκριση, βελτιώνοντας και διευκολύνοντας την επικοινωνία, την παρακολούθηση και λήψη αποφάσεων των γιατρών. Ο ρόλος της τηλεϊατρικής αποδείχθηκε κρίσιμος και ιδιαίτερα αποτελεσματικός για την παροχή άμεσης υγειονομικής περίθαλψης και εκπαίδευσης του ιατρικού προσωπικού κατά της διάρκειας της πανδημίας του COVID-19. Οι υπηρεσίες της που αφορούσαν κυρίως την παρακολούθηση, πρόληψη και αντιμετώπιση του ιού στηρίχθηκαν σε αλγόριθμους deep learning όμως πολλές φορές ξεπερνούσαν τα όρια και δυνατότητες των 5G δικτύων. Για τον λόγο αυτό τα δίκτυα 6G καλούνται να αντιμετωπίσουν όλες αυτές τις προαναφερόμενες λειτουργίες καθώς και κάποια κρίσιμα ζητήματα ασφάλειας που τα υπάρχοντα δίκτυα μέχρι σήμερα δεν μπορούσαν να καλύψουν. Τα κυριότερα ζητήματα ασφάλειας αποτελούν το απόρρητο, η προστασία και ασφάλεια των ιατρικών και προσωπικών δεδομένων των ασθενών. Η πανδημία έδειξε πόσο εύκολα μπορεί να παρουσιαστεί ο κίνδυνος και η απειλή κατάρρευσης του συστήματος υγείας αν δεν είναι κατάλληλα προετοιμασμένο και εξοπλισμένο για μια τέτοια σοβαρή περίπτωση με καταστροφικές συνέπειες. Το σύστημα υγείας όπως φάνηκε δεν ήταν προετοιμασμένο να έρθει αντιμέτωπο με μια τέτοια παγκόσμια πανδημία καθώς η υποδομή και ο σχεδιασμός του δεν είχε συμπεριλάβει τέτοιες καταστροφικές περιπτώσεις και τόσο μεγάλο όγκο απαιτήσεων.

Έτσι λοιπόν ο σχεδιασμός ενός “έξυπνου” συστήματος υγείας με την βοήθεια των 6G δικτύων θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμος τόσο για την καλύτερη αντιμετώπιση της κατάστασης της πανδημίας, εξασφαλίζοντας άμεσες υπηρεσίες υγείας ακόμη και απομακρυσμένα, την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας κατάρρευσης του συστήματος μελλοντικά και την κατάλληλη προετοιμασία του για κάθε ενδεχόμενο κινδύνου, **Εικόνα 1**.



Εικόνα 1: Σύστημα τηλεϊατρικής, Πηγή: [2]

2.4 Προκλήσεις του Συστήματος Υγείας

Οι προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει το σύστημα υγείας αφορούν κυρίως το νοσοκομειακό περιβάλλον, την παροχή υγειονομικής περίθαλψης απομακρυσμένα και τον κίνδυνο καταστροφής ή κατάρρευσης του συστήματος. Η υποδομή ενός νοσοκομείου αποτελείται από έμπειρους γιατρούς, επαγγελματικά εκπαιδευμένο ιατρικό προσωπικό, πληροφοριακά και ρομποτικά συστήματα, ιατρικές συσκευές, σωστικά μέσα και οχήματα για την παροχή άμεσης υγειονομικής περίθαλψης στους ασθενείς. Η επικοινωνία μεταξύ των γιατρών και των ασθενών αποτελεί τον βασικότερο παράγοντα για την ομαλή και αποτελεσματική λειτουργία των νοσοκομείων, την παροχή βοήθειας και διάγνωσης των ασθενών. Εκτός από τον παραδοσιακό τρόπο λειτουργίας του νοσοκομείου και επικοινωνίας των γιατρών με τους ασθενείς, τα τελευταία χρόνια γίνεται λόγος για τον εκσυγχρονισμό της λειτουργίας, των μεθόδων και των συστημάτων των νοσοκομείων εντάσσοντας την τεχνητή νοημοσύνη (AI) στα νοσοκομεία με την υποστήριξη των δικτύων 6G. Η τεχνητή νοημοσύνη θα συμβάλει στην λήψη αποφάσεων, στην μείωση ανθρώπινων λαθών, στην μείωση χρόνου για την εκπλήρωση διαδικασιών, στην δυνατότητα υποστήριξης εφαρμογών IoMT και στην είσοδο των ρομπότ και ρομποτικών συστημάτων στον ιατρικό χώρο. Σε καταστροφικές περιπτώσεις όπως στην περίπτωση μεγάλων ατυχημάτων τα νοσοκομεία κατακλύζονται γρήγορα με μεγάλο αριθμό ασθενών να εισάγεται στο νοσοκομείο και να απαιτείται να δοθεί στους ασθενείς άμεση ιατρική βοήθεια καθώς και σε καταστάσεις πανδημίας όπως του COVID-19 η εξάπλωση του ιού μπορεί να μεταδοθεί εύκολα και γρήγορα από τους ασθενείς στο ιατρικό προσωπικό. Για αυτούς τους λόγους είναι σημαντικό να ενταχθούν τα IoMT στο νοσοκομειακό περιβάλλον για να ελαχιστοποιήσουν την φυσική αλληλεπίδραση μεταξύ των ασθενών και του ιατρικού προσωπικού ειδικά για τις περιπτώσεις που είναι επιβλαβής, καθώς και η είσοδο των ρομπότ για να παρέχεται

άμεση βοήθεια, ειδικότερα για τις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης και συγκεκριμένα αν υπάρχει μειωμένος αριθμός προσωπικού. Το IoMT επιτρέπει στις φορητές συσκευές και στους αισθητήρες να παρακολουθούν και να μεταδίδουν τα αρχεία υγείας των ασθενών στους κλινικούς γιατρούς ή στο ιατρικό κέντρο συλλογής δεδομένων απευθείας μέσω του Διαδικτύου με μειωμένες αλληλεπιδράσεις.

Τα ρομπότ θα μπορούν να φανούν χρήσιμα σε πολλούς τομείς του νοσοκομειακού περιβάλλοντος διευκολύνοντας τον ρόλο των γιατρών και του ιατρικού προσωπικού όπως στην καλύτερη υποστήριξη του προσωπικού, στην λήψη καλύτερων και γρηγορότερων αποφάσεων, αξιόπιστες διαγνώσεις και ιατρικές εξετάσεις σε μειωμένο χρόνο, στην παροχή άμεσου εξοπλισμού και το κυριότερο στις χειρουργικές επεμβάσεις. Η συμμετοχή των ρομπότ στα χειρουργεία θα οδηγήσει στην επίτευξη υψηλότερης ακρίβειας στην χειρουργική επέμβαση, μείωση ανθρώπινου λάθους και μείωση του χρόνου ολοκλήρωσης του χειρουργείου γενικότερα. Τα ρομπότ ακόμη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για υπηρεσίες γενικού σκοπού όπως στην παράδοση προμηθειών και στην απολύμανση του νοσοκομειακού χώρου και των δωματίων των ασθενών. Η χρήση του IoMT και των ρομπότ αναμένεται να χρησιμοποιηθεί ευρέως μελλοντικά καθώς θα παρέχουν ασφάλεια, αξιοπιστία και υποστήριξη στο ιατρικό προσωπικό και στους γιατρούς στο νοσοκομείο. Όλες αυτές οι τεχνολογικές εξελίξεις για να μπορέσουν να υποστηριχθούν και να λειτουργήσουν αποτελεσματικά χρειάζονται το κατάλληλο δίκτυο.

Τα δίκτυα 6G θα είναι σε θέση να καλύψουν τα επικοινωνιακά προβλήματα στα νοσοκομεία και να προσφέρουν έναν ασφαλή, αξιόπιστο και υψηλό ρυθμό επικοινωνίας και σύνδεσης δεδομένων βελτιώνοντας σημαντικά την επικοινωνιακή υποδομή των νοσοκομείων. Η ασύρματη επικοινωνία βασίζεται σε ραδιοσυχνότητες, δηλαδή σε δίκτυο Wi-Fi (wireless fidelity) έχει αναπτυχθεί ευρέως στα νοσοκομεία για να καταστεί δυνατή η επικοινωνία μεταξύ γιατρών και ασθενών με καλύτερη χωρητικότητα, κινητικότητα και εντοπισμό. Τα επικοινωνιακά προβλήματα επηρεάζονται από τον ιατρικό εξοπλισμό και την φυσική δομή του νοσοκομείου, συγκεκριμένα ο ιατρικός εξοπλισμός είναι επιρρεπής σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (EMI), οι οποίες περιορίζουν την χρήση δικτύων Wi-Fi και η φυσική δομή του νοσοκομείου που εμποδίζει τη μετάδοση των σημάτων υψηλής συχνότητας μέσα από τους τοίχους δημιουργώντας προβλήματα επικοινωνίας και σύνδεσης, εξασθενίζοντας την ποιότητα των σημάτων. Τα υπάρχοντα δίκτυα Wi-Fi δεν έχουν αναπτυχθεί λαμβάνοντας υπόψη τη προσαρμογή του κυκλοφοριακού φόρτου σε περίπτωση καταστροφικών καταστάσεων. Έτσι, κατά την διάρκεια κάποιας καταστροφικής κατάστασης που απαιτείται υψηλό φορτίο ασθενών, ένα δίκτυο Wi-Fi δεν είναι σε θέση να εκπληρώσει τις αντίστοιχες επικοινωνιακές απαιτήσεις όπως η χωρητικότητα και η συνδεσιμότητα του δικτύου. Τα δίκτυα 6G καλούνται να βοηθήσουν τους γιατρούς και το ιατρικό προσωπικό να παρακολουθούν τα αρχεία υγείας μέσω συσκευών IoMT σε πραγματικό χρόνο, να προσφέρουν μαζική συνδεσιμότητα και υψηλή αξιοπιστία.

Είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει ελάχιστη ή μηδαμινή καθυστέρηση στην επικοινωνία, καλή συνδεσιμότητα του δικτύου, αξιοπιστία για να καταστεί δυνατή η χρήση τεχνολογίας ρομπότ, η καθυστέρηση στη επικοινωνία και τυχόν προβλήματα δικτύου μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές

συνέπειες ειδικά σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να προστατεύεται η σύνδεση της επικοινωνίας μέσω εξελιγμένων τεχνικών ασφάλειας για να διασφαλιστεί το απόρρητο και οι κρίσιμες ιατρικές και προσωπικές πληροφορίες των ασθενών από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση. Η παροχή υγειονομικής περίθαλψης εκτός από τον παραδοσιακό τρόπο μέσω της φυσικής παρουσίας του γιατρού και ασθενή στο νοσοκομειακό περιβάλλον προσφέρεται πλέον και απομακρυσμένα με την χρήση εξελιγμένων μεθόδων και σύγχρονων τεχνολογιών. Αυτό γίνεται κυρίως για να διευκολυνθούν τόσο οι γιατροί όσο και οι ασθενείς για τις περιπτώσεις όπου οι ασθενείς δεν ζουν στην ίδια περιοχή με τον γιατρό τους και απαιτείται μετακίνηση, για τα άτομα που ζουν σε αγροτικές ή απομακρυσμένες περιοχές ακόμη και σε κάποιο νησί αλλά και για τις πιο κρίσιμες περιπτώσεις όπου κάποια επέμβαση ή χειρουργείο μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο στο εξωτερικό. Η απομακρυσμένη παροχή υγειονομικής περίθαλψης γίνεται με δυο τρόπους, την τηλεϊατρική (telemedicine) και την απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών (remote patient monitoring).

Πιο αναλυτικά, η τηλεϊατρική αποτελεί έναν εύκολο και άμεσο τρόπο επικοινωνίας του γιατρού με τον ασθενή δίνοντας τους την δυνατότητα πρόσβασης σε μεγάλο εύρος υπηρεσιών υγείας και υγειονομικής περίθαλψης από απόσταση. Στην τηλεϊατρική οι γιατροί έρχονται σε επικοινωνία με τους ασθενείς χωρίς φυσική παρουσία μέσω τηλεδιάσκεψης, ελέγχουν και εξετάζουν τα δεδομένα των ασθενών μέσα από ηλεκτρονικούς φακέλους υγείας για να μπορέσουν να ολοκληρώσουν τη διάγνωση και θεραπεία του ασθενή. Σήμερα, χρησιμοποιούνται ευρέως οι υψηλής ποιότητας τηλεδιασκέψεις των γιατρών στην τηλεϊατρική, και αναμένεται η χρήση τους να συνεχιστεί και μελλοντικά εντάσσοντας και την νέα τεχνολογία του ολογράμματος, η οποία αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια με γρήγορους με σκοπό να καταστήσει δυνατή την ολογραφική τηλεπαρουσίαση. Η απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών (RPM) είναι μια τεχνολογία που δίνει την δυνατότητα στους γιατρούς να παρακολουθούν τους ασθενείς απομακρυσμένα. Αυτό σημαίνει ότι η εξέταση και παρακολούθηση των ασθενών δεν γίνεται στα πλαίσια του νοσοκομείου, μπορεί ο ασθενής να βρίσκεται και να εξετάζεται από το σπίτι και ο γιατρός να βρίσκεται στην κλινική ή ακόμη και σε κάποιο επαγγελματικό ταξίδι με την διαδικασία της εξέτασης να γίνεται με την ίδια ακρίβεια και αποτελεσματικότητα.

Η εφαρμογή και λειτουργία της απομακρυσμένης παρακολούθησης είναι αναγκαίο να γίνεται σε πραγματικό χρόνο για να είναι αποτελεσματική και να αποφευχθούν λάθη, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης για αυτό και τα δίκτυα 6G αναμένεται να αυξήσουν την ταχύτητα μετάδοσης και επικοινωνίας και να μειώσουν τον λανθάνοντα χρόνο προσφέροντας άμεση μετάδοση ήχου και εικόνας. Το RPM διευκολύνει τους γιατρούς για τις περιπτώσεις όπου οι ασθενείς χρειάζονται συνεχή παρακολούθηση όπως τα άτομα που ανήκουν σε ευπαθείς ομάδες, άτομα με χρόνιες παθήσεις ή σωματικά συμπτώματα και άτομα που χρειάζονται παρακολούθηση για την πορεία της ανάρρωσης και αποκατάστασης τους μετά από νοσηλεία ή κάποιο χειρουργείο. Ακόμη, η τεχνολογία αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης και για την εκτέλεση πολύπλοκων διαδικασιών εξ αποστάσεως, όπως η αιμοκάθαρση στο σπίτι, μειώνοντας ταυτόχρονα το κόστος, τον αριθμό των επισκέψεων και τον χρόνο μετακίνησης. Με την εμφάνιση της πανδημίας του COVID-19, η απομακρυσμένη υγειονομική περίθαλψη αποτέλεσε μια καλή εναλλακτική λύση για τον περιορισμό της εξάπλωσης

του ιού από τους ασθενείς στο ιατρικό προσωπικό και για την μείωση του αριθμού των ασθενών στο νοσοκομείο. Ο κλάδος την απομακρυσμένης παρακολούθησης ασθενών που σχεδιάστηκε κυρίως για την αντιμετώπιση της πανδημίας αποτελεί πλέον έναν σημαντικό παράγοντα παροχής κλινικής βοήθειας όπου η χρήση του θα υπερισχύσει και μελλοντικά καθώς αναμένεται μέχρι το 2025 να έχει διπλασιαστεί.

Οι υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης που παρέχονται απομακρυσμένα βασίζονται πλήρως στην επικοινωνιακή υποδομή, έτσι είναι σημαντικό να μπορεί να υποστηριχθεί άμεση και αξιόπιστη επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, κάτι που θα επιφέρουν τα δίκτυα 6G καλύπτοντας τις προκλήσεις που υπάρχουν σήμερα. Οι προκλήσεις των εφαρμογών αυτών αφορούν κυρίως την μαζική συνδεσιμότητα, τις παρεμβολές των IoMT, την χαμηλής ισχύος επικοινωνία για βιοαισθητήρες, αξιοπιστία και χαμηλό λανθάνοντα χρόνο για χειρουργικές επεμβάσεις μέσω Διαδικτύου (tactile-Internet) ή τηλεχειρουργικής, ψηφιακή ιατρική (digital medicine) και τις απαιτήσεις υψηλού ρυθμού δεδομένων για την ολογραφικής επικοινωνίας. Άλλη μια σημαντική πρόκληση είναι η προστασία των κρίσιμων πληροφοριών και του απορρήτου, οι τεχνολογίες αυτές απαιτούν έναν ασφαλή και αξιόπιστο σύνδεσμο για την διασφάλιση του απορρήτου και της ασφάλειας των δεδομένων των ασθενών. Η σύνδεση της ασύρματης επικοινωνίας είναι αρκετά ευάλωτη σε απειλές όπως υποκλοπές, παρεμβολές και πλαστογράφηση στοιχείων, ειδικά στην απομακρυσμένη υγειονομική περίθαλψη όπου όλες οι συσκευές και αισθητήρες στέλνουν τα δεδομένα ηλεκτρονικά στο ιατρικό προσωπικό. Αν ο σύνδεσμος επικοινωνίας δεν είναι ασφαλής, ένας μη εξουσιοδοτημένος χρήστης μπορεί να υποκλέψει τα δεδομένα του ασθενή ή να αποκτήσει πρόσβαση στην ηλεκτρονική βάση δεδομένων κάτι που θα έχει ως συνέπεια την παραβίαση απορρήτου και προστασίας δεδομένων. Ο τομέας υγείας εκμεταλλευόμενος τις ικανότητες των δικτύων έχει πρόσφατα εξελίξει και τον τρόπο μεταφοράς για την παροχή υγειονομικής περίθαλψης του ασθενή.

Μια αναδυόμενη ιδέα είναι η δημιουργία “έξυπνων” ασθενοφόρων η οποία έχει ήδη τεθεί σε λειτουργία και αποσκοπεί την παροχή βοήθειας στον ασθενή απομακρυσμένα ενώ ο γιατρός βρίσκεται στο νοσοκομείο και ο ασθενής βρίσκεται στο ασθενοφόρο. Τα “έξυπνα” ασθενοφόρα θα επιτρέπουν την σύνδεση και επικοινωνία του γιατρού με τον ασθενή απομακρυσμένα μεταδίδοντας πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση υγείας του ασθενή. Με την εφαρμογή αυτής της νέας τεχνολογίας αναμένεται να ακολουθήσουν και κάποιες προκλήσεις με την σημαντικότερη να είναι η προστασία και ασφάλεια των δεδομένων των ασθενών και την επίτευξη άμεσης ανταπόκρισης και επικοινωνίας. Ωστόσο παρά την ομαλή λειτουργία των “έξυπνων” ασθενοφόρων υπάρχουν ακόμη κάποια περιθώρια βελτίωσης τόσο στο τεχνικό όσο και στο επικοινωνιακό και λειτουργικό κομμάτι. Τα περισσότερα ασθενοφόρα σήμερα είναι στενοί και περιορισμένοι χώροι με δυσκολία κίνησης και ενσωμάτωσης περισσότερου εξοπλισμού, τα οποία καθιστούν ιδιαίτερα δύσκολη την θεραπεία του ασθενή εν κινήσει.

Η Elaine Parris που έχει έδρα στο Λονδίνο υποστηρίζει ότι μια βέλτιστη λύση είναι να διευρυνθεί ο εσωτερικός χώρος του ασθενοφόρου ώστε να μπορεί να εισαχθεί περισσότερος εξοπλισμός καθώς έτσι θα είναι καλύτερα για τον γιατρό να προβεί σε καλύτερη διάγνωση και θεραπεία του ασθενή,

έχοντας στην διάθεση του τον κατάλληλο εξοπλισμό. Ακόμη, τονίζει πως ο περιορισμένος χώρος εμποδίζει την κίνηση του ασθενή, τα ντουλάπια δεν ανοίγουν όσο χρειάζεται και η θέση του φορείου περιορίζει τους γιατρούς στην εξέταση του ασθενή μόνο από την μια πλευρά. Ερευνητές που συμμετείχαν στη κατασκευή των “έξυπνων” ασθενοφόρων δημιούργησαν ένα πρότυπο ειδικά για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων και συγκεκριμένα ο Gianpaolo Fusari σχεδιαστής στο Royal College of Art του Λονδίνου πρότεινε την δημιουργία ενός ψηφιακού διαγνωστικού συστήματος για γρηγορότερη και ακριβέστερη διάγνωση, την τοποθέτηση του φορείου του ασθενή στο κέντρο του ασθενοφόρου ώστε η εξέταση να μπορεί να γίνει ολοκληρωμένα και την δημιουργία ενός ψηφιακού συστήματος επικοινωνίας όπου τα δεδομένα του ασθενή θα στέλνονται ψηφιακά. Ο Andy Newton πρόεδρος στο College of Paramedics εστιάζει στην πιο κρίσιμη ικανότητα των “έξυπνων” ασθενοφόρων η οποία είναι η αποστολή και λήψη δεδομένων λέγοντας πως αυτή η ικανότητα αναμένεται να βελτιωθεί ακόμη περισσότερο στο μέλλον με την ανάπτυξη της τεχνολογίας.

3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Ολογραφία και Ολογράμματα

3.1 Τι είναι η ολογραφία;

Η ολογραφία είναι μια μέθοδος γνωστή για την ιδιότητα της να δημιουργεί τρισδιάστατες εικόνες και ολογράμματα. Σε αντίθεση με τις φωτογραφίες ή εικόνες που απεικονίζονται με τον κλασικό τρόπο σε οθόνες, τα ολογράμματα απεικονίζονται ως συμπαγή αντικείμενα με βάθος παρέχοντας μια πιο ρεαλιστική οπτική εικόνα και εμπειρία. Η ολογραφία είναι μια φωτογραφική τεχνική η οποία βασίζεται στις αρχές της παρεμβολής και περίθλασης του φωτός, καταγράφει το φως που διαχέεται από ένα αντικείμενο και το αναπαριστά σε τρισδιάστατη μορφή (3D). Η αναπαράσταση αυτή γίνεται με την καταγραφή και ανακατασκευή ενός μετώπου κύματος οποιαδήποτε τύπου, πλάτους και φάσης. Για την αναπαράσταση του ολογράμματος απαιτούνται ειδικές κάμερες με ανίχνευση βάθους από διαφορετικές οπτικές γωνίες και περίθλαση του φωτός για να μπορέσει να δημιουργήσει ένα τρισδιάστατο φωτεινό πεδίο το οποίο θα αναπαραστήσει το ολόγραμμα. Η ολογραφία χρησιμοποιεί ειδικές δέσμες λέιζερ με τις οποίες γίνεται καταγραφή του ολογράμματος με τη χρήση μιας πηγής φωτός λέιζερ, η οποία λόγω της καλής σύνθεσης της μπορεί να αναπαραστήσει πολλά και διαφορετικά είδη ολογραμμάτων.

Η δέσμη λέιζερ χωρίζεται σε δυο διαφορετικές διατάξεις τη δέσμη αντικειμένου και τη δέσμη αναφοράς. Η δέσμη αντικειμένου κατευθύνεται, καταγράφει και φωτίζει στο αντικείμενο περνώντας μέσα από έναν φακό. Η δέσμη αναφοράς κατευθύνεται και φωτίζει απευθείας στο μέσο εγγραφής το οποίο αλληλοεπιδρά με το φως του αντικειμένου με σκοπό να δημιουργηθεί το επιθυμητό μοτίβο παρεμβολής. Η δέσμη αντικειμένου μετά την αλληλεπίδραση του με το αντικείμενο υφίσταται κάποιες αλλαγές ως προς την κατεύθυνση και ένταση της, κωδικοποιώντας τις πληροφορίες σχετικά με το σχήμα και την εμφάνιση του αντικειμένου πάνω στη δέσμη. Στη συνέχεια, η δέσμη αντικειμένου τέμνεται με τη δέσμη αναφοράς στο μέσο εγγραφής, η παρεμβολή αυτή μεταξύ του αντικειμένου και των δεσμών αναφοράς δημιουργεί ένα πολύπλοκο μοτίβο μεταξύ φωτεινών και σκοτεινών περιοχών γνωστό ως ολόγραμμα ή μοτίβο παρεμβολής. Το μοτίβο αυτό συλλέγει τις πληροφορίες του μετώπου κύματος του αντικειμένου και απαιτεί τον κατάλληλο χρόνο έκθεσης και συνθήκες φωτισμού για να μπορέσει να επηρεάσει σωστά το μέσο εγγραφής και να γίνει τελικά η αναπαράσταση του ολογράμματος. Πιο συγκεκριμένα, πρέπει κατά την διάρκεια της έκθεσης η πηγή φωτός, τα οπτικά στοιχεία και το μέσο εγγραφής να παραμείνουν ακίνητα κατά προσέγγιση ως προς το ένα τέταρτο του μήκους κύματος του φωτός αλλιώς το σχέδιο παρεμβολής που θα δημιουργηθεί θα είναι θολό και δεν θα μπορέσει να γίνει σωστή αναπαράσταση του ολογράμματος.

Η οπτική ολογραφία χρησιμοποιεί λέιζερ για να μπορέσει να καταγράψει το πεδίο φωτός για την αναπαράσταση και απεικόνιση του ολογράμματος. Το λέιζερ εκπέμπεται στο καταγεγραμμένο μοτίβο παρεμβολής και καθώς το φως διέρχεται από το ολόγραμμα διαθλάται, με αποτέλεσμα να ανακατασκευαστεί το αρχικό μέτωπο κύματος του αντικειμένου και να αναπαρασταθεί σε τρισδιάστατη εικόνα η οποία μπορεί να προβληθεί από πολλές διαφορετικές οπτικές γωνίες. Παλιότερα η ολογραφία απαιτούσε λέιζερ υψηλής ισχύος, τα οποία ήταν ακριβά, σήμερα όμως χρησιμοποιούνται λέιζερ διόδου που αντλούνται απευθείας με ηλεκτρικό ρεύμα για να μπορέσουν να δημιουργήσουν μια συνθήκη λέιζερ μειώνοντας ταυτόχρονα τον χρόνο και κόστος κατασκευής. Η ολογραφία χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς όπως στην τέχνη, στην ψυχαγωγία, στις συναυλίες ή θέατρα, στον τομέα υγείας και στην επιστήμη. Ακόμη, η ολογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την αποθήκευση ολογραφικών δεδομένων, είναι μια μέθοδος κατά την οποία γίνεται αποθήκευση πληροφοριών σε υψηλή πυκνότητα μέσα σε κρυστάλλους ή φωτοπολυμερή.

Η πορεία και ανάπτυξη της ολογραφίας εξελίσσεται ραγδαία τα τελευταία χρόνια, οδηγώντας στην δημιουργία εξελιγμένων και δυναμικών ολογραφικών οθονών, οι οποίες είναι σε θέση να προβάλλουν τρισδιάστατες κινούμενες εικόνες, ρεαλιστικά και διαδραστικά βίντεο παρέχοντας μια πρωτόγνωρη εμπειρία για τους παρατηρητές. Οι ερευνητές έχουν ως στόχο να εμβαθύνουν και να εξελίσσουν μελλοντικά ακόμη περισσότερο τις δυνατότητες και εφαρμογές της ολογραφίας, δοκιμάζοντας τις εφαρμογές της σε τεχνολογίες όπως η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) και η εικονική πραγματικότητα (VR). Παρά τη σημαντική πρόοδο που έχει παρατηρηθεί, η ολογραφία ακόμη εμφανίζει περιορισμούς και τεχνικά προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν κάτι που οι ειδικοί ευελπιστούν ότι τα δίκτυα 6G θα μπορέσουν να καλύψουν [40].

3.2 Τι είναι τα ολογράμματα;

Τα ολογράμματα δημιουργούνται με την τεχνική της ολογραφίας και αναπαριστούν αντικείμενα ή άτομα με τρισδιάστατη 3D μορφή. Τα ολογράμματα είναι ορατά είτε μέσω ειδικών γυαλιών εκτεταμένης πραγματικότητας είτε με μορφή 3D βίντεο. Η δημιουργία ενός ολογράμματος απαιτεί εκτός από το επιθυμητό άτομο ή αντικείμενο που θα απεικονιστεί, ένα μέσο καταγραφής, όλα τα απαραίτητα υλικά που απαιτούνται για να διευκρινιστεί η εικόνα, μια ακτίνα λέιζερ η οποία θα εκπέμπεται τόσο στο αντικείμενο όσο και στο μέσο καταγραφής και ένα καθαρό περιβάλλον ώστε να μπορούν να τέμνονται οι φωτεινές δέσμες. Μια δέσμη λέιζερ ανακατευθύνεται με τη χρήση κατόπτρων και χωρίζεται σε δυο δέσμες τη δέσμη αντικειμένου ή αλλιώς δέσμη φωτισμού η οποία κατευθύνεται προς το αντικείμενο και μέρος του φωτός από το αντικείμενο αντανακλάται στο μέσο εγγραφής και τη δέσμη αναφοράς η οποία κατευθύνεται απευθείας στο μέσο εγγραφής. Έτσι, η δέσμη αναφοράς δεν έρχεται σε επαφή με καμία εικόνα που προέρχεται από τη δέσμη αντικειμένου και μαζί αυτές οι δυο δέσμες συμβάλλουν στην δημιουργία μιας ακριβούς εικόνας στη θέση του ολογράμματος. Η εικόνα αυτή μπορεί να αναπαριστά ένα αντικείμενο ή πρόσωπο το οποίο εμφανίζει οπτικές ενδείξεις βάθους και μπορεί ανάλογα την οπτική γωνία θέασης να φαίνεται ότι αλλάζει θέση ή κινείται με ρεαλιστικό τρόπο δίνοντας στον θεατή την ψευδαίσθηση κίνησης,

Εικόνα 2.

Τα ολογράμματα φωτίζονται μέσω κατάλληλης φωτεινής πηγής λέιζερ η οποία προσπίπτει σε ειδική φωτοευαίσθητη πλάκα χωρίς να παρεμβάλλεται φακός. Υπάρχουν διάφορα είδη ολογραμμάτων που έχουν δημιουργηθεί, με σημαντικότερα τα ολογράμματα μετάδοσης, τα οποία προβάλλονται καθώς διαπερνά και ακτινοβολεί το φως μέσα από τα ολογράμματα και τα ολογράμματα ανάκλασης τα οποία προβάλλονται με την ανάκλαση φωτός από την επιφάνεια του ολογράμματος. Η διαφορά αυτών των δυο ολογραμμάτων είναι ότι σε αντίθεση με τα ολογράμματα ανάκλασης που αντανακλούν το φως από την επιφάνεια του ολογράμματος τα ολογράμματα μετάδοσης επιτρέπουν στο φως να περάσει μέσα από τα ολογράμματα αυτά δημιουργώντας έτσι την ψευδαίσθηση της τρισδιάστατης εικόνας. Η τεχνική και το μέσο που χρησιμοποιείται για την δημιουργία και αναπαράσταση των ολογραμμάτων είναι διαφορετική κάθε φορά και εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής και το επίπεδο ρεαλισμού που είναι επιθυμητό να επιτευχθεί.

Τα ολογράμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλούς τομείς όπως στην τέχνη, στην ψυχαγωγία, στις συναυλίες ή θέατρα, στον τομέα υγείας και στην επιστήμη. Ιδιαίτερα σημαντική θα είναι η εφαρμογή τους στον τομέα υγείας καθώς θα μπορούν να βοηθήσουν τους γιατρούς στην καλύτερη απεικόνιση, μελέτη και ανάλυση των ιατρικών δεδομένων των ασθενών, στην αποτελεσματικότερη εκπαίδευση και κατανόηση των μαθητών με διαδραστικό τρόπο μέσω τρισδιάστατων απεικονίσεων, στην εξ αποστάσεως παρακολούθηση συνεδρίων και ιατρικών σεμιναρίων, στην εξ αποστάσεων επικοινωνία και σύνδεση με γιατρούς οι οποίοι δεν μπορούν να παραβρεθούν στον ίδιο χώρο με φυσική παρουσία ή γιατρούς που βρίσκονται στο εξωτερικό και στην εξ αποστάσεως επικοινωνία του γιατρού και με τους ασθενείς με την χρήση ολογραμμάτων. Τα ολογράμματα προσφέρουν έναν ξεχωριστό και συναρπαστικό τρόπο αλληλεπίδρασης και απεικόνισης τρισδιάστατων εικόνων και βίντεο και παρά το μικρό χρονικό διάστημα δημιουργίας και εφαρμογής τους αποτελούν κομμάτι ενεργούς έρευνας και ανάπτυξης στον τομέα της υγείας και κατ'έκταση της ολογραφίας.

Σημαντική θα είναι η εφαρμογή τους στον τομέα υγείας για καλύτερη απεικόνιση και ανάλυση ιατρικών δεδομένων, εκπαίδευση μαθητών με διαδραστικό τρόπο μέσω 3D απεικονίσεων, εξ αποστάσεως παρακολούθηση συνεδρίων και εξ αποστάσεως επικοινωνία και σύνδεση με γιατρούς.



***Εικόνα 2:** Ανθρώπινο Ολόγραμμα, Πηγή: [40]*

Με βάση την χρονολογική σειρά, η πρώτη φορά που εμφανίστηκαν τα ολογράμματα ήταν το 1948 από τον Ούγγρο ηλεκτρολόγο μηχανικό και φυσικό Dennis Gabor, ο οποίος επινόησε τη ιδέα των ολογραμμάτων και τιμήθηκε για την σημαντική ανακάλυψη αυτή με Nobel το 1971. Το όραμα των ολογραμμάτων όμως, έμεινε στάσιμο για πολλά χρόνια λόγω της απουσίας σημαντικών πόρων που δεν ήταν διαθέσιμοι εκείνη την εποχή όπως για παράδειγμα η έλλειψη κατάλληλης μονοχρωματικής φωτεινής πηγής η οποία είναι απαραίτητη για την εγγραφή των ολογραμμάτων. Με την πάροδο των χρόνων και άλλα σημαντικά ονόματα συνέβαλαν για την εκπλήρωση αυτού του οράματος. Το 1958 ο Ρώσος φυσικός Yuri N. Denisyuk άρχισε να διεξάγει πειράματα στο εργαστήριο του χρησιμοποιώντας την εκπομπή λαμπτήρων σε ατμούς υδραργύρου. Ήταν ο πρώτος που κατάφερε να δημιουργήσει ένα τρισδιάστατο ολόγραμμα το οποίο πήρε το όνομα του, γνωστό ως το “ολόγραμμα Denisyuk”, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 3**. Ο Yuri N. Denisyuk ανακάλυψε την τεχνική εγγραφής εικόνας σε τρισδιάστατα περιβάλλοντα και την μέθοδο καταγραφής ολογραμμάτων. Τα ολογράμματα του μπορούσαν να παραχθούν χρησιμοποιώντας μια τυπική δέσμη λευκού φωτός. Χάρη σε αυτές τις ανακαλύψεις του, έλαβε το βραβείο Lenin το 1970, το οποίο είναι ένα από τα σημαντικότερα βραβεία της Σοβιετικής Ένωσης και ορίστηκε επικεφαλής του εργαστηρίου ολογραφίας στο Κρατικό Οπτικό Ινστιτούτο Vavilov στην Αγία Πετρούπολη της Ρωσίας.

Το 1962 ήρθε η εποχή των λέιζερ με την ανακάλυψη τους από τους Αμερικάνους καθηγητές Emmett N. Leith και Juris Upatnieks οι οποίοι άνοιξαν το δρόμο για την τρισδιάστατη ολογραφία αντικειμένων μέσω λέιζερ. Συγκεκριμένα ο Emmett Leith αφιέρωσε το μεγαλύτερο μέρος της ολογραφικής δουλειάς και ερευνάς του στο κομμάτι του ραντάρ συνθετικού διαφράγματος (Synthetic-aperture radar – SAR) το οποίο χρησιμοποιείται για την δημιουργία δισδιάστατων ή τρισδιάστατων εικόνων. Ο Juris Upatnieks συν-εφευρέτης και πρωτοπόρος της ολογραφίας κατέχει είκοσι διπλώματα ευρεσιτεχνίας στον τομέα της ολογραφίας και της συνεκτικής ακτινοβολίας και το 1976 τιμήθηκε με τον τίτλο “Εφευρέτης της Χρονιάς” από την Αμερικανική Ένωση. Το 1964 οι δυο αυτοί καθηγητές παρουσίασαν τα πρώτα τρισδιάστατα ολογράμματα στο συνέδριο της Optica (παλαιότερα γνωστή με το όνομα Optical Society of America -OSA) στην Αμερική.



Εικόνα 3: Yuri Denisjuk με ολόγραμμα αυτοπροσωπίας του, Πηγή: [41]

3.3 Τι είναι η ολογραφική επικοινωνία;

Ο όρος ολογραφική επικοινωνία αναφέρεται στην έννοια της μετάδοσης, αναπαράστασης και λήψης τρισδιάστατων (3D) αναπαραστάσεων και ολογραμμάτων, σε πραγματικό χρόνο δημιουργώντας την ψευδαίσθηση κίνησης και φυσικής παρουσίας του ολογράμματος στον ίδιο χώρο με τον παρατηρητή. Η ολογραφική επικοινωνία έχει ως στόχο να προσφέρει μια νέα, μοναδική μορφή επικοινωνίας με ρεαλιστικό και διαδραστικό τρόπο σε σύγκριση με τις μέχρι σήμερα υπάρχον μορφές επικοινωνίας και σύνδεσης. Τα ολογράμματα κατά κύριο λόγο αναπαριστούν αντικείμενα ή άτομα, ικανοποιώντας όλες τις οπτικές ενδείξεις παρατήρησης 3D αντικειμένων ώστε να μπορούν να είναι ορατά με γυμνό μάτι, με όσο το δυνατόν πιο φυσικό και ρεαλιστικό τρόπο, αποτυπώνοντας τις εκφράσεις και τα συναισθήματα των ατόμων που απεικονίζουν σε πραγματικό χρόνο. Σύμφωνα με τους ερευνητές η ολογραφική επικοινωνία θα αποτελέσει μια από τις πιο περιζήτητες και σημαντικές τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί και θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον τομέα της υγείας [8].

Στη σημερινή εποχή, η ολογραφική επικοινωνία ακόμη δεν έχει αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό, το κόστος είναι αρκετά αυξημένο και τα πειράματα που διεξάγονται γίνονται σε ειδικά στούντιο, με τη χρήση τεχνολογιών Green Screen, πολλαπλές κάμερες, κάμερες με ανίχνευση βάθους, τρισδιάστατη σάρωση και προηγμένα συστήματα απεικόνισης. Οι κάμερες αυτές καταγράφουν και συλλέγουν πληροφορίες του απεικονισμένου ολογράμματος όπως το σχήμα, μέγεθος, μορφή και κίνηση του από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Μετά τη καταγραφή τους, τα δεδομένα αυτά μεταδίδονται μέσω δικτύων στη θέση λήψης όπου μέσω ειδικών συσκευών απεικόνισης γίνεται η ανακατασκευή τους και παρουσιάζονται σαν ολόγραμμα. Οι συσκευές αυτές δίνουν στον θεατή την αίσθηση βάθους και κίνησης του ολογράμματος. Υπάρχουν διάφορα είδη συσκευών απεικόνισης που κυμαίνονται από συσκευές μικρότερης κλίμακας όπως οθόνες ή ειδικά γυαλιά και συσκευές μεγάλης κλίμακας όπως θάλαμοι ή ολογραφικές βαθμίδες.

Παρά την θετική επίδραση της, η ολογραφική επικοινωνία έχει διάφορες προκλήσεις και τεχνικά προβλήματα που οι ερευνητές καλούνται να αντιμετωπίσουν προκειμένου να είναι αποτελεσματική η λειτουργία της. Μερικά από τα προβλήματα αυτά μπορεί να είναι οι υψηλές απαιτήσεις εύρους ζώνης ανά δευτερόλεπτο, η υψηλή ανάλυση εικόνας και βίντεο, ο συγχρονισμός υψηλής ακρίβειας πακέτων για την ανακατασκευή ολογραμμάτων, η λήψη κα μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, καθώς και η βελτιστοποίηση της υποδομής δικτύου για να μπορέσει να υποστηρίξει αυτήν την τεχνολογία. Είναι φανερό ότι η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων αποτελεί μια μακροχρόνια και περίπλοκη διαδικασία που δεν αναμένεται να λυθεί στο άμεσο μέλλον, ωστόσο, η ολογραφική επικοινωνία θα αποτελέσει μια νέα αρχή στον τρόπο επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης των ατόμων αλλάζοντας ριζικά τα δεδομένα που υπάρχουν και υιοθετούνται μέχρι σήμερα.

3.4 Ολογραφική Επικοινωνία και Τηλεϊατρική

Η ολογραφική επικοινωνία θα φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη στον τομέα υγείας, διευκολύνοντας σημαντικά το έργο των γιατρών. Τα ολογράμματα θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διάφορους τρόπους αναπαριστώντας αντικείμενα ή ακόμη και αντικαθιστώντας τους γιατρούς σε πολλές περιπτώσεις όπως κατά την διάρκεια συνεδρίων, σεμιναρίων ή όταν δεν μπορούν να βρεθούν με φυσική παρουσία στον ίδιο χώρο με τον ασθενή. Θα δοθεί η δυνατότητα στους γιατρούς να μπορέσουν να συνδεθούν απομακρυσμένα και να επικοινωνήσουν με τους ασθενείς τους, να παρακολουθήσουν κάποιο χειρουργείο ή ακόμη και να εκτελέσουν κάποια χειρουργική επέμβαση εξ αποστάσεως, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 4**. Πολλές φορές, οι γιατροί δεν βρίσκονται στην ίδια πόλη ή περιοχή με τους ασθενείς τους ειδικά αν ο ασθενής μένει στις σε απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές, αυτό είχε ως συνέπεια να είναι περιορισμένος ο αριθμός των συναντήσεων και των διαθέσιμων ωρών των γιατρών αλλά και να χρειάζεται να μετακινηθεί ο γιατρός στο μέρος του ασθενή ή αντίστοιχα ο ασθενής. Ακόμη, ανάλογα την περίπτωση και ιδιαίτερα για τις πιο κρίσιμες περιπτώσεις που μπορεί να χρειαζόταν περισσότερες από μια συναντήσεις και συνεχής παρακολούθηση, επιβαρύνεται περισσότερο τόσο ο γιατρός όσο και η κατάσταση του ασθενή. Αντίστοιχα, δίνεται η ευκαιρία και στους ασθενείς να μπορέσουν να κανονίσουν κάποια συνάντηση, να συμβουλευτούν και να επικοινωνήσουν με τον γιατρό τους χωρίς να χρειαστεί να επισκεφτούν πολλούς γιατρούς ή να μετακινούνται άσκοπα αν μια διάγνωση δεν έγινε σωστά, δεν είναι έτοιμη ή μια θεραπεία δεν είναι γίνεται σε κάποιο συγκεκριμένο νοσοκομείο της περιοχής τους, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 5**.

Η ολογραφική επικοινωνία αποτελεί μια “οικονομική” λύση καθώς μηδενίζει τις αποστάσεις, τις μετακινήσεις, τον χρόνο που χανόταν στις μεταφορές και δίνει την ευκαιρία στους ασθενείς να μπορέσουν να κανονίσουν όσες συναντήσεις χρειάζεται από την άνεση του σπιτιού τους χωρίς να επιβαρύνεται οικονομικά και σωματικά ο ασθενής, ταξιδεύοντας με κάποιο πρόβλημα υγείας. Για τις περίπλοκες και πιο δύσκολες ιατρικές περιπτώσεις οι ασθενείς θα μπορούν να συνδεθούν με πολλούς γιατρούς από οποιοδήποτε μέρος επιθυμούν μέχρι να διαγνωστούν με την κατάλληλη θεραπεία και να ακούσουν την άποψη πολλών γιατρών, ακόμη και με γιατρούς που βρίσκονται στο εξωτερικό. Οι γιατροί μέσω αυτής της τεχνολογίας έχουν την δυνατότητα απομακρυσμένης

διάγνωσης, καλύτερης κατανόησης και θεραπείας του ασθενή με την βοήθεια ογκομετρικών εικόνων, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 6**, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα πλαίσια της πανδημίας. Έτσι οι γιατροί θα έχουν περισσότερο χρόνο να διαγνώσουν και να επιβλέψουν περισσότερους ασθενείς παρέχοντας άμεσα ιατρικές υπηρεσίες χωρίς να χρειάζεται να αλλάξουν το πρόγραμμά τους, τις επαγγελματικές τους υποχρεώσεις και θα μπορούν σε κάποιες περιπτώσεις να παρακολουθήσουν και να διαγνώσουν τον ασθενή ενώ ταξιδεύουν.

Η τηλεϊατρική θα προσφέρει παγκόσμια συνδεσιμότητα και κάλυψη, αυτό σημαίνει ότι γιατροί όλων των ειδικοτήτων από όλα τα σημεία του κόσμου θα μπορούν να συνδεθούν, να επικοινωνούν τους ασθενείς τους και να παρακολουθούν εξ αποστάσεως σεμινάρια. Για παράδειγμα γιατροί από την Ελλάδα θα μπορούν να παρακολουθούν ή να παραβρίσκονται εξ αποστάσεως σε σεμινάρια εξωτερικού χωρίς φυσική παρουσία και χωρίς να χρειάζεται να καλύψουν τα έξοδα του ταξιδιού και τις μετακινήσεις. Τέλος, οι γιατροί του εξωτερικού θα μπορούν να επιβλέπουν τους ασθενείς ή να παρέχουν κλινική βοήθεια μέσω της ολογραφικής επικοινωνίας στις χειρουργικές επεμβάσεις, ιδιαίτερα για τις πιο κρίσιμες περιπτώσεις που χρειαζόταν ο ασθενής να ταξιδέψει στο εξωτερικό για να πραγματοποιηθεί η επέμβαση.

Η ολογραφία θα φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη στον τομέα υγείας, διευκολύνοντας σημαντικά το έργο των γιατρών. Δίνοντας τους τη δυνατότητα να συνδεθούν άμεσα μέσω της ολογραφικής επικοινωνίας απομακρυσμένα με τους ασθενείς, να παρακολουθήσουν κάποιο σεμινάριο και να εκτελέσουν κάποια χειρουργική επέμβαση απομακρυσμένα.



Εικόνα 4: Εξ αποστάσεως παρακολούθηση χειρουργείου Πηγή: [42]



Εικόνα 5: Εξ αποστάσεως συνάντηση γιατρού – ασθενή Πηγή: [43]



Εικόνα 6: Απεικόνιση οργάνων ολογραφικά Πηγή: [44]

3.5 Αλγόριθμοι Ολογραφικής Επικοινωνίας

3.5.1 Computer-generated holograms

Το Computer-generated holograms (CGH) ή αλλιώς γνωστό και ως “ολογράμματα που δημιουργούνται από υπολογιστή” είναι η τεχνική δημιουργίας ολογραφικών εικόνων με τη βοήθεια αλγορίθμων και τεχνικών υπολογιστή. Μια ολογραφική εικόνα μπορεί να δημιουργηθεί με δυο τρόπους, είτε από τον υπολογισμό ενός ψηφιακού μοτίβου ολογραφικής παρεμβολής, η οποία εκτυπώνεται σε φιλμ και αργότερα μέσω της κατάλληλης συνεκτικής φωτεινής πηγής φωτίζεται για να γίνει ορατή, είτε μέσω μιας τρισδιάστατης οθόνης προβολής (3D display). Η 3D οθόνη αυτή, είναι μια συσκευή προβολής η οποία είναι σε θέση να παράγει το τρισδιάστατο (3D) εφέ, το οποίο μπορεί να προβληθεί από όλες τις οπτικές γωνίες, με ρεαλιστική μορφή, μειώνοντας ταυτόχρονα την κόπωση των ματιών [12]. Η δημιουργία του ολογράμματος απαιτεί την ανακατασκευή του μετώπου κύματος μέσω κατάλληλων αλγορίθμων προσομοίωσης που προσομοιώνουν το αντικείμενο στο επίπεδο του ολογράμματος. Το μέτωπο κύματος που δημιουργείται σε συνδιασμό με ένα μέτωπο κύματος αναφοράς θα δημιουργήσουν ένα μοτίβο παρεμβολής και περίθλασης δίνοντας την αίσθηση βάθους στο απεικονιζόμενο αντικείμενο.

Οι αλγόριθμοι CGH χρησιμοποιούνται κυρίως για να ανακατασκευή τρισδιάστατων εικόνων χωρίς να χρειαστεί κάποιο περίπλοκο σύστημα καταγραφής παρεμβολών. Τα ολογράμματα που δημιουργούνται από αυτούς τους αλγορίθμους δεν απαιτούν κάποια φυσική μορφή για την αναπαράσταση τους διότι η παραγωγή τους είναι καθαρά συνθετική. Ακόμη, είναι εφικτό εκτός από ολογράμματα και εικόνες να αναπαραστήσουν και ολογραφικά προγράμματα βίντεο. Στον CGH υπολογισμό το τρισδιάστατο αντικείμενο ή ολόγραμμα χωρίζεται σε μικρότερα πολυάριθμα τμήματα (primitives) και το ολόγραμμα προκύπτει από την υπέρθεση των μοτίβων κροσσών (fringe patterns) όλων των primitives. Ο υπολογισμός αποτελεί μια αρκετά πολύπλοκη διαδικασία ιδιαίτερα για τις περιπτώσεις ενός μεγάλου ολογράμματος πολύπλοκου μεγέθους [7]. Για την επιτάχυνση αυτής της διαδικασίας έχουν προταθεί κάποιοι αλγόριθμοι γρήγορου υπολογισμού (fast computation algorithms), οι οποίοι χωρίζονται στις 3 παρακάτω κατηγορίες:

3.5.2 Point-based method

Το Point-based method ή αλλιώς “μέθοδος που βασίζεται σε σημείο”, είναι μια απλή και αρκετά εφαρμοσμένη μέθοδος για τον υπολογισμό CGH, η οποία αναπαριστά το τρισδιάστατο αντικείμενο με εκατοντάδες σημεία. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μια τεχνική η οποία αντί να αναπαριστά ρητά το αντικείμενο, εστιάζει σε ένα σύνολο σημείων, κάθε σημείο του οποίου συλλέγει διάφορα χαρακτηριστικά όπως το σχήμα, το χρώμα, η θέση και εμφάνιση του αντικειμένου. Κάθε σημείο του αντικειμένου θεωρείται ως μια αυτόφωτη σημειακή πηγή (self-luminous point source) η οποία εκπέμπει σφαιρικό κύμα που ακτινοβολεί το επίπεδο του ολογράμματος. Η κατανομή πλάτους στο επίπεδο του ολογράμματος μπορεί να ληφθεί με υπέρθεση των Fringe Patterns (FP) όλων των σημείων του αντικειμένου. Στους υπολογισμούς εκτός σύνδεσης (off-line) τα FP όλων των πιθανών σημείων των αντικειμένων υπολογίζονται εκ των προτέρων και αποθηκεύονται σε έναν πίνακα.

Στους υπολογισμούς εντός σύνδεσης (on-line) γίνεται ανάγνωση και υπέρθεση των ήδη αποθηκευμένων FP όλων των σημείων του αντικειμένου, αφού πρώτα πολλαπλασιαστούν με το πλάτος τους. Οι μέθοδοι point-based περιλαμβάνουν τεχνικές παρεμβολής ή ανακατασκευής για να είναι σε θέση να εκτιμήσουν με περισσότερη ακρίβεια τη γεωμετρία και εμφάνιση του αντικειμένου και να μειώσουν τα κενά ή αλλοιώσεις σημείων για καλύτερη αναπαράσταση. Ακόμη, οι αλγόριθμοι αυτοί έχουν την ικανότητα να διαχειρίζονται μεγάλα σύνολα δεδομένων, θόρυβο δεδομένων και δυναμικά σύνολα, μπορώντας έτσι να αναπαραστήσουν πολύπλοκα αντικείμενα.

Η μέθοδος LUT είναι πιο γρήγορη για την δημιουργία ολογραμμάτων από την point-based ωστόσο απαιτεί περισσότερη μνήμη για την αποθήκευση των προ-υπολογισμένων FP. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος ορίστηκε η μέθοδος NovelLUT (N-LUT). Στην μέθοδο αυτή ένα τρισδιάστατο (3D) αντικείμενο διαιρείται σε πολλαπλά δισδιάστατα (2D) επίπεδα κατά μήκος της αξονικής διεύθυνσης και μόνο το FP του κεντρικού σημείου του αντικειμένου “δείχνει” σε κάθε διαιρεμένο επίπεδο. Αυτό ονομάζεται κύριο μοτίβο κροσσών (Principal Fringe Pattern - PFP) και υπολογίζεται εκ των υστέρων και αποθηκεύεται σε πίνακα. Τα FP των άλλων σημείων μπορούν να υπολογιστούν μετατοπίζοντας το PFP στο ίδιο επίπεδο σύμφωνα με την θέση και τις διαστάσεις χώρου. Τα CGH λαμβάνονται αθροίζοντας τα μετατοπισμένα PFP όλων των σημείων του αντικειμένου αφού γίνει ο πολλαπλασιασμός τους με το αντίστοιχο πλάτος, όπως γίνεται και στην Point-based μέθοδο. Αν και η N-LUT μέθοδο είναι καλύτερη ως προς την απαιτούμενη μνήμη από την LUT επηρεάζει την ταχύτητα απόκτησης των δεδομένων. Για τον λόγο αυτό, τα PFP δημιουργούνται με την συσσώρευση των FP γειτονικών σημείων αντικειμένου καθώς έχουν ίδια ένταση και τιμή βάθους. Η διαδικασία αυτή γίνεται off-line ώστε να μην χρειάζονται πολλοί υπολογισμοί on-line αυξάνοντας έτσι την ταχύτητα.

3.5.3 Polygon-based method

Το polygon-based method ή αλλιώς “μέθοδος που βασίζεται σε πολύγωνο” είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρέως στα γραφικά των υπολογιστών για τη δημιουργία, επεξεργασία και απεικόνιση τρισδιάστατων εικόνων με τη βοήθεια πολυγώνων. Η μέθοδος αυτή επιταχύνει τον υπολογισμό, καθώς “βλέπει” το τρισδιάστατο αντικείμενο ως εκατοντάδες πολύγωνα αντί για χιλιάδες σημεία. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου είναι η δημιουργία πολωνικών πλεγμάτων (polygonal meshes) τα οποία αποτελούν μια συλλογή πολυγώνων που συνδέονται με κοινές κορυφές και ακμές. Κάθε κορυφή του πολυγωνικού πλέγματος έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη σκίαση πλέγματος. Η σκίαση είναι αρκετά σημαντική διότι καθορίζει τον τρόπο εμφάνισης της επιφάνειας και μπορεί να λειτουργήσει ως οπτικό εφέ ενισχύοντας τον ρεαλισμό του αντικειμένου. Τα πολυγωνικά πλέγματα μπορούν να διαιρεθούν σε μικρότερα τμήματα μέσω κατάλληλων αλγορίθμων υποδιαίρεσης για περισσότερη ακρίβεια και λεπτομέρεια. Κάθε πολύγωνο θεωρείται ως πολυγωνικό διάφραγμα (polygonal aperture) και τα CGH ολογράμματα λαμβάνονται αθροίζοντας τα μοτίβα περίθλασης όλων των πολυγωνικών ανοιγμάτων. Ακόμη, με την βοήθεια των αλγορίθμων γραφικών του υπολογιστή, η μέθοδος αυτή είναι σε θέση να προσθέσει υφή και σκιά στο 3D αντικείμενο. Το 3D αντικείμενο

ανήκει σε δυο συστήματα συντεταγμένων, ένα τοπικό και ένα παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων. Η μέθοδος polygon-based χωρίζεται σε 4 κατηγορίες:

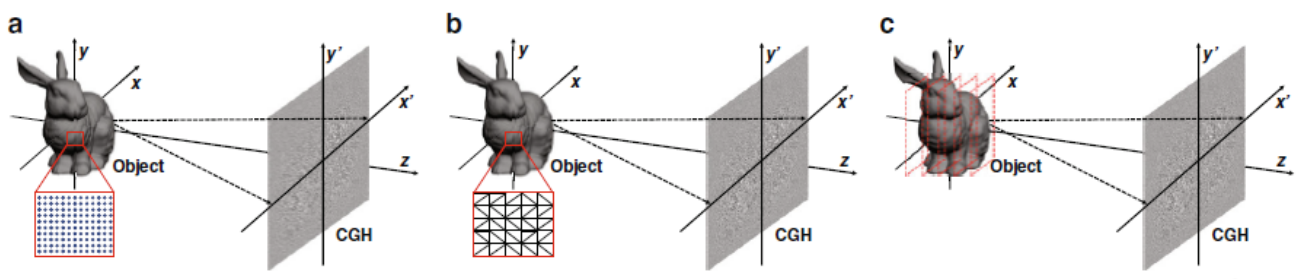
- Παραδοσιακή μέθοδο που βασίζεται σε πολύγωνο (traditional polygon-based method), αποτελεί μια μέθοδο που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση αντικειμένων χρησιμοποιώντας πολύγωνα. Είναι μια ευρέως διαδεδομένη τεχνική που δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας ρεαλιστικών αντικειμένων μέσω της κατάλληλης λειτουργίας μοντελοποίησης, σκίασης, χαρτογράφησης και φωτισμού.
- Πλήρως αναλυτική μέθοδος που βασίζεται σε πολύγωνο (full analytical polygon-based method) είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση αντικειμένων, η οποία χρησιμοποιεί αναλυτικές εξισώσεις αντί για πολυγωνικές προσεγγίσεις. Στόχος της είναι η απεικόνιση αντικειμένων, με ακρίβεια, χρησιμοποιώντας αναλυτικές εξισώσεις και μαθηματικά για να περιγράψει τις επιφάνειες των αντικειμένων. Οι συντεταγμένες επιφάνειας μπορούν να υπολογιστούν με μαθηματικά μοντέλα για να χαρτογραφηθούν δισδιάστατες εικόνες και μέσω μοντέλων σκίασης να υπολογιστεί η αλληλεπίδραση της επιφάνειας τους με το φως.
- Χωρική προσέγγιση μέθοδος που βασίζεται σε πολύγωνο (spatial approximate polygon-based method) η μέθοδος αυτή για την αναπαράσταση αντικειμένων συνδυάζει τεχνικές διακριτών πολυγώνων και χωρικής κατάτμησης. Η διαδικασία περιλαμβάνει τη δημιουργία πολυγωνικών πλεγμάτων για τη προσέγγιση του σχήματος του αντικειμένου και τεχνικές χωρικής κατάτμησης για τη διαίρεση του αντικειμένου σε ιεραρχικές δομές δεδομένων. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για εφαρμογές γραφικών υπολογιστών σε πραγματικό χρόνο όπως προσομοιώσεις και εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας.
- 3D μετασχηματισμός συγγένειας μέθοδος που βασίζεται σε πολύγωνο (3D affine transformation polygon-based method) είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον χειρισμό και μετασχηματισμό πολυγώνων σε τρισδιάστατη μορφή. Κάθε κορυφή του πολυγωνικού πλέγματος πολλαπλασιάζεται με τον πίνακα μετασχηματισμού για να επιτευχθεί ο αντίστοιχος συγγενικός μετασχηματισμός. Στη διαδικασία αυτή γίνεται μετατροπή των συντεταγμένων κορυφής σε καρτεσιανές συντεταγμένες. Οι μετασχηματισμοί αυτοί επηρεάζουν τη θέση και κλίμακα των κορυφών του πλέγματος καθιστώντας το όμως κατάλληλο να σκιαστεί ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή οπτική εμφάνιση, δημιουργώντας δυναμικές και κινούμενες εικόνες.

3.5.4 Layer-based method

Το Layer-based method ή αλλιώς “μέθοδος που βασίζεται σε επίπεδα” είναι μια τεχνική που βασίζεται στην αναπαράσταση αντικειμένων χρησιμοποιώντας ιεραρχική δομή επιπέδων/ στρωμάτων. Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε στρώματα όπου κάθε στρώμα αποτελεί μια διαφορετική πτυχή ή χαρακτηριστικό. Τα επίπεδα ταξινομούνται ιεραρχικά, κάθε στρώμα επηρεάζει μέσα από ένα σύνολο ιδιοτήτων τη συμπεριφορά και απόδοση του άλλου στρώματος και τον τρόπο που

αλληλοεπιδρούν. Η μέθοδος Layer-based αναπτύχθηκε για να μειώσει την υπολογιστική μονάδα (computational unit) και να επιταχύνει τον υπολογισμό. Στην μέθοδο αυτή το 3D αντικείμενο χωρίζεται σε πολυάριθμα επίπεδα παράλληλα με το επίπεδο του ολογράμματος και κάθε επίπεδο βλέπεται ως ανεξάρτητη υπολογιστική μονάδα. Στην συνέχεια, χρησιμοποιείται η περίθλαση Fresnel (Fresnel diffraction), για την περίθλαση κοντινού πεδίου, υπολογίζοντας κάθε επίπεδο του υπο-ολογράμματος και λαμβάνοντας τα CGH με την υπέρθεση όλων των υπο-ολογραμμάτων. Μια άλλη μέθοδος που ονομάζεται angular-spectrum method ή αλλιώς “μέθοδος γωνιακού φάσματος” χρησιμοποιήθηκε στην layer-based για καλύτερη προσέγγιση και υπολογισμού περίθλασης με μεγαλύτερη ακρίβεια. Η μέθοδος Layer-based επιτρέπει την ομαλή διατήρηση λειτουργίας μετά από επεξεργασία κάποιου στρώματος καθώς η δομή του επιτρέπει την ανεξάρτητη τροποποίηση στρωμάτων, την εφαρμογή αλλαγών και εισαγωγή ή διαγραφή στρωμάτων χωρίς να επηρεάζεται ολόκληρο το σύστημα.

Η αναπαράσταση των 3 παραπάνω μεθόδων φαίνεται στην **Εικόνα 7**, όπου το πρώτο σχέδιο (a) είναι η μέθοδος point-based, στο δεύτερο σχέδιο (b) είναι η μέθοδος polygon-based και στο τρίτο σχέδιο (c) είναι η μέθοδος layer-based.



Εικόνα 7: Μέθοδοι υπολογισμού CGH Πηγή: [7]

4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Τηλεχειρουργική και Ρομποτική

4.1 Τι είναι η Τηλεχειρουργική;

Η τηλεχειρουργική ορίζεται ως η εξ αποστάσεως χειρουργική ή ρομποτική χειρουργική και αναφέρεται σε χειρουργικές επεμβάσεις που διεξάγονται χωρίς τη φυσική παρουσία του γιατρού στον ίδιο χώρο με τον ασθενή. Η τηλεχειρουργική αποτελεί μια “ιδέα” του μέλλοντος, χρησιμοποιεί ρομποτικά ή υποβοηθούμενα υπολογιστικά συστήματα, ανήκει στον τομέα της τηλεϊατρικής που αναπτύσσεται ραγδαία τα τελευταία χρόνια και παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον και ζήτηση. Για την αποτελεσματική της λειτουργία απαιτείται ειδικός εξοπλισμός όπως προηγμένες τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών οι οποίες θα είναι εγκατεστημένες τόσο στις τοπικές όσο και στις απομακρυσμένες τοποθεσίες, εξελιγμένα συστήματα απεικόνισης όπως κάμερες υψηλής ευκρίνειας και τρισδιάστατης απεικόνισης και μια ασφαλή και αξιόπιστη σύνδεση επικοινωνίας. Η τηλεχειρουργική αποτελεί μια μορφή τηλεπαρουσίας, χρησιμοποιεί ασύρματη δικτύωση για την μεταφορά δεδομένων, εικόνας και ήχου και το κατάλληλο ρομποτικό χειρουργικό σύστημα το οποίο θα πραγματοποιήσει την χειρουργική επέμβαση. Το ρομποτικό σύστημα αυτό αποτελείται από μια κεντρική κονσόλα μέσω της οποίας ο χειρουργός λαμβάνει πληροφορίες όπως εικόνα, ήχο και διαισθητική πληροφορία, δηλαδή αίσθηση αφής, ένα σύστημα αισθητήρων για συνεχή ανατροφοδότηση και ειδικούς βραχίονες που είτε ελέγχει ο χειρουργός κατά την διάρκεια του χειρουργείου είτε οι ίδιοι μιμούνται τις κινήσεις των χεριών του χειρουργού μεταφράζοντας με ακρίβεια τις κινήσεις του σε κλιμακωμένες κινήσεις. Η διαδικασία της τηλεχειρουργικής θα απαιτεί εκτός από τους γιατρούς και το ιατρικό προσωπικό, ειδικά ρομπότ και την παρουσία γιατρών ως μεσολαβητές εξ αποστάσεως με την μορφή ολογραμμάτων.

Η ολογραφική επικοινωνία αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την τηλεχειρουργική καθώς χωρίς αυτή δεν μπορεί να γίνει εφικτή η πραγματοποίηση μια τέτοιας διαδικασίας. Στην τηλεχειρουργική ο γιατρός μπορεί εξ αποστάσεως να συνδεθεί και να επιβλέπει κάποια χειρουργική επέμβαση, να κινηθεί για να έχει συνολική και καλύτερη οπτική της περιοχής που χειρουργείτε, να βοηθήσει καθοδηγώντας προφορικά την επέμβαση μέσω τηλεδιάσκεψης, η διαδικασία αυτή ονομάζεται “τηλε-βοήθεια”. Η τηλεδιάσκεψη παρουσιάζει την χειρουργική επέμβαση εξ αποστάσεως χρησιμοποιώντας βίντεο και εξοπλισμό εικονικής πραγματικότητας (VR) και επαυξημένης πραγματικότητας (AR) όπως ειδικά γυαλιά, headsets κ.τ.λ. Τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας αφορούν πολλούς τομείς καθώς δίνουν λύση στο πρόβλημα έλλειψης χειρουργών, στα γεωγραφικά εμπόδια που εμποδίζουν την έγκαιρη και άμεση χειρουργική επέμβαση, ειδικά για τα

περιστατικά έκτακτης ανάγκης, την οικονομική επιβάρυνση, την έλλειψη κατάλληλων ιατρικών εγκαταστάσεων και υποδομών και τα ταξίδια μεγάλων αποστάσεων τα οποία μπορεί να είναι επικίνδυνα για τους ασθενείς με σοβαρά προβλήματα υγείας. Η τηλεχειρουργική μέσω των ρομποτικών συστημάτων αυξάνει την ακρίβεια και επιδεξιότητα των επεμβάσεων μειώνοντας σημαντικά τον παράγοντα ανθρώπινου λάθους.

Μια ερευνητική ομάδα ξεκίνησε το έργο της με όνομα TELESURG για την ανάπτυξη και προώθηση της τηλεχειρουργικής, η οποία χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Το έργο TELESURG είχε διάρκεια 3 χρόνια από το 2004 έως το 2007 και επικεντρώθηκε στην διερεύνηση των δυνατοτήτων της εξ αποστάσεως χειρουργικής, με τη χρήση ρομπότ, συστημάτων πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών. Στα πλαίσια του έργου αυτού διεξάχθηκαν πειράματα για την αξιολόγηση των δυνατοτήτων, ασφάλειας και δικτυακής υποδομής, τα οποία περιλάμβαναν προσομοιωμένες διαδικασίες τηλεχειρουργικής, την ενσωμάτωση εξελιγμένων συστημάτων απεικόνισης, απτικής και αισθητηριακής ανάδρασης και βελτίωση της εμφάνισης δεδομένων και ανάλυσης εικόνας σε πραγματικό χρόνο. Για την διεξαγωγή της ερευνάς και καλύτερης μελέτης, η TELESURG συνεργάστηκε με διάφορα πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα της Ευρώπης και τα αποτελέσματα που διεξάχθηκαν βοήθησαν σημαντικά στην καλύτερη κατανόηση των τεχνικών απαιτήσεων, προκλήσεων και πεδίων βελτίωσης ανοίγοντας έτσι, τον δρόμο για την υιοθέτηση μιας νέας μορφής χειρουργικής.

Η τηλεχειρουργική μέσω της ολογραφικής επικοινωνίας και της τρισδιάστατης απεικόνισης παρέχει στους χειρουργούς την δυνατότητα μέσω μιας κοινής οπτικής ανατροφοδότησης υψηλής ευκρίνειας να παρακολουθούν από διάφορα κέντρα την ίδια χρονική στιγμή την εξέλιξη της χειρουργικής επέμβασης. Ακόμη, επιτρέπει την συνεργασία χειρουργών σε πραγματικό χρόνο από διαφορετικά μέρη και ιατρικά κέντρα. Λόγω της ανάγκης του χειρουργού να παρακολουθεί κάθε στιγμή τον ασθενή, η πλευρική μετάδοση βίντεο υψηλής ποιότητας είναι απαραίτητη για να παρέχεται γρήγορη και κατάλληλη επικοινωνία. Μια γρήγορη, αξιόπιστη και σταθερή επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο μεταξύ δυο μακρινών κέντρων και του ασθενούς είναι ζωτική σημασίας για να είναι εφικτή η τηλεχειρουργική.

Παρά το θετικό της αντίκτυπο, η τηλεχειρουργική επιφέρει πολλές προκλήσεις που οι ερευνητές καλούνται να αντιμετωπίσουν, με σημαντικότερες την διασφάλιση ισχυρής συνδεσιμότητας δικτύου, τη διατήρηση ασφάλειας και απορρήτου των ιατρικών δεδομένων των ασθενών. Η τηλεχειρουργική απαιτεί πολύ υψηλό ρυθμό δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, υψηλή ακρίβεια και απόδοση, ισχυρές και αξιόπιστες συνδέσεις, χαμηλή καθυστέρηση και χαμηλό λανθάνοντα χρόνο. Οι προηγούμενες γενιές δικτύων και ακόμη και η πέμπτη γενιά 5G δεν είναι σε θέση να καλύψουν αυτές τις απαιτήσεις, η τηλεχειρουργική θα γίνει πραγματικότητα με την άφιξη των 6G δικτύων, τα οποία αναμένεται να μπορέσουν να υποστηρίξουν την νέα αυτή τεχνολογία αντιμετωπίζοντας την πλειοψηφία αυτών των προκλήσεων.

4.2 Τι είναι η Ρομποτική;

Ρομποτική ονομάζεται ο κλάδος της επιστήμης και μηχανικής μελέτης, που ασχολείται με τον σχεδιασμό, δημιουργία και ανάπτυξη μηχανικών συσκευών, εξαρτημάτων και ρομπότ. Τα ρομπότ είναι προγραμματιζόμενες μηχανές οι οποίες εκτελούν διεργασίες με ανθρώπινη καθοδήγηση είτε σε κάποιες περιπτώσεις αυτόνομα με τον κατάλληλο προγραμματισμό και επεξεργασία. Η ρομποτική έχει ως στόχο την κατασκευή έξυπνων μηχανών οι οποίες θα μπορέσουν να αντικαταστήσουν τους ανθρώπους για τη διεξαγωγή εργασιών και διαδικασιών που γίνονται με τον παραδοσιακό τρόπο, από τις πιο απλές έως και τις πιο περίπλοκες, όπως η διεξαγωγή μιας χειρουργικής επέμβασης.

Για να γίνει αυτό, τα ρομπότ πρέπει να είναι σε θέση να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται μέσα από κατάλληλους αισθητήρες και μηχανισμούς δράσης, να μπορούν να επεξεργάζονται τα δεδομένα αισθητηριακά, μέσω αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης, ώστε να μπορούν να αναγνωρίζουν αντικείμενα, να αναλύουν πληροφορίες και να λαμβάνουν έξυπνες αποφάσεις. Ακόμη, στόχος της ρομποτικής είναι εκτός από τη συνεισφορά και παροχή βοήθειας, η επικοινωνία και αλληλεπίδραση τους με τους ανθρώπους. Η αλληλεπίδραση των ανθρώπων με τα ρομπότ θα συμβάλλει θετικά ως προς την εξοικείωση των ανθρώπων με αυτά, καθιστώντας τα ρομπότ περισσότερο διαισθητικά και φιλικά προς τον χρήστη. Ο σχεδιασμός και ανάπτυξη των ρομπότ γίνεται με την βοήθεια των τεχνικών μηχανικής μάθησης, οι οποίες διευκολύνουν την εκπαίδευση και επικοινωνία των ρομπότ, την προσαρμογή τους στις συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες περιβάλλοντος, βελτιώνοντας την απόδοση και δυνατότητες τους. Η χρήση και εφαρμογές της ρομποτικής μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλούς τομείς όπως η γεωργία, η εστίαση, τα εργοστάσια, η ψυχαγωγία και η ιατρική.

Ο τομέας υγείας μπορεί να εκμεταλλευτεί αυτήν την ευκαιρία, αξιοποιώντας τις δυνατότητες των ρομπότ για την κατασκευή ειδικών χειρουργικών ρομπότ τα οποία θα συμβάλλουν στην διεξαγωγή χειρουργικών επεμβάσεων με υψηλή ακρίβεια. Τα χειρουργικά ρομπότ είναι προηγμένα τεχνολογικά εργαλεία τα οποία αποτελούνται από πολλαπλούς βραχίονες με τους οποίους εκτελούν κινήσεις, διαδικασίες και χειρίζονται τα χειρουργικά εργαλεία, συστήματα απεικόνισης τα οποία προσφέρουν τρισδιάστατη απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο, υψηλή ανάλυση και μεγέθυνση εικόνας για καλύτερη ευκρίνεια και οπτικοποίηση και μια κονσόλα ελέγχου από την οποία ο χειρουργός ελέγχει και ρυθμίζει τις κινήσεις του ρομποτικού βραχίονα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χειρουργικού ρομπότ είναι το χειρουργικό σύστημα da Vinci, **Εικόνα 8**, το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί για διάφορες χειρουργικές επεμβάσεις όπως καρδιακές, νεφρικές, γυναικολογικές επεμβάσεις, υστερεκτομές, επεμβάσεις για την επιδιόρθωση καρδιακής βαλβίδας και αφαίρεσης του προστάτη. Το ρομποτικό αυτό σύστημα αποτελείται από τρεις έως τέσσερις ρομποτικούς βραχίονες και μια κονσόλα ελέγχου, η οποία βρίσκεται στον ίδιο χώρο με τον ασθενή και με την οποία ο χειρουργός χειρίζεται τις κινήσεις των βραχιόνων.

Εκτός από τα πλεονεκτήματα λειτουργίας και χρήσης τους, τα ρομπότ περιλαμβάνουν διάφορα χαρακτηριστικά και πρωτόκολλα ασφάλειας, κανόνες και πολιτικές τα οποία ελαχιστοποιούν την πιθανότητα κινδύνου ή ατυχημάτων που οφείλονται σε ανθρώπινο λάθος. Ακόμη, τα ρομπότ έχουν ενσωματωμένα συστήματα αποφυγής σύγκρουσης για την αποφυγή ατυχημάτων, μηχανισμούς ανάδρασης δύναμης για την αποφυγή εφαρμογής υπερβολικής δύναμης και μηχανισμούς έκτακτης διακοπής λειτουργίας για πιθανότητες απρόοπτων περιστατικών διασφαλίζοντας την ασφάλεια και έλεγχο της κατάστασης. Η ρομποτική συνδυάζει διάφορους κλάδους όπως η μηχανική και η επιστήμη των υπολογιστών επιφέροντας μια πιο έξυπνη προσέγγιση στην διεξαγωγή διαδικασιών, στην επίλυση προβλημάτων, παρέχοντας υψηλή ακρίβεια, αποτελεσματικότητα και ασφάλεια, καλυτερεύοντας τον τρόπο και ποιότητα ζωής.



Εικόνα 8: Χειρουργικό Σύστημα da Vinci Πηγή: [45]

4.3 Παραδείγματα Τηλεχειρουργικής

Παρακάτω περιγράφονται μερικά σημαντικά παραδείγματα διεξαγωγής πειραμάτων και επεμβάσεων τηλεχειρουργικής σε συνδυασμό με την ολογραφική επικοινωνία και την ρομποτική. Τα πειράματα αυτά αποτελούν σημαντικό ορόσημο για την μελέτη και εξέλιξη της πορείας της τηλεχειρουργικής αλλά και για τη κατανόηση των προκλήσεων και κινδύνων. Τα πειράματα αυτά έχουν διεξαχθεί απομακρυσμένα με την χρήση προηγμένων τεχνολογιών, τηλεπικοινωνιών και ρομποτικών συστημάτων, προκειμένου να μελετηθεί η αποτελεσματικότητα, ασφάλεια και σκοπιμότητα της τηλεχειρουργικής σε διαφορετικές περιπτώσεις. Η μελέτη και αξιολόγηση αυτών

των πειραμάτων θα οδηγήσει στην βελτίωση των τεχνικών και συστημάτων επικοινωνίας, στην κατανόηση και αποφυγή λαθών, στη διατήρηση της ασφάλειας και τον καθορισμό πολιτικών και μέτρων ασφάλειας. Οι παράγοντες αυτοί θα μελετηθούν περεταίρω από τους ειδικούς ώστε να συμβάλλουν στην επικύρωση και υιοθέτηση της τηλεχειρουργικής ως μια νέα και ευρέως χρησιμοποιημένη πρακτική.

4.3.1 Επέμβαση Lindbergh

Η επέμβαση Lindbergh ήταν η πρώτη τηλεχειρουργική επέμβαση η οποία πραγματοποιήθηκε αρχές Σεπτεμβρίου του 2001 από τον καθηγητή Jacques Marescaux και την ομάδα του από το IRCAD (Ινστιτούτο Έρευνας για τον Καρκίνο του Πεπτικού Συστήματος). Η επέμβαση βασίστηκε στο εξελιγμένο χειρουργικό ρομπότ ZEUS (ZEUS Robotic Surgical System – ZRSS) το οποίο είναι ένα ειδικά σχεδιασμένο ιατρικό ρομπότ, για να βοηθάει χειρουργικές επεμβάσεις. Ο Γάλλος χειρουργός που πραγματοποίησε την επέμβαση και η κονσόλα ελέγχου του ρομπότ βρισκόταν στην Νέα Υόρκη και ο ασθενής με το ρομποτικό σύστημα ZEUS και μια ομάδα χειρουργών για ασφάλεια και προληπτικούς λόγους βρισκόταν στο νοσοκομείο του Στρασβούργου της Γαλλίας. Η τηλεχειρουργική αυτή επέμβαση αφορούσε την αφαίρεση της χοληδόχου κύστης (χολοκυστεκτομή) και ο ασθενής ήταν μια γυναίκα ηλικίας 68 χρονών. Η προετοιμασία του ρομποτικού συστήματος διήρκεσε 16 λεπτά και η επέμβαση για την αφαίρεση της χοληδόχου κύστης διήρκεσε περίπου μια ώρα. Ο Γάλλος χειρουργός έλεγχε από την Νέα Υόρκη τους βραχίονες και τις κινήσεις του ιατρικού ρομπότ για να μπορέσει να χειρουργήσει τον ασθενή. Η επέμβαση ολοκληρώθηκε επιτυχώς, η ασθενής παρέμεινε στο νοσοκομείο για 2 μέρες όπως προβλεπόταν από τους γιατρούς μετά από μια τέτοια επέμβαση, ανάρρωσε πλήρως και δεν εμφάνισε καμία παρενέργεια.

Η επιτυχής σύνδεση μεταξύ του ρομπότ και του χειρουργού έγινε χάρη στους φορείς του ομίλου France Telecom, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 9**, οι οποίοι παρείχαν άμεση σύνδεση με οπτικές ίνες για να εξασφαλιστεί συνδεσιμότητα, υψηλή ταχύτητα και ελάχιστη χρονική καθυστέρηση. Είναι πολύ σημαντικό μια τέτοια επέμβαση να πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο χωρίς καθυστερήσεις, καθώς τίθεται σε κίνδυνο η ζωή του ασθενή. Αν για παράδειγμα υπάρχει καθυστέρηση στην κίνηση των χεριών του χειρουργού και στην κίνηση των βραχιόνων του ρομπότ μπορεί μια λάθος κίνηση λόγω καθυστέρησης να προβεί μοιραία για τον ασθενή. Η ταχύτητα της τηλεχειρουργικής επιτυγχάνεται με την βοήθεια της ATM τεχνολογίας (Ασύγχρονος Τρόπος Μεταφοράς) και έχει μέγιστη ταχύτητα 10 Gigabit ανά δευτερόλεπτο. Η τεχνολογία αυτή είναι ειδικά σχεδιασμένη για την μεταφορά φωνής, βίντεο και δεδομένων με υψηλή ταχύτητα χρησιμοποιώντας την τεχνολογία αναμετάδοσης κελιών. Με την σειρά της, η τεχνολογία αναμετάδοσης κελιών είναι η μέθοδος χρήσης πακέτων ή κελιών μικρού και σταθερού μήκους για την μεταφορά δεδομένων, καθορίζοντας την ταχύτητα με την οποία μεταφέρεται η πληροφορία. Ήταν η πρώτη φορά στην ιστορία της ιατρικής που μπόρεσε να πραγματοποιηθεί μια τέτοια υπερατλαντική επέμβαση χωρίς χρονικές καθυστερήσεις, προβλήματα σύνδεσης και δικτύου παρά την μεγάλη χιλιομετρική απόσταση.

Η τηλεχειρουργική αυτή επέμβαση έφερε επανάσταση στον χώρο της χειρουργικής ιατρικής, καθώς με αυτόν τον τρόπο η απόσταση δεν θα αποτελεί πλέον εμπόδιο. Η επέμβαση αυτή αποτέλεσε την

πρώτη υπερατλαντική επέμβαση και ονομάστηκε “Επέμβαση Lindbergh” προς τιμή του Αμερικάνου αεροπόρου Charles Augustus Lindbergh, ο οποίος πραγματοποίησε μόνος του την πρώτη απευθείας μεμονωμένη υπερατλαντική πτήση, με αφετηρία την Νέα Υόρκη και προορισμό το Παρίσι. Η συνολική διάρκεια της πτήσης υπολογίστηκε στις 33,5 ώρες και σε απόσταση 3.600 μιλίων ή αλλιώς 5.800 χιλιομέτρων. Η πτήση αυτή αποτέλεσε μια από τις πιο σημαντικές πτήσεις στην ιστορία της αεροπορίας και μια νέα εποχή αεροπορικών μεταφορών.



Εικόνα 9: Σύνδεση μέσω France Telecom Πηγή: [46]

4.3.2 EESS – Extreme Environment Surgical System

Το Extreme Environment Surgical System πρόκειται για ένα πρωτόγνωρο και διαφορετικό χειρουργικό σύστημα από τα κλασικά χειρουργικά συστήματα, καθώς έχει σχεδιαστεί από τους ερευνητές σε συνεργασία με τη NASA, για την διεξαγωγή εξ αποστάσεως χειρουργικών επεμβάσεων σε ασυνήθιστα, επικίνδυνα περιβάλλοντα με αντίξοες συνθήκες, όπως η μελέτη και εξερεύνηση του διαστήματος. Το EESS έχει συμπαγές μορφή, είναι ελαφρύ ώστε να μπορεί να είναι εύκολα μετακινήσιμο, για να μπορέσει να προσφέρει ιατρική βοήθεια, να αντέξει και να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις αυτών των αντίξοων περιβαλλόντων, διαστημικών αποστολών και απομακρυσμένων περιοχών στις οποίες η ιατρική περίθαλψη δεν είναι διαθέσιμη. Το 2003 ένας χειρουργός με έδρα τη Νέα Υόρκη πραγματοποίησε απομακρυσμένα χρησιμοποιώντας το EESS μια χειρουργική επέμβαση σε έναν προσομοιωμένο ασθενή που βρισκόταν σε ένα εργαστήριο στο Χιούστον, Τέξας.

Το χειρουργικό αυτό σύστημα διαθέτει ρομποτικούς βραχίονες, τους οποίους ρυθμίζει απομακρυσμένα ο χειρουργός, μιμούνται κινήσεις των χεριών του χειρουργού και εκτελούν με

ακρίβεια χειρουργικές επεμβάσεις. Διαθέτει συστήματα απεικόνισης, τα οποία προσφέρουν υψηλή ανάλυση εικόνας σε πραγματικό χρόνο, συστήματα που το επιτρέπουν να αντέχει τις έντονες περιβαλλοντικές διακυμάνσεις όπως αλλαγές θερμοκρασίας και πίεσης και μηχανισμούς αποστείρωσης οι οποίοι συμβάλλουν στην εξασφάλιση ενός καθαρού, αποστειρωμένου χειρουργικού περιβάλλοντος. Η δημιουργία του EESS είχε ως στόχο την κάλυψη των απαραίτητων ιατρικών αναγκών των αστροναυτών κατά τη διάρκεια διαστημικών αποστολών, για τα οποία απαιτείται άμεση ανάγκη παροχής βοήθειας και την αποτελεσματική λειτουργία του σε ένα τέτοιο περιβάλλον με αντίξοες συνθήκες.

4.3.3 ISS – International Space Station Telesurgery

Η τηλεχειρουργική του Διεθνούς Διαστημικού Σταθμού αναφέρεται στην εξ αποστάσεως εκτέλεση χειρουργικών επεμβάσεων, όπου ο χειρουργός ρυθμίζει από τη Γη τα ρομποτικά συστήματα τα οποία βρίσκονται στον διαστημικό σταθμό (ISS). Το 2013 οι ερευνητές διεξήγαγαν ένα πείραμα εξ αποστάσεως χειρουργικής στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό όπου ο χειρουργός έλεγχε και καθοδηγούσε απομακρυσμένα το χειρουργικό ρομπότ να διεξάγει με ακρίβεια διαδικασίες προσομοίωσης σε ζωικό ιστό. Σκοπός αυτού του πειράματος ήταν να ελεγχθεί η εφαρμογή και αποτελεσματικότητα μιας τέτοιας διαδικασίας κάτω από αντίξοες συνθήκες περιβάλλοντος με ελλιπή πρόσβαση σε ιατρικούς πόρους. Οι μαθητευόμενοι και αστροναύτες του ISS λαμβάνουν την απαραίτητη και εξειδικευμένη εκπαίδευση σχετικά με την λειτουργία του ρομποτικού συστήματος και καλούνται να χειριστούν και να εξοικειωθούν με το ρομποτικό αυτό σύστημα ώστε να είναι σε θέση να πραγματοποιήσουν οι ίδιοι μια τέτοια επέμβαση. Παράλληλα βρίσκονται σε συνεχή επικοινωνία για καθοδήγηση κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας με τους χειρουργούς σε πραγματικό χρόνο.

Ο στόχος αυτών των πειραμάτων είναι να δοθεί η ευκαιρία στους αστροναύτες να μπορέσουν να αντιμετωπίσουν έγκαιρα περιστατικά έκτακτης ανάγκης σε απομακρυσμένα περιβάλλοντα όπως το διάστημα, λαμβάνοντας άμεσα ιατρική βοήθεια από γιατρούς και χειρουργούς στη Γη. Είναι φανερό πως για την αποτελεσματικότητα, ομαλή λειτουργία και επίτευξη μιας τέτοιας τεχνολογίας πρέπει να αντιμετωπιστούν πολλές προκλήσεις με σημαντικότερες τη διασφάλιση ακριβείας, ασφάλειας και σταθερής και αξιόπιστης επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο μεταξύ των χειρουργών που βρίσκονται στη Γη και αυτών που βρίσκονται στον ISS. Η διεξαγωγή χειρουργικών επεμβάσεων στο ISS αποτελεί τομέα συνεχής έρευνας και μελέτης με στόχο την παροχή ιατρικής βοήθειας και εκπλήρωσης χειρουργικών επεμβάσεων κατά τη διάρκεια διαστημικών αποστολών.

4.3.4 Χειρουργική επέμβαση με τη βοήθεια των 5G

Ένα παράδειγμα χειρουργικής επέμβασης με την βοήθεια της ολογραφικής επικοινωνίας και των 5G δικτύων που διεξάχθηκε τα τελευταία χρόνια αποτελεί η εξ αποστάσεως χειρουργική επέμβαση εμφύτευσης φίλτρου κατώτερης κοίλης φλέβας (IVC – Inferior Vena Cava). Η εξ αποστάσεως

επέμβαση αυτή, πραγματοποιήθηκε στην Κίνα στα τέλη του 2020 από την ομάδα του Διευθυντή Chen Yundai του Τμήματος Καρδιαγγειακών Παθήσεων, στο Γενικό Νοσοκομείο PLA του Πεκίνου. Οι γιατροί χρησιμοποίησαν τεχνολογίες Μικτής Πραγματικότητας (MR - Mixed Reality) και ολογραφικής επικοινωνίας η οποία υποστηρίχθηκε με τη βοήθεια των δικτύων 5G. Η επέμβαση αυτή αποτέλεσε το ξεκίνημα μιας νέας αρχής για την χειρουργική καθώς για πρώτη φορά, παγκοσμίως συνδυάστηκαν οι τεχνολογίες μαγνητικής τομογραφίας με την ολογραφική τεχνολογία του 5G. Η εφαρμογή της MR τεχνολογίας και του ολογραφικού 5G είναι μια τεχνολογία που απαιτεί υψηλή ταχύτητα για να μπορέσει σε πραγματικό χρόνο να μεταδώσει μεγάλα ποσοστά δεδομένων, υψηλή ευκρίνεια και ανάλυση εικόνας.

Για να πραγματοποιηθεί η επέμβαση χρειάστηκε η τεχνολογία MR, η οποία πρόσφερε στους γιατρούς μέσω εικονικής πραγματικότητας εικόνες των αιμοφόρων αγγείων του ασθενή σε τρισδιάστατη μορφή για καλύτερη διάγνωση τα οποία μπορούσαν να διακρίνουν οι γιατροί μέσω ειδικών MR γυαλιών για να μπορέσουν να διεξάγουν με επιτυχία την επέμβαση, όπως απεικονίζεται στην **Εικόνα 10**. Με την επέμβαση αυτή, άνοιξε ο δρόμος για μια νέα εποχή εξ αποστάσεως χειρουργικής, διάγνωσης και θεραπείας.



***Εικόνα 10:** Ολογραφική χειρουργική επέμβαση Πηγή: [47]*

5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Δίκτυα 6G

5.1 Τι είναι τα δίκτυα 6G;

Τα δίκτυα 6G, θα αποτελέσουν τη νέα ασύρματη τεχνολογία έκτης γενιάς και μελλοντικό διάδοχο των 5G δικτύων. Η έρευνα και μελέτη τους βρίσκεται ακόμη στα αρχικά στάδια και γίνεται παράλληλα με την δημιουργία των 5G δικτύων, τα οποία έχουν αναπτυχθεί και κυκλοφορήσει τα τελευταία χρόνια, στις αρχές του 2020. Τα δίκτυα 6G θα έχουν ως βάση τα θεμέλια των 5G δικτύων όμως, θα διαφέρουν σημαντικά ως προς τα χαρακτηριστικά τους παρέχοντας νέες τεχνολογικές λύσεις, υπηρεσίες, υψηλότερες ταχύτητες και νέους τρόπους αλληλεπίδρασης και επικοινωνίας. Το όραμα των 6G δικτύων είναι η δημιουργία ενός “ψηφιοποιημένου” κόσμου ο οποίος θα προσφέρει συνδεσιμότητα και κάλυψη σε παγκόσμιο επίπεδο δημιουργώντας μια νέα πραγματικότητα, συνδέοντας τους ανθρώπους με το ψηφιακό κόσμο. Με άλλα λόγια, θα γίνει μετάβαση σε μια νέα εποχή ασύρματης τεχνολογίας η οποία θα προσφέρει νέες καινοτομίες και υπηρεσίες και θα διευκολύνει τη καθημερινότητα και τρόπο ζωής των ανθρώπων.

Η αρχιτεκτονική των δικτύων 6G θα καταστήσει τα δίκτυα αυτά να είναι σε θέση να υποστηρίξουν νέους τύπους ευφώνων οντοτήτων, τεχνολογίες που θα είναι άμεσα διαθέσιμες οποιαδήποτε στιγμή, υπηρεσίες τεχνητής νοημοσύνης, ολογράμματα, 3D επικάλυψη εικόνας (3D Overlay), τεχνολογίες εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Η δημιουργία και ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών θα αλλάξει ριζικά τον τρόπο λειτουργίας και διεξαγωγής διεργασιών σε όλους τους τομείς, όπως η επιστήμη, η ψυχαγωγία, η εστίαση και ιδιαίτερα ο τομέας υγείας. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να χαράξουν την εκκίνηση μιας νέας αρχής για τον τομέα υγείας, προσφέροντας εξελιγμένες εφαρμογές και υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης όπως η ηλεκτρονική υγεία “e-health”, η διεξαγωγή χειρουργικών επεμβάσεων με τη βοήθεια ρομπότ, οι “έξυπνες” μηχανές με “έκτη αίσθηση” που θα μπορούν να κατανοούν διαισθητικά το περιβάλλον και τις κινήσεις των ανθρώπων και οι “έξυπνες” μηχανές που θα τροφοδοτούνται από τεχνητή νοημοσύνη και θα μπορούν να λύνουν προβλήματα με “έξπνο” τρόπο χωρίς τη φυσική παρουσία των γιατρών [13].

Η κυκλοφορία των 6G δικτύων αναμένεται να είναι περίπου στις αρχές του 2030 καθώς σύμφωνα με την χρονολογική ανάπτυξη των δικτύων έχει παρατηρηθεί ότι περίπου κάθε μια δεκαετία δημιουργείται και μια νέα γενιά δικτύων. Από το ξεκίνημα των πρώτων αναλογικών συστημάτων επικοινωνίας και δικτύων που δημιουργήθηκαν στην δεκαετία του 1980, μια νέα γενιά δικτύων δημιουργείται σχεδόν κάθε δέκα χρόνια, τα δίκτυα τρίτης γενιάς 3G δημιουργήθηκαν και

κυκλοφόρησαν για πρώτη φορά στις αρχές του 2000, τα δίκτυα τέταρτης γενιάς 4G στις αρχές της δεκαετίας του 2010 και αντίστοιχα, τα δίκτυα πέμπτης γενιάς 5G στις αρχές του 2020.

5.2 Γιατί υπάρχει ανάγκη για τα δίκτυα 6G;

Στη σημερινή εποχή ο τρόπος και ο ρυθμός ζωής έχουν αλλάξει ριζικά, την τελευταία δεκαετία έχει σημειωθεί μεγάλη αύξηση της κινητής τηλεφωνίας και των δεδομένων παγκοσμίως, ο αριθμός των συνδρομητών έχει αυξηθεί σημαντικά, υπάρχει εκθετική αύξηση της κίνησης, χρήσης και αγοράς κινητών συσκευών και συνδρομών παγκοσμίως λόγω της εισαγωγής και λειτουργίας των νέων τεχνολογιών. Νέες τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), η Εικονική Πραγματικότητα, οι “έξυπνες” εφαρμογές και οι διαδραστικές υπηρεσίες θα αποτελέσουν το μέλλον της αγοράς, καθώς ήδη έχουν αρχίσει να λαμβάνουν μεγάλη προσοχή και ζήτηση. Η μετάβαση από την μια γενιά δικτύων στην επόμενη, γίνεται διαδοχικά όταν υπάρχει ανάγκη αλλαγής, εξέλιξης και μεγάλος αριθμός απαιτήσεων που δεν μπορεί να καλυφθεί, συμπληρώνοντας με τη νέα γενιά τις αδυναμίες της προηγούμενης και παρέχοντας ταυτόχρονα νέες υπηρεσίες. Έχει παρατηρηθεί συνεχής αύξηση δημιουργίας και χρήσης εφαρμογών οι οποίες απαιτούν μεγάλα ποσοστά δεδομένων όπως οι εφαρμογές που είναι εμπλουτισμένες με βίντεο ή βασίζονται αποκλειστικά σε αυτά, οι επικοινωνίες μηχανή με μηχανή (machine-to-machine – M2M) και οι υπηρεσίες cloud για φορητές συσκευές. Έχει εκτιμηθεί ότι τα δίκτυα 5G παρά την πρόσφατη δημιουργία τους δεν θα είναι σε θέση να δεχτούν και να καλύψουν αυτόν τον τεράστιο όγκο δεδομένων και να ανταποκριθούν στις συνεχόμενες αυτές απαιτήσεις [1].

Είναι φανερό πως όλες αυτές οι εφαρμογές και υπηρεσίες απαιτούν τεράστιο όγκο δεδομένων, ταχύτητας και απόδοσης, έτσι λοιπόν, έχει προκύψει η ανάγκη δημιουργίας μιας καινούργιας γενιάς δικτύων, το 6G, ώστε να μπορέσει η κοινωνία των κινητών επικοινωνιών να βελτιωθεί κατά το μέγιστο δυνατό σε όλους τους τομείς και να μπορέσει να ανταποκριθεί στις συνεχείς απαιτήσεις και ρυθμούς της κοινωνίας. Ακόμη, υπάρχει η ανάγκη για βελτίωση της αποδοτικότητας του δικτύου, του κόστους και της απόδοσης, η οποία διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες την ενεργειακή απόδοση, λειτουργική απόδοση και απόδοση φάσματος. Από το 2010 και μεταγενέστερα λόγω της διάδοσης της κινητής ευρυζωνικής σύνδεσης (MBB – Mobile BroadBand) και της ασύρματης πρόσβασης στο Διαδίκτυο, η κίνηση ζήτησης MBB ανά χρήστη αυξάνεται συνεχώς, ως επακόλουθο έχει παρατηρηθεί και η εκθετική αύξηση της αγοράς smartphones και tablets. Σύμφωνα με μια έρευνα της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union - ITU) που πραγματοποιήθηκε το 2015, έχει εκτιμηθεί ότι μέχρι το τέλος του 2030 ο παγκόσμιος όγκος κίνησης και επισκεψιμότητας της κινητής τηλεφωνίας αυξηθεί δραστικά με χαρακτηριστικό παράδειγμα την αύξηση κίνησης δεδομένων η οποία θα φτάσει έως και τα 5016 EB (1 exabyte = 10 στην δέκατη ογδόη bytes) το μήνα, σε σύγκριση με τα 62 EB ανά μήνα που είχαν μετρηθεί για το 2020 και ο αριθμός των συνδρομητών κινητής τηλεφωνίας θα φτάσει τα 17,1 δισεκατομμύρια έναντι των 5,32 δισεκατομμυρίων που είχε σημειωθεί το 2010, όπως φαίνεται στο 1ο διάγραμμα στην **Εικόνα 11**.

Στη σημερινή εποχή η ζήτηση MBB ανά χρήστη αυξάνεται διαρκώς με γρήγορους ρυθμούς, ειδικά σε σύγκριση με παλιότερα και αυτό οφείλεται ότι πλέον έχουν ενταχθεί και οι μικρότερες ηλικίες ατόμων στην ενασχόληση με τα κινητά και το διαδίκτυο. Νεαρές ηλικίες οι οποίες έχουν πρόσβαση

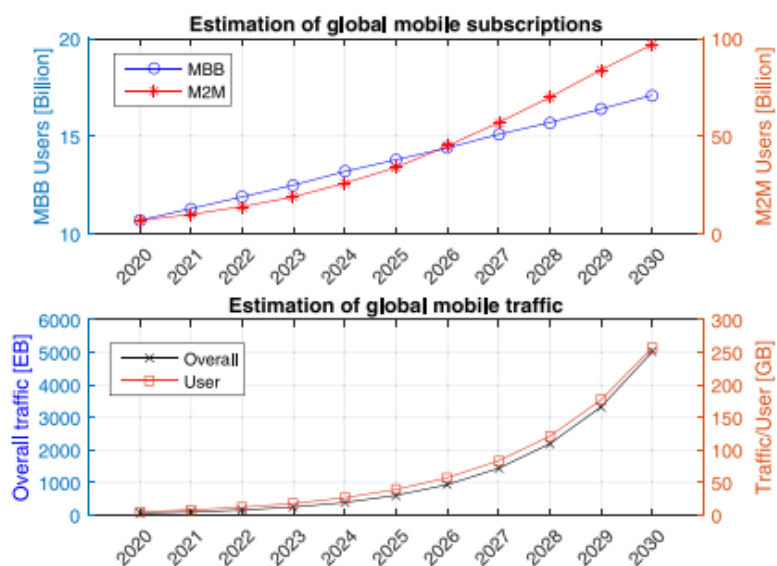
στο διαδίκτυο έχουν αυξήσει τις απαιτήσεις δεδομένων ανά χρήστη καθώς έχουν ενεργό ρόλο στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης και στις δημοφιλείς εφαρμογές που βασίζονται σε βίντεο όπως το Youtube, το Netflix και το TikTok που είναι η νέα ευρέως διαδεδομένη εφαρμογή. Οι εφαρμογές αυτές έχουν καθοριστικό ρόλο καθώς αποτελούν τα δυο τρίτα της συνολικής κίνησης της κινητής τηλεφωνίας στις μέρες μας και εκτιμάται ότι θα αποκτήσουν κυρίαρχη θέση στο μέλλον καθώς ο αριθμός των επισκεπτών και συνδρομητών συνεχώς αυξάνεται. Η κίνηση κατανάλωσης δεδομένων για κάθε χρήστη κινητής τηλεφωνίας ανά μήνα θα αυξηθεί από περίπου 5GB που είχε το 2020 σε πάνω από 250GB μέχρι το 2030, όπως φαίνεται στο δεύτερο διάγραμμα στην **Εικόνα 11**. Ακόμη, η χρήση συνδεσιμότητας από μηχανή σε μηχανή (Machine-to-Machine – M2M) αναμένεται επίσης να αυξηθεί εκθετικά, καθώς ο αριθμός των συνδρομών M2M έχει αυξηθεί κατά περίπου 33 φορές για το 2020 σε σύγκριση με το 2010 και υπολογίζεται να αυξηθεί κατά 455 φορές περισσότερο μέχρι το 2030 και ο όγκος κίνησης μιας κινητής συσκευής αναμένεται να αυξηθεί από 5,3 GB που ήταν το 2010 κατά 50 φορές περισσότερο για το 2030, στην **Εικόνα 12** παρουσιάζεται ένας πίνακας με μερικές συγκρίσεις εκτιμώμενης συνδεσιμότητας και χρήσης της κινητής τηλεφωνίας ανά δεκαετία από το 2010 μέχρι το 2030 [9].

Ένας άλλος κρίσιμος παράγοντας με καθοριστικό ρόλο στην ανάγκη δημιουργίας των 6G δικτύων ήταν το ξέσπασμα της πανδημίας του COVID-19 στις αρχές του 2020. Συγκεκριμένα, η πανδημία αυτή, προκάλεσε δραματικές απώλειες ανθρώπινων ζωών, κοινωνικές και οικονομικές προκλήσεις και τεράστια υγειονομική κρίση σε παγκόσμιο βαθμό. Λόγω της επιδείνωσης και κρισιμότητας της κατάστασης της πανδημίας έπρεπε να γίνει άμεσα αναβάθμιση και εξέλιξη των δυνατοτήτων των δικτύων για να μπορέσουν να ανταποκριθούν σε αυτές τις νέες προκλήσεις και να προσφέρουν άμεσα υπηρεσίες ιδιαίτερα στον τομέα της υγείας που είχε κλονιστεί περισσότερο. Οι νέες αυτές υπηρεσίες που δημιουργήθηκαν και τέθηκαν σε λειτουργία στο διάστημα της πανδημίας ήταν η τηλεεκπαίδευση, η τηλεργασία, η τηλεχειρουργική, η ολογραφική επικοινωνία και η “έξυπνη” παροχή υγειονομικής περίθαλψης. Στο μέλλον τείνουν να υπερσχύσουν τα αυτοματοποιημένα συστήματα απομακρυσμένης διαχείρισης σε όλους τους τομείς, καθώς ήδη έχουν αρχίσει να αποκτούν μεγάλη προσοχή και ζήτηση. Για τον λόγο αυτό ήδη έχουν εγκατασταθεί εκατομμύρια αισθητήρες σε οχήματα, σπίτια, βιομηχανίες για να παρέχουν μια “έξυπνη” προσέγγιση διευκολύνοντας και καλυτερεύοντας την ποιότητα ζωής μέσω αυτών των αυτοματοποιημένων συστημάτων. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να απαιτείται και να μπορεί να υποστηριχθεί υψηλός ρυθμός δεδομένων με αξιόπιστη συνδεσιμότητα και χαμηλή καθυστέρηση. Τα δίκτυα 5G, τα οποία βρίσκονται ήδη σε λειτουργία, παρότι προσφέρουν σημαντικές βελτιώσεις και καλύτερες υπηρεσίες συγκριτικά με τις προηγούμενες γενιές δικτύων, δεν είναι σε θέση να υποστηρίξουν και να εκπληρώσουν πλήρως τις απαιτήσεις αυτών των αυτοματοποιημένων συστημάτων. Υπολογίζεται ότι μέχρι το τέλος του 2030, οι νέες υπηρεσίες αυτές σε συνδυασμό με τους γρήγορους ρυθμούς ανάπτυξης των αυτοματοποιημένων συστημάτων, θα έχουν ξεπεράσει το όριο της χωρητικότητας και δυνατοτήτων των δικτύων 5G, για αυτό είναι αναγκαία η δημιουργία της επόμενης γενιάς δικτύων [32].

Η “έξυπνη” προσαρμογή και λειτουργία των δικτύων για την παροχή προηγμένων υπηρεσιών θα γίνει εφικτή αποκλειστικά με την βοήθεια των δικτύων 6G. Οι νέες υπηρεσίες που θα προσφέρει η νέα γενιά δικτύων 6G θα περιλαμβάνουν διεπαφές ανθρώπου-μηχανής (man-machine interfaces), πανταχού παρόν υπολογισμό (computing) μεταξύ τοπικών συσκευών και νέφους,

πολυαισθητηριακή συγχώνευση δεδομένων για την λειτουργία μικτής πραγματικότητας, αυτοματοποιημένα ρομποτικά συστήματα και υψηλής ακρίβειας αισθητήρων. Με άλλα λόγια με την είσοδο και λειτουργία των δικτύων 6G ο κόσμος θα μετατραπεί σε έναν κόσμο που βασίζεται αποκλειστικά στην ψηφιακή συνδεσιμότητα. Τα δίκτυα 6G θα μειώσουν τις καθυστερήσεις και τους περιορισμούς των 5G δικτύων με την μεγαλύτερη πρόκληση να είναι η ικανότητα χειρισμού του τεράστιου όγκου δεδομένων και η συνδεσιμότητα υψηλής ταχύτητας δεδομένων ανά συσκευή. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να αναβαθμίσουν το σύστημα επικοινωνίας προσφέροντας παγκόσμια συνδεσιμότητα και ευκολία καθώς προβλέπεται ότι ο ρυθμός bit ανά χρήστη θα φτάσει μέχρι και το 1 Tbps περίπου 1000 φορές υψηλότερη από το 5G, θα επιτευχθεί επικοινωνία εξαιρετικά μεγάλης εμβέλειας με καθυστέρηση λιγότερο του 1ms, εισάγοντας ταυτόχρονα μια νέα σύνθεση μελλοντικών υπηρεσιών όπως το περιβάλλον αίσθησης ευφυΐας (ambient sensing intelligence), αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής και ενσωμάτωση τεχνολογιών terahertz (THz). Τα δίκτυα 6G θα αναβαθμίσουν τα συστήματα επικοινωνίας υιοθετώντας μια περισσότερο ανθρωποκεντρική προσέγγιση, εισάγοντας τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης, κάτι πρωτόγνωρο σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές δικτύων [33]. Στην **Εικόνα 13** παρουσιάζεται ο πίνακας σύγκρισης απαιτήσεων και δυνατοτήτων των 6G συστημάτων επικοινωνίας με τις προηγούμενες γενιές των 5G και 4G δικτύων.

Με βάση τις προηγούμενες τάσεις και προβλέψεις για μελλοντικές ανάγκες αναμένεται ότι το 6G θα απαιτήσει νέους βασικούς δείκτες απόδοσης (Key Performance Indicator - KPI) έναντι των ήδη υπάρχον KPI των δικτύων 5G. Οι KPIs χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της προόδου ενός συγκεκριμένου στόχου και βοηθούν τους οργανισμούς και τις εταιρείες να εντοπίσουν τα δυνατά και αδύναμα σημεία, να βελτιστοποιήσουν την απόδοση και να συμβάλλουν στην αποτελεσματική λήψη αποφάσεων [34]. Είναι λοιπόν σημαντικό να ανανεωθούν και να εξεταστούν νέοι KPI αποκλειστικά για τα δίκτυα 6G με νέα, καλύτερα χαρακτηριστικά. Ερευνητές από την ακαδημαϊκή κοινότητα και βιομηχανία στοχεύουν τους KPIs για την επικοινωνία στα 6G με τα αναβαθμισμένα χαρακτηριστικά όπως ο μέγιστος ρυθμός δεδομένων 1 Tbps, λανθάνουσα κατάσταση ραδιοσυχνότητας 0,1ms, διάρκεια ζωής της μπαταρίας έως και 20 χρόνια, 10 φορές καλύτερη ενεργειακή απόδοση, ακρίβεια τοποθέτησης 10 cm σε εσωτερικό χώρο και 1m σε εξωτερικό χώρο. Οι KPIs των 6G δικτύων θα μπορούν να χωριστούν σε δυο κατηγορίες, στην πρώτη κατηγορία θα είναι οι KPIs τεχνολογίας και παραγωγικότητας όπου θα περιλαμβάνεται η εκτεταμένη εμβέλεια ή κάλυψη, η ακρίβεια τοποθέτησης, η τρισδιάστατη χαρτογράφηση και στην δεύτερη κατηγορία θα είναι οι KPIs βιωσιμότητας και κοινωνίας όπου θα περιλαμβάνεται η τυποποίηση, το απόρρητο, η ασφάλεια. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι KPIs που σχετίζονται με την ασφάλεια έχουν σχεδιαστεί πρόσφατα αποκλειστικά για τα δίκτυα 6G καθώς η ασφάλεια και το απόρρητο θα αποτελέσουν σημαντικό κριτήριο προστασίας των 6G δικτύων. Η νέα γενιά δικτύων 6G αναμένεται να προσφέρει νέες δυνατότητες και τεχνολογίες αλλά και να καλύψει τις προκλήσεις και ανάγκες που τα υπάρχοντα δίκτυα δεν μπορούσαν να καλύψουν. Οι προκλήσεις αυτές αφορούν κάποια σημαντικά προβλήματα όπως προβλήματα χωρητικότητας, ρυθμού μετάδοσης δεδομένων και αξιοπιστίας [23].



Εικόνα 11: Εκτιμώμενες Συνδρομές Κινητής Τηλεφωνίας 2020-2030
Πηγή: [1]

Issue	2010	2020 (Predicted)	2030 (Predicted)	Unit
Mobile subscriptions	5.32	10.7	17.1	Billion
Smartphone subscriptions	0.645	1.3	5.0	Billion
M2M subscriptions	0.213	7.0	97	Billion
Traffic volume	7.462	62	5016	EB/month
M2M traffic volume	0.256	5	622	EB/month
Traffic per subscriber	1.35	10.3	257.1	GB/month

Εικόνα 12: Παγκόσμιες Τάσεις Ασύρματης Συνδεσιμότητας
Πηγή: [11]

Issue	4G	5G	6G
Per device peak data rate	1 Gbps	10 Gbps	1 Tbps
End-to-end (E2E) latency	100 ms	10 ms	1 ms
Maximum spectral efficiency	15 bps/Hz	30 bps/Hz	100 bps/Hz
Mobility support	Up to 350 km/hr	Up to 500 km/hr	Up to 1000 km/hr
Satellite integration	No	No	Fully
AI	No	Partial	Fully
Autonomous vehicle	No	Partial	Fully
XR	No	Partial	Fully
Haptic Communication	No	Partial	Fully
THz communication	No	Very limited	Widely
Service level	Video	VR, AR	Tactile
Architecture	MIMO	Massive MIMO	Intelligent surface
Maximum frequency	6 GHz	90 GHz	10 THz

Εικόνα 13: Πίνακας σύγκρισης συστημάτων επικοινωνίας
Πηγή: [11]

5.3 Τι θα προσφέρουν τα δίκτυα 6G;

Στην παρακάτω ενότητα θα παρουσιαστούν λύσεις για τις προαναφερόμενες προκλήσεις του συστήματος υγειονομικής περίθαλψης, τα υπάρχον προβλήματα επικοινωνίας και το πως αυτά θα μπορέσουν να αντιμετωπιστούν με την βοήθεια των 6G δικτύων. Τα δίκτυα 5G μέχρι στιγμής έχουν συμβάλει σημαντικά στην πρόοδο και ομαλή λειτουργία του συστήματος υγειονομικής περίθαλψης προσφέροντας καλύτερες και γρηγορότερες υπηρεσίες σε όλους τους τομείς σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές δικτύων [34]. Ωστόσο, υπάρχει ακόμη έντονη ανάγκη να καλυφθούν κάποια προβλήματα που τα δίκτυα 5G δεν είναι σε θέση να καλύψουν με κυριότερα τα προβλήματα επικοινωνίας, άμεσης συνδεσιμότητας και ασφάλειας. Τα κυριότερα προβλήματα επικοινωνίας εμφανίζονται σε διάφορους τομείς και αφορούν κυρίως την χωρητικότητα, κάλυψη, συνδεσιμότητα και αξιοπιστία. Από την άλλη πλευρά, τα προβλήματα ασφάλειας αφορούν την ασφάλεια πληροφοριών, την ασύρματη συνδεσιμότητα, την μετάδοση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο και την άμεση απόκριση συστημάτων με γρήγορη ταχύτητα και μειωμένη καθυστέρηση.

Το όραμα των 6G δικτύων είναι να μετατρέψουν τον κόσμο σε μια ασφαλέστερη και πλήρως συνδεδεμένη ψηφιακή κοινωνία αντιμετωπίζοντας ταυτόχρονα τα υπάρχον προβλήματα με την βοήθεια των τεχνολογιών 6G και της τεχνητής νοημοσύνης [3]. Τα δίκτυα έκτης γενιάς 6G θα

βασιστούν στα δομικά στοιχεία των 5G δικτύων, θα διαφοροποιηθούν όμως από αυτά καλύπτοντας τις ανάγκες και τις προκλήσεις που οι προγενέστερες γενιές δικτύων δεν κατάφεραν, προσφέροντας παράλληλα νέες καινοτόμες ιδέες, υπηρεσίες και τεχνολογικά εργαλεία [35]. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ανάπτυξη των 6G δικτύων βρίσκεται ακόμη σε στάδια ανάπτυξης επομένως δεν έχουν οριστεί πλήρως οι ακριβείς προδιαγραφές και όλα τα πιθανά σενάρια χρήσης, χαρακτηριστικά, δυνατότητες και ζητήματα ασφάλειας [37].

Όσο η τεχνολογία και έρευνα των 6G εξελίσσεται περισσότερες λεπτομέρειες θα προκύπτουν σχετικά με την ανάπτυξη νέων μεθόδων, τεχνικών θα θεσπίζονται νέα πρότυπα ασφάλειας, βέλτιστες πρακτικές για την αντιμετώπιση των προκλήσεων των εφαρμογών και τη διασφάλιση της ασφάλειας, διαμορφώνοντας με αυτόν τον τρόπο το μέλλον της ασύρματης τεχνολογίας των 6G δικτύων. Οι ασύρματες αυτές τεχνολογίες θα είναι ιδιαίτερα σημαντικές και για την αναβάθμιση του τομέα υγείας παρέχοντας νέες, εξελιγμένες υπηρεσίες, με γρηγορότερους ρυθμούς και μεθόδους διεξαγωγής [11]. Πιο αναλυτικά οι τεχνολογικές δυνατότητες και προοπτικές που θα προσφέρουν τα 6G δίκτυα θα χωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες:

5.3.1 Υψηλές ταχύτητες με χαμηλή καθυστέρηση

Τα δίκτυα 6G αναμένεται να παρέχουν γρηγορότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, υψηλότερες ταχύτητες με χαμηλή καθυστέρηση, σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές δικτύων. Η ταχύτητα δεδομένων των 6G προβλέπεται να φτάσει ταχύτητες terabit (Tbps) ανά δευτερόλεπτο πετυχαίνοντας ταυτόχρονα υψηλή ευκρίνεια και συνδεσιμότητα, συγκριτικά με τις ταχύτητες δεδομένων gigabit (Gbps) ανά δευτερόλεπτο που θα προσφέρουν τα δίκτυα 5G. Οι ερευνητές προβλέπουν η ταχύτητα του 6G να είναι περίπου 100 φορές πιο γρήγορη από αυτήν των δικτύων 5G. Με την υψηλή ταχύτητα δεδομένων θα μπορέσουν να επιτευχθούν και μορφές υψηλής ευκρίνειας ροών περιεχομένου (ultra-high formats) όπως υψηλή ανάλυση εικόνας, μετάδοσης βίντεο και σύνδεσης με μικρή καθυστέρηση. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να μειώσουν αρκετά τη καθυστέρηση σύνδεσης, επικοινωνίας, λήψης και αποστολής δεδομένων σε λίγα μόνο χιλιοστά του δευτερολέπτου. Εκτός από τη μείωση της καθυστέρησης δικτύου θα μειωθεί σημαντικά και η λανθάνουσα κατάσταση των 6G η οποία αναμένεται να είναι πέντε φορές μικρότερη από τα δίκτυα 5G με εύρος από 1 ms (χιλιοστό του δευτερολέπτου) έως 1 μs (μικροδευτερόλεπτο). Τα 6G θα είναι σε θέση να υποστηρίξουν την απρόσκοπτη μεταφορά και επεξεργασία μεγάλων όγκων δεδομένων με γρήγορους ρυθμούς, κάτι που θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την λειτουργία τεχνολογιών όπως οι εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας και τεχνητής νοημοσύνης, οι οποίες απαιτούν πρόσβαση και επεξεργασία μεγάλων συνόλων δεδομένων. Η μείωση της καθυστέρησης και η σχεδόν στιγμιαία απόκριση θα είναι ιδιαίτερα σημαντική τις τεχνολογίες που απαιτούν άμεση επικοινωνία και μετάδοση σε πραγματικό χρόνο όπως η τηλεχειρουργική και η ολογραφική επικοινωνία. Για τον λόγο αυτό τα δίκτυα 6G θα χρησιμοποιήσουν τεχνολογίες όπως το eMBB (Enhanced Mobile Broadband) και URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communications).

Το eMBB είναι μια από υπηρεσίες που προσφέρει αυξημένο εύρος ζώνης και αρκετά μειωμένο λανθάνοντα χρόνο και ήδη χρησιμοποιείται από τα δίκτυα 5G. Στόχος του eMBB των 6G δικτύων είναι να μπορέσει να υποστηρίξει επικοινωνίες που απαιτούν πολύ υψηλό ρυθμό δεδομένων, όπως

η ολογραφική επικοινωνία, να βελτιώσει τη χωρητικότητα δικτύου και να υποστηρίξει τη λειτουργία εφαρμογών που απαιτούν υψηλό εύρος ζώνης. Το eMBB θα αυξήσει το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές δικτύων και να προσφέρει υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης και λήψης δεδομένων. Το eMBB αναμένεται να μειώσει την καθυστέρηση και λανθάνοντα χρόνο βελτιώνοντας την ασύρματη επικοινωνία χρηστών και τη λειτουργία κρίσιμων και διαδραστικών εφαρμογών που απαιτούν μετάδοση σε πραγματικό χρόνο. Ακόμη, βελτιώνοντας τη χωρητικότητα θα υπάρχει απρόσκοπτη συνδεσιμότητα χρηστών θα δημιουργηθούν περιβάλλοντα υψηλής κυκλοφορίας τα οποία θα φιλοξενούν την ίδια στιγμή περισσότερους χρήστες με χαμηλή καθυστέρηση.

Από την άλλη πλευρά το URLLC αποτελεί και αυτό υπηρεσία του 5G, προσφέρει αρκετά αξιόπιστες επικοινωνίες χαμηλής καθυστέρησης με μειωμένο λανθάνοντα χρόνο και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για εφαρμογές που απαιτούν αξιόπιστη σύνδεση σε πραγματικό χρόνο. Στόχος του είναι να ελαχιστοποιήσει τη χρονική καθυστέρηση και τα ποσοστά σφάλματος κατά τη διάρκεια μετάδοσης και λήψης δεδομένων εξασφαλίζοντας τον αποτελεσματικότερο προγραμματισμό μεταφοράς δεδομένων και επικαλυπτόμενων μεταδόσεων. Το URLLC αποσκοπεί έναν ντετερμινιστικό τρόπο επικοινωνίας όπου η συμπεριφορά του δικτύου θα είναι προβλέψιμη. Με αυτόν τον τρόπο θα επιτρέπει τον υπολογισμό και ακριβή έλεγχο του χρόνου και της μετάδοσης δεδομένων για τις τεχνολογίες που ο χρόνος αποτελεί κρίσιμο παράγοντα.

Η χρήση αυτών των τεχνολογιών θα είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον τομέα υγείας για εφαρμογές ευαίσθητες στον χρόνο που απαιτούν αξιόπιστη σύνδεση, επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης και υψηλή ταχύτητα, όπως η τηλεχειρουργική και ολογραφική επικοινωνία.

5.3.2 Βελτιστοποίηση Φάσματος

Τα δίκτυα 6G προβλέπεται να χρησιμοποιούν ασύρματο φάσμα με υψηλότερη εμβέλεια από αυτό που χρησιμοποιούσαν οι προγενέστερες γενιές δικτύων, με σκοπό να πετύχουν ταχύτερη μετάδοση δεδομένων. Η βελτιστοποίηση φάσματος αποτελεί μια κρίσιμη πτυχή των δικτύων ασύρματης επικοινωνίας για τον λόγο αυτό οι ερευνητές με την ανάπτυξη των δικτύων 6G στοχεύουν να διευρύνουν τη ζώνη φάσματος και να πετύχουν καλύτερη απόδοση και αποτελεσματικότητα. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να λειτουργούν για υψηλότερες συχνότητες φτάνοντας τη ζώνη των Terahertz (THz) και συγκεκριμένα με εύρος από 95 GHz (1 Gigahertz = 10 στην ενάτη Hz) έως 3 THz (1 Terahertz = 10 στη δωδεκάτη Hz), σε αντίθεση με τα 5G που λειτουργούν για συχνότητες από 6 GHz έως 24,25 GHz [20]. Το σήμα THz αυξάνει το εύρος ζώνης και τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων προσφέροντας μεγαλύτερη ταχύτητα και χωρητικότητα [27]. Η βελτιστοποίηση φάσματος θα αυξήσει σημαντικά τη χωρητικότητα καναλιού καθιστώντας δυνατή την υποστήριξη υπηρεσιών όπως η ασύρματη μετάδοση βίντεο υψηλής ευκρίνειας και επικοινωνίες μεταξύ μικρών IoT συσκευών χαμηλής κατανάλωσης. Ακόμη, θα προσφέρουν υψηλότερες επιδόσεις, μεγαλύτερη αξιοπιστία και κάλυψη δικτύου. Τα 6G θα μπορέσουν να υποστηρίξουν μια νέα τεχνολογία, τις επικοινωνίες Terahertz (THz) [5] οι οποίες θα λειτουργούν σε ακόμη υψηλότερες συχνότητες, η ζώνη των οποίων θα κυμαίνεται από 0,1 THz (1 Terahertz = 10 στην δωδεκάτη Hz) έως 10 THz και

θα είναι σε θέση να υποστηρίξουν μετάδοση terabit-per-second. Το υψηλό εύρος ζώνης και τα μικρά μήκη κύματος αυτών των τεχνολογιών θα καλύψουν τους περιορισμούς φάσματος και χωρητικότητας που αντιμετώπιζαν τα 5G δίκτυα και οι προηγούμενες γενιές δικτύων, επιτρέποντας την ανάπτυξη και λειτουργία αναδυόμενων εφαρμογών που απαιτούν υψηλό αριθμό δεδομένων όπως η εικονική πραγματικότητα. Άλλο ένα πλεονέκτημα των επικοινωνιών αυτών είναι ότι σε αντίθεση με τα συστήματα επικοινωνίας mmWave, τα συστήματα επικοινωνιών Terahertz δεν θα είναι ευαίσθητα στις καιρικές συνθήκες και δεν θα επηρεάζονται από συνθήκες όπως ο αέρας και τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Με τις επικοινωνίες THz θα επιτευχθεί απρόσκοπτη ασύρματη ενσωμάτωση και μεταφορά πληροφοριών και ενέργειας (Wireless Information and Energy Transfer - WIET), δηλαδή τα δίκτυα 6G θα μεταφέρουν ισχύ για την φόρτιση της μπαταρίας συσκευών όπως smartphones και αισθητήρες [14]

Τα δίκτυα 6G προβλέπεται να χρησιμοποιήσουν τεχνικές κοινής χρήσης φάσματος, οι οποίες θα περιλαμβάνουν δυναμική κατανομή και πρόσβαση φάσματος, κοινή χρήση πόρων και τεχνολογιών μεταξύ πολλαπλών φορέων ανάλογα τη ζήτηση και διαθεσιμότητα. Μια τεχνική που θα ακολουθήσουν τα δίκτυα 6G ονομάζεται “network slicing” η οποία διαμοιράζει το δίκτυο (physical network) σε πολλά εικονικά δίκτυα κάθε ένα από τα οποία θα έχει προσαρμοστεί κατάλληλα για συγκεκριμένη περίπτωση, όπως η κατανομή πόρων φάσματος. Το network slicing οδηγεί στην αποτελεσματική κατανομή και χρήση φάσματος για την εκτέλεση διαφορετικών εφαρμογών με συγκεκριμένες απαιτήσεις. Ακόμη, για τη καλύτερη βελτίωση απόδοσης και φάσματος τα δίκτυα 6G αναμένεται να χρησιμοποιήσουν τεχνολογίες πολλαπλής εισόδου – πολλαπλής εξόδου (Multiple- Input Multiple- Output – MIMO) και τεχνολογίες διαμόρφωσης δέσμης (Beamforming).

Πιο συγκεκριμένα, το MIMO είναι μια τεχνολογία κεραίας για ασύρματες επικοινωνίες, η οποία χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραίες τόσο από την πλευρά του πομπού όσο και του δέκτη, χρησιμοποιείται στις επικοινωνίες που απαιτούν υψηλό εύρος ζώνης και απουσία παρεμβολών [15]. Η τεχνολογία αυτή έχει ως στόχο την μείωση του αριθμού σφαλμάτων, την αύξηση ταχύτητας δεδομένων και τη βελτίωση χωρητικότητας, έχει ήδη χρησιμοποιηθεί και από τις προηγούμενες γενιές δικτύων όμως οι ερευνητές στοχεύουν στην βελτίωση της για την επίτευξη των μέγιστων δυνατών αποτελεσμάτων με την άφιξη των 6G δικτύων. Οι ερευνητές συγκεκριμένα θέλουν να πέτυχουν μέγιστο MIMO (Massive MIMO) το οποίο θα χρησιμοποιεί πολύ μεγάλο αριθμό κεραιών σε αντίθεση με τα υπάρχον συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν συνήθως από 2 έως 4 κεραίες. Αυτό θα δώσει τη δυνατότητα στον σταθμό βάσης να μπορεί να εξυπηρετήσει την ίδια χρονική στιγμή πολλούς χρήστες με χωρικά πολυπλεγμένα σήματα, αυξάνοντας έτσι τη φασματική απόδοση, χωρητικότητα και κάλυψη. Οι τεχνολογίες MIMO πρόκειται να ενσωματώσουν και να χρησιμοποιήσουν “έξυπνες” συστοιχίες κεραιών με έξυπνες ικανότητες διαμόρφωσης δέσμης (beamforming). Με άλλα λόγια οι κεραίες αυτές θα είναι σε θέση να προσαρμόσουν δυναμικά τα μοτίβα διαμόρφωσης δέσμης λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες καναλιού και την τοποθεσία χρήστη σε πραγματικό χρόνο.

Από την άλλη πλευρά, η διαμόρφωση δέσμης είναι μια τεχνολογία διαχείρισης ραδιοσυχνότητας η οποία ελαχιστοποιεί τις παρεμβολές, χρησιμοποιείται στις ασύρματες επικοινωνίες για να κατευθύνει τα ραδιοκύματα σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις ή προς έναν συγκεκριμένο δέκτη για τη μετάδοση και λήψη σήματος. Η τεχνολογία αυτή στοχεύει την βελτίωση της ισχύος και

ποιότητας του σήματος, έχει διάφορες τεχνικές λειτουργίες ανάλογα την εφαρμογή της και έχει ήδη χρησιμοποιηθεί ευρέως από τα δίκτυα 5G. Τα δίκτυα 6G με την λειτουργία του Massive MIMO θα μπορέσουν να εκτελούν beamforming υψηλού βαθμού χωρικής ακρίβειας, δημιουργώντας δέσμες υψηλής εστίασης οι οποίες θα βελτιώσουν την ισχύ και ποιότητα του σήματος μειώνοντας τις παρεμβολές. Το beamforming των 6G δικτύων θα χρησιμοποιεί “έξυπνους” αλγόριθμους οι οποίοι με την βοήθεια τεχνικών μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης θα προσαρμόσουν μοτίβα διαμόρφωσης δέσμης λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες καναλιού, την ισχύ σήματος, την τοποθεσία και παρεμβολές χρήστη σε πραγματικό χρόνο, προσφέροντας ταυτόχρονα καλύτερη απόδοση και αποτελεσματικότητα. Τα δίκτυα 6G για τη βελτιστοποίηση φάσματος και καλύτερη απόδοση δικτύου θα ακολουθήσουν μια “έξυπνη” τακτική συσσώρευσης φάσματος η οποία θα συνδυάζει πόρους φάσματος από διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων αυξάνοντας το διαθέσιμο εύρος ζώνης για την επίτευξη υψηλότερων ρυθμών δεδομένων και εκτέλεση περισσότερων ειδών εφαρμογών. Μια τεχνική που χρησιμοποιεί το beamforming ονομάζεται beamforming χωρικής πολυπλεξίας “spatial multiplexing” η οποία μεταδίδει τη ίδια χρονική στιγμή ανεξάρτητες ροές δεδομένων από ξεχωριστά κανάλια στην ίδια ζώνη συχνοτήτων. Η τεχνική αυτή μπορεί να προσφέρει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, αύξηση της χωρητικότητας και βελτίωση της φασματικής απόδοσης καθώς επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση ροών δεδομένων. Μια άλλη τεχνική που θα προσφέρει το beamforming ονομάζεται “Hybrid Beamforming” το οποίο συνδυάζει το αναλογικό και ψηφιακό beamforming, αναμένεται να ισορροπήσει την απόδοση του συστήματος, να ξεπεραστούν οι πολυπλοκότητες του ψηφιακού beamforming και να βελτιωθεί η ποιότητα του σήματος [26]

Τα καινούργια κυψελοειδή δίκτυα 6G θα περιέχουν φάσμα που αποτελείται από mmWave (κύμα χιλιοστού – κύμα MM) πρόκειται για ένα εύρος ραδιοσυχνοτήτων που ανήκει στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, το οποίο λειτουργεί σε υψηλότερες συχνότητες και μπορεί να υποστηρίξει μετάδοση μεγαλύτερου όγκου δεδομένων με υψηλή ταχύτητα και αυξημένη χωρητικότητα. Το mmWave θα υποστηρίξει φασματικό εύρος ζώνης έως 400 MHz (1 Megahertz = 10 στην έκτη Hz) για ζώνες μεσαίας συχνότητας και από 30 GHz (1 Gigahertz = 10 στην ενάτη Hz) έως 300 GHz για ζώνες υψηλής συχνότητας. Το mmWave χρησιμοποιείται για υπηρεσίες που απαιτούν ευρύ φάσμα και υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων όπως υπηρεσίες κινητών τηλεφώνων, μετάδοσης βίντεο με υψηλή ευκρίνεια, ασύρματες επικοινωνίες και τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών. Το Beamforming θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τις συχνότητες mmWave εξαιτίας του περιορισμένου εύρους διάδοσης τους, το οποίο οφείλεται σε παράγοντες όπως τα μικρά μήκη κύματος που διαθέτουν, την ευαισθησία τους σε πιθανά εμπόδια, τις μικρές αποστάσεις κάλυψης και τη μεγάλη απώλεια διαδρομής.

Η βελτιστοποίηση φάσματος είναι ιδιαίτερα σημαντική στον τομέα υγείας για την επικοινωνία μεταξύ γιατρών και ασθενών, τη λειτουργία ασύρματων συστημάτων παρακολούθησης και εφαρμογών τηλεϊατρικής. Η βελτιστοποίηση φάσματος διασφαλίζει ότι τα συστήματα αυτά θα λειτουργούν σε κατάλληλες ζώνες συχνοτήτων, με υψηλή ποιότητα, χωρίς κίνδυνο παρεμβολών, εξασφαλίζοντας αξιόπιστη επικοινωνία.

5.3.1 Ενίσχυση χωρητικότητας

Τα δίκτυα 6G αναμένεται να ενισχύσουν σημαντικά τη χωρητικότητα του δικτύου μέσα από την υποστήριξη τεχνολογιών και τεχνικών που θα αυξήσουν την ικανότητα του δικτύου να διαχειρίζεται και να λαμβάνει ως είσοδο μεγαλύτερη κίνηση δεδομένων παρέχοντας ταυτόχρονα υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Η κύρια μέθοδος για την ενίσχυση της χωρητικότητας είναι με την αύξηση του διαθέσιμου φάσματος. Τα δίκτυα 6G θα χρησιμοποιήσουν νέες, υψηλότερες ζώνες συχνοτήτων όπως terahertz διευρύνοντας τη ζώνη μετάδοσης των δεδομένων αυξάνοντας έτσι τον αριθμό των χρηστών που θα μπορούν να εξυπηρετηθούν. Η πανδημία του COVID-19 προκάλεσε καταστροφές και τεράστιες αλλαγές σε όλους τους τομείς κλονίζοντας ιδιαίτερα το σύστημα υγείας. Οι φορείς δικτύων μετά το πρώτο κύμα της πανδημίας, εφόσον εκτίμησαν την κατάσταση του συστήματος υγείας, τις απαιτήσεις και ελλείψεις που υπήρχαν επικεντρώθηκαν στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη υποδομής ενός νέου δικτύου ειδικά για τα σενάρια καταστροφής όπως η πανδημία. Στα σενάρια καταστροφής η ενίσχυση της χωρητικότητας είναι μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις ιδιαίτερα για τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης τα οποία φορτίζονται από το υψηλό φορτίο, τον μεγάλο αριθμό ασθενών και της μεγάλης κλίμακας χρήσης των IoMT συσκευών. Σήμερα, η εξυπηρέτηση και εξέταση των ασθενών τόσο εντός του νοσοκομείου όσο και απομακρυσμένα γίνεται με την υποδομή επικοινωνίας RF η οποία βασίζεται σε ζώνες χαμηλών συχνοτήτων όμως, με τις τρέχουσες εξελίξεις και απαιτήσεις η υποδομή αυτή δεν είναι πλέον επαρκής. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να εφαρμοστούν και να αξιοποιηθούν ζώνες υψηλής συχνότητας όπως για παράδειγμα ζώνες MIMO (multiple-input multiple-output) οι οποίες θα βελτιώσουν την συνολική χωρητικότητα του δικτύου χρησιμοποιώντας μεγάλο αριθμό κεραιών τόσο από τη πλευρά του πομπού όσο και του δέκτη.

Ένας άλλος τρόπος με τον οποίο θα μπορούσε να ενισχυθεί η χωρητικότητα και συγκεκριμένα στους εσωτερικούς χώρους είναι μέσω της Επικοινωνίας Ορατού Φωτός (Visible Light Communication), η οποία χρησιμοποιεί κοινούς λαμπτήρες φθορισμού για την μετάδοση σημάτων στα 10 kbits/ LED για έως και 500 Mbits σε μικρές αποστάσεις και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο επικοινωνίας για πανταχού παρόντες υπολογιστές καθώς οι συσκευές παραγωγής φωτός χρησιμοποιούνται παντού. Ακόμη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναέρια δίκτυα όπως τα HAPS (Συστήματα Πλατφόρμας Μεγάλου Υψομέτρου - High Altitude Platform Station) τα οποία θα συμβάλλουν στην επεκτασιμότητα του δικτύου και την αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος υγειονομικής περίθαλψης όπως και τα UAV (Μη Επανδρωμένα Εναέρια Οχήματα – Unmanned Aerial Vehicles) τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις περιπτώσεις καταστροφών ή έκτακτης ανάγκης όταν είναι μεγάλη η ανάγκη για πρόσθετη χωρητικότητα στα νοσοκομεία. Έχοντας ενσωματωμένη την δυνατότητα πανοραμικής αντανάκλασης τα UAV επιτρέπουν την ελεύθερη κινητικότητα και αντανάκλαση των σημάτων προς το νοσοκομείο, λαμβάνοντας τα διαθέσιμα κανάλια από τα γειτονικά κύτταρα. Η τεχνολογία AmBC γνωστή και ως συμβιωτική (symbiotic radio) είναι σε θέση να υποστηρίξει τέτοιες συσκευές, κάτι που μπορούν να εκμεταλλευτούν οι IoMT συσκευές για να κάνουν κοινή χρήση φάσματος και να επιτύχουν επικοινωνία εξαιρετικά χαμηλής ισχύος. Άλλη μια τεχνική είναι το network slicing κατά το οποίο διαμοιράζεται το δίκτυο σε μικρότερα τμήματα καθένα από τα οποία είναι εξοπλισμένο με τους δικούς του πόρους και χωρητικότητα ώστε να καλυφθούν αποτελεσματικά οι απαιτήσεις ανάλογα τη ζήτηση.

Η ενίσχυση της χωρητικότητας θα συμβάλει σημαντικά στον τομέα υγείας καθώς θα επεκτείνει την εμβέλεια εφαρμογών, την ταυτόχρονη εξυπηρέτηση ασθενών και τη διεξαγωγή απομακρυσμένων εφαρμογών τηλεϊατρικής. Οι τεχνολογίες αυτές θα μπορέσουν να υποστηριχτούν από τα δίκτυα 6G με σκοπό να επιτευχθεί βελτίωση της συνδεσιμότητας και ενεργειακής απόδοσης και να αυξηθεί η χωρητικότητα για την αποτελεσματική λειτουργία εφαρμογών που είναι ευαίσθητες στη καθυστέρηση (latency-sensitive applications) όπως η ολογραφική επικοινωνία και οι εφαρμογές εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας.

5.3.1 Ενίσχυση κάλυψης

Η κάλυψη και συνδεσιμότητα του δικτύου αποτελούν δυο από τις βασικότερες προϋποθέσεις για την ομαλή λειτουργία και επικοινωνία των συστημάτων υγειονομικής περίθαλψης. Η κάλυψη του δικτύου στο νοσοκομείο είναι περιορισμένη παρά την χρήση των Wi-Fi δικτύων, τα οποία διευκολύνουν και επιταχύνουν την επικοινωνία μεταξύ γιατρών και ασθενών εντός του νοσοκομείου, λόγω της πολυπλοκότητας της φυσικής δομής του νοσοκομείου και των ευαίσθητων συσκευών. Η κάλυψη του δικτύου στις ευαίσθητες συσκευές περιορίζεται σοβαρά από τα ζητήματα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών (Electromagnetic Interference - EMI) ή αλλιώς παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων. Τα ζητήματα αυτά αφορούν κυρίως τον θόρυβο ή την παρεμβολή του κυκλώματος που προκαλείται από κάποια εξωτερική πηγή, φυσική ή ανθρωπογενή και μπορεί να προκαλέσει διαταραχή της κανονικής λειτουργίας του συστήματος, δυσλειτουργία και σε κάποιες περιπτώσεις διακοπή λειτουργίας. Ένα παράδειγμα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών από φυσικά αίτια που μπορούν να επηρεάσουν τις ευαίσθητες συσκευές είναι οι κεραυνοί, οι οποίοι παράγουν ισχυρές ηλεκτροστατικές εκκενώσεις και μαγνητικούς παλμούς. Οι αντίξοες καιρικές συνθήκες όπως οι καταιγίδες και οι ηλιακές εκλάμψεις εκπέμπουν πολύ ισχυρά φορτισμένα σωματίδια τα οποία μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στις δορυφορικές και επίγειες επικοινωνίες. Οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές που οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα μπορεί να προκύψουν από ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς, ηλεκτρομαγνητικές ή ηλεκτρικές πηγές υψηλής ισχύος και την δυσλειτουργία ή λανθασμένη σχεδίαση καταναλωτικών συσκευών. Ο ηλεκτρομαγνητικός παλμός (Electromagnetic Pulse -EMP) είναι μια μικρή έκρηξη ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας και μπορεί να διακόψει την επικοινωνία και να καταστρέψει τον εξοπλισμό.

Για την ενίσχυση της κάλυψης μπορεί να αναπτυχθεί σε ορισμένα σημεία του νοσοκομείου ένα σύστημα πληροφοριών ακτινολογίας (Radiology Information System - RIS), το οποίο με τη βοήθεια των 6G δικτύων θα χρησιμοποιείται για την διαχείριση και μετάδοση ιατρικών δεδομένων, αρχείων και εικόνων. Ένα σύστημα RIS μπορεί να παρακολουθεί ολόκληρο το ακτινολογικό ιστορικό ενός ασθενή από την αρχή της εισόδου του έως και την έξοδο, να δημιουργεί στατιστικές αναφορές για έναν ή μια ομάδα ασθενών, να συντονίζει το ιστορικό με προηγούμενα, τωρινά και μελλοντικά ραντεβού του και να παρακολουθεί την εξέλιξη της πορείας του ασθενή εντός του ακτινολογικού τμήματος. Η επεξεργασία αυτών των δεδομένων θα γίνεται χάρη στα δίκτυα 6G με υψηλή ταχύτητα και στη συνέχεια θα γίνεται αποθήκευση και μεταφορά αυτών των ιατρικών δεδομένων για κάθε ασθενή σε μια βάση δεδομένων αυξημένης χωρητικότητας.

Ακόμη μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες όπως οι πλατφόρμες μεγάλου υψομέτρου (High Altitude Platforms - HAP) και τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (Unmanned Aerial Vehicles - UAV) τα οποία εκτός από την ενίσχυση χωρητικότητας θα συμβάλλουν και στην ενίσχυση κάλυψης, ιδιαίτερα για τις απομακρυσμένες περιοχές ή περιοχές με προβλήματα υποδομής δικτύου. Ο ρόλος των HAP θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμος καθώς θα μπορέσουν να λειτουργήσουν ως σταθμοί βάσης ή κόμβοι αναμετάδοσης δεδομένων και πληροφοριών σε υψηλά υψόμετρα, ενισχύοντας τη κάλυψη και συνδεσιμότητα δικτύου ιδιαίτερα για τις περιοχές όπου δεν θα επαρκούσε η χρήση των επίγειων δικτύων. Τα HAP μπορούν να δημιουργηθούν και σε φορητή μορφή ενθαρρύνοντας τη κινητικότητα τους και τη προσαρμογή τους σε απρόοπτες καταστάσεις όπου συνδυασμό με τα εναέρια UAV μπορούν μέσω των 6G να μετακινηθούν με σκοπό να παρέχουν σε πραγματικό χρόνο στοχευμένη κάλυψη ανάλογα τις απαιτήσεις και ανάγκες δικτύου όπως για παράδειγμα κατά τη διάρκεια μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης.

Άλλοι τρόποι για την βελτίωση κάλυψης περιλαμβάνουν τα δίκτυα ad-hoc τα οποία αποτελούν ένα τύπο τοπικού δικτύου (LAN) που δημιουργείται αυθόρμητα για να επιτρέψει σε δύο ή περισσότερες ασύρματες συσκευές να συνδέονται μεταξύ τους χωρίς ειδικό εξοπλισμό. Μια διεπαφή οποιουδήποτε τύπου υπολογιστή ή smartphone αρκεί για να δημιουργηθεί το ad-hoc δίκτυο, οι συσκευές του οποίου λειτουργούν ως ασύρματοι δρομολογητές και μπορούν να έχουν πρόσβαση και να ανταλλάζουν δεδομένα μεταξύ τους μέσω των λειτουργιών peer-to-peer ή point-to-multipoint κι έτσι δεν είναι απαραίτητη η παρουσία και χρήση κεντρικών διακομιστών. Τα δίκτυα 6G στοχεύουν να ενισχύσουν την κάλυψη των αστικών κέντρων και πυκνοκατοικημένων περιοχών όπου υπάρχει μεγάλη ανάγκη και ζήτηση συνδεσιμότητας και κίνησης δεδομένων. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω της εγκατάστασης μικρών κυψελών (small cells) στα αστικά κέντρα, τα οποία θα ενισχύουν τοπικά τη κάλυψη ανάλογα τον αριθμό και τις απαιτήσεις των χρηστών βελτιώνοντας ταυτόχρονα και τη χωρητικότητα του δικτύου. Ακόμη, τα δίκτυα 6G θα ενισχύσουν την κάλυψη και των απομακρυσμένων περιοχών βελτιώνοντας τη λειτουργία των δορυφορικών δικτύων και των επίγειων σταθμών μεγάλης κλίμακας (terrestrial macrocells) οι οποίοι παρέχουν ευρεία κάλυψη περιοχής και δυνατότητα πρόσβασης στο δίκτυο. Με άλλα λόγια θα αυξήσουν μέσω των εξελιγμένων κεραιών την ισχύ μετάδοσης σήματος και δεδομένων επεκτείνοντας τη κάλυψη δικτύου για τις απομακρυσμένες περιοχές όπως οι αγροτικές, ορεινές περιοχές και τα προάστια.

Για τη βελτίωση των δορυφορικών δικτύων να χρησιμοποιηθούν δορυφόροι χαμηλής τροχιάς LEO οι οποίοι θα αναμένεται να γεφυρώσουν το χάσμα μεταξύ επίγειων και δορυφορικών συστημάτων πετυχαίνοντας παγκόσμια συνδεσιμότητα κάλυψη και δικτύου. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να υιοθετήσουν μια νέα τεχνική τη δυναμική πρόσβαση φάσματος (Dynamic Spectrum Access) κατά την οποία δίνεται η δυνατότητα στα δίκτυα να έχουν πρόσβαση σε αχρησιμοποίητες ζώνες συχνοτήτων και γίνεται δυναμικά η κατανομή πόρων φάσματος με σκοπό να ενισχύσουν την κάλυψη για τις περιπτώσεις συμφόρησης της κίνησης δικτύου. Μια άλλη λύση είναι η εγκατάσταση κόμβων αναμετάδοσης (relay nodes) οι οποίοι με τη βοήθεια των 6G δικτύων θα μπορέσουν να ενισχύσουν την αξιοπιστία κάλυψης και συνδεσιμότητας προωθώντας σήματα και δεδομένα μετάδοσης σε περιοχές με περιορισμούς κάλυψης όπου αλλοιώνεται η ποιότητα του σήματος με αποτέλεσμα να διακόπτεται ή να εξασθενεί η ασύρματη επικοινωνία από παράγοντες όπως

κτηριακές υποδομές, στενοί δρόμοι, ψηλές εγκαταστάσεις κτιρίων και πολυκατοικίες. Οι κόμβοι αναμετάδοσης έχουν συμπληρωματικό ρόλο ως μια ενδιάμεση λειτουργία μεταξύ του σταθμού βάσης και της συσκευής χρήσης, χρησιμοποιούνται κυρίως για την αντιμετώπιση των προβλημάτων κάλυψης, την επέκταση εμβέλειας και κάλυψης του δικτύου [17]. Η διαδικασία αυτή με τη βοήθεια του 6G μπορεί να γίνει σε πραγματικό χρόνο αποφεύγοντας τη διαταραχή της ομαλής λειτουργίας της ασύρματης επικοινωνίας, βελτιώνοντας τη μετάδοση, ποιότητα σήματος και τη κάλυψη δικτύου με σκοπό να παραμείνει αναλλοίωτη η σύνδεση και μεταφορά δεδομένων από τον σταθμό βάσης στον χρήστη.

Η ενίσχυση κάλυψης θα βελτιώσει σημαντικά την απομακρυσμένη πρόσβαση σε ιατρικές υπηρεσίες χωρίς γεωγραφικούς περιορισμούς, θα ενισχύσει τη διαχείριση και μετάδοση ιατρικών δεδομένων, τη ποιότητα σήματος και τη διασφάλιση αξιόπιστης σύνδεσης από τον σταθμό βάσης στον χρήστη.

5.3.2 Βελτιστοποίηση επικοινωνίας με χαμηλή καθυστέρηση

Τα δίκτυα 6G στοχεύουν να ενισχύσουν σημαντικά τη ταχύτητα μετάδοσης και επικοινωνίας επιτρέποντας τη λειτουργία ενός ευρύ φάσματος εφαρμογών. Η υψηλή ταχύτητα μετάδοσης και επικοινωνίας με μειωμένη ταχύτητα και μικρό λανθάνοντα χρόνο είναι ιδιαίτερα σημαντική στον τομέα υγείας. Στα συστήματα υγείας η συνεχής επικοινωνία με χαμηλή καθυστέρηση και υψηλή αξιοπιστία είναι ζωτικής σημασίας ιδιαίτερα για την παροχή απομακρυσμένης υγειονομικής περίθαλψης και για τις υπηρεσίες αντιμετώπισης καταστροφών και έκτακτης ανάγκης. Μια σημαντική υπηρεσία υγειονομικής περίθαλψης που προσφέρεται απομακρυσμένα απαιτεί εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία με χαμηλή καθυστέρηση είναι η απομακρυσμένη χειρουργική ή τηλεχειρουργική η οποία γίνεται με την βοήθεια ρομποτικών συστημάτων, αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης (machine learning - ML) [16]

Για την βελτίωση και παροχή αξιόπιστης επικοινωνίας με χαμηλή καθυστέρηση τα δίκτυα 6G αναμένεται να ενσωματώσουν στα “έξυπνα” ασθενοφόρα μια νέα τεχνική που ονομάζεται κοινή επικοινωνία ραντάρ (Joint Radar Communication - JRC). Η κοινή επικοινωνία ραντάρ αναφέρεται στην ενοποίηση των συστημάτων ραντάρ με τα συστήματα επικοινωνίας με σκοπό να επιτευχθεί συγχρονισμός λειτουργιών. Τα δίκτυα 6G σε συνδυασμό με το JRC μπορούν να πέτυχουν ταυτόχρονη ανίχνευση και επικοινωνία ραντάρ με σκοπό να πέτυχουν αξιόπιστη επικοινωνία υψηλής ταχύτητας με χαμηλή καθυστέρηση, αξιοποιώντας ζώνες υψηλότερης συχνότητας όπως mmWave και terahertz. Τα JRC μπορούν αξιοποιώντας τις δυνατότητες των 6G να υποστηρίξουν ταυτόχρονη ανίχνευση για τη διεξαγωγή λειτουργιών ανίχνευσης όπως ο εντοπισμός και ανίχνευση αντικειμένων, η παρακολούθηση και ανίχνευση του δικτύου για τον εντοπισμό απειλών. Αυτά θα οδηγήσουν στην κατανόηση και έλεγχο δικτύου και βελτιστοποίηση της επικοινωνίας.

Ακόμη, μπορεί να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες όπως η ευφυΐα άκρων (edge intelligence) και πλατφόρμες NTN κατά τις οποίες θα επιτευχθούν υψηλή κινητικότητα των οχημάτων και

μεγαλύτερη κάλυψη περιοχών. Η ευφυΐα άκρων αναφέρεται στην επεξεργασία δεδομένων και εκτέλεση εργασιών που έχουν ως βάση την τεχνητή νοημοσύνη. Η τεχνολογία αυτή μειώνει σημαντικά τον λανθάνοντα χρόνο καθώς δεν απαιτείται αποστολή δεδομένων για επεξεργασία διότι η επεξεργασία γίνεται τοπικά. Αυτό σημαίνει ότι τέτοιες υπηρεσίες με την βοήθεια των 6G θα μπορούν να οδηγήσουν στη βέλτιστη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, με γρήγορους ρυθμούς χρησιμοποιώντας κατάλληλους αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης. Οι πλατφόρμες NTN (New Technology Network) αναφέρονται σε νέες εξελιγμένες ψηφιακές πλατφόρμες για την παροχή καινοτόμων λύσεων οι οποίες χρησιμοποιούν προηγμένες τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη, το διαδίκτυο των πραγμάτων και το edge computing. Η παρουσία των τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης θα οδηγήσει στην αυτονομία των συστημάτων για την παροχή βέλτιστων λύσεων σε μικρό χρονικό διάστημα με χαμηλά ποσοστά σφαλμάτων. Οι πλατφόρμες αυτές σε συνδυασμό με τις υψηλές ταχύτητες που αναμένεται να επιφέρουν τα δίκτυα 6G θα δημιουργήσουν εφαρμογές οι οποίες θα επιτρέπουν την επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μειώνοντας σημαντικά τη καθυστέρηση. Τα δίκτυα 6G προκειμένου να ενισχύσουν τις λειτουργίες των NTN πλατφορμών θα ενσωματώσουν τεχνολογίες IoT για την ενίσχυση του αριθμού εξυπηρετήσης χρηστών, αυξάνοντάς τη χωρητικότητά δικτύου, κάτι που θα επιτρέψει την εξυπηρετήση μεγαλύτερου αριθμού χρηστών σε πραγματικό χρόνο μειώνοντας τον χρόνο αναμονής και απόκρισης δικτύου.

Τα δίκτυα 6G αναμένεται να χρησιμοποιήσουν εναέριες τεχνολογίες όπως η δορυφορική επικοινωνία, πλατφόρμες υψηλού υψομέτρου (HAP) και χρήση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAV) με σκοπό να ενισχύσουν την επικοινωνία παρέχοντας αξιόπιστη σύνδεση με χαμηλή καθυστέρηση και παγκόσμια συνδεσιμότητα και κάλυψη. Οι εναέριες τεχνολογίες θα καλύψουν γεωγραφικούς περιορισμούς που αντιμετωπίζουν τα επίγεια δίκτυα ενισχύοντας την επικοινωνία ανεξάρτητα της τοποθεσίας χρήστη και υποδομών δικτύου. Τα δίκτυα 6G θα υποστηρίξουν μια νέα τεχνική με όνομα διαμοιρασμός δικτύου (network slicing) κατά την οποία διαμοιράζεται το δίκτυο σε μικρότερα μέρη, παρέχοντας καλύτερη κατανομή πόρων όπως φάσμα και εύρος ζώνης σύμφωνα με τη ζήτηση και απαιτήσεις. Οι εφαρμογές που είναι ευαίσθητες στη καθυστέρηση μπορούν να αξιοποιήσουν αυτή τη τεχνολογία για συμπληρωματική χρήση πόρων σε περιπτώσεις καθυστέρησης. Τα δίκτυα 6G θα υποστηρίξουν τεχνολογίες υπολογιστών αιχμής (edge computing) οι οποίες διαθέτουν ειδικούς αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης που επεξεργάζονται με γρήγορους ρυθμούς δεδομένα, παρέχοντας ακριβή αποτελέσματα ενισχύοντας την ταχύτητα και μειώνοντας τα ποσοστά σφάλματος. Οι τεχνολογίες αυτές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για τον τομέα υγείας καθώς η πλειοψηφία των εφαρμογών τηλεϊατρικής απαιτούν την επεξεργασία και μετάδοση τεράστιου όγκου δεδομένων σε πραγματικό χρόνο [18]

Η τηλεϊατρική διαθέτει ορισμένες εφαρμογές οι οποίες είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση (latency-sensitive applications), δηλαδή αν υπάρχει μεγάλη καθυστέρηση επικοινωνίας ή ανταπόκρισης δικτύου η λειτουργία της θα διακοπεί καθώς δεν θα είναι πλέον αποτελεσματική. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι η τηλεδιάσκεψη, η απομακρυσμένη παροχή κλινικής βοήθειας και η τηλεχειρουργική. Στην περίπτωση της τηλεχειρουργικής αν η επικοινωνία και σύνδεση του γιατρού με το ρομποτικό σύστημα που εκτελεί απομακρυσμένα την επέμβαση δεν

γίνεται σε πραγματικό χρόνο με μηδενική καθυστέρηση μπορεί να προκύψουν δυσάρεστα ατυχήματα. Για τον λόγο αυτό τα δίκτυα 6G θα παρέχουν υψηλές ταχύτητες με αυξημένο εύρος ζώνης εισάγοντας νέες υψηλές ζώνες συχνοτήτων (MIMO), αυξημένη χωρητικότητα μειώνοντας έτσι τη καθυστέρηση μετάδοσης επικοινωνίας παρά την αυξημένη κίνηση δικτύου. Οι νέες υψηλότερες ζώνες συχνοτήτων θα είναι σε θέση να παρέχουν νέες τεχνολογίες όπως η τεχνολογία πολλαπλής εισόδου πολλαπλής εξόδου (Multiple Input-Multiple Output - MIMO), οι οποίες θα βελτιώσουν τη φασματική απόδοση, θα ενισχύσουν τη χωρητικότητα και ως αποτέλεσμα θα αυξήσουν τη ταχύτητα μειώνοντας σημαντικά τη καθυστέρηση.

Η βελτιστοποίηση επικοινωνίας με χαμηλή καθυστέρηση θα επιφέρει βελτίωση των συστημάτων επικοινωνίας του τομέα υγείας, άμεση παροχή υπηρεσιών σε πραγματικό χρόνο, επίτευξη ελάχιστων καθυστερήσεων και ποσοστών σφαλμάτων, άμεση αλληλεπίδραση γιατρού και ασθενή, μετάδοση ήχου και βίντεο σε πραγματικό χρόνο.

5.3.3 Ακριβής τοποθέτηση και εντοπισμός θέσης

Τα δίκτυα 6G αναμένεται να παρέχουν αξιόπιστες και προηγμένες τεχνολογίες για την ακριβή τοποθέτηση και εντοπισμό θέσης για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Οι τεχνολογίες αυτές θα προσφέρουν άμεσα πληροφορίες εντοπισμού με υψηλή ταχύτητα και ακρίβεια χάρη στη βοήθεια των 6G δικτύων, χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνικές και αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης και εντοπισμού θέσης. Τα συστήματα εντοπισμού θέσης διαθέτουν GPS, εξελιγμένες κάμερες υψηλής ευκρίνειας και πλήθος αισθητήρων, οι οποίοι μπορούν σε μικρό χρονικό διάστημα να ανιχνεύσουν και να εντοπίσουν τη τοποθεσία χρήστη. Τα δίκτυα 6G θα εγκαταστήσουν στα συστήματα αυτά αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης και εντοπισμού θέσης για την επίτευξη υψηλότερης ακρίβειας και αξιοπιστίας, βελτιώνοντας την απόδοσή τους. Ακόμη, τα δίκτυα 6G θα αξιοποιήσουν τεχνικές διαμόρφωσης δέσμης (beamforming) και κεραιών για τη βελτιστοποίηση της ισχύος του σήματος της ακρίβειας εντοπισμού και τη μείωση των παρεμβολών. Μια τεχνική που προβλέπεται να χρησιμοποιήσουν τα δίκτυα 6G είναι η υποστήριξη πολλαπλών συχνοτήτων και πολλαπλών αστερισμών (Multi-frequency and Multi-Constellation). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για τη διεξαγωγή αξιόπιστων και ακριβή πληροφοριών εντοπισμού θέσης κατά την οποία χρησιμοποιούνται πολλαπλές ζώνες συχνοτήτων και πολλαπλά δορυφορικά συστήματα αστερισμών. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να σχεδιαστούν με πυκνή υποδομή, πολλαπλούς σταθμούς βάσης και μικρές κυψέλες (cells), ενισχύοντας έτσι τη ακρίβεια και διαθεσιμότητα των σημάτων εντοπισμού θέσης κάτι ιδιαίτερα σημαντικό για τις πυκνοκατοικιμένες περιοχές με πολλαπλές υποδομές και υψηλές απαιτήσεις και κατευθύνσεις σήματος.

Ο εντοπισμός θέσης σε εξωτερικούς χώρους μπορεί να επιτευχθεί μέσω των συστημάτων GPS (Global Positioning System), ωστόσο τα GPS δεν μπορούν να παρέχουν ακριβή τοποθέτηση σε εσωτερικούς χώρους λόγω του περίπλοκου ηλεκτρομαγνητικού περιβάλλοντος διάδοσης. Στον τομέα υγείας ο εντοπισμός των ασθενών, ο συντονισμός τους με το ιατρικό προσωπικό και η έγκαιρη ανταπόκριση γίνεται μέσω των ασύρματων Wi-Fi δικτύων, όμως υπάρχει η πιθανότητα σε κάποιες περιοχές τα δίκτυα αυτά να μην έχουν πρόσβαση. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να προσφέρουν

μαζική συνδεσιμότητα και κάλυψη δικτύου, ενισχύοντας τη χωρητικότητα δικτύου καθιστώντας δυνατή την εξυπηρέτηση πολλών χρηστών ταυτόχρονα. Αυτό θα δώσει τη δυνατότητα στα δίκτυα 6G να υποστηρίξουν τη λειτουργία συνεργατικών τεχνικών κατά τις οποίες πολλά συστήματα εντοπισμού και σταθμοί βάσης ακόμη και από διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες, συνεργάζονται σε πραγματικό χρόνο για την επίτευξη κοινού στόχου. Οι συνεργατικές τεχνικές εντοπισμού (cooperative positioning and localization) θα ανταλλάσσουν πληροφορίες με υψηλή ταχύτητα χάρη στα δίκτυα 6G και θα προβαίνουν στη συλλογική επεξεργασία δεδομένων και λήψη αποφάσεων.

Τα δίκτυα 6G αναμένεται να χρησιμοποιούν υψηλότερες ζώνες συχνοτήτων συγκριτικά με τις προηγούμενες γενιές δικτύων ενισχύοντας με αυτόν τον τρόπο την ακρίβεια μετρήσεων και τον χρόνο εντοπισμού θέσης. Συνδυάζοντας το υψηλό εύρος ζώνης με τα μικρά μήκη κύματος των 6G θα μπορέσουν να υποστηριχθούν μετρήσεις που θα βοηθήσουν στον ακριβή εντοπισμό θέσης όπως ακριβής μέτρηση χρόνου άφιξης (time of arrival - ToA) και διαφοράς χρόνου άφιξης (time difference of arrival - TDoA). Ο εντοπισμός και η ακριβής τοποθέτηση θέσης είναι πολύ σημαντική για τον τομέα υγείας για την άμεση παροχή ιατρικής βοήθειας και γρήγορης ανταπόκρισης ιδιαίτερα για τις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης ή ατυχημάτων. Τα δίκτυα 6G θα μπορούν γνωρίζοντας σε πραγματικό χρόνο την ακριβή τοποθεσία του ασθενή να υποστηρίξουν λειτουργίες όπως τα “έξυπνα” ασθενοφόρα, η χορήγηση φαρμάκων και τοπική θεραπεία. Ο ακριβής εντοπισμός του ασθενή μπορεί να δώσει τη δυνατότητα στους γιατρούς να επιβλέπουν απομακρυσμένα τον ασθενή παρακολουθώντας τη κατάσταση υγείας του σε πραγματικό χρόνο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια των 6G δικτύων, παρέχοντας υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και λήψης δεδομένων, επιτρέποντας την αποτελεσματική δρομολόγηση και κατανομή πόρων.

Όλα αυτά θα συμβάλλουν στη μεγιστοποίηση αποτελεσματικότητας συστημάτων εντοπισμού, διασφάλιση ακριβούς τοποθέτησης, ασφάλειας και ελαχιστοποίηση λαθών. Ο εντοπισμός και η ακριβής τοποθέτηση θέσης είναι πολύ σημαντική για τον τομέα υγείας για την άμεση παροχή ιατρικής βοήθειας και γρήγορης ανταπόκρισης ιδιαίτερα για τις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης ή ατυχημάτων. Ο ακριβής εντοπισμός θέσης μπορεί να βοηθήσει και την τήλεχειρουργική καθώς ο χειρουργός θα έχει πλήρη έλεγχο και επίγνωση της τοποθεσίας και θέσης του ασθενή, του ρομποτικού συστήματος και των χειρουργικών εργαλείων, παρέχοντας ακριβή καθοδήγηση και εκτέλεση ενεργειών.

5.3.4 Δορυφορική Επικοινωνία

Ο όρος δορυφορική επικοινωνία αναφέρεται στην επικοινωνία που βασίζεται στη χρήση δορυφόρων για τη μετάδοση και λήψη δεδομένων και σημάτων για μεγάλες αποστάσεις όπως μεταξύ σταθμών που βρίσκονται στη Γη και δορυφόρων ή κεραιών που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη. Η ολοκληρωμένη δορυφορική επικοινωνία είναι μια αναδυόμενη ιδέα του μέλλοντος η οποία πρόκειται να γίνει πραγματικότητα με την άφιξη των 6G δικτύων. Ο στόχος της είναι να επιτευχθεί απρόσκοπτη ένωση των δορυφορικών δικτύων με τα επίγεια συστήματα ασύρματης

επικοινωνίας για την επίτευξη ομαλής λειτουργίας και σύνδεσης. Η ενοποίηση αυτή προβλέπεται να προσφέρει παγκόσμια κάλυψη και συνδεσιμότητα, να βελτιώσει την ανθεκτικότητα του δικτύου και να υποστηρίξει νέες τεχνολογίες και εφαρμογές καθώς οι δορυφόροι είναι σε θέση να μεταδίδουν σήματα και δεδομένα σε πολύ μεγάλες αποστάσεις. Η δορυφορική επικοινωνία επιτυγχάνεται μέσω των αναμεταδοτών που διαθέτουν οι δορυφόροι οι οποίοι λαμβάνουν σήματα από τους επίγειους σταθμούς τους ενισχύουν και τους αναμεταδίδουν πίσω στη Γη, είναι σε θέση να μεταδώσουν την ίδια χρονική στιγμή πολλαπλά σήματα εξυπηρετώντας ταυτόχρονα πολλούς χρήστες.

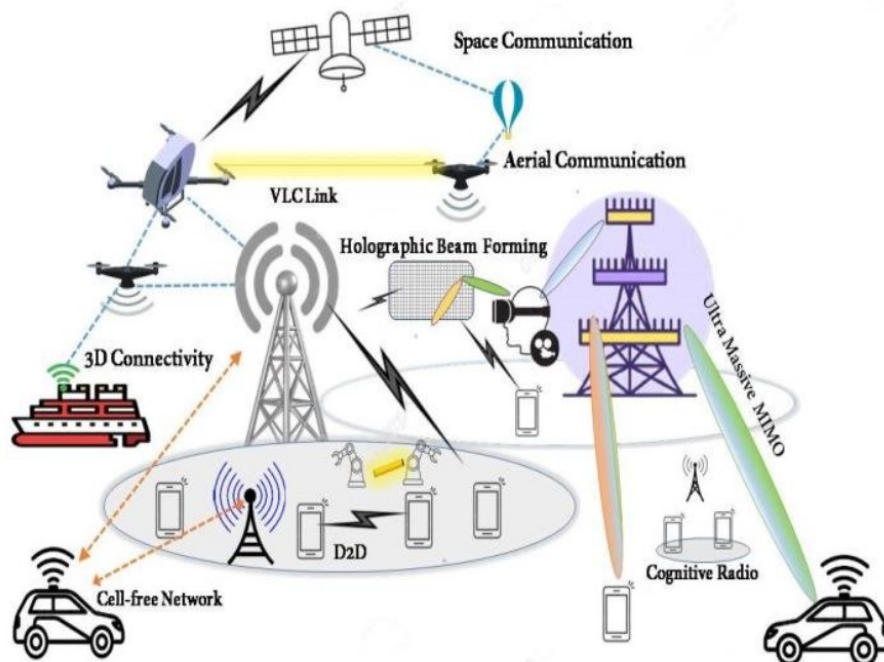
Τα δίκτυα 6G αναμένεται να υλοποιήσουν αυτήν την ιδέα ακολουθώντας μια υβριδική αρχιτεκτονική δικτύου η οποία θα συνδυάζει τα δομικά στοιχεία των δορυφορικών και επίγειων δικτύων, θα παρέχει υψηλή ταχύτητα, αξιόπιστη σύνδεση και ευρύτερη κάλυψη από συσκευή σε συσκευή, σε αντίθεση με τα δίκτυα 5G. Η δορυφορική επικοινωνία θα αποτελέσει μια καλή εναλλακτική λύση για την αντιμετώπιση περιορισμών όπως τα κενά κάλυψης, προσφέροντας απρόσκοπτη και παγκόσμια κάλυψη για διάφορες γεωγραφικές τοποθεσίες όπως απομακρυσμένες ή αγροτικές περιοχές, περιοχές όπου υπάρχουν ελλείψεις υποδομές και επίγειες, θαλάσσιες και εναέριας τοποθεσίες. Η ολοκληρωμένη δορυφορική επικοινωνία με την βοήθεια των 6G δικτύων θα προσφέρει γρηγορότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, θα αυξήσει τη χωρητικότητα των επίγειων δικτύων και θα μειώσει τη καθυστέρηση κίνησης και μετάδοσης δεδομένων εκφορτώνοντας τη κίνηση από τα επίγεια δίκτυα στους δορυφόρους. Σε αντίθεση με τα επίγεια δίκτυα, τα δορυφορικά δίκτυα δεν επηρεάζονται από παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες, οι φυσικές καταστροφές και η απρόοπτη διακοπή σύνδεσης δικτύου [28]

Η δορυφορική επικοινωνία θα επιτευχθεί μέσω της επικοινωνίας επίγειων και δορυφορικών αναμεταδοτών, δορυφόρων χαμηλής τροχιάς (LEO), έναν 6G κυψελοειδές σταθμό βάσης ο οποίος θα λαμβάνει και θα μεταδίδει τα δεδομένα και με τη χρήση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (Unmanned aerial vehicle - UAV) γνωστά ως “drones” τα οποία θα λαμβάνουν και θα στέλνουν τις πληροφορίες, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 14**. Τα δίκτυα 6G θα ενισχύσουν την αξιοπιστία σύνδεσης των δορυφορικών συστημάτων βελτιώνοντας τα ήδη υπάρχον πρωτοκόλλα δορυφορικής επικοινωνίας, προσφέροντας άμεση και αξιόπιστη παροχή υπηρεσιών και επικοινωνίας με χαμηλή καθυστέρηση, παρά τις μεγάλες αποστάσεις. Για να μπορέσει η δορυφορική επικοινωνία να προσφέρει στον χρήστη άμεση συνδεσιμότητα οποιαδήποτε στιγμή, σε οποιαδήποτε τοποθεσία αναμένεται να ενσωματωθούν παγκοσμίως επίγεια και δορυφορικά δίκτυα και συστήματα. Οι δορυφόροι που υπάρχουν σήμερα ανήκουν στην γεωσύγχρονη ισημερινή τροχιά (Geosynchronous Equatorial Orbit – GEO) οι οποίοι όμως, παρουσιάζουν μεγάλες καθυστερήσεις στις επίγειες κινητές επικοινωνίες [24]

Τα δίκτυα 6G θα παρουσιάσουν ένα νέο μοντέλο δορυφόρων, τους δορυφόρους χαμηλής τροχιάς Γης (Low Earth Orbit – LEO), οι οποίοι θα βρίσκονται και θα λειτουργούν σε τροχιές χαμηλού υψόμετρου σε κοντινή απόσταση από την επιφάνεια της Γης φτάνοντας περίπου μέχρι 2.000 χιλιόμετρα. Οι δορυφόροι αυτοί θα λειτουργούν σε αρκετά χαμηλά υψόμετρα σε αντίθεση με τους γεωστατικούς δορυφόρους οι οποίοι φτάνουν έως τα 36.000 χιλιόμετρα. Οι δορυφόροι LEO θα παρέχουν άμεση επίγεια και εκτεταμένη κάλυψη τόσο στον σταθμό όσο και στους αναμεταδότες λόγω των σύντομων περιόδων τροχιάς που απαιτούν, μειώνοντας ταυτόχρονα και τον αριθμό κενών

κάλυψης. Αυτό γίνεται μέσω μιας ικανότητας που έχουν οι δορυφόροι LEO όπου συνεργάζονται πολλοί δορυφόροι μεταξύ τους δημιουργώντας έναν αστερισμό ο οποίος ελέγχει και διασφαλίζει ότι υπάρχει τουλάχιστον ένας δορυφόρος εντός εμβέλειας διαθέσιμος για επικοινωνία κάθε στιγμή. Οι δορυφορικοί αστερισμοί αυτοί λόγω της μικρής καθυστέρησης μπορούν να προσφέρουν γρήγορες ταχύτητες δεδομένων και μεγάλο εύρος εφαρμογών όπως ευρυζωνικές υπηρεσίες, παρατήρηση της Γης, μελέτη και πρόβλεψη του καιρού. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εταιρεία SpaceX με έδρα στη Καλιφόρνια με τον αστερισμό Starlink, έναν δορυφορικό αστερισμό Διαδικτύου που αποτελείται από χιλιάδες μικρούς δορυφόρους LEO, επικοινωνεί με επίγειους πομποδέκτες και παρέχει παγκόσμια κάλυψη και πρόσβαση στο διαδίκτυο σε πάνω από 56 χώρες.

Η δορυφορική επικοινωνία με την βοήθεια των 6G θα προσφέρει γρηγορότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, θα αυξήσει τη χωρητικότητα των επίγειων δικτύων, θα μειώσει τη καθυστέρηση κίνησης και μετάδοσης δεδομένων εκφορτώνοντας τη κίνηση από τα επίγεια δίκτυα στους δορυφόρους. Θα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ιατρική παρέχοντας αξιόπιστη και αποτελεσματική συνδεσιμότητα εφαρμογών, συντονισμός αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης, απομακρυσμένες υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 14: Δορυφορική Επικοινωνία
Πηγή: [48]

5.3.5 Εξέλιξη των HAP και UAV

Η πλατφόρμα μεγάλου υψομέτρου (High Altitude Platform - HAP) αποτελεί μια τεχνολογία η οποία επιτρέπει τη λειτουργία και ανάπτυξη συστημάτων επικοινωνίας όπως σταθμοί βάσης ή κόμβοι αναμετάδοσης σε πολύ υψηλά υψόμετρα στην ατμόσφαιρα της Γης με σκοπό την επίτευξη ασύρματης επικοινωνίας και σύνδεσης. Τα HAP μπορεί να χαρακτηριστούν ως ατμοσφαιρικοί δορυφόροι μεγάλης αντοχής, βρίσκονται συνήθως στη στρατόσφαιρα και μπορούν να λειτουργήσουν σε υψόμετρα που κυμαίνονται από 20-50 χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια της Γης καλύπτοντας μεγάλες περιοχές έκτασης. Η κύρια λειτουργία τους είναι να παρέχουν υπηρεσίες παρατήρησης και επικοινωνίας με τα επίγεια δίκτυα. Πιο συγκεκριμένα τα HAP έχουν την ικανότητα να επιτυγχάνουν ασύρματη επικοινωνία με τα επίγεια δίκτυα και να λειτουργούν ως σταθμοί βάσης και μετάδοσης δεδομένων παρέχοντας παγκόσμια κάλυψη και συνδεσιμότητα τόσο στις αστικές περιοχές όσο και στις περιοχές που δεν μπορούν να καλύψουν τα επίγεια δίκτυα όπως απομακρυσμένες, ορεινές ή αγροτικές περιοχές. Ακόμη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τις περιπτώσεις όπου περιοχές έχουν υποστεί καταστροφές, περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης ή ατυχημάτων παρέχοντας άμεσα κάλυψη και επικοινωνία με τους γιατρούς.

Τα δίκτυα 6G θα χρησιμοποιήσουν τα HAP προκειμένου να ενισχύσουν τις ικανότητες των ασύρματων συστημάτων επικοινωνίας δηλαδή να βελτιώσουν τη ταχύτητα επικοινωνίας, τους ρυθμούς λήψης και μετάδοσης δεδομένων και τη χωρητικότητα δικτύου. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω των κατάλληλων αλγορίθμων, εξελιγμένων τεχνολογιών και της χρήσης υψηλότερων ζωνών συχνοτήτων και θα έχει ως αποτέλεσμα τα συστήματα HAP να μπορέσουν να υποστηρίξουν μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών [25]. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι η μετάδοση ήχου και βίντεο υψηλής ευκρίνειας, επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων με ταχύτερους ρυθμούς και τεχνολογίες εικονικής πραγματικότητας. Τα HAP δημιουργούν συνδέσμους ασύρματης επικοινωνίας υψηλής χωρητικότητας μεταξύ των επίγειων συστημάτων και των συσκευών χρήστη και με τη βοήθεια των 6G δικτύων θα είναι σε θέση να μεταδίδουν μεγάλο όγκο δεδομένων, σε υψηλές ζώνες συχνότητας όπως mmWave με υψηλή ταχύτητα. Τα συστήματα HAP απαιτούν συνδεσιμότητα Backhaul κατά την οποία υπάρχει άμεση σύνδεση του σταθμού βάσης με το κεντρικό δίκτυο. Σκοπός αυτής της συνδεσιμότητας είναι όλα τα δεδομένα ή μηνύματα που αποστέλλονται τόσο μεταξύ του χρήστη και του δικτύου όσο και μεταξύ των χρηστών θα μεταφέρονται στο κεντρικό δίκτυο για καλύτερη επεξεργασία. Η ανάπτυξη και συνεργασία πολλών HAP συστημάτων συντονισμένα μπορεί να αποδώσει απρόσκοπτη κάλυψη και να μεταδώσει τεράστιους όγκους δεδομένων με υψηλή ταχύτητα και χωρητικότητα. Τα HAP έχουν μεγάλη κινητικότητα, ευελιξία και φορητή μορφή καθιστώντας τα ικανά να μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν και να μετακινηθούν ανάλογα τις απαιτήσεις συνδεσιμότητας και ζήτησης. Μια κατηγορία των HAP βασίζεται στα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα με όνομα UAV-based HAPs και μπορούν να μετακινηθούν σε γεωγραφικές περιοχές όπου υπάρχει ανάγκη συνδεσιμότητας και κάλυψης δικτύου. Ακόμη, διαθέτουν προηγμένους αισθητήρες, πολλαπλές κάμερες και είναι κατάλληλα εξοπλισμένα με τα απαραίτητα συστήματα παρακολούθησης ώστε να παρέχουν ακριβείς μεταδόσεις, ανάλυση του περιβάλλοντος και επιστημονική επιτήρηση.

Τα δίκτυα 6G αναμένεται να ενσωματώσουν τα συστήματα HAP στα ήδη υπάρχον δίκτυα επικοινωνίας για συμπληρωματικούς λόγους χρήσης καλύπτοντας τις ελλείψεις και αδυναμίες των επίγειων δικτύων. Με άλλα λόγια τα συστήματα HAP θα λειτουργήσουν ως επέκταση των επίγειων δικτύων επικοινωνίας, παρέχοντας ευρύτερη συνδεσιμότητα δικτύου η οποία παραμένει αμετάβλητη παρά τις μετακινήσεις των χρηστών γεφυρώνοντας έτσι τα κενά συνδεσιμότητας. Τα συστήματα HAP θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα και για τον τομέα υγείας καθώς θα παρέχουν παγκόσμια συνδεσιμότητα και κάλυψη των γιατρών με άλλους γιατρούς και τους ασθενείς τους χωρίς να λαμβάνουν υπόψη γεωγραφικούς περιορισμούς θέσης. Ακόμη, είναι χρήσιμα για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης όπου απαιτείται άμεση παροχή κλινικής βοήθειας και τα επίγεια δίκτυα παρουσιάζουν προβλήματα σύνδεσης, τα συστήματα HAP θα παρέχουν στους γιατρούς αξιόπιστη επικοινωνία και κάλυψη με τους ασθενείς σε πραγματικό χρόνο.

Από την άλλη πλευρά, τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (Unmanned Aerial Vehicles - UAV) γνωστά ως drones είναι αυτόνομα αεροσκάφη τα οποία δεν διαθέτουν πιλότο αλλά ελέγχονται απομακρυσμένα από τους ειδικούς οι οποίοι προγραμματίζουν μέσω υπολογιστικών συστημάτων τη πορεία τους. Η χρήση των UAV επεκτείνεται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως η γεωγραφική παρακολούθηση, επιτήρηση, εναέρια χαρτογράφηση και επίβλεψη καταστροφών. Τα UAV είναι εξοπλισμένα με ελεγκτές πτήσης, συστήματα επικοινωνίας, ηλεκτροκινητήρες, προηγμένους αισθητήρες και κάμερες εικονικής πραγματικότητας παρέχοντας στους χειριστές πλήρη και σαφή εικόνα της κατάστασης κατά τη διάρκεια της πτήσης. Τα UAV ελέγχονται απομακρυσμένα μέσω χειριστών του επίγειου σταθμού ελέγχου αλλά μπορούν να προγραμματιστούν κατάλληλα ώστε να διεξάγουν αυτόνομα πτήσεις με τη βοήθεια των αισθητήρων που διαθέτουν κατάλληλους αλγόριθμους και ακριβείς συστήματα εντοπισμού θέσης. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να ενισχύσουν την επικοινωνία των ασυρμάτων δικτύων αυξάνοντας την σημαντικά τη ταχύτητα, μειώνοντας τη καθυστέρηση, δίνοντας έτσι, τη δυνατότητα στα UAV να υποστηρίξουν αξιόπιστες συνδέσεις επικοινωνίας με τον επίγειο σταθμό ελέγχου κατά τη διάρκεια της πτήσης, άμεση μετάδοση και συνδεσιμότητα σε πραγματικό χρόνο και καλύτερη υποδομή δικτύου.

Ακόμη, τα δίκτυα 6G θα μπορέσουν να βελτιώσουν το περιβάλλον παρακολούθησης και διαχείρισης των χειριστών των UAV ενσωματώνοντας τεχνολογίες όπως η εικονική και επανυξημένη πραγματικότητα. Με τις τεχνολογίες αυτές και χάρη στη χαμηλή καθυστέρηση και γρήγορους ρυθμούς μετάδοσής των 6G αναμένεται να επιτευχθούν νέες διαδραστικές υπηρεσίες μετάδοσης που θα προσφέρουν νέες καθηλωτικές εμπειρίες στους χειριστές, βελτίωση του εικονικού περιβάλλοντος και υψηλή ανάλυση βίντεο και εικόνων με τρισδιάστατη μορφή για καλύτερη κατανόηση. Τα δίκτυα 6G πρόκειται να ενσωματώσουν στα UAV τεχνολογίες edge computing για καλύτερη επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων σε εργασίες όπως η αναγνώριση και ανάλυση εικόνας και η επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων. Τα δίκτυα 6G λόγω της αυξημένης χωρητικότητας που θα επιφέρουν αναμένεται να είναι σε θέση να υποστηρίξουν τη συνεργασία πολλαπλών UAV για τη διεξαγωγή περίπλοκων αποστολών. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να υπάρχει άμεση συνδεσιμότητα και κάλυψη δικτύου, συνεχής επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο και συντονισμός ενεργειών. Μια τέτοια λειτουργία θα ήταν ιδιαίτερα σημαντική για τον τομέα υγείας για τα σενάρια καταστροφικών περιπτώσεων όπου χρειάζονται και εναέρια μέσα παρακολούθησης

και παροχής βοήθειας όπως οι περιπτώσεις διάσωσης, παρακολούθησης και αντιμετώπισης φυσικών καταστροφών ή πυρκαγιών. Οι υψηλοί ρυθμοί ταχύτητας και μετάδοσης δεδομένων που θα παρέχουν τα δίκτυα 6G θα διευκολύνουν την επίτευξη της ομαλής λειτουργίας και συντονισμού πολλαπλών UAV σε πραγματικό χρόνο [28].

Τα HAP και UAV θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για τον τομέα υγείας παρέχοντας παγκόσμια συνδεσιμότητα και κάλυψη χωρίς γεωγραφικούς περιορισμούς θέσης, άμεση επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, χαμηλή καθυστέρηση, αντιμετώπιση περιστατικών έκτακτης ανάγκης, μεταφορά ιατρικών προμηθειών, φαρμάκων, εναέρια απεικόνιση και επιτήρηση για την αντιμετώπιση καταστροφών.

5.3.6 Επικοινωνίες Ορατού Φωτός (VLC)

Οι Επικοινωνίες Ορατού Φωτός (Visible Light Communications – VLC) αποτελούν μια τεχνολογία συμπληρωματικής χρήσης, χρησιμοποιούνται στην ασύρματη επικοινωνία δικτύων και για τη μετάδοση δεδομένων χρησιμοποιούν ορατό φως το οποίο υπερβαίνει τις ικανότητες αντίληψης του ανθρώπινου ματιού. Τα δίκτυα 6G θα ενισχύσουν και θα βελτιώσουν τις επικοινωνίες VLC οι οποίες βασίζονται σε πηγές φωτισμού, συγκεκριμένα διόδους εκπομπής φωτός (light-emitting diodes – LED), συστοιχίες αισθητήρων εικόνας, αισθητήρων φωτός και φωτοανιχνευτές. Οι επικοινωνίες VLC θα μπορούσαν να ενσωματωθούν μελλοντικά με τη βοήθεια των 6G στα επίγεια ασύρματα δίκτυα για την παροχή συμπληρωματικής βοήθειας, αυξάνοντας τη χωρητικότητα και ενισχύοντας την επικοινωνία. Η μετάδοση δεδομένων των VLC συστημάτων γίνεται με τη χρήση ορατού φωτός κάτι που ενισχύει την ταχύτητα επικοινωνίας και μειώνει τη καθυστέρηση. Η αύξηση του ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων οφείλεται στο διαθέσιμο εύρος ζώνης που υπάρχει στο φάσμα του ορατού φωτός. Οι επικοινωνίες VLC αναμένεται να επιτυγχάνουν υψηλό εύρος ζώνης με χαμηλή κατανάλωση ισχύος περίπου από 100 mW για 10 Mbps έως 100 Mbps, να ελαχιστοποιήσουν τις παρεμβολές και να ενισχύσουν την απόδοση.

Οι επικοινωνίες VLC θα αποτελέσουν μια καλή λύση για περιπτώσεις που είναι σημαντική η διάρκεια ζωής της μπαταρίας και το κόστος πρόσβασης, όπως για παράδειγμα το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT) και το Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων (Wireless Sensor Network – WSN) καθώς διαθέτουν χαμηλού κόστους LED με διάρκεια ζωής έως 10 χρόνια. Τα συστήματα VLC μπορούν να ενισχύσουν την ταχύτητα και ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων και να αυξήσουν την απόδοση φάσματος χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνικές διαμόρφωσης και πολυπλεξίας όπως η διαμόρφωση πλάτους τετραγώνου (Quadrature Amplitude Modulation - QAM) και πολυπλεξία ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας (Orthogonal Frequency-division Multiplexing - OFDM). Ακόμη, τα VLC παρέχουν ικανότητες εντοπισμού και αναγνώρισης θέσης, τα δίκτυα 6G αναμένεται να μπορέσουν να βελτιώσουν την ακρίβεια και αξιοπιστία εντοπισμού θέσης μέσω ειδικών αλγορίθμων και τεχνολογιών. Αυτό θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να εφαρμοστεί στον τομέα υγείας, ειδικά για τις περιπτώσεις ατυχημάτων και τα περιστατικά έκτακτης ανάγκης στα οποία θα προσδιορίζεται άμεσα η θέση και τοποθεσία του ασθενή. Τα VLC συστήματα είναι κατάλληλα να ενσωματωθούν σε εσωτερικούς χώρους με ήδη υπάρχον υποδομές φωτισμού, όπως νοσοκομεία,

παρέχοντας “έξυπνο” φωτισμό και ενισχύοντας την επικοινωνία. Τα συστήματα VLC θα μπορέσουν με την βοήθεια των 6G να ενσωματώσουν και να υποστηρίξουν τεχνολογίες όπως η εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα προσφέροντας διαδραστικές εφαρμογές και υπηρεσίες.

Μια άλλη τεχνολογία παρόμοια με τις επικοινωνίες VLC είναι οι Οπτικές Ασύρματες Επικοινωνίες (Optical Wireless Communications – OWC) οι οποίες χρησιμοποιούν υπέρυθρο ορατό φως, υπέρυθρη και υπεριώδη ακτινοβολία για τη μετάδοση δεδομένων και επικοινωνίας. Οι επικοινωνίες OWC μπορούν να πετύχουν υψηλές ταχύτητες μετάδοσης gigabit ανά δευτερόλεπτο σε χαμηλό κόστος λόγω των οπτικών τους εκπομπών και ανιχνευτών. Όμοια με τις επικοινωνίες VLC οι Οπτικές Ασύρματες Επικοινωνίες μπορούν να προσφέρουν γρήγορους ρυθμούς δεδομένων λόγω του διαθέσιμου εύρους ζώνης που υπάρχει στο οπτικό φάσμα. Οι OWC μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορους τομείς όπως να σε περιοχές με ελλιπής σύνδεση και υποδομές, σε εφαρμογές τηλεπικοινωνιών και στον τομέα της υγείας και συγκεκριμένα στα ιατρικά μηχανήματα που είναι ευαίσθητα στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, καθώς τα OWC συστήματα είναι ανθεκτικά στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.

Οι Επικοινωνίες VLC αποτελούν ένα ασφαλές μέσο μετάδοσης, καθώς το ορατό φως δεν διαπερνά τους τοίχους, μειώνοντας τον κίνδυνο παρεμβολών, αποτελώντας αξιόπιστο κανάλι επικοινωνίας και μετάδοσης δεδομένων. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα και ασφάλεια διεξαγωγής ιατρικών και χειρουργικών επεμβάσεων.

5.3.7 Εξέλιξη Εικονικής και Επαυξημένης Πραγματικότητας

Η Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality - VR) αποτελεί μια τεχνολογία προσομοίωσης ενός ρεαλιστικού περιβάλλοντος σε ένα περιβάλλον εικονικής μορφής. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να προσομοιώσει άτομα ή αντικείμενα τα οποία θα αλληλοεπιδρούν με τους χρήστες μέσα σε αυτό το εικονικό περιβάλλον. Για την απεικόνιση του εικονικού περιβάλλοντος και αντικειμένων οι παρατηρητές εξοπλίζονται με ειδικά σεν HMD (head-mounted display) ή ειδικά VR γυαλιά τα οποία προσδίδουν τη ψευδαίσθηση ύπαρξης σε έναν εικονικό κόσμο. Ο ειδικός εξοπλισμός εικονικής πραγματικότητας αποτελείται από ειδικούς αισθητήρες κίνησης, συστήματα παρακολούθησης, ελεγκτές χειρός και άλλες συσκευές όπου επιτρέπουν τον χρήστη να κινείται και να αλληλοεπιδρά με το εικονικό περιβάλλον. Τα δίκτυα 6G θα ενισχύσουν την λειτουργία αυτών των συσκευών παρέχοντας γρήγορη μετάδοση δεδομένων με χαμηλή καθυστέρηση σε πραγματικό χρόνο υποστηρίζοντας περισσότερες λειτουργίες, ενισχύοντας την εμπειρία χρήσης προσφέροντας νέες συναρπαστικές και ρεαλιστικές εμπειρίες και αποδίδοντας τη ψευδαίσθηση μια εικονικής πραγματικότητας. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να αυξήσουν τη χωρητικότητα δικτύου, ενισχύοντας έτσι το εύρος εφαρμογών που θα μπορέσει να υποστηρίξει η εικονική πραγματικότητα. Μια νέα τεχνολογία είναι η δημιουργία κοινόχρηστων εικονικών περιβαλλόντων υψηλής χωρητικότητας (Multi-User VR), δίνοντας τη δυνατότητα εξυπηρέτησης και υποστήριξης περισσότερων χρηστών, όπου θα μπορούν να αλληλοεπιδρούν και να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω των κοινών αυτών εικονικών περιβαλλόντων.

Η εφαρμογή αυτή θα είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον τομέα υγείας όπου θα μπορούν μέσω κοινόχρηστων περιβαλλόντων εικονικής πραγματικότητας να συνδέονται και να επικοινωνούν γιατροί, να επιβλέπουν τους ασθενείς τους, να διεξάγονται και να παραβρίσκονται σε σεμινάρια ή να εκπαιδεύουν απομακρυσμένα τους μαθητευόμενους τους. Τα VR περιβάλλοντα αυτά θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη τηλεχειρουργική με την παρουσία πολλών γιατρών να επιβλέπουν και να βοηθούν κατά τη διάρκεια της επέμβασης και σε σενάρια καταστροφών όπου απαιτείται υψηλός αριθμός γιατρών παρέχοντας απομακρυσμένα κλινική βοήθεια. Για να επιτευχθεί αυτή η τεχνολογία απαιτείται ταχύτατη μετάδοση και επεξεργασία δεδομένων, αξιόπιστη σύνδεση δικτύου, κατάλληλη υποδομή δικτύου να υποστηρίξει αυτή τη τεχνολογία και παροχή υπηρεσιών και επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο, κάτι που αναμένεται να είναι σε θέση να προσφέρουν τα δίκτυα 6G. Τα δίκτυα 6G προβλέπεται να μειώσουν σημαντικά τη καθυστέρηση της ασύρματης επικοινωνίας, τα ποσοστά σφαλμάτων και τον λανθάνοντα χρόνο σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές δικτύων. Ακόμη, αναμένεται να αυξήσουν την ανάλυση εικόνας, παρέχοντας εικόνες και βίντεο υψηλής ευκρίνειας σε τρισδιάστατη μορφή. Αυτό θα βελτιώσει τις υπηρεσίες εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας παρέχοντας τους παρατηρητές μια περισσότερο καθηλωτική και ρεαλιστική οπτική εμπειρία. Ο γρήγορος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και η μειωμένη καθυστέρηση θα οδηγήσουν στη μετάδοση ήχου και εικόνας σε πραγματικό χρόνο κάτι ιδιαίτερα σημαντικό για την υποστήριξη τρισδιάστατων ολογραμμάτων ανθρώπων επιτρέποντας τη κίνηση και ομιλία τους με ρεαλιστική μορφή.

Τα δίκτυα 6G πρόκειται να υποστηρίξουν δυνατότητες edge computing οι οποίες θα αναλαμβάνουν την επεξεργασία του μεγάλου όγκου δεδομένων που απαιτούν οι εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας σε μικρότερο χρόνο. Η ενσωμάτωση του Edge computing θα οδηγήσει σε καλύτερη απόδοση, χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας των VR εφαρμογών και μειωμένη καθυστέρηση. Τα δίκτυα 6G θα εισάγουν στα εικονικά περιβάλλοντα τεχνολογίες απτικής ανάδρασης (haptic feedback) επιτρέποντας ρεαλιστές απτικές υπηρεσίες τρισδιάστατης μορφής, παρέχοντας στους γιατρούς την ικανότητα αίσθησης της υφής των αντικειμένων με ρεαλιστική μορφή σαν πραγματικές οντότητες για καλύτερη κατανόηση, σαφήνεια και ακρίβεια πρόβλεψης.

Από την άλλη πλευρά, η Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality - AR) αποτελεί μια τεχνολογία ενοποίησης ψηφιακών πληροφοριών όπως εικόνες, βίντεο ή ολογράμματα τρισδιάστατης μορφής στον πραγματικό κόσμο αυξάνοντας την αντίληψη του χρήστη για την πραγματικότητα. Η διαφορά μεταξύ της Εικονικής και Επαυξημένης Πραγματικότητας είναι ότι η Εικονική πραγματικότητα δημιουργεί ένα αποκλειστικά εικονικό περιβάλλον το οποίο δεν έχει συσχετίσεις με τον πραγματικό κόσμο ενώ η Επαυξημένη Πραγματικότητα συνδυάζει τα εικονικά στοιχεία με τον πραγματικό κόσμο για καλύτερη κατανόηση και αντίληψη. Κύριο χαρακτηριστικό λειτουργίας της AR είναι ότι επιτρέπει στο χρήστη να αλληλοεπιδρά με το εικονικό περιβάλλον ή εικονικά στοιχεία του έχοντας παράλληλα πλήρη επίγνωση και έλεγχο του πραγματικού περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται. Τα δίκτυα 6G θα εξελίσουν της λειτουργία της Επαυξημένης πραγματικότητας παρέχοντας εξελιγμένες τεχνολογίες υπολογιστικής όρασης με βελτιωμένους αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης για καλύτερη και ακριβέστερη αναγνώριση τόσο του εικονικού όσο και πραγματικού περιβάλλοντος, μεταδίδοντας τα εικονικά στοιχεία απεικόνισης σε

πραγματικό χρόνο. Μια καλή λύση θα αποτελέσει η ενσωμάτωση του edge computing το οποίο είναι σε θέση να υποστηρίξει αλγόριθμους υπολογιστικής όρασης, προσφέροντας βελτιωμένη αναγνώριση αντικειμένων, απόκριση σε πραγματικό χρόνο και επεξεργασία δεδομένων με υψηλή ταχύτητα. Μια όμοια τεχνολογία της AR είναι η Μικτή Πραγματικότητα (Mixed Reality - MR) η οποία ενοποιεί το εικονικό περιβάλλον με τον πραγματικό κόσμο με τρόπο κατά τον οποίο τα εικονικά αντικείμενα μπορούν να αλληλοεπιδρούν και να ανταποκρίνονται στο πραγματικό κόσμο και αντίστροφα. Τα δίκτυα 6G θα επιτρέψουν αυτή την αλληλεπίδραση μικτής πραγματικότητας σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας γρήγορη ταχύτητα μετάδοσης και επικοινωνίας.

Η Επαυξημένη Πραγματικότητα σε συνδυασμό με τη Μικτή Πραγματικότητα αποτελούν τεχνολογίες οι οποίες θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο για στον τομέα υγείας ενισχύοντας το έργο των γιατρών. Πιο συγκεκριμένα θα παρέχουν καλύτερη κατανόηση και ακρίβεια μέσω των τρισδιάστατων εικονικών απεικονίσεων, θα βελτιώσουν την οπτικοποίηση και επίγνωση της κατάστασης του ασθενή, θα προσφέρουν υψηλή ακρίβεια εντοπισμού και θέσης και θα οδηγήσουν σε καλύτερη και ακριβέστερη εκτέλεση λειτουργιών και λήψη αποφάσεων. Τα VR και AR θα παρέχουν καθηλωτικές, δια δραστικές εμπειρίες, θα ενισχύσουν την ιατρική εκπαίδευση και επικοινωνία γιατρών παρέχοντας προσομοιώσεις και ρεαλιστικά σενάρια εικονικών απεικονίσεων, οπτικοποίηση ιατρικών δεδομένων για καλύτερη κατανόηση και απομακρυσμένη επικοινωνίας γιατρού και ασθενή με ρεαλιστικό τρόπο. Τέλος η γρήγορη απόκριση και σύνδεση θα βοηθήσει σημαντικά τη διεξαγωγή απομακρυσμένων χειρουργικών επεμβάσεων διευρύνοντας περισσότερο τον τομέα τηλεχειρουργικής όπου τα δίκτυα 6G θα υποστηρίξουν σε πραγματικό χρόνο ζωντανή μετάδοση του χειρουργικού πεδίου, με τρισδιάστατη απεικόνιση της ανατομίας του ασθενή για πιο ακριβή χειρουργικό προγραμματισμό μειώνοντας τη πιθανότητα κίνδυνου.

Οι τεχνολογίες Εικονικής και Επαυξημένης Πραγματικότητας με τη βοήθεια των 6G θα ενισχύσουν σημαντικά τον τομέα υγείας προσφέροντας περισσότερες υπηρεσίες, νέους τρόπους διεξαγωγής διαδικασιών, με ρεαλιστικό τρόπο, γρήγορους ρυθμούς μετάδοσης και χαμηλή ταχύτητα. Τα δίκτυα 6G θα ενισχύουν περαιτέρω τις δυνατότητες εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας για τον τομέα υγείας εισάγοντας νέες τεχνολογίες, ενισχύοντας τον ρεαλισμό και παρέχοντας στους γιατρούς νέες διαδραστικές εμπειρίες.

Οι εφαρμογές αυτές θα είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τον τομέα υγείας όπου θα μπορούν μέσω κοινόχρηστων VR περιβαλλόντων να συνδέονται και να επικοινωνούν γιατροί, να επιβλέπουν τους ασθενείς, να παραβρίσκονται σε σεμινάρια, να εκπαιδεύουν απομακρυσμένα τους μαθητευόμενους.

5.3.8 Ολογραφική Επικοινωνία

Η ολογραφία αποτελεί μια τεχνική η οποία καταγράφει τα φωτεινά κύματα που ανακλώνται από ένα αντικείμενο και με τον κατάλληλο τρόπο φωτισμού αναπαριστά το ολόγραμμα αυτού του αντικειμένου με τρισδιάστατη μορφή. Σκοπός της ολογραφικής επικοινωνίας είναι η επίτευξη επικοινωνίας μέσω της μετάδοσης και αναπαράστασης τρισδιάστατων ολογραμμάτων και

ολογραφικών εικόνων, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο δίκτυο και εξελιγμένες τεχνολογίες. Η ολογραφική επικοινωνία αναμένεται να είναι μια από τις αναδυόμενες εφαρμογές των 6G δικτύων, αποτελώντας σημαντική ανακάλυψη για τον τομέα υγείας ως ένα μέσο απομακρυσμένης σύνδεσης και επικοινωνίας γιατρού και ασθενή με την βοήθεια ολογραμμάτων. Το ολόγραμμα αναπαριστά ένα ακριβές αντίγραφο του αντικειμένου ή του ατόμου που απεικονίζει σε τρισδιάστατη μορφή και είναι ορατό από όλες τις οπτικές γωνίες δίνοντας πολλές φορές τη ψευδαίσθηση κίνησης. Η δημιουργία ανθρώπινων ολογραμμάτων σήμερα έχει ακόμη ελλείψεις και η τελειοποίηση τους δεν προβλέπεται στο άμεσο μέλλον.

Η χρήση ολογραμμάτων για την εμφάνιση ανθρώπων δεν είναι ακόμη εφικτή, αναμένεται όμως να πραγματοποιηθεί μελλοντικά με την άφιξη των 6G δικτύων. Στις περισσότερες περιπτώσεις σήμερα χρησιμοποιούνται τρισδιάστατες εικόνες που μοιάζουν με ολογράμματα ή οπτικές ψευδαισθήσεις που υποστηρίζονται μέσω τεχνολογιών των υπολογιστών. Σκοπός των 6G είναι να εξελίξουν την ολογραφική επικοινωνία χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες συσκευές και συτήματα τεχνολογιών ευπαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας. Οι τεχνολογίες αυτές χρησιμοποιούν την περίθλαση του φωτός για να αναπαραστήσουν τις 3D μορφές αντικειμένων στον πραγματικό κόσμο παρουσιάζοντας ολογράμματα με γυμνό μάτι χωρίς ειδικό εξοπλισμό όπως γυαλιά VR ή VR headsets. Η ολοκλήρωση και εφαρμογή της ολογραφικής επικοινωνίας αναμένεται να είναι περίπου στις αρχές του 2030, με την άφιξη και λειτουργία του 6G. Η ολογραφική επικοινωνία θα επιτρέψει σε πραγματικό χρόνο την σύνδεση και παρουσίαση ατόμων που βρίσκονται απομακρυσμένα μέσα από ολογράμματα και την αλληλεπίδραση με υπερρεαλιστικά αντικείμενα.

Σε αντίθεση με τα δίκτυα 5G τα οποία χρησιμοποιούσαν δισδιάστατη (2D) δομή επικοινωνίας, τα δίκτυα 6G θα ακολουθούν τρισδιάστατη (3D) δομή, προσφέροντας νέες τεχνολογικές υπηρεσίες 3D όπως τεχνητή νοημοσύνη, cloud computing, edge computing και blockchain. Οι υπηρεσίες αυτές θα είναι εξοπλισμένες με τους κατάλληλους ολογραφικούς προβολείς, αισθητήρες και ογκομετρικές οθόνες τα οποία θα επιτυγχάνουν την αναπαράσταση ολογράμματος από οποιαδήποτε οπτική γωνία και θα είναι ορατά χωρίς ειδικό εξοπλισμό όπως 3D γυαλιά εικονικής πραγματικότητας. Τα ολογράμματα ανάλογα με την κίνηση του ατόμου θα δίνουν στον παρατηρητή την αίσθηση βάθους και κίνησης του ολογράμματος, κάνοντας τα αντικείμενα που απεικονίζονται να φαίνεται ότι κινούνται ή να μετατοπίζονται ρεαλιστικά, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 15**. Η ολογραφική επικοινωνία απαιτεί μεγάλο όγκο δεδομένων, με γρήγορες ταχύτητες και υψηλής ευκρίνειας ροής βίντεο ώστε να μπορέσει να παρέχει άμεσα αξιόπιστες υπηρεσίες με καλή ποιότητα και ανάλυση. Η αναπαράσταση ενός ολογράμματος απαιτεί έγκαιρη επεξεργασία και είσοδο των δεδομένων με την βοήθεια πολλών αισθητήρων και σωστή μετάδοση σε πραγματικό χρόνο μέσω αξιόπιστης σύνδεσης και καλής υποδομής δικτύου. Ακόμη, τα ολογράμματα απαιτούν μετάδοση από πολλαπλές οπτικές γωνίες για να υπολογιστούν οι διακυμάνσεις στις κλίσεις, τις γωνίες και τις θέσεις των παρατηρητών σε σχέση με το ολόγραμμα. Θα πρέπει να υπάρχει όσο τον δυνατόν χαμηλότερη καθυστέρηση για να μπορέσουν οι φωνές και οι κινήσεις να μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο και να υπάρχουν άμεσες αποκρίσεις ελέγχου.

Οι προηγούμενες γενιές δικτύων έως και το 5G δεν ήταν σε θέση να υποστηρίξουν αυτήν την νέα τεχνολογία. Τα δίκτυα 6G προβλέπεται να είναι σε θέση να μπορέσουν να καλύψουν αυτές τις απαιτήσεις της ολογραφικής επικοινωνίας καθώς αναμένεται να παρέχουν υψηλότερους ρυθμούς

λήψης και μετάδοσης δεδομένων σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές δικτύων, να μπορέσουν να υποστηρίξουν και να επεξεργαστούν μεγάλο όγκο δεδομένων χωρίς απώλεια πακέτων κατά τη μετάδοση τους και υψηλής ακρίβειας συγχρονισμό πακέτων για την ανακατασκευή ολογραμμάτων σε εξαιρετικά χαμηλό λανθάνοντα χρόνο. Ακόμη, αναμένεται να ελαχιστοποιήσουν τη καθυστέρηση, τα ποσοστά σφάλματος και την αλλοίωση της ποιότητας επιτρέποντας την αλληλεπίδραση και αναπαράσταση των ολογραμμάτων σε πραγματικό χρόνο με υψηλή ακρίβεια. Η ολογραφική επικοινωνία και οι υπηρεσίες 3D θα έχουν κυρίαρχη θέση και στον τομέα της υγείας όπου θα μπορούν με τη βοήθεια των 6G να υποστηρίξουν υπηρεσίες όπως η εξ αποστάσεως επικοινωνία ασθενών με γιατρούς, παροχή κλινικής βοήθειας, παρακολούθηση συνεδρίων και διεξαγωγή περίπλοκων διαδικασιών όπως η απομακρυσμένη χειρουργική, με την βοήθεια 3D ολογραμμάτων χωρίς να απαιτείται φυσική παρουσία του γιατρού.

Τα δίκτυα 6G μέσω των ολογραμμάτων και της ολογραφικής επικοινωνίας θα μπορέσουν να βελτιώσουν την ιατρική εκπαίδευση παρέχοντας στους εκπαιδευόμενους νέες εμπειρίες, διαδραστικό περιβάλλον μάθησης και πρόσβαση σε ολογραφικές προσομοιώσεις χειρουργικών επεμβάσεων. Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης σε συνδυασμό με την ολογραφική επικοινωνία θα μπορέσουν να βοηθήσουν το έργο των γιατρών επιτυγχάνοντας ιατρική απεικόνιση (medical imaging) για καλύτερη μελέτη και ανάλυση δεδομένων. Στην ιατρική απεικόνιση οι γιατροί θα μπορέσουν να αναλύουν ιατρικά δεδομένα, όπως εικόνες, ακτινογραφίες και μαγνητικές τομογραφίες, τα οποία θα απεικονίζονται σε τρισδιάστατη μορφή, εντοπίζοντας μοτίβα, ανωμαλίες, αλλοιώσεις και συμπτώματα τα οποία θα οδηγήσουν στη διεξαγωγή έγκυρων διαγνώσεων. Τα δίκτυα 6G θα μπορούν να πετύχουν μια νέα τεχνολογία που ονομάζεται συνεργατική ιατρική έρευνα (Collaborative Medical Research) όπου μέσω ολογραφικών οθονών οι γιατροί θα μπορούν να επικοινωνούν, να συνεργάζονται και να ανταλλάσσουν δεδομένα και εξετάσεις ασθενών με άλλους γιατρούς ακόμη και από το εξωτερικό σε πραγματικό χρόνο.

Η ολογραφική επικοινωνία μπορεί να ενισχύσει τον τομέα υγείας, βελτιώνοντας την εκτέλεση εξ αποστάσεως υπηρεσιών, παρέχοντας ένα ρεαλιστικό και διαδραστικό περιβάλλον εκπαίδευσης και διεξαγωγής υπηρεσιών, επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, αλληλεπίδραση με τους ασθενείς και εκμηδένιση αποστάσεων. Η ολογραφική επικοινωνία θα φανεί ιδιαίτερα χρήσιμα για τις περιπτώσεις στις οποίες οι γιατροί δεν κατάφεραν να βρίσκονται με φυσική παρουσία στον ίδιο χώρο με τον ασθενή δίνοντας τη δυνατότητα να επικοινωνούν μέσω ολογραμμάτων. Τα δίκτυα 6G θα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στον τομέα υγείας καθώς θα προσφέρουν παγκόσμια συνδεσιμότητα και κάλυψη όπου οι γιατροί θα μπορούν να συνδέονται και αν επικοινωνούν με τους ασθενείς τους από οποιοδήποτε μέρος με την βοήθεια ολογραμμάτων και ολογραφικής επικοινωνίας.



*Εικόνα 15: 3D αναπαράσταση αντικειμένου
Πηγή: [49]*

5.3.9 Απτική Ανάδραση και Αίσθηση Αφής

Δυο αναδύμενες τεχνολογίες οι οποίες θα μπορέσουν να ενισχύσουν τη λειτουργία τους με την άφιξη των 6G δικτύων είναι η απτική ανάδραση (haptic feedback) και η απτική αίσθηση (tactile sensation) [4]. Η απτική ανάδραση (haptic feedback) είναι μια τεχνική που αναφέρεται στην παροχή αίσθησης αφής με φυσική ανατροφοδότηση μέσω του κατάλληλου εικονικού περιβάλλοντος προσομοίωσης στο οποίο οι χρήστες θα μπορούν να αλληλεπιδρούν με τα απομακρυσμένα αντικείμενα τα οποία έχουν εικονική μορφή σαν φυσικές οντότητες. Η απτική ανάδραση θα αποτελέσει μια πρωτόγνωρη εμπειρία αλληλεπίδρασης βελτιώνοντας την απόδοση και ακρίβεια ιδιαίτερα των εργασιών που γίνονται απομακρυσμένα και απαιτούν υψηλή ακρίβεια. Η απτική ανάδραση θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στον τομέα υγείας καθώς περιλαμβάνει τεχνολογίες που προσομοιώνουν την αίσθηση αφής δίνοντας τη δυνατότητα στους γιατρούς να αντιλαμβάνονται τα αντικείμενα με ρεαλιστική μορφή αίσθησης όπως είναι στη πραγματικότητα. Τα δίκτυα 6G θα μπορέσουν να ενσωματώσουν την τεχνολογία της απτικής ανάδρασης σε διάφορες εφαρμογές του τομέα υγείας ενισχύοντας την αίσθηση φυσικής παρουσίας, αλληλεπίδρασης και επικοινωνίας, παρέχοντας νέες διαδραστικές μεθόδους. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί η απτική ανάδραση στον τομέα υγείας είναι στη τηλεχειρουργική παρέχοντας κρίσιμες πληροφορίες στον χειρουργό σχετικά με την κατάσταση υγείας του ασθενή ο οποίος χειρουργείται απομακρυσμένα. Για την αποτελεσματική και επιτυχή επίτευξη αυτού του στόχου οι ερευνητές θα ενσωματώσουν απτικούς αισθητήρες αφής στα συστήματα επικοινωνίας και στα ρομποτικά συστήματα τα οποία θα διεξάγουν τις επεμβάσεις.

Τα συστήματα απτικής ανάδρασης είναι κατάλληλα εξοπλισμένα με εξελιγμένες τεχνολογίες αφής, αισθητήρες, ανιχνευτές κίνησης και οθόνες αφής τα οποία προσομοιώνουν και μεταδίδουν πληροφορίες όπως η υφή, δύναμη και κραδασμοί οδηγώντας σε περισσότερη ακρίβεια και πλήρη έλεγχο της κατάστασης και των ενεργειών που θα ακολουθήσουν. Είναι ζωτικής σημασίας ο χειρουργός να γνωρίζει την δύναμη που ασκείται στον ασθενή από το ρομποτικό σύστημα κατά τη διάρκεια τις επέμβασης για να αποφευχθούν τραυματισμοί και ατυχήματα. Τα συστήματα αυτά με τη βοήθεια των 6G δικτύων θα μπορούν να ενημερώνουν τον χειρουργό σε πραγματικό χρόνο για το βαθμό δύναμης λαμβάνοντας ο ίδιος στα χέρια του την αίσθηση αντίστασης που ασκείται στον ασθενή. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να ενσωματώσουν τα απτικά συστήματα ανάδρασης στα συστήματα επικοινωνίας με σκοπό να πετύχουν υψηλή ταχύτητα απτικής ανατροφοδότησης σε πραγματικό χρόνο βελτιώνοντας τις απομακρυσμένες αλληλεπιδράσεις δίνοντας τους μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση. Ακόμη, τα συστήματα αυτά μπορούν να ενσωματωθούν και στις ΙοΤ εφαρμογές ενισχύοντας τις ικανότητες τους για τη λήψη “έξυπνων” αποφάσεων λαμβάνοντας υπόψη και τον παράγοντα αίσθησης και αφής. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να μπορέσουν να καλύψουν τις απαιτήσεις για άμεση συνδεσιμότητα και μετάδοση μεγάλου όγκου δεδομένων με υψηλή ταχύτητα καθώς θα είναι σε θέση να φτάσουν ταχύτητες terabit ανά δευτερόλεπτο (Tbps), ελαχιστοποιώντας τη καθυστέρηση και τα ποσοστά σφάλματος.

Η αίσθηση αφής (tactile sensation) αναφέρεται στη ικανότητα των ατόμων να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται και να αλληλοεπιδρούν με τα αντικείμενα συλλέγοντας πληροφορίες όπως η υφή, θερμοκρασία και τα εξωτερικά χαρακτηριστικά τους. Τα συστήματα αίσθησης αφής θα αποτελέσουν κρίσιμο παράγοντα για τη συλλογή δεδομένων όπως η ανίχνευση επιφανειών των αντικειμένων, τις αλλαγές και διακυμάνσεις θερμοκρασίας, την έντονη άσκηση πίεσης και την εμφάνιση κραδασμών. Τα συστήματα αυτά θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στον τομέα υγείας παρέχοντας στους γιατρούς κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του ασθενή καθώς διαθέτουν εξειδικευμένους μηχανικούς υποδοχείς αίσθησης που ονομάζονται μηχανουποδοχείς (mechanoreceptors). Οι υποδοχείς αυτοί μπορούν να αντλούν δεδομένα όπως τη θερμοκρασία από τους θερμουποδοχείς δέρματος του ασθενή ενημερώνοντας τον γιατρό για αλλαγές στη θερμοκρασία σώματος, η πίεση και δύναμη που θα ασκείται στον ασθενή κατά τη διάρκεια της επέμβασης καθώς και η αίσθηση πόνου προειδοποιώντας τον γιατρό για πιθανό κίνδυνο. Τα συστήματα αυτά πρόκειται να ενσωματωθούν στα πληροφοριακά και ρομποτικά συστήματα που διαθέτουν τα νοσοκομεία μέσω των δικτύων 6G τα οποία προβλέπεται να είναι σε θέση να υποστηρίξουν την ενοποίηση τους. Για να μπορέσουν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά αυτές οι δυο τεχνολογίες θα βασιστούν στις ικανότητες των 6G δικτύων που θα επιφέρουν άμεση συνδεσιμότητα, παγκόσμια κάλυψη και επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο πετυχαίνοντας ταχύτητες γρηγορότερες από τις προηγούμενες γενιές δικτύων, με μικρή καθυστέρηση και μεγάλο όγκο επεξεργασίας και μετάδοσης ιατρικών δεδομένων.

Τα δίκτυα 6G αναμένεται να ενσωματώσουν αυτήν την τεχνολογία στον τομέα υγείας, παρέχοντας υψηλή ταχύτητα απτικής ανατροφοδότησης σε πραγματικό χρόνο, βελτίωση των απομακρυσμένων αλληλεπιδράσεων, παροχή μιας ρεαλιστικής προσέγγισης και νέες διαδραστικές μεθόδους αλληλεπίδρασης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα θα αποτελέσει η ενσωμάτωσή τους στην

τηλεχειρουργική. Με αυτόν τον τρόπο θα διευκολυνθεί σημαντικά το έργο των γιατρών ενισχύοντας την εξ αποστάσεως παροχή κλινικής βοήθειας και χειρουργικής με περισσότερη ακρίβεια και αξιοπιστία.

5.4 Ασφάλεια 6G

Η διασφάλιση απορρήτου και ασφάλειας θα αποτελέσουν κρίσιμους παράγοντες έρευνας και μελέτης για τα δίκτυα 6G. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να ενσωματώσουν προηγμένους μηχανισμούς ασφάλειας και ειδικούς αλγορίθμους, να ακολουθήσουν ρητά και αυστηρά νόμους, νομικά ζητήματα, πρωτόκολλα και πολιτικές ασφάλειας, να λάβουν υπόψη όλα τα πιθανά σενάρια κινδύνων και απειλών, καθώς και μέτρα αποφυγής και αντιμετώπισης τους για τη παροχή αξιόπιστων υπηρεσιών με υψηλή ασφάλεια. Τα δίκτυα 6G λόγω της άμεσης συσχέτισης τους με τη λήψη, μετάδοση και επεξεργασία μεγάλων όγκων δεδομένων πρέπει να διασφαλίσουν μέσω των κατάλληλων αλγορίθμων ότι το απόρρητο, η ακεραιότητα και αυθεντικότητα των δεδομένων θα παραμείνει αναλλοίωτη διασφαλίζοντας και μετάδοση και ανταλλαγή τους σε ένα ασφαλές αξιόπιστο δίκτυο με έγκυρες και αξιόπιστες πηγές [2]

Μια λύση είναι η κρυπτογράφηση των δεδομένων, για το λόγο αυτό τα δίκτυα 6G αναμένεται να χρησιμοποιήσουν προηγμένους αλγόριθμους κρυπτογράφησης για την προστασία του απορρήτου και ακεραιότητας των δεδομένων, εξασφαλίζοντας την ασφαλή μετάδοση, την αποφυγή και αποτροπή πρόσβασης από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση τρίτων και την αποφυγή αποποίησης ή αλλοίωσης δεδομένων. Τα δίκτυα 6G θα παρέχουν έλεγχο και διαχείριση ταυτότητας υψηλής ακρίβειας, με γρήγορη ταχύτητα διασφαλίζοντας την πρόσβαση μόνο σε εξουσιοδοτημένους χρήστες και συσκευές. Λόγω της αυξημένης χωρητικότητας των 6G δικτύων και της ικανότητας τους να εξυπηρετούν μεγάλο αριθμό χρηστών την ίδια χρονική στιγμή απαιτείται συστηματικός έλεγχος της ταυτότητας των χρηστών. Η υψηλή ταχύτητα των 6G δικτύων θα καταστήσει δυνατό τον έλεγχο χρηστών σε σύντομο χρονικό διάστημα μειώνοντας τη καθυστέρηση αναμονής ή έλλειψης διαθέσιμων πόρων παρά την αυξημένη κίνηση δικτύου. Η εξακρίβωση της ταυτότητας των χρηστών θα γίνεται με τη βοήθεια ειδικών πρωτοκόλλων και τεχνολογιών ορθής επαλήθευσης αυθεντικότητας και εγκυρότητας χρηστών, συσκευών και δικτύων. Τα δίκτυα 6G θα διασφαλίσουν τη διατήρηση απορρήτου των χρηστών προστατεύοντας τα προσωπικά τους δεδομένα μέσω εξελιγμένων τεχνολογιών όπως το διαφορικό απόρρητο (differential privacy) και ο ασφαλής υπολογισμός πολλαπλών μερών/χρηστών (secure multi-party computation). Το διαφορικό απόρρητο είναι μια τεχνική η οποία ενισχύει τη προστασία των ευαίσθητων δεδομένων καθώς περιορίζει την αποκάλυψη της ταυτότητας τους. Με άλλα λόγια η τεχνική αυτή προσθέτει στα δεδομένα τυχαία μοτίβα ή θόρυβο ώστε να μην είναι σαφή ο προσδιορισμός ταυτότητας του ατόμου στο οποίο ανήκουν. Ο ασφαλής υπολογισμός πολλαπλών μερών/χρηστών αποτελεί μια τεχνική της κρυπτογραφίας κατά την οποία πολλά μέρη θα συντονιστούν για να εκτελέσουν από κοινού μια ενέργεια χωρίς όμως το κάθε μέρος να αποκαλύψει την είσοδό του στο άλλο. Σε αντίθεση με την παραδοσιακή μέθοδο εκτέλεσης μιας κρυπτογραφικής ενέργειας κατά την οποία υπάρχει κίνδυνος εισβολής του επιτιθέμενου και απόκτησης πρόσβασης στα δεδομένα κατά τη διάρκεια της

κρυπτογράφησης, η τεχνική αυτή δεν επηρεάζεται από την εμφάνιση του επιτιθέμενου καθώς διατηρεί το απόρρητο των δεδομένων και μεταξύ των συμμετεχόντων μελών.

Τα δίκτυα 6G θα εγκαταστήσουν σε όλες τις τεχνολογίες και υπηρεσίες που θα λειτουργούν υπό την επίβλεψη τους προηγμένους μηχανισμούς ανίχνευσης και απόκρισης απειλών. Αυτό θα οδηγήσει στην άμεση ειδοποίηση και στον γρήγορο εντοπισμό και μετριασμό περιστατικών κινδύνου ή απειλής ασφάλειας. Τα δίκτυα 6G θα χρησιμοποιήσουν ειδικούς αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης οι οποίοι θα παρακολουθούν και θα ελέγχουν με υψηλή ταχύτητα και ακρίβεια τη κυκλοφορία του δικτύου, την αποστολή και λήψη δεδομένων και την ασύρματη επικοινωνία για τον εντοπισμό πιθανών διαταραχών ή απειλών που θα διατάξουν την ομαλή λειτουργία του δικτύου. Αυτό θα ενισχύσει την αξιοπιστία σύνδεσης και ασφάλειας του δικτύου και των δεδομένων που ανταλλάσσονται. Ακόμη, τα δίκτυα 6G πρόκειται να σχεδιαστούν πιο ανθεκτικά από τις προηγούμενες γενιές δικτύων με εγκατεστημένους μηχανισμούς ανοχής και αντοχής σφαλμάτων και κατανεμημένες αρχιτεκτονικές δικτύου, καθιστώντας τα εκ φύσεως ικανά να ανταποκρίνονται και να ανακτώνται γρήγορα σε τυχόν περιστατικά παραβιάσεων, επιθέσεων ασφάλειας ή απρόοπτων διακοπών δικτύου. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να υπάρχει διασφάλιση απορρήτου, εμπιστευτικότητας και ακεραιότητας δεδομένων και στον τομέα υγείας, λόγω του τεράστιου όγκου μετάδοσης και λήψης ιατρικών δεδομένων, εξετάσεων, ιατρικών εικόνων, αποτελεσμάτων διαγνώσεων των ασθενών και προσωπικών στοιχείων των γιατρών και ασθενών. Είναι λοιπόν, αρκετά σημαντικό να υπάρχει περιορισμός στην πρόσβαση και έκθεση αυτών των δεδομένων, διατηρώντας σε κάθε σενάριο επικοινωνίας το απόρρητο ασφαλείας αναλλοίωτο. Τα ιατρικά δεδομένα των ασθενών θα πρέπει να κρυπτογραφούνται μέσω των κατάλληλων αλγορίθμων κρυπτογράφησης όπου χάρη στις υψηλές ταχύτητες των 6G δικτύων θα η κρυπτογράφηση θα απαιτεί μικρό χρονικό διάστημα και στη συνέχεια θα αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων μεγάλης χωρητικότητας. Η κρυπτογράφηση δεδομένων θα αποτρέπει τη μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στα δεδομένα ασθενών, γιατρών και ιατρικού προσωπικού διασφαλίζοντας το απόρρητο ασφαλείας. Τα συστήματα τηλεϊατρικής θα έχουν ενσωματωμένα αλγόριθμους που θα εκτελούν συνεχείς ενημερώσεις ασφαλείας για τον εντοπισμό τρωτών σημείων ή απειλών διασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία των συστημάτων και την αποτελεσματική διεξαγωγή ενεργειών. Τα δίκτυα 6G θα ακολουθήσουν πιστά τα πρωτόκολλα και πρότυπα ασφαλείας για τη διασφάλιση μιας αξιόπιστης και ασφαλούς σύνδεσης δικτύου καθώς τα ίδια πρόκειται να υποστηρίξουν τεχνολογίες που απαιτούν κοινή χρήση δεδομένων, μαζική συνδεσιμότητα και συνεργασία μέσω της ανταλλαγής πληροφοριών. Τα δίκτυα 6G θα χρησιμοποιήσουν εξελιγμένους μηχανισμούς παρακολούθησης και ανίχνευσης απειλών όπως συστήματα ανίχνευσης εισβολών, αλγόριθμοι ανίχνευσης ανωμαλιών και εντοπισμό απειλών. Οι μηχανισμοί αυτοί θα επιβλέπουν το δίκτυο με υψηλή ταχύτητα και μικρά ποσοστά σφάλματος με τη βοήθεια των 6G, ενημερώνοντας σε πραγματικό χρόνο τους ειδικούς για την εμφάνιση κινδύνου ή απειλής [19]

Ακόμη, τα δίκτυα 6G θα ακολουθούν τους νόμους και κανονισμούς απορρήτου και ασφαλείας όπως το HIPAA και το GDPR. Πιο συγκεκριμένα ο νόμος περί φορητότητας και λογοδοσίας ασφάλισης υγείας (Health Insurance Portability and Accountability Act - HIPAA) είναι ένας ομοσπονδιακός

νόμος που διασφαλίζει τη προστασία ευαίσθητων ιατρικών δεδομένων των ασθενών από την αποκάλυψη τους χωρίς τη συναίνεση ή ενημέρωση του ασθενή. Ο νόμος αυτός ψηφίστηκε το 1996 από το Υπουργείο Υγείας και Ανθρώπινων Υπηρεσιών (HHS) των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής, θέτει πρότυπα για τη διαφύλαξη των ευαίσθητων ιατρικών δεδομένων και προστατεύει ένα υποσύνολο δεδομένων που προστατεύονται από τον Κανόνα Απορρήτου (Privacy Rule). Από την άλλη πλευρά, ο Γενικός Κανονισμός για τη Προστασία Δεδομένων (General Data Protection Regulation - GDPR) είναι ο πιο αυστηρός κανονισμός για τη διασφάλιση απορρήτου και τη προστασία προσωπικών και μη δεδομένων παγκοσμίως. Ο κανονισμός αυτός θεσπίστηκε το 2018, εφαρμόζεται από τη Ευρωπαϊκή Ένωση και η παραβίαση των προτύπων του επιφέρει αυστηρά πρόστιμα αξίας δεκάδων εκατομμυρίων ευρώ. Τα δίκτυα 6G ακολουθώντας τα πρότυπα που ορίζουν αυτοί οι κανονισμοί θα διασφαλίσουν τη προστασία των προσωπικών και ιατρικών δεδομένων των ασθενών. Ακόμη, εκτός από τη διασφάλιση της ασφάλειας των δεδομένων τα 6G αναμένεται να καλύψουν και νομικά ζητήματα ως προς την ασφάλεια και αξιοπιστία των υπηρεσιών που θα προσφέρουν. Η τηλεϊατρική και όλες οι υπηρεσίες που θα παρέχονται από τα δίκτυα 6G προσφέροντας απομακρυσμένα κλινική βοήθεια βασίζονται στην ασφάλεια των πληροφοριακών και ρομποτικών συστημάτων για την επιτυχή διεξαγωγή εργασιών και στην αξιοπιστία μιας ασφαλούς δικτυακής υποδομής η οποία θα υποστηρίξει αυτές τις λειτουργίες.

Τα δίκτυα 6G αναμένεται να χρησιμοποιήσουν ασφαλείς πλατφόρμες που καλύπτουν τα απαιτούμενα μέτρα ασφάλειας, θα περιλαμβάνουν μηχανισμούς ελέγχου και επαλήθευσης ταυτότητας για την αποφυγή μη εξουσιοδοτημένες χρήσης και έκθεσης των πληροφοριών και κατάλληλους μηχανισμούς προστασίας δικτύου. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα δίκτυα 6G να έχουν προηγμένους μηχανισμούς προστασίας δικτύου περισσότερο από κάθε άλλη φορά διότι τα δίκτυα 6G αναμένεται να φέρουν την επανάσταση στον τομέα υγείας, μετατρέποντας τον παραδοσιακό τρόπο διεξαγωγής διαδικασιών σε ψηφιακή μορφή. Τα δίκτυα 6G πρέπει να ενισχύσουν σημαντικά την ανθεκτικότητά δικτύου μέσα από τους κατάλληλους μηχανισμούς και αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης καθώς πρέπει να διασφαλίσουν μια αξιόπιστη σύνδεση δικτύου η οποία θα λειτουργεί αποτελεσματικά και θα είναι άμεσα διαθέσιμη ανά πάσα στιγμή χωρίς να επηρεάζεται από την εμφάνιση πιθανών περιορισμών ή απειλών. Οι υπηρεσίες τηλεϊατρικής απαιτούν ασφαλή σύνδεση και αξιόπιστη επικοινωνία διότι πρόκειται να υποστηρίξουν εφαρμογές που είναι ευαίσθητες στον χρόνο και στη συνδεσιμότητα όπως η τηλεχειρουργική. Αυτό σημαίνει ότι σενάρια όπως η εξασθένιση σήματος, η αλλοίωση ή καθυστέρηση της επικοινωνίας, η ελλιπής κάλυψη απομακρυσμένων περιοχών ή η διακοπή σύνδεσης έστω και προσωρινά θα έχει καταστροφικές συνέπειες για αυτές τις εφαρμογές καθώς σε αυτές της εφαρμογές βασίζεται και εξαρτάται η κατάσταση υγείας ή ακόμη και η ζωή του ασθενή. Για τον λόγο αυτό τα δίκτυα 6G θα σχεδιαστούν κατάλληλα ώστε να μπορέσουν να παρέχουν επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, παγκόσμια συνδεσιμότητα και κάλυψη δικτύου, κάτι που δεν κατάφεραν να πέτυχουν οι προηγούμενες γενιές. Η παγκόσμια συνδεσιμότητα και κάλυψη δικτύου θα ενισχύσει τη λειτουργία των 6G δικτύων καθώς η επικοινωνία και μετάδοση δεδομένων δεν θα επηρεάζεται από γεωγραφικούς παράγοντες και θα παρέχονται υπηρεσίες ακόμη και σε περιοχές με ελλιπείς υποδομές [29]

Τα δίκτυα 6G θα ενσωματώσουν στα συστήματα τηλεϊατρικής όλους τους απαραίτητους μηχανισμούς και αλγόριθμους για τη διασφάλιση της ασφάλειας. Για να είναι αποτελεσματική αυτή η λειτουργία τα συστήματα τηλεϊατρικής με τους ενισχυμένους μηχανισμούς ασφάλειας θα πρέπει να εγκατασταθούν τόσο από τη πλευρά των γιατρών όσο και των ασθενών για την επιτυχή και ασφαλή επίτευξη απομακρυσμένων εργασιών. Οι τεχνολογίες υγειονομικής περίθαλψης 6G θα πρέπει να είναι ανθεκτικές σε τυχόν επιθέσεις ασφάλειας και απορρήτου. Για παράδειγμα η ασφάλεια συνδέσμου από άκρο σε άκρο (end-to-end) είναι υποχρεωτική κατά την εξ αποστάσεως χειρουργική επέμβαση ώστε να εξασφαλίζεται η προστασία των δεδομένων και εντολών που μεταδίδονται κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της χειρουργικής επέμβασης, διότι οποιαδήποτε επίθεση ή μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση μπορεί να αλλάξει τις πληροφορίες που πηγαίνουν στη ρομποτική συσκευή και να θέσει σε κίνδυνο την ζωή του ασθενή. Η τηλεχειρουργική αποτελεί μια ιδιαίτερα κρίσιμη και περίπλοκη διαδικασία, για την οποία πρέπει να ληφθούν αρκετά μέτρα ασφάλειας τα οποία θα καταστήσουν δυνατή την αποτελεσματική και αξιόπιστη λειτουργία της. Η ασφάλεια της τηλεχειρουργικής απαιτεί την αυστηρή τήρηση μέτρων και πρωτόκολλων ασφάλειας για τον σχεδιασμό των ρομποτικών συστημάτων, απαιτείται η κατάλληλη υποδομή δικτύου το οποίο θα διασφαλίσει τη συνεχή συνδεσιμότητα και επικοινωνία γιατρού με το ρομποτικό σύστημα, η επικοινωνία και σύνδεση πρέπει να γίνεται σε πραγματικό χρόνο ακόμη και η καθυστέρηση μερικών δευτερολέπτων μπορεί να προβεί μοιραία για τον ασθενή, απαιτείται υψηλή ευκρίνεια και ανάλυση εικόνας ώστε ο χειρουργός να έχει πλήρη επίγνωση και έλεγχο της κατάστασης. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να είναι σε θέση να καλύψουν τις απαιτήσεις της τηλεχειρουργικής διασφαλίζοντας την επιτυχία διεξαγωγής επεμβάσεων και την ασφαλή δημιουργία και λειτουργία των ρομποτικών συστημάτων.

Η ασφάλεια των ρομποτικών συστημάτων μπορεί να επιτευχθεί με τρεις τρόπους, το πρακτικό κομμάτι, τον λογισμικό προγραμματισμό και την υιοθέτηση και τήρηση νομικών ζητημάτων. Μέσω της συστηματικής δοκιμής, πρακτικών και πειραμάτων τα ρομποτικά συστήματα θα οδηγήσουν τους χειρουργούς στην καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας τους και εξοικείωσης τους ώστε να είναι σε θέση να διεξάγουν αποτελεσματικά απομακρυσμένες επεμβάσεις με υψηλή ακρίβεια και αποτελεσματικότητα. Επειδή η τεχνολογία της ενσωμάτωσης ρομποτικών συστημάτων στον τομέα υγείας για τη διεξαγωγή διεργασιών βρίσκεται ακόμη σε στάδια ανάπτυξης είναι ζωτικής σημαίας η κατάλληλη εκπαίδευση και εξοικείωση χειρουργών και μαθητευομένων με τα συστήματα αυτά. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να ενσωματώσουν στα ρομποτικά συστήματα κατάλληλους μηχανισμούς ελέγχου, ακρίβειας και ανίχνευσης απειλών, εξελιγμένους αισθητήρες κίνησης και αφής και λειτουργίες απτικής ανάδρασης, ενισχύοντας την ασφάλεια του συστήματος. Ο προγραμματισμός του λογισμικού αυτών των συστημάτων θα πρέπει να γίνει ακολουθώντας ασφαλείς πρακτικές κωδικοποίησης για την αποφυγή επιθέσεων λογισμικού (software-based attacks), ενισχύοντας την ανθεκτικότητα και ασφάλεια του συστήματος. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να ενσωματώσουν εξελιγμένες αρχιτεκτονικές δικτύων όπως το network slicing και edge computing αποκλειστικά για τη λειτουργία των ρομποτικών συστημάτων παρέχοντας ενισχυμένη χωρητικότητα και κάλυψη ανάλογα τη ζήτηση και τις απαιτήσεις και γρήγορη επεξεργασία του μεγάλου όγκου δεδομένων που απαιτεί η τηλεχειρουργική σε μικρό χρονικό διάστημα.

Τα δίκτυα 6G θα παρέχουν αυστηρό έλεγχο ταυτότητας και εξουσιοδότησης των ρομποτικών συστημάτων μέσω προηγμένων μηχανισμών και αλγορίθμων ελέγχου ταυτότητας και επαλήθευση αυθεντικοποίησης χρήστη με σκοπό να επικυρώνεται η εγκυρότητα των χειρουργών που θα έχουν πρόσβαση στα ρομποτικά συστήματα. Ένα μοντέλο που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα δίκτυα 6G για την ενίσχυση της ασφάλειας είναι το μοντέλο ασφάλειας Zero Trust κατά το οποίο κάθε χρήστης, πληροφοριακό σύστημα ή συσκευή που εντοπίζεται στο δίκτυο αντιμετωπίζεται ως δυνητικά αναξιόπιστο. Το μοντέλο αυτό απαιτεί τον συνεχή έλεγχο και επαλήθευση ακεραιότητας όλων των εμπλεκόμενων μελών που απαρτίζουν τη διεξαγωγή της χειρουργικής επέμβασης, ακόμη και για τη πρόσβαση σε πόρους και δεδομένα.

Ο συνεχής έλεγχος θα μπορεί να επιτευχθεί με τους κατάλληλους αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης τηρώντας αυστηρά μέτρα παρακολούθησης της κυκλοφορίας του δικτύου και των δεδομένων που ανταλλάσσονται και τη βοήθεια των 6G δικτύων παρέχοντας στους αλγόριθμους γρήγορη ταχύτητα, υψηλή χωρητικότητα και χαμηλή καθυστέρηση. Η επαλήθευση της ταυτότητας χρήστη γίνεται μέσω της μεθόδου πολλαπλών παραγόντων (MFA- multi-factor authentication) με τη χρήση ισχυρών κωδικών ή βιομετρικών στοιχείων. Οι τρέχουσες τεχνικές που βασίζονται στην κρυπτογραφία χρησιμοποιούνται για λόγους ασφαλείας και απορρήτου του συστήματος υγείας. Η εφαρμογή κβαντικών γεννητριών και τα πρωτόκολλα κατανομής κβαντικών κλειδιών μπορούν να εξασφαλίσουν την ασφάλεια στα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης. Εκτός από τις τεχνικές που βασίζονται στην κρυπτογραφία, η ασφάλεια στο φυσικό επίπεδο έχει αναπτυχθεί για να διασφαλίσουν την ασφάλεια του συνδέσμου επικοινωνίας από παρεμβολές, πλαστογραφίες και υποκλοπές. Οι τεχνικές PLS συμπεριλαμβανόμενης της προσαρμογής βάσει καναλιού και παραγωγής κλειδιού (adaptation and key generation) καθώς και η ασφάλεια πολλαπλών επιπέδων μπορούν να εφαρμοστούν για την βελτίωση της ασφάλειας επικοινωνίας. Στις υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης, αυτές οι τεχνικές είναι σημαντικές λόγω της χαμηλής υπολογιστικής πολυπλοκότητας και της χαμηλής ισχύος στις τεχνολογίες επικοινωνίας.

Οι εξωτερικές συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προστασία των WBAN (Wireless Body Area Networks) και IoBNT (Internet of Bio-Nano Things). Πιο συγκεκριμένα, τα WBAN είναι ασύρματα δίκτυα περιοχών σώματος τα οποία συνδέουν ανεξάρτητους κόμβους όπως αισθητήρες και ενεργοποιητές (actuators) που βρίσκονται στα ρούχα με το σώμα του ατόμου. Το δίκτυο συνήθως επεκτείνεται σε ολόκληρο το ανθρώπινο σώμα, οι κόμβοι συνδέονται μέσω ενός καναλιού ασύρματης επικοινωνίας και συνήθως τοποθετούνται σε μια τοπολογία αστέρα ή πολλαπλών βημάτων (multihop). Το WBAN προσφέρει πολλές υποσχόμενες νέες εφαρμογές στον τομέα της απομακρυσμένης παρακολούθησης υγείας και της τηλεϊατρικής, μέσω των 6G θα επιτυγχάνεται μετάδοση δεδομένων με υψηλή ταχύτητα και ευκρίνεια και χαμηλή καθυστέρηση. Ένας ασθενής μπορεί να εξοπλιστεί με WBAN που αποτελείται από αισθητήρες που μετρούν συνεχώς συγκεκριμένες βιολογικές λειτουργίες όπως η θερμοκρασία, η αρτηριακή πίεση, οι καρδιακοί παλμοί και η αναπνοή και έτσι δεν είναι απαραίτητο να παραμείνει στο νοσοκομείο, αφού η παρακολούθηση της υγείας του θα γίνεται απομακρυσμένα. Τα δίκτυα 6G ενσωματώνοντας τους κατάλληλους αισθητήρες και αλγόριθμους παρακολούθησης στα WBAN θα μπορούν να επιβλέπουν συνεχώς την κατάσταση υγείας του ασθενή στέλνοντας σε πραγματικό χρόνο τις

πληροφορίες αυτές στους γιατρούς για εξέταση, Το WBAN συλλέγει και ανταλλάσσει τα ευαίσθητα δεδομένα του ασθενή και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να υπάρχει ο κατάλληλος μηχανισμός ασφάλειας διότι οποιαδήποτε μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση μπορεί να εισβάλει στην ιδιωτική ζωή του ατόμου παραβιάζοντας το απόρρητο των δεδομένων αυτών.

Το ακτινολογικό πληροφοριακό σύστημα (Radiology Information System – RIS) μπορεί να αποτελέσει μια καλή λύση για την ασφάλεια επικοινωνίας WBAN καθώς είναι σε θέση να φιλτράρει και να χειρίζεται τα σήματα κατά της εμπλοκής και τις επιθέσεις πλαστογράφησης. Το σύστημα αυτό θα μπορεί μέσω των 6G δικτύων να επεξεργάζεται και να ελέγχει τα σήματα αυτά με υψηλή ταχύτητα και ενισχυμένη χωρητικότητα επιτρέποντας το RIS να λαμβάνει ως είσοδο μεγάλο αριθμό σημάτων. Το RIS είναι ένα δικτυωμένο σύστημα λογισμικού για την διαχείριση ιατρικών εικόνων και δεδομένων και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την παρακολούθηση παραγγελιών ακτινολογικής απεικόνισης καθώς παρακολουθεί ολόκληρη την ροή εργασίας και ιστορικό του ασθενή εντός του ακτινολογικού τμήματος. Το IoBNT αποτελεί ένα νέο πρότυπο επικοινωνίας όπου μικροσκοπικές, βιοσυμβατές και μη παρεμβατικές συσκευές συλλέγουν και ανιχνεύουν βιολογικά σήματα από το περιβάλλον και τα στέλνουν σε κέντρα δεδομένων για επεξεργασία μέσω του Διαδικτύου. Μέσω των 6G δικτύων η αποστολή θα γίνεται με γρήγορους ρυθμούς μετάδοσης σε πραγματικό χρόνο. Οι μηχανισμοί συνδεσιμότητας για την προώθηση και λήψη μηνυμάτων από τον πάροχο υγειονομικής περίθαλψης ή ιατρικό διακομιστή γίνεται μέχρι σήμερα με την βοήθεια των 4G και 5G δικτύων, μελλοντικά όμως αναμένεται να αντικατασταθούν από τα δίκτυα 6G. Ο ιατρικός διακομιστής είναι μια υπηρεσία που βασίζεται στο cloud για την αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων που σχετίζονται με την υγεία των ασθενών. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να είναι σε θέση να υποστηρίξουν τη λειτουργία cloud υπηρεσιών αυξημένης χωρητικότητας με αλγόριθμους που επεξεργάζονται τεράστιο όγκο δεδομένων σε σύντομο χρονικό διάστημα. Για την προστασία της ιδιωτικότητας των ασθενών και των ιατρικών δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες αιχμής που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη (AI based edge technologies) οι οποίες φιλτράρουν και διακρίνουν τα δεδομένα πριν την αποθήκευση, μετάδοση και αποστολή τους στο cloud.

5.5 Εφαρμογές Τηλεϊατρικής μέσω 6G

5.5.1 Τηλεχειρουργική

Η τηλεχειρουργική ορίζεται ως η εξ αποστάσεως χειρουργική με τη χρήση ρομποτικών συστημάτων χωρίς την φυσική παρουσία του γιατρού στον χειρουργικό χώρο που βρίσκεται ο ασθενής. Η τηλεχειρουργική θα αποτελέσει μια αναδυόμενη ιδέα του μέλλοντος η οποία θα γίνει πραγματικότητα χάρη στις δυνατότητες των 6G δικτύων φέρνοντας την επανάσταση της χειρουργικής και αλλάζοντας ριζικά τον τρόπο διεξαγωγής των χειρουργικών επεμβάσεων. Η τηλεχειρουργική απαιτεί υψηλό ρυθμό μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων και επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο (real-time communication) για να μπορέσουν να γίνουν με επιτυχία οι επεμβάσεις, κάτι που τα δίκτυα 5G και οι προηγούμενες γενιές δικτύων δεν ήταν σε θέση να καλύψουν. Τα δίκτυα 6G μέσω της κατάλληλης υποδομής δικτύου θα παρέχουν αξιόπιστη

επικοινωνία, χωρίς σφάλματα σύνδεσης, με χαμηλή καθυστέρηση καθιστώντας δυνατή τη σύνδεση γιατρών με τα ρομποτικά συστήματα καθοδηγώντας και ελέγχοντας απομακρυσμένα την πραγματοποίηση χειρουργικών επεμβάσεων. Μέσω των δικτύων 6G η καθοδήγηση θα γίνεται σε πραγματικό χρόνο είτε μέσω προφορικής τηλεδιάσκεψης είτε μέσω ολογραμμάτων την βοήθεια της ολογραφικής επικοινωνίας. Οι χειρουργοί χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες της ολογραφικής επικοινωνίας και της τηλεχειρουργικής θα μπορέσουν να σχεδιάσουν και να προγραμματίσουν τις χειρουργικές επεμβάσεις που θα εκτελούν τα ρομποτικά συστήματα και μέσω οθονών τρισδιάστατης απεικόνισης να καθοδηγούν και να επιβλέπουν την επέμβαση. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί μέσω των κατάλληλων αλγορίθμων μπορεί να εντοπίσει πρώιμα στάδια ασθενειών όπως ο καρκίνος για την αποτελεσματική πρόληψη και αποφυγή εξασθένησης της ασθένειας ενημερώνοντας τους γιατρούς να προβούν άμεσα στην πραγματοποίηση της απαραίτητης χειρουργικής επέμβασης.

Η τεχνητή νοημοσύνη θα αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα για την υλοποίηση και λειτουργία της τηλεχειρουργικής μέσω της ανάπτυξης “έξυπνων” ρομποτικών συστημάτων τα οποία θα διεξάγουν χειρουργικές επεμβάσεις με επιτυχία ακόμη και απομακρυσμένα. Τα δίκτυα 6G θα μπορέσουν να υποστηρίξουν τη λειτουργία αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης οι οποίοι θα είναι σε θέση να αναλύουν και να μεταδίδουν μεγάλο όγκο δεδομένων σε πραγματικό χρόνο με υψηλή ταχύτητα και να παρέχουν αυτοματοποιημένη βοήθεια κατά τη διάρκεια της επέμβασης οδηγώντας στη βέλτιστη λήψη αποφάσεων και διεξαγωγή ενεργειών. Οι ερευνητές θα μπορέσουν μέσα από αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης να προγραμματίσουν κατάλληλα τα ρομποτικά συστήματα ώστε να μπορέσουν οι γιατροί να ελέγχουν και να καθοδηγούν τις κινήσεις τους σε πραγματικό χρόνο. Τα ρομποτικά συστήματα που εκτελούν τις επεμβάσεις είναι εξοπλισμένα με ρομποτικούς βραχίονες οι οποίοι μιμούνται και εκτελούν με ακρίβεια κινήσεις τους οποίους ρυθμίζει εξ αποστάσεως ο χειρουργός από την κονσόλα ελέγχου και ειδικές κάμερες οι οποίες παρέχουν σαφή εικόνα της επέμβασης στον χειρουργό μέσω ολογραφικών οθονών. Κατά τη διάρκεια της επέμβασης θα υπάρχει συνεχής επικοινωνία και σύνδεση του χειρουργού με το ρομποτικό σύστημα μέσω της μετάδοσης βίντεο, ήχου και εικόνας, θα συλλέγονται δεδομένα σχετικά με την κατάσταση υγείας του ασθενή, θα μεταδίδονται μέσω των αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο, χωρίς καθυστερήσεις και θα επεξεργάζονται από τους γιατρούς. Τα δίκτυα 6G θα είναι σε θέση να μεταδίδουν υψηλής ποιότητας και ανάλυσης βίντεο, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες όπως οπτικές ίνες ή δορυφορική επικοινωνία παρέχοντας στους χειρουργούς ακριβή εικόνα με λεπτομέρειες της χειρουργικής επέμβασης κατά τη διάρκεια της μετάδοσης.

Η τηλεχειρουργική θα χρησιμοποιήσει δυο νέες τεχνολογίες οι οποίες θα ενισχύσουν την ακρίβεια και αποτελεσματικότητα της, την απτική ανάδραση (haptic feedback) και την απτική αίσθηση (tactile sensation). Οι δυο τεχνολογίες αυτές θα προσφέρουν στον χειρουργό μέσω εξελιγμένων συστημάτων απτικής ανάδρασης μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση της επέμβασης παρέχοντας χαρακτηριστικά όπως η αίσθηση αφής, πίεσης και αντίστασης που θα αποδώσουν περισσότερες λεπτομέρειες σε πραγματικό χρόνο. Ο χειρουργός θα μπορέσει μέσω αυτών των συστημάτων να αισθάνεται τη πίεση και δύναμη που ασκείται στον ασθενή έχοντας καλύτερη εικόνα και πλήρη έλεγχο της κατάστασης, αποφεύγοντας τη πιθανότητα κάποιου ατυχήματος. Τα δίκτυα 6G προκειμένου να αυξήσουν περαιτέρω την ακρίβεια και καλύτερη κατανόηση της επέμβασης αναμένεται να ενσωματώσουν στην τηλεχειρουργική τεχνολογίες επαυξημένης και εικονικής

πραγματικότητας, με ειδικές κάμερες τρισδιάστατης απεικόνισης οι οποίες θα ενισχύσουν την αντίληψη και οπτικοποίηση του χειρουργού μέσω τρισδιάστατων εικόνων δίνοντας του τη δυνατότητα ακριβούς αξιολόγησης και επίγνωσης των σημείων που χειουργούνται.

Η τηλεχειρουργική παρά το θετικό της αντίκτυπο επιφέρει και πολλούς κινδύνους ως προς την ασφάλεια και αξιοπιστία της, είναι ζωτικής σημασίας να υπάρχει πλήρης έλεγχος και ασφάλεια των χειρουργικών και ρομποτικών συστημάτων καθώς πρόκειται για μια τεχνολογία κατά την οποία οι επεμβάσεις γίνονται χωρίς φυσική παρουσία του χειρουργού στον ίδιο χώρο με τον ασθενή, οπότε η πορεία και εξέλιξη της επέμβασης βασίζεται αποκλειστικά στα συστήματα αυτά. Για το λόγο αυτό οι ερευνητές έχουν αποδώσει ιδιαίτερη προσοχή στην σχεδίαση και προγραμματισμό των συστημάτων τηλεχειρουργικής μέσω πολλαπλών στρωμάτων και μηχανισμών ασφάλειας, λαμβάνοντας υπόψη τους κινδύνους και απειλές, τηρώντας όλα τα απαραίτητα μέτρα, πρωτόκολλα και πολιτικές εξασφαλίζοντας έτσι, την ασφάλεια των ασθενών και την επιτυχή διεξαγωγή των επεμβάσεων.

5.5.2 “Έξυπνα” Ασθενοφόρα

Ο όρος “έξυπνα” ασθενοφόρα αναφέρεται σε εξελιγμένα ασθενοφόρα με προηγμένες τεχνολογίες, δίνοντας τη δυνατότητα στους γιατρούς και στο ιατρικό προσωπικό να παρέχουν υγειονομική περίθαλψη στους ασθενείς πριν την άφιξη τους στο νοσοκομείο. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι μισές περιπτώσεις ατυχημάτων θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν απευθείας χωρίς νοσοκομειακή περίθαλψη αν παρέχόταν άμεσα η κατάλληλη κλινική βοήθεια. Σε αυτό το γεγονός βασίστηκε το Ευρωπαϊκό Ερευνητικό πρόγραμμα για την δημιουργία των “έξυπνων” ασθενοφόρων τα οποία σχεδιάστηκαν για την καλύτερη και γρηγορότερη αντιμετώπιση των ατυχημάτων και των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Στόχος τους είναι οι γιατροί να είναι σε θέση να δώσουν μια έγκαιρη και ακριβή διάγνωση στην λεγόμενη “χρυσή ώρα” μετά από ένα ατύχημα που θα μπορούσε να κρίνει την τύχη του ασθενούς. Τα “έξυπνα” ασθενοφόρα δίνουν την δυνατότητα στους γιατρούς που βρίσκονται στο ασθενοφόρο να μπορούν να στείλουν τα στοιχεία και τα συμπτώματα του ασθενή σε πραγματικό χρόνο στους γιατρούς του νοσοκομείου οι οποίοι θα προετοιμάσουν τον κατάλληλο εξοπλισμό και ιατρικούς πόρους που θα χρειαστεί ο ασθενής με την άφιξη του στο νοσοκομείο.

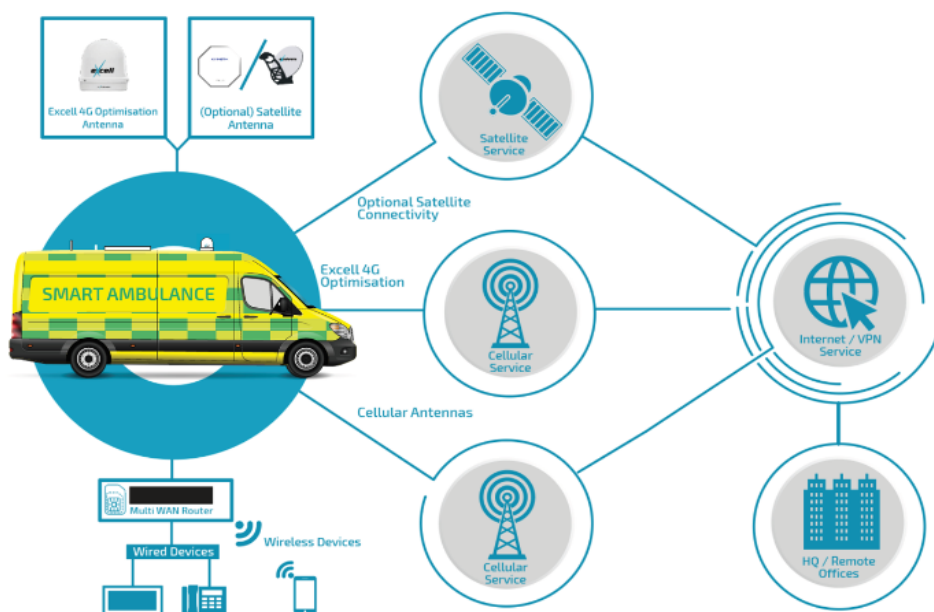
Η λειτουργία των “έξυπνων” ασθενοφόρων είναι απλή και εύκολη, ένα άτομο μπορεί να καλέσει γρήγορα ένα ασθενοφόρο μέσω μιας smartphone εφαρμογής και ανάλογα με την τοποθεσία του, η οποία εντοπίζεται μέσω GPS, το πλησιέστερο διαθέσιμο ασθενοφόρο θα ξεκινήσει την κάθοδο του προς αυτόν. Τα ασθενοφόρα αυτά διαθέτουν στο εσωτερικό τους κάμερες υψηλής ανάλυσης και μεταδίδουν στους γιατρούς μέσω βίντεο ζωντανής ροής (live video) την κατάσταση υγείας του ασθενή. Οι γιατροί και το ιατρικό προσωπικό έχουν ειδικά γυαλιά και ακουστικά εικονικής πραγματικότητας για καλύτερη εστίαση και παρακολούθηση του ασθενή ενώ βρίσκεται στο ασθενοφόρο. Τα “έξυπνα” ασθενοφόρα χρησιμοποιούν την τεχνολογία RFID η οποία παρέχει αυτοματοποιημένες ενημερώσεις σχετικά με τα αποθέματα και ιατρικά αναλώσιμα. Ο εξοπλισμός του RFID αποτελείται από διάφορα είδη αισθητήρων όπως αισθητήρες: καρδιακού παλμού, στάθμης οξυγόνου, μετρήσεις πίεσης αίματος και θερμοκρασίας του σώματος. Οι μετρήσεις αυτές

θα αποστέλλονται στους γιατρούς και στο ιατρικό προσωπικό σε πραγματικό χρόνο ώστε να εκτιμηθεί η κατάσταση που βρίσκεται ο ασθενής χωρίς λάθη μέσω των κατάλληλων τεχνικών κρυπτογράφησης.

Η επιτυχής διεκπεραίωση αυτής της διαδικασίας γίνεται σήμερα με την βοήθεια των 5G δικτύων και της προηγμένης υποστήριξης εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Κύριο χαρακτηριστικό αυτής της διαδικασίας είναι η ισχυρή συνδεσιμότητα και η αξιόπιστη σύνδεση στο Διαδίκτυο, η οποία δεν επηρεάζεται από την συνεχή αλλαγή τοποθεσίας, **Εικόνα 16**. Το 2021 πραγματοποιήθηκε στο Ηνωμένο Βασίλειο, χάρη στα δίκτυα 5G, η πρώτη εξ αποστάσεως διάγνωση σε ασθενοφόρο. Το “έξυπνο” ασθενοφόρο που μετέφερε τον ασθενή μπορούσε να στείλει σε πραγματικό χρόνο τα δεδομένα του στους γιατρούς που βρισκόταν στο νοσοκομείο. Ο γιατρός μπόρεσε να εξετάσει τον ασθενή απομακρυσμένα με την βοήθεια της τεχνολογίας των δικτύων 5G. Πιο συγκεκριμένα, μια εσωτερική κάμερα του ασθενοφόρου μετέδιδε στον γιατρό βίντεο υψηλής ευκρίνειας με σχεδόν μηδενική καθυστέρηση κι έτσι, ο γιατρός χρησιμοποιώντας ένα ακουστικό VR και ένα joystick μπόρεσε να καθοδηγήσει το ιατρικό προσωπικό του ασθενοφόρου ακολουθώντας μια σειρά διαδικασιών που βασίζονταν στην τεχνολογία απτικών γαντιών (haptic gloves). Η διαδικασία αυτή έλαβε χώρα στην πόλη του Birmingham και ήταν μια συνεργασία μεταξύ της εταιρείας τηλεπικοινωνιών Ericsson, του Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου Birmingham (UHB) και του King’s College του Λονδίνου.

Στόχος των 6G δικτύων είναι να βελτιώσουν και να εξελίσσουν την παροχή ιατρικής βοήθειας και υπηρεσιών που αποδίδεται στους ασθενείς κατά τη διάρκεια μεταφοράς τους στο νοσοκομείο. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να ενισχύσουν τη λειτουργία και τις δυνατότητες των “έξυπνων” ασθενοφόρων ενσωματώνοντας προηγμένες τεχνολογίες και αλγορίθμους για να βελτιώσουν τις υπάρχον υποδομές και υπηρεσίες. Πιο συγκεκριμένα, θα αυξήσουν σημαντικά τη ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων και την ποιότητα σημάτων υποδομών. Είναι ζωτικής σημασίας να υπάρχει άμεσα διαθέσιμη κάλυψη και χωρητικότητα δικτύου εξασφαλίζοντας αξιόπιστες συνδέσεις αποφεύγοντας περιπτώσεις εξασθένησης σήματος ή διακοπής σύνδεσης. Κάτι τέτοιο μπορεί να προβεί μοιραίο ειδικά για τις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Τα δίκτυα 6G θα παρέχουν άμεση συνδεσιμότητα και κάλυψη δικτύου σε όλες τις γεωγραφικές περιοχές και με τη βοήθεια των κατάλληλων αλγορίθμων εντοπισμού θα ενισχύσουν τη λειτουργία των GPS συστημάτων καθώς θα εντοπίζεται σε ελάχιστο χρόνο με ακρίβεια η τοποθεσία του ασθενή για την αποστολή του ασθενοφόρου. Τα δίκτυα 6G θα παρέχουν γρηγορότερες ταχύτητες μετάδοσης και επεξεργασίας δεδομένων συγκριτικά με τα δίκτυα 5G μεταδίδοντας σε πραγματικό χρόνο τα δεδομένα του ασθενή στους γιατρούς και επιτρέποντας την επικοινωνία του με τον γιατρό κατά τη διάρκεια της διαδρομής. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να ενσωματώσουν τεχνολογίες επαυξημένης πραγματικότητας ενισχύοντας την παροχή απομακρυσμένης βοήθειας όπου γιατροί και ιατρικό προσωπικό θα μπορεί να καθοδηγεί και να παρακολουθεί απομακρυσμένα σε πραγματικό χρόνο τον ασθενή, αποκτώντας καλύτερη εικόνα της κατάστασης υγείας του, λαμβάνοντας ακριβείς αποφάσεις σχετικά με την απαιτούμενη θεραπεία και των ενεργειών που θα εκτελεστούν κατά την άφιξη του ασθενή στο νοσοκομείο.

Το σύστημα των GPS στα “έξυπνα” ασθενοφόρα πρόκειται να αναβαθμιστεί αρκετά με τη βοήθεια των 6G δικτύων ώστε να βρίσκουν και να προτείνουν την βέλτιστη λύση δηλαδή τη πιο γρήγορη και κοντινή διαδρομή αποφεύγοντας την κίνηση και τους δρόμους με πολλούς φωτεινούς σηματοδότες, επιλέγοντας δρόμους όπου μπορούν να λάβουν προτεραιότητα πρόσβασης, μειώνοντας το χρόνο μεταφοράς και καθυστέρησης.



Εικόνα 16: Μηχανισμός “Έξυπνου” Ασθενοφόρου

Πηγή: [50]

5.5.3 Βελτίωση Μονάδας Αντιμετώπισης Έκτακτης Ανάγκης

Η μονάδα αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης (Emergency Response Unit - ERU) είναι μια διεθνής μονάδα, πλήρως εξοπλισμένη και εκπαιδευμένη για να ανταποκρίνεται γρήγορα κατά την διάρκεια οποιασδήποτε επικίνδυνης, καταστροφικής κατάστασης ή κατάστασης έκτακτης ανάγκης, όπως για παράδειγμα κάποιο ατύχημα ή φυσική καταστροφή, παρέχοντας άμεση βοήθεια και υγειονομική περίθαλψη. Η μονάδα αυτή ιδρύθηκε από τη Διεθνή Ομοσπονδία Ερυθρών Σταυρών και Ερυθράς Ημισελήνου (IFRC), με έδρα την Γενεύη της Ελβετίας, με σκοπό τον διεθνή συντονισμό δράσεων, παροχής βοήθειας και προώθησης ανθρωπιστικών δραστηριοτήτων σε χώρες που έχουν υποστεί καταστροφή. Μέχρι σήμερα έχουν δημιουργηθεί 200 ομάδες έκτακτης ανάγκης ή αλλιώς ομάδες καταστροφών, οι οποίες προσφέρουν γρήγορο συντονισμό και έχουν την υποστήριξη των διεθνών “κοινοτήτων” του Ερυθρού Σταυρού σε περίπτωση καταστροφής και σήμανσης έκτακτης ανάγκης. Μια σύντομη αναφορά στην λειτουργία της ERU είναι ότι μόλις γίνει ένα καταστροφικό συμβάν, η τοπική κοινότητα του Ερυθρού Σταυρού ανταποκρίνεται άμεσα και αξιολογεί την κατάσταση της

ζημιάς που έχει προκληθεί, στην περίπτωση που η ζημιά είναι πολύ σοβαρή και δεν μπορούν να την διαχειριστούν στέλνουν αίτημα στο Αρχηγείο του Ερυθρού Σταυρού στην Γενεύη το οποίο αποφασίζει ποιες ομάδες FACT θα σταλούν να βοηθήσουν (οι ομάδες FACT δημιουργούνται μέσα σε 24 ώρες). Σε καταστροφικές περιπτώσεις όπως μεγάλα ατυχήματα, φυσικές καταστροφές τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης πλήττονται περισσότερο λόγω του αυξημένου φόρτου εργασίας και του μεγάλου αριθμού των ασθενών. Η μονάδα αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης περιλαμβάνει κέντρα διαχείρισης καταστροφών και την κινητή υπηρεσία έκτακτης ανάγκης (EMS), όπου στην περίπτωση κάποιας καταστροφής δημιουργείται εντός ή εκτός των πλαισίων του νοσοκομείου ένα “κέντρο” που ονομάζεται νοσοκομείο πεδίου (field hospitals) για την διαχείριση της κατάστασης και την παροχή κλινικής βοήθειας.

Τα field hospitals είναι σημαντικά ειδικά για την περίπτωση της πανδημίας του COVID-19, για τον περιορισμό της εξάπλωσης του ιού καθώς ο μη διαχωρισμός και η συνύπαρξη των ατόμων που νοσούν με τον ιό του COVID με το ιατρικό προσωπικό και τους υπόλοιπους ασθενείς που βρίσκονται για άλλο ιατρικό λόγο στο νοσοκομείο οδηγεί στην αύξηση των κρουσμάτων και των ασθενών που θα νοσήσουν. Τα field hospitals αποτελούν μια καλή λύση για την αντιμετώπιση και καλύτερη διαχείριση της κατάστασης απομονώνοντας και προσφέροντας σε όσους νοσούν κλινική βοήθεια μέσω του κατάλληλου εξοπλισμού και πόρων. Η μονάδα αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης πρέπει να βρίσκεται σε συνεχή επικοινωνία και με άλλα τμήματα εκτός από τα νοσοκομεία όπως η πυροσβεστική και η αστυνομία για να υπάρχει συντονισμός και καλύτερη αντιμετώπιση της κατάστασης. Η κινητή υπηρεσία έκτακτης ανάγκης είναι η πιο κρίσιμη υπηρεσία στην παροχή άμεσης απόκρισης για τις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, προσφέροντας άμεσα εξελιγμένο ιατρικό εξοπλισμό, “έξυπνα” ασθενοφόρα, βελτίωση της ταχύτητας των διαγνώσεων, άμεση εξ αποστάσεως επικοινωνία μέσω του δικτύου κινητής τηλεφωνίας και ενημέρωση του ιατρικού προσωπικού μέσω υψηλής ποιότητας βιντεοκλήσεων. Είναι φανερό ότι για να αναπτυχθεί και να λειτουργήσει αποτελεσματικά ένα τέτοιο σύστημα άμεσης απόκρισης είναι υποχρεωτικό να υπάρχει ένα αξιόπιστο σύστημα επικοινωνίας και το κατάλληλο δίκτυο για να μπορέσει να το υποστηρίξει. Έτσι, με την βοήθεια των δικτύων 6G θα αυξηθεί η συνδεσιμότητα και ταχύτητα του δικτύου καθώς τα δίκτυα 6G αναμένεται να περιέχουν φάσμα που αποτελείται από mmWave και υποστηρίζει φασματικό εύρος ζώνης από 400 MHz έως και 300 GHz. Το mmWave θα χρησιμοποιηθεί στις υπηρεσίες που απαιτούν ευρύ φάσμα και υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων όπως οι υπηρεσίες κινητών τηλεφώνων (EMS) και η μονάδα αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης (ERU).

Τα δίκτυα 6G θα παρέχουν υψηλές ταχύτητες δεδομένων και υψηλή ταχύτητα συνδεσιμότητας επιτρέποντας στα συστήματα ERU να μεταδίδουν και να λαμβάνουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, ελαχιστοποιώντας τις απώλειες πακέτων και εξασθένηση ποιότητας σήματος. Αυτό θα οδηγήσει στον αποτελεσματικό συντονισμό, ιδιαίτερα για τις καταστάσεις υψηλής πίεσης, θα ενισχύσει την επικοινωνία μεταξύ των μελών της ομάδας ERU και των κεντρικών γραφείων οδηγώντας στη λήψη των κατάλληλων αποφάσεων και μέτρων για την αντιμετώπιση ενός περιστατικού έκτακτης ανάγκης. Ακόμη, η χρήση του 6G θα αυξήσει τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και τη χωρητικότητα καναλιού καθιστώντας δυνατή την υποστήριξη υπηρεσιών όπως η

ασύρματη μετάδοση, βίντεο υψηλής ευκρίνειας και μεταφορά ιατρικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο ανεξάρτητα από τη γεωγραφική τοποθεσία παρέχοντας παγκόσμια κάλυψη δικτύου ακόμη και στις περιοχές όπου υπάρχει έλλειψη δικτυακών υποδομών. Με την αύξηση της χωρητικότητας του καναλιού και της ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων θα αυξηθεί η αξιοπιστία του δικτύου καθώς θα μειωθεί η καθυστέρηση μετάδοσης ειδικά στις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης όπου υπάρχει αυξημένη κινητικότητα. Τα δίκτυα 6G θα ενσωματώσουν κατάλληλους αισθητήρες κίνησης και τεχνολογίες ακριβούς εντοπισμού, διευκολύνοντας το έργο της ERU για τον εντοπισμό της ακριβούς θέσης και τοποθεσίας των περιοχών που έχουν πληγεί από τις καταστροφές. Ακόμη, με την αύξηση του εύρους ζώνης που αναμένετε να επιφέρουν τα δίκτυα 6G η ERU θα οδηγηθεί στη βελτίωση κοινής χρήσης δεδομένων, θα μπορεί να μεταδοθεί γρήγορα μεγάλος όγκος κρίσιμων δεδομένων όπως εικόνων, χαρτών, βίντεο με υψηλή ευκρίνεια, οδηγώντας σε συντονισμένες ενέργειες και συλλογική λήψη αποφάσεων.

Τέλος, οι εναέριες αυτές τεχνολογίες επιφέρουν μαζική και παγκόσμια κάλυψη και συνδεσιμότητα, διαθέτουν κάμερες και αισθητήρες υψηλής ανάλυσης παρέχοντας εναέριες προβολές σε πραγματικό χρόνο, δεν έχουν γεωγραφικούς περιορισμούς όπως τα επίγεια συστήματα επικοινωνίες και μπορούν να λειτουργήσουν παρέχοντας συμπληρωματικά επιπρόσθετη χωρητικότητα και καλύτερη κατανομή πόρων φάσματος ανάλογα τις απαιτήσεις για καλύτερη αντιμετώπιση της κατάστασης έκτακτης ανάγκης.

6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Τεχνητή Νοημοσύνη

6.1 Τι είναι η Τεχνητή Νοημοσύνη;

Μια νέα πολυσυζητημένη τεχνολογία που θα αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα για το μέλλον της εξέλιξης των 6G δικτύων είναι η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence – AI) στα ασύρματα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Ο όρος τεχνητή νοημοσύνη αναφέρεται στην ικανότητα μιας μηχανής να μιμείται και να εκτελεί ανθρώπινες λειτουργίες όπως η μάθηση, ο σχεδιασμός, η λήψη αποφάσεων και η δημιουργικότητα. Η τεχνητή νοημοσύνη καθιστά δυνατή την ικανότητα των μηχανών να μπορέσουν να “κατανοήσουν” το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται, να προβαίνουν σε λύσεις για τα προβλήματα που προκύπτουν και να δρουν αποτελεσματικά προς την επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου. Η τεχνητή νοημοσύνη προβλέπεται να έχει σημαντικό ρόλο στην επανασχεδίαση και βελτίωση της ασύρματης αρχιτεκτονικής δικτύου, να δημιουργήσει ένα ολοκληρωμένο σχέδιο ανάπτυξης συστημάτων AI, να προσφέρει νέες καινοτόμες υπηρεσίες, να βελτιώσει την εμπειρία χρήστη και τη διεξαγωγή διαδραστικών εφαρμογών. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να είναι σε θέση να υποστηρίξουν εξελιγμένες εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα της κινητής τηλεφωνίας και ιδιαίτερα στον τομέα της υγείας.

Η τεχνητή νοημοσύνη θα αποτελέσει το ξεκίνημα μιας νέας αρχής για τον τομέα υγείας αλλάζοντας ριζικά τα υπάρχον δεδομένα σχετικά με τη διεξαγωγή υπηρεσιών και τρόπο παροχής κλινικής βοήθειας. Μελλοντικά οι ειδικοί προβλέπουν ότι η υγειονομική περίθαλψη θα βασίζεται αποκλειστικά στην τεχνητή νοημοσύνη και στις τεχνολογίες 6G, αλλάζοντας τις συνθήκες, αντιλήψεις και τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί σήμερα ο τομέας υγείας. Πιο συγκεκριμένα, η τεχνητή νοημοσύνη με τη βοήθεια των δικτύων 6G, των κατάλληλων αλγορίθμων και πληροφοριακών συστημάτων θα μπορέσει να αναλύει ιατρικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, θα αυξήσει τη ταχύτητα λήψης και αποστολής ιατρικών εξετάσεων και θεραπειών και θα παρέχει διαγνώσεις υψηλής ακρίβειας. Τα δίκτυα 6G έχουν ως στόχο να δημιουργήσουν ένα “έξυπνο” σύστημα δικτυακής επικοινωνίας στο οποίο η τεχνητή νοημοσύνη σε συνδυασμό με τη ρομποτική θα δημιουργήσουν συστήματα τα οποία θα διαθέτουν αυτογνωσία, θα υπολογίζουν και θα αποφασίζουν αυτόνομα για μια κατάσταση χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση [21]. Το “έξυπνο” σύστημα διαχείρισης δικτύου των 6G θα μπορεί να επεξεργαστεί και να μεταδώσει μεγάλο όγκο δεδομένων, να αναλύσει τη συμπεριφορά των χρηστών, να λάβει αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο και να μοιράσει κατάλληλα στους χρήστες τους πόρους του δικτύου. Η κατανομή πόρων μπορεί να

γίνει δυναμικά σύμφωνα με τη ζήτηση και απαιτήσεις των χρηστών, ελαχιστοποιώντας τις παρεμβολές και ενισχύοντας την ισχύ και φασματική απόδοση του δικτύου.

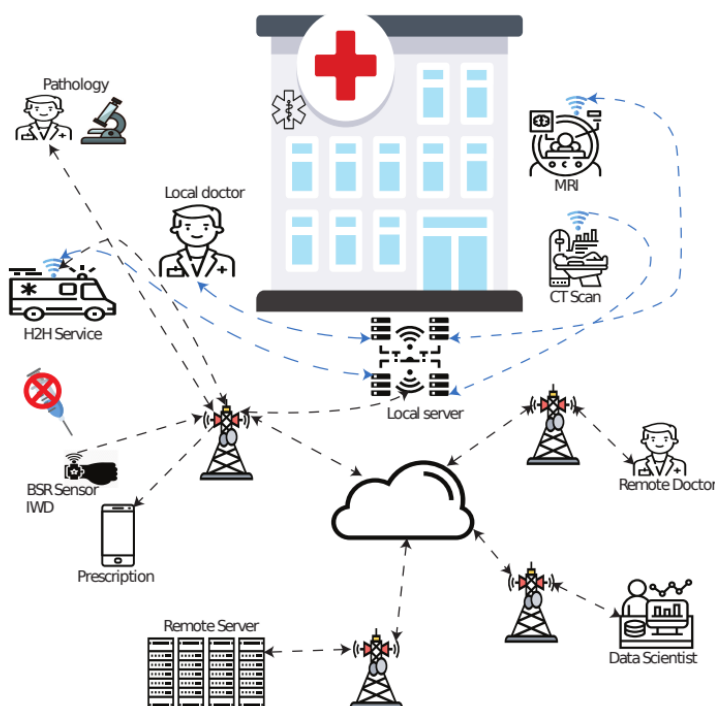
Η τεχνητή νοημοσύνη θα βελτιώσει σημαντικά τον τομέα υγείας καθώς θα παρέχει επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα περιστατικά καταστροφών ή έκτακτης ανάγκης, θα βελτιώσει την κλινική διάγνωση και λήψη αποφάσεων, επιταχύνοντας το χρόνο εντοπισμού κατάλληλης φαρμακευτικής βοήθειας. Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να παρέχουν συνεχή παρακολούθηση της κατάστασης υγείας ασθενών με χρόνιες παθήσεις ή σοβαρές ασθένειες, διευκολύνοντας τους γιατρούς με τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων, ανίχνευση συμπτωμάτων πιθανών κινδύνων και ασθενειών. Ακόμη, αναμένεται να είναι σε θέση να παρέχει εξατομικευμένη θεραπεία ασθενών σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά και την κατάσταση υγείας τους, κάτι ιδιαίτερα σημαντικό για τις σπάνιες και περίπλοκες περιπτώσεις ασθενειών, αναλύοντας μεγάλο όγκο ιατρικών δεδομένων και κλινικών εξετάσεων. Με άλλα λόγια, θα δημιουργήσει ένα “έξυπνο” σύστημα υγειονομικής περίθαλψης το οποίο θα μπορέσει εύκολα να προσαρμοστεί σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα και στις απαιτήσεις των χρηστών, **Εικόνα 17**. Τα δίκτυα 6G θα χρησιμοποιήσουν εξελιγμένες τεχνολογίες beamforming προκειμένου να βελτιώσουν τη κατεύθυνση ραδιοκυμάτων και σήματος για καλύτερη και αξιόπιστη επικοινωνία και τεχνολογίες Edge Computing για να ελαχιστοποιήσουν τη καθυστέρηση επικοινωνιών και να ενισχύσουν το εύρος ζώνης. Αυτό θα είναι εφικτό με την εφαρμογή αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης που θα προσφέρουν υψηλή ακρίβεια, απόδοση και αξιοπιστία στις υπηρεσίες των δικτύων επικοινωνίας [22]

Οι αλγόριθμοι αυτοί αποτελούν υπολογιστικές διαδικασίες ή μαθηματικά μοντέλα τα οποία δίνουν την ικανότητα στις μηχανές και ρομποτικά συστήματα να μιμούνται την ανθρώπινη συμπεριφορά, να επεξεργάζονται δεδομένα και να λαμβάνουν αυτόνομα αποφάσεις. Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης με τη βοήθεια των 6G δικτύων θα είναι σε θέση να υποστηρίξουν τη λειτουργία “έξυπνων” εφαρμογών που απαιτούν μεγάλο όγκο δεδομένων, όπως IoT εφαρμογές στις οποίες θα αναλύουν δεδομένα και θα οδηγούνται στη λήψη “έξυπνων” αποφάσεων χωρίς παρουσία ανθρώπου. Οι εφαρμογές IoT διαθέτουν “έξυπνους” αισθητήρες που μπορούν να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν δεδομένα με τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης [30]. Η πλειοψηφία των αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης ανήκουν στην κατηγορία Βαθιάς Μάθησης (Deep Learning - DL) η οποία αποτελεί υποσύνολο της τεχνητής νοημοσύνης, δεν απαιτεί τα δεδομένα να έχουν υποστεί προεπεξεργασία, μπορεί να λαμβάνει ρητά ιατρικά δεδομένα και να εκτελεί υπολογισμούς επομένως είναι σημαντικό τα δεδομένα να μπορέσουν να δοθούν ως είσοδοι σε πραγματικό χρόνο. Το Deep Learning αποτελεί μια μορφή μηχανικής μάθησης μέσω της οποίας οι υπολογιστές μπορούν να παίρνουν “έξυπνες” αποφάσεις αυτόνομα χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση ή συγκεκριμένο προγραμματισμό.

Όμοια, η Βαθιά Ενισχυτική Μάθηση (Deep Reinforcement Learning - DRL) αποτελεί και αυτή μια μορφή μηχανικής μάθησης η οποία συνδυάζει την ενισχυτική μάθηση (RL) με το Deep Learning. Το DRL δέχεται πολύ μεγάλες εισόδους από μη δομημένα δεδομένα, αποφασίζει ποιες ενέργειες θα εκτελέσει για να βρεθεί η βέλτιστη λύση και παρέχει πολύ υψηλή απόδοση σε μικρό υπολογιστικό χρόνο. Είναι πολύ σημαντικό τα δίκτυα 6G να μπορέσουν να υποστηρίξουν μοντέλα Deep Learning και DRL καθώς παρέχουν υψηλή ακρίβεια, ταχύτητα, συνεχώς εξελίσσονται και βελτιώνονται όσο

αυξάνεται ο όγκος δεδομένων καθιστώντας τα κατάλληλα να χρησιμοποιηθούν σε ευρύ φάσμα εφαρμογών. Ενδεικτικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι η χειρουργική ρομποτική, η επεξεργασία φυσικής γλώσσας και η υπολογιστική όραση. Μια νέα καινοτομία της τεχνητής νοημοσύνης θα αποτελέσει η “συνδεδεμένη νοημοσύνη” όπου σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενιές συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας τα δίκτυα 6G θα αναβαθμίσουν την ασύρματη επικοινωνία μετατρέποντας τα συστήματα σε συνδεδεμένη νοημοσύνη. Ο όρος συνδεδεμένη νοημοσύνη αναφέρεται στην ένωση πληροφοριακών συστημάτων και εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης, δημιουργώντας “έξυπνα” ασύρματα συνδεδεμένα συστήματα με προηγμένες τεχνολογίες και ικανότητες, που αλληλοεπιδρούν και ανταλλάσσουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο με σκοπό την επίτευξη ταχύτατης επικοινωνίας και εκπλήρωσης συγκεκριμένων στόχων. Η συνδεδεμένη νοημοσύνη ενθαρρύνει τη κοινή χρήση δεδομένων και τη συνεργασία τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης με μεγάλο αριθμό πληροφοριακών συστημάτων, με σκοπό να πετύχει συλλογική λήψη αποφάσεων και συντονισμένες ενέργειες [52]

Η τεχνητή νοημοσύνη με τη βοήθεια των δικτύων 6G, των κατάλληλων αλγορίθμων και πληροφοριακών συστημάτων θα συνεισφέρουν σημαντικά στον τομέα υγείας καθώς θα αναλύει μεγάλο όγκο ιατρικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, θα αυξήσει τη ταχύτητα λήψης και αποστολής ιατρικών εξετάσεων και να παρέχει διαγνώσεις υψηλής ακρίβειας. Θα δημιουργήσει ένα “έξυπνο” σύστημα υγείας, το οποίο θα μπορέσει εύκολα να προσαρμοστεί σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα και στις απαιτήσεις των χρηστών, με ρομποτικά συστήματα που θα υπολογίζουν και θα αποφασίζουν αυτόνομα για μια κατάσταση χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Η τεχνητή νοημοσύνη θα βοηθήσει στην έγκαιρη ανίχνευση, υψηλής ακρίβειας διαγνώσεις, εξατομικευμένο σχεδιασμό θεραπειών, βέλτιστη λήψη αποφάσεων και υψηλή απόδοση σε μικρό υπολογιστικό χρόνο [6]



Εικόνα 17: “Έξυπνο” Σύστημα Υγειονομικής Περίθαλψης
Πηγή: [52]

Οι εφαρμογές τηλεϊατρικής θα μπορούν να επιτευχθούν με την βοήθεια των κατάλληλων τεχνικών και αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης. Τα δίκτυα 6G αναμένεται να βασιστούν σημαντικά στην τεχνητή νοημοσύνη, προσφέροντας νέες ιδιότητες, λειτουργίες, κάνοντας κάθε πτυχή της δικτυακής επικοινωνίας πιο “έξυπνη” με την βοήθεια και εφαρμογή κατάλληλων αλγορίθμων. Οι αλγόριθμοι αυτοί θα προσφέρουν με την βοήθεια του 6G υψηλή ακρίβεια, απόδοση και επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τον τομέα υγείας, ο οποίος θα βασίζεται αποκλειστικά στην τεχνητή νοημοσύνη. Οι αλγόριθμοι που θα χρησιμοποιήσουν τα δίκτυα 6G για να μπορέσουν να πραγματοποιήσουν με επιτυχία την ολογραφική επικοινωνία, την αναπαράσταση ολογραμμάτων και την τηλεχειρουργική χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

6.2 Αλγόριθμοι Τεχνητής Νοημοσύνης

6.2.1 Machine Learning

Η Μηχανική Μάθηση (Machine Learning) αποτελεί υποσύνολο της τεχνητής νοημοσύνης και ορίζεται σύμφωνα με τον Arthur Samuel ως “πεδίο μελέτης που δίνει στους υπολογιστές την ικανότητα να μαθαίνουν χωρίς να έχουν ρητά προγραμματιστεί”. Η μηχανική μάθηση ειδικεύεται στην μελέτη, έρευνα και δημιουργία αλγορίθμων οι οποίοι λαμβάνουν δεδομένα, αντλούν από αυτά

χρήσιμες πληροφορίες και είναι σε θέση να κάνουν προβλέψεις ή να πάρουν κάποιες αποφάσεις σχετικά με το αποτέλεσμα. Πολλές φορές η μηχανική μάθηση συγχέεται με την υπολογιστική στατιστική και την εξόρυξη δεδομένων εξαιτίας της ιδιότητας της να δημιουργεί αλγόριθμους και πολύπλοκα μοντέλα που οδηγούν στην πρόβλεψη. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης δεν δίνουν ακριβείς οδηγίες λειτουργίας στην μηχανή ούτε είναι ρητά προγραμματισμένοι για την επίλυση του προβλήματος ή την εκπλήρωση ενός στόχου. Αντιθέτως, η μηχανική μάθηση εκπαιδεύει τους αλγόριθμους της να αντλούν δεδομένα και μέσα από αυτά να κάνουν προβλέψεις, να παίρνουν αποφάσεις ή να καταλήξουν σε κάποιο συμπέρασμα. Οι αλγόριθμοι αυτοί βελτιώνονται με την εμπειρία, είναι σε θέση να βρίσκουν μοτίβα και συσχετίσεις από μεγάλα σύνολα δεδομένων και να λαμβάνουν καλύτερες αποφάσεις. Όσο περισσότερα είναι τα δεδομένα που έχουν πρόσβαση οι αλγόριθμοι αυτοί τόσο μεγαλύτερη είναι και η ακρίβεια τους. Υπάρχουν και διάφορα μοντέλα μηχανικής μάθησης, τα οποία ανάλογα με την φύση των δεδομένων και το επιθυμητό αποτέλεσμα χωρίζονται στις 4 παρακάτω κατηγορίες:

- Επιτηρούμενη Μάθηση: Τα μοντέλα επιτηρούμενης μάθησης ή αλλιώς επιβλεπόμενης – εποπτευόμενης μάθησης (supervised learning) αποτελούνται από ζεύγη δεδομένων “εισόδου” και “εξόδου” εφόσον συλλέξουν όλα τα δεδομένα, αρχίζουν τις συσχετίσεις, εντοπίζουν ομοιότητες και διαφορές με σκοπό να προβλέψουν το αποτέλεσμα. Δέχονται δηλαδή τις εισόδους και τα επιθυμητά αποτελέσματα και έχουν ως στόχο τα αντιστοιχίσουν σωστά, μαθαίνοντας κάποιο γενικό κανόνα συσχέτισης. Τα δεδομένα αποτελούνται από ετικέτες που σημαίνει ότι κάθε σημείο δεδομένων περιέχει τα χαρακτηριστικά και μια συγκεκριμένη ετικέτα.
- Μη επιτηρούμενη μάθηση: Τα μοντέλα μη επιτηρούμενης μάθησης ή αλλιώς μάθησης χωρίς επίβλεψη (unsupervised learning) βρίσκουν την δομή των δεδομένων εισόδου χωρίς προηγούμενη εμπειρία. Τα δεδομένα μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να είναι μη δομημένα και μέσα από μοτίβα και συσχετίσεις θα πρέπει να τα αναγνωρίσουν. Η λειτουργία τους θυμίζει τον τρόπο με τον οποίο αντιδράει ο άνθρωπος όπου χρησιμοποιώντας την εμπειρία ή μη και την διαίσθηση ομαδοποιεί καταστάσεις και καταλήγει σε συμπεράσματα.
- Ημι-επιτηρούμενη μάθηση: Τα μοντέλα ημι-επιτηρούμενης μάθησης (semi-supervised learning) συνήθως χρησιμοποιούνται για τις περιπτώσεις όπου υπάρχουν μεγάλες ποσότητες μη δομημένων και ανεπεξέργαστων δεδομένων. Τα μοντέλα αυτά βοηθούν την μηχανή να αναλύσει τα δεδομένα, προσφέροντας ευκολία, μεγαλύτερη ταχύτητα και ακρίβεια μάθησης.
- Ενισχυτική Μάθηση: Τα μοντέλα ενισχυτικής μάθησης (reinforcement learning) χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιβάλλοντα όπου πρέπει να εκπληρώσουν έναν συγκεκριμένο στόχο, μαθαίνουν αλληλοεπιδρώντας με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται και ασχολούνται με το πως οι ευφυείς πράκτορες αναλαμβάνουν δράση. Στην ενισχυτική μάθηση δεν είναι αναγκαία τα ζεύγη εισόδου / εξόδου.

6.2.2 Deep Learning

Το Deep Learning (DL – Βαθιά Μάθηση) ανήκει στην κατηγορία των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, οι οποίοι χρησιμοποιούν πολλαπλά επίπεδα. Λόγω της χρήσης πολλαπλών επιπέδων στο δίκτυο προέκυψε και το επίθετο “deep ” (= βαθύ). Το deep learning ασχολείται με μεγάλο αριθμό διαδοχικών στρωμάτων που έχουν περιορισμένο μέγεθος, μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να είναι και ετερογενή. Οι αλγόριθμοι deep learning στηρίζουν τη λειτουργία τους βασιζόμενοι στη δομή και λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου. Η πλειοψηφία των σύγχρονων αλγορίθμων deep learning βασίζονται σε νευρωνικά δίκτυα (Neural Networks – NN) που ονομάζονται αλλιώς τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial Neural Networks - ANN) και αποτελούνται από ένα σύνολο κόμβων, συνδεδεμένων μεταξύ τους, οι οποίοι ονομάζονται τεχνητοί νευρώνες. Οι τεχνητοί νευρώνες λαμβάνουν μία ή περισσότερες εισόδους, τις αθροίζουν και παράγουν μέσω μιας μη γραμμικής συνάρτησης, που ονομάζεται συνάρτηση ενεργοποίησης, μια έξοδο. Η δομή των νευρωνικών δικτύων είναι εμπνευσμένη στην δομή του ανθρώπινου εγκεφάλου και προσπαθούν με τον τρόπο που λειτουργεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος να εξάγουν χρήσιμα συμπεράσματα από μεγάλο όγκο δεδομένων, αναλύοντας δηλαδή συνεχώς τα δεδομένα με μια λογική δομή. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των αλγορίθμων deep learning είναι ότι μπορούν να εφαρμοστούν χωρίς επίβλεψη, κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς τις περισσότερες φορές τα δεδομένα παρουσιάζονται σε μη δομημένη μορφή και χωρίς ετικέτα. Σύμφωνα με μια ιστορική αναδρομή, το 1960 διεξάχθηκε με επιτυχία το πρώτο πείραμα σχετικά με την χρήση του perceptron από τον Αμερικάνο Frank Rosenblatt. Το perceptron ή αλλιώς νευρώνας McCulloch – Pitts με λίγα λόγια είναι ένας αλγόριθμος επιβλεπόμενης μάθησης για δυαδική ταξινόμηση. Το πείραμα του Frank Rosenblatt σχετικά με την χρήση του perceptron αφορά τον πρώτο υπολογιστή που ήταν σε θέση να μάθει και να κατανοήσει νέες δεξιότητες με την βοήθεια ενός νευρωνικού δικτύου που προσομοιώνει τις διαδικασίες ανθρώπινης σκέψης. Ο Frank Rosenblatt αργότερα πήρε τον τίτλο “πατέρας” του deep learning. Η ονομασία και ορισμός του “deep learning” προήλθε από την Rina Dechter το 1986.

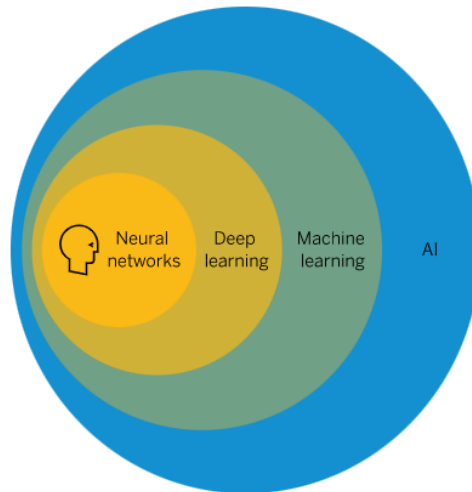
Μια κατηγορία των αλγορίθμων deep learning βασίζεται στα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (Convolutional Neural Networks - CNN) που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση εικόνας σε εργασίες υπολογιστικής όρασης. Οι αλγόριθμοι αυτοί χρησιμοποιούν συνελκτικά επίπεδα και εφαρμόζουν ένα σύνολο φίλτρων στα δεδομένα εισόδου με σκοπό να καταγράψουν χωρικές και τοπικές εξαρτήσεις στις εικόνες όπως πλάτος και ύψος. Κάθε φίλτρο εκτελεί μια διαδικασία συνέλιξης, η συνέλιξη αποτελεί μια μαθηματική πράξη πολλαπλασιασμού των βαρών του φίλτρου με τις αντίστοιχες τιμές εισόδου. Ως είσοδο παίρνει δυο συναρτήσεις και παράγει μια τρίτη συνάρτηση η οποία εκφράζει πως θα τροποποιηθεί το σχήμα του ενός με τη παρουσία του άλλου. Τα CNN διαθέτουν πλήρως συνδεδεμένα στρώματα (fully connected layers) ή αλλιώς πυκνά στρώματα τα οποία καθορίζουν την τελική ταξινόμηση συνδέοντας κάθε νευρώνα σε ένα στρώμα. Ακόμη, για την καλύτερη απόδοση του μοντέλου χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο backpropagation για να υπολογίσουν τις κλίσεις των παραμέτρων δικτύου σε σχέση με τη συνάρτηση απώλειας. Τα CNN ακολουθούν ιεραρχική δομή στρωμάτων για μέγιστη ακρίβεια σε εργασίες υπολογιστικής όρασης, τα αρχικά στρώματα καταγράφουν χαρακτηριστικά χαμηλού επιπέδου όπως υφή και τα βαθύτερα στρώματα χαρακτηριστικά υψηλού επιπέδου όπως σχήματα. Τα CNN έχουν σχεδιαστεί κατάλληλα για την επεξεργασία δεδομένων pixel καθιστώντας τα ικανά να χρησιμοποιηθούν σε

διεργασίες όπως η αναγνώριση προσώπου, η ανάλυση, ταξινόμηση και τμηματοποίηση εικόνων και η επεξεργασία φυσικής γλώσσας.

Ακόμη, μια άλλη κατηγορία των αλγορίθμων deep learning βασίζεται στα επαναλαμβανόμενα νευρωνικά δίκτυα (Recurrent Neural Networks - RNN) όπου αποτελούνται από έναν βρόγχο ανατροφοδότησης, στον οποίο οι πληροφορίες ρέουν με επαναλαμβανόμενο τρόπο δημιουργώντας έναν κύκλο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η είσοδο ορισμένων κόμβων να επηρεάζεται από την έξοδό τους. Η ανατροφοδότηση δεδομένων δίνει τη δυνατότητα στο δίκτυο να διατηρεί μια εσωτερική μνήμη η οποία θα καταγράφει τα μοτίβα ακολουθίας. Τα RNN επεξεργάζονται δεδομένα διαδοχικά ή δεδομένα με χρονικές εξαρτήσεις όπως χρονοσειρές. Οι επαναλαμβανόμενες συνδέσεις μπορούν να απεικονιστούν σε διαφορετικά βήματα όπου κάθε βήμα αντιστοιχεί σε ξεχωριστό αντίγραφο του RNN. Τα RNN μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εργασίες όπως η αναγνώριση ομιλίας, ανάλυση χρονοσειρών και επεξεργασία φυσικής γλώσσας.

Το Deep Reinforcement Learning (DRL – Βαθιά Ενισχυτική Μάθηση) αποτελεί υποσύνολο της μηχανικής μάθησης και συνδυάζει την ενισχυτική μάθηση (RL) με το Deep Learning, έτσι προέκυψε και το όνομα του. Οι αλγόριθμοι DRL αποτελούνται από “ευφυείς” πράκτορες οι οποίοι είναι σε θέση να αποφασίσουν ποιες ενέργειες θα ακολουθήσουν για να βρεθεί η βέλτιστη λύση, λαμβάνοντας πολλές εισόδους από μη δομημένα δεδομένα. Οι “ευφυείς” πράκτορες αντιλαμβάνονται το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται μέσα από αισθητήρες και μηχανισμούς δράσης και δρουν ορθολογικά για την επίτευξη ενός στόχου. Χρονολογικά, η εκτεταμένη χρήση των αλγορίθμων DRL έγινε αισθητή το 1980, όταν αυξήθηκε το ενδιαφέρον για τα νευρωνικά δίκτυα, καθώς τα νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται αρκετά στους αλγόριθμους αυτούς. Όταν μια διαδικασία λήψης αποφάσεων από έναν πράκτορα ή ρομπότ χρησιμοποιεί εξ ολοκλήρου μόνο ένα νευρωνικό δίκτυο, η διαδικασία αυτή ονομάζεται ενισχυτική μάθηση από άκρο σε άκρο. Το πρώτο πείραμα που διεξάχθηκε με επιτυχία συνδυάζοντας την ενισχυτική μάθηση και τα νευρωνικά δίκτυα ήταν το 1992 με την ονομασία TD-Gammon. Το TD-Gammon με λίγα λόγια ήταν ένα πρόγραμμα υπολογιστή για τάβλι, δημιουργήθηκε από τον Αμερικανό φυσικό και πρωτοπόρο στην εφαρμογή νευρωνικών δικτύων Gerald Tesauro στο Ερευνητικό Κέντρο Thomas J. Watson της Νέας Υόρκης. Το TD-Gammon ακολουθούσε στρατηγικές και τεχνικές διαφορετικές από τον άνθρωπο, εξέταζε όλες τις πιθανές κινήσεις και απαντήσεις και οδήγησε στην διατύπωση της θεωρίας του “σωστού” παιχνιδιού. Το πρόγραμμα αυτό, χάρη στην βοήθεια των αλγορίθμων DRL και των νευρωνικών δικτύων στα οποία βασίστηκε, κατάφερε να ξεχωρίσει και να καταταχτεί σε βαθμό λίγο χαμηλότερο από αυτό των κορυφαίων παικτών τάβλι.

Η τεχνητή νοημοσύνη αποτελεί “γονέα” όλων των υποσυνόλων της μηχανικής μάθησης.



Εικόνα 18: Υποσύνολα τεχνητής νοημοσύνης Πηγή: [51]

7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η τελευταία δεκαετία έχει σημειώσει δραματική αύξηση της κινητής τηλεφωνίας, χρήσης των δεδομένων παγκοσμίως, του αριθμού των συνδρομητών και των απαιτήσεων δεδομένων ανά χρήστη σε σύγκριση με παλαιότερα.

Η συνεχής αύξηση δημιουργίας και χρήσης εφαρμογών απαιτούν μεγάλα ποσοστά δεδομένων, ταχύτητας και απόδοσης, αναμένεται να επιβαρύνουν ακόμη περισσότερο τις ήδη υπάρχον υποδομές δικτύου, οι οποίες ήδη έχουν ξεπεράσει τα όρια των δυνατοτήτων τους.

Οι ερευνητές έχουν εκτιμήσει ότι τα δίκτυα 5G παρά την πρόσφατη δημιουργία και κυκλοφορία τους δεν θα είναι σε θέση να δεχτούν και να καλύψουν αυτόν τον τεράστιο όγκο δεδομένων και να ανταποκριθούν στις συνεχόμενες αυτές απαιτήσεις.

Έτσι, έχει προκύψει η ανάγκη δημιουργίας μιας καινούργιας γενιάς δικτύων, την έκτη γενιά δικτύων 6G, ώστε να μπορέσει η κοινωνία των κινητών επικοινωνιών να βελτιωθεί κατά το μέγιστο δυνατό σε όλους τους τομείς και να μπορέσει να ανταποκριθεί στις συνεχείς απαιτήσεις και ρυθμούς της κοινωνίας.

Τα δίκτυα 6G θα έχουν ως βάση τα θεμέλια των 5G δικτύων όμως, θα διαφέρουν σημαντικά ως προς τα χαρακτηριστικά τους παρέχοντας νέες τεχνολογικές λύσεις, υπηρεσίες, υψηλότερες ταχύτητες και νέους τρόπους αλληλεπίδρασης και επικοινωνίας.

Το όραμα των 6G δικτύων είναι η δημιουργία ενός “ψηφιοποιημένου” κόσμου ο οποίος θα προσφέρει συνδεσιμότητα και κάλυψη σε παγκόσμιο επίπεδο δημιουργώντας μια νέα πραγματικότητα, συνδέοντας τους ανθρώπους με το ψηφιακό κόσμο.

Η νέα γενιά δικτύων 6G αναμένεται να προσφέρει νέες δυνατότητες και τεχνολογίες αλλά και να καλύψει τις προκλήσεις και ανάγκες που τα υπάρχοντα δίκτυα δεν μπορούσαν να καλύψουν σε όλους τους τομείς και ιδιαίτερα στον τομέα υγείας.

Τα δίκτυα 6G αναμένεται να φέρουν την επανάσταση στον τομέα τηλεϊατρικής παρέχοντας νέες εξελιγμένες λειτουργίες όπως ολογραφική επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο και τηλεχειρουργική, ενισχύοντας παράλληλα τις ικανότητες των ήδη υπάρχον εφαρμογών. Μελλοντικά οι ειδικοί προβλέπουν ότι η υγειονομική περίθαλψη θα βασίζεται αποκλειστικά στην τεχνητή νοημοσύνη και

στις τεχνολογίες 6G, αλλάζοντας τις συνθήκες, αντιλήψεις και τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί σήμερα ο τομέας υγείας.

Τα δίκτυα 6G ενδέχεται να ενσωματώσουν εναέριες τεχνολογίες όπως η δορυφορική επικοινωνία και τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (drones) για καλύτερη και ακριβέστερη παρακολούθηση, εντοπισμό και αντιμετώπιση μιας κατάστασης έκτακτης ανάγκης.

Τα δίκτυα 6G σε συνδυασμό με τους κατάλληλους αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης, ρομποτικών και πληροφοριακών συστημάτων αναμένεται να δημιουργήσουν ένα “έξυπνο” σύστημα δικτυακής επικοινωνίας το οποίο θα περιλαμβάνει “έξυπνα” συστήματα που θα διαθέτουν αυτογνωσία, θα υπολογίζουν, θα είναι σε θέση να εκτελούν διεργασίες και θα αποφασίζουν αυτόνομα για μια κατάσταση χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση.

Τα συστήματα αυτά θα επεξεργάζονται μεγάλο όγκο δεδομένων, θα μπορούν μέσω “έξυπνων” αισθητήρων να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν δεδομένα με τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης και θα οδηγούνται στη λήψη “έξυπνων” αποφάσεων.

Η ρομποτική θα είναι ιδιαίτερα σημαντικό να ενσωματωθεί σε αυτά τα συστήματα καθώς συνδυάζει διάφορους κλάδους όπως η μηχανική και η επιστήμη των υπολογιστών επιφέροντας μια πιο έξυπνη προσέγγιση στην διεξαγωγή διαδικασιών, στην επίλυση προβλημάτων, παρέχοντας υψηλή ακρίβεια, αποτελεσματικότητα και ασφάλεια, καλυτερεύοντας τον τρόπο και ποιότητα ζωής.

Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης αποτελούν υπολογιστικές διαδικασίες ή μαθηματικά μοντέλα τα οποία δίνουν την ικανότητα στις μηχανές και ρομποτικά συστήματα να μιμούνται την ανθρώπινη συμπεριφορά, να επεξεργάζονται δεδομένα και να λαμβάνουν αυτόνομα αποφάσεις. Αυτό θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τον τομέα υγείας για την διεξαγωγή και εκτέλεση διεργασιών χωρίς την παρουσία γιατρών και την παροχή απομακρυσμένης κλινικής βοήθειας.

Τα δίκτυα 6G αναμένεται να ενσωματώσουν τεχνικές και κατάλληλους αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης στα πληροφοριακά και ρομποτικά συστήματα του τομέα υγείας ώστε να είναι σε θέση να υποστηρίξουν τη λειτουργία “έξυπνων” εφαρμογών που απαιτούν την επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων, να αναλύουν δεδομένα, μέσω “έξυπνων” αισθητήρων θα μπορούν να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν δεδομένα με τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης και θα οδηγούνται στη λήψη “έξυπνων” αποφάσεων.

Για την ομαλή και αποτελεσματική λειτουργία όλων αυτών των τεχνολογιών, οι ερευνητές έχουν αποδώσει ιδιαίτερη προσοχή στην σχεδίαση και προγραμματισμό των ρομποτικών και πληροφοριακών συστημάτων μέσω πολλαπλών στρωμάτων και μηχανισμών ασφάλειας, λαμβάνοντας υπόψη τους κινδύνους και απειλές, τηρώντας όλα τα απαραίτητα μέτρα, πρωτόκολλα και πολιτικές ασφάλειας.

Βιβλιογραφία

- [1] Wei Jiang, Bin Han, Mohammad Asif Habibi, Hans Dieter Schotten (2021), The Road Towards 6G: A Comprehensive Survey, February 8, 2021
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9349624>
- [2] Pijush Kanti, Dutta Pramanik, Gaurav Pareek, Anand Nayyar (2019), Security and Privacy in Remote Healthcare: Issues, Solutions, and Standards May 10, 2019
<https://www.sciencedirect.co/m/topics/engineering/telemedicine-system>
- [3] Khaled B. Letaief, Wei Chen, Yuanming Shi, Jun Zhang, Ying-Jun Angela Zhang (2019), The Roadmap to 6G: AI Empowered Wireless Networks, August 21, 2019
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8808168>
- [4] J. Salisbury, Francois Conti, F. Barbagli (2004), Haptic Rendering: Introductory Concepts, March 1, 2004 <http://jks-folks.stanford.edu/papers/Haptic-Rendering.pdf>
- [5] Akram Shafie, Nan Yang, Chong Han, Josep Miquel Jornet, Markku Juntti, Thomas Kurner (2022), Terahertz Communications for 6G and Beyond Wireless Networks: Challenges, Key Advancements, and Opportunities, September 12, 2022 <https://arxiv.org/pdf/2207.11021.pdf>
- [6] Sabuzima Nayak, Ripon Patgiri (2020), 6G Communication Technology: A Vision on Intelligent Healthcare, April 16, 2020 <https://arxiv.org/pdf/2005.07532.pdf>
- [7] Dapu Pi, Juan Liu, Yongtian Wang (2022) Review of computer-generated hologram algorithms for color dynamic holographic three-dimensional display, July 26, 2022
<https://www.nature.com/articles/s41377-022-00916-3>
- [8] Payal Dhar (2021), Study: 6G's Haptic, Holographic Future?, June 24, 2021
<https://spectrum.ieee.org/6g-haptic-holography>
- [9] Phil Simon (2013), Too Big to Ignore: The Business Case for Big Data, March 18, 2013
<https://www.wiley.com/en-us/Too+Big+to+Ignore:+The+Business+Case+for+Big+Data-p-9781119217848>
- [10] Muhammad Bilal Janjua, Ahmet Enes Duranay, Huseyin Arslan (2020), Role of Wireless Communication in Healthcare System to Cater Disaster Situations Under 6G Vision, December 15, 2020 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frcmn.2020.610879/full>
- [11] Mostafa Zaman Chowdhury, MD. Ahahjalal, Shakil Ahmed, Yeong Min Jang (2020), 6G wireless Communication Systems: Applications, Requirements, Technologies, Challenges and Research Directions, July 11, 2020 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9144301>

- [12] Dapu Pi, Juan Liu, Yongtian Wang (2022), Review of computer-generated hologram algorithms for color dynamic holographic three-dimensional display, July 26, 2022
<https://www.nature.com/articles/s41377-022-00916-3>
- [13] Harsh Tatara, Mansoor Shafi, Andreas F. Molisch, Mischa Dohler, Henrick Sjolund, Fredrik Tufvesson (2021), 6G Wireless Systems: Vision, Requirements, Challenges, Insights, and Opportunities, June 22, 2021 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9390169>
- [14] Minoru Inomata , Wataru Yamada, Nobuaki Kuno, Motoharu Sasaki, Koshiro Kitao, Mitsuki Nakamura, Hironori Ishikawa, Yasuhiro Odan (2021), Terahertz Propagation Characteristics for 6G Mobile Communication Systems, March 26, 2021
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9411143>
- [15] Satoshi Suyama, Tatsuki Okuyama, Nobuhide Nonaka, Takahiro Asai (2022), Recent Studies on Massive MIMO Technologies for 5G Evolution and 6G January 19, 2022
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9719949>
- [16] Nurul Huda Mahmood, Hirley Alves, Onel Alcaraz Lopez, Mohammad Shehab, Diana P. Moya Osorio, Matti Latva-Aho (2020) Six Key Features of Machine Type Communication in 6G, March 20, 2020 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9083794>
- [17] José Marcos C. Brito, Luciano Leonel Mendes Inatel, José Gustavo Sampaio Gontijo (2020), Brazil 6G Project – An Approach to Build a National-wise Framework for 6G Networks, March 17, 2020 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9083775>
- [18] Sarthak Seth, Bikramjit Singh (2022), Sensing Based Contention Access for 6G Low Latency Networks, June 10, 2022 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9815795>
- [19] Yushan Siriwardhana, Pawani Porambage, Madhusanka Liyanage, Mika Ylianttila (2021), AI and 6G Security: Opportunities and Challenges, June 11, 2021
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9482503>
- [20] Wataru Yamada, Minoru Inomata, Nobuaki Kuno, Motoharu, Mitsuki Nakamura, Koshiro Kitao, Takahiro Tomie, Satoshi Suyama (2022), Pioneering New Frequency bands towards 6G Mobile Communication Systems, August 31, 2022
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9993485>
- [21] Pengyu Li, Yanxia Xing, Wei Li (2022), Distributed AI-native Architecture for 6G Networks, September 16, 2022 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10062570>
- [22] Volker Ziegler, Seppo Yrjölä (2021), How To Make 6G a General Purpose Technology, June 11, 2021 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9482431>

- [23] Gustav Wikström, Janne Peisa, Patrik Rugeland, Nicklas Johansson, Stefan Parkvall, Maksym Girnyk, Gunnar Mildh, Icaro Leonardo Da Silva (2020), Challenges and Technologies for 6G, March 20, 2020 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9083880>
- [24] Min Sheng, Di Zhou, Weigang Bai, Junyu Liu, Jiandong Li (2022), 6G Service Coverage with Mega Satellite Constellations, January 25, 2022 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9693471>
- [25] Yuki Hokazono, Hinata Kohara, Yoshihisa Kishiyama, and Takahiro Asai, (2022), 3D-Cell Control Technology for Frequency Sharing between HAPS and Terrestrial Systems, August 31, 2022 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9993573>
- [26] Longfei Yan, Chong Han, Jinhong Yuan (2020), Hybrid Precoding for 6G Terahertz Communications: Performance Evaluation and Open Problems, March 20, 2020 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9083795>
- [27] Demos Serghiou, Mohsen Khalily, Tim W. C. Brown, Rahim Tafazolli (2022) Terahertz Channel Propagation Phenomena, Measurement Techniques and Modeling for 6G Wireless Communication Applications: A Survey, Open Challenges and Future Research Directions, September 9, 2022 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9882323>
- [28] Min Suk Kang, KAIST (2022), Potential Security Concerns at the Physical Layer of 6G Cellular Systems, October 21, 2022 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9953006>
- [29] Pawani Porambage, Gurkan Gur, Diana Pamela Moya Osorio, Madhusanka Liyanage, Mika Ylianttila (2021), 6G Security Challenges and Potential Solutions, June 11, 2021 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9482609>
- [30] Nurul Huda Mahmood, Gilberto Berardinelli, Emil J. Khatib , Ramin Hashemi, Carlos De Lima, Matti Latva-aho (2022), A Functional Architecture for 6G Special-Purpose Industrial IoT Networks, June 14, 2022 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9795904>
- [31] Yihang Tao, Jun Wu, Xi Lin, Wu Yang (2023), DRL-Driven Digital Twin Function Virtualization for Adaptive Service Response in 6G Networks, April 25, 2023 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10107755>
- [32] Pradnya Kamble, Alam N. Shaikh (2022), 6G Wireless Networks: Vision, Requirements, Applications and Challenges, December 3, 2023 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10039549>
- [33] V. Stavroulaki, E. Calvanese Strinati, F. Carrez, Y. Carlinet, M. Maman, D. Draskovic k, D. Ribar, A. Lallet, K. Moßner, M. Tosic, M. Uitto, S. A. Hadiwardoyo, J. Marquez-Barja x , E. Garrido xi , M. Stamatelatos xii , K. Sarayedddine xiii , P. Sanchez Vivas ´ xiv , A. Mammel P. Demestichas (2021), DEDICAT 6G - Dynamic Coverage Extension and Distributed Intelligence for Human Centric Applications with Assured Security, Privacy and Trust: from 5G to 6G, June 11, 2021 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9482611>

- [34] J. Iannacci (2021), Towards Future 6G from the Hardware Components Perspective – A Focus on the Hardware-Software Divide, its Limiting Factors and the Envisioned Benefits in Going Beyond it, October 15, 2021 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9604946>
- [35] Marie-José Montpetit (2022), The Network as a Computer Board: Architecture Concepts for In-Network Computing in the 6G Era, July 8, 2022 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9830167>
- [36] Yuanjie Li, Jincheng Dai, Zhongwei Si, Kai Niu¹, Chao Dong, Jiaru Lin, Sen Wang, Yifei Yuan (2022), Unsourced Multiple Access for 6G Massive Machine Type Communications, March 30, 2022 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9745427>
- [37] Karthik Kumar Vaigandla (2022), Communication Technologies and Challenges on 6G Networks for the Internet: Internet of Things (IoT) Based Analysis, February 25, 2022 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9753990>
- [38] Mohamadou NDIAYE, Adamou Moussa, Khalilou Niane, Abdourahmane Raimy (2022), Future 6G communication networks: Typical IoT network topology and Terahertz frequency challenges and research issues, March 4, 2022 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9744327>
- [39] Anran Shi, Fengyou Sun, Minglu Li (2022), An Exploration of Holographic Scenarios in 6G Networks, December 30, 2022 <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10130929>
- [40] Sarath Chinthada (2021), Holographic Communication will be a Thing Soon, May 22, 2021 <https://thetechhacker.com/2021/05/22/holographic-communication-will-be-a-thing-soon/>
- [41] Wikipedia (2006), Yuri Denisyuk with hologram, June 14, 2006 https://en.wikipedia.org/wiki/Yuri_Denisyuk#/media/File:Yuri_Denisyuk_with_hologram.jpg
- [42] Rutva Safi (2022), Mixed reality: Transforming remote consultation in the era of COVID-19, March 4, 2022 <https://www.softwebsolutions.com/resources/mixed-reality-for-remote-healthcare-consultation.html>
- [43] Getty Images, Matt Clemenson (2021), We'll all be video-chatting each other over hologram by 2030, experts predict, April 15, 2021 <https://www.dailystar.co.uk/news/weird-news/well-video-chatting-each-over-23918124>
- [44] Swevens Immersive Studio (2019), Augmented Reality (AR) in Healthcare, March 19, 2019 <https://medium.com/swevens/augmented-reality-ar-in-healthcare-3c12bdf86a8e>
- [45] Wikipedia (2006), Laproscopic Surgery Robot, June 2, 2006 https://en.wikipedia.org/wiki/Da_Vinci_Surgical_System#/media/File:Laproscopic_Surgery_Robot.jpg

- [46] IRCAD (2004), Operation Lindbergh, June 21, 2004 https://www-ircad-fr.translate.goog/the-institute/history/?_x_tr_sl=fr&_x_tr_tl=en&_x_tr_hl=en&_x_tr_pto=sc
- [47] ADVANCED VISUALIZATION (2019), Philips and Microsoft Showcase Augmented Reality for Image-Guided Minimally Invasive Therapies, February 25, 2019 <https://www.itnonline.com/content/philips-and-microsoft-showcase-augmented-reality-image-guided-minimally-invasive-therapies>
- [48] Salman Alqahtani, (2021), 6G Ecosystem: Current Status and Future Perspective, January 2021, https://www.researchgate.net/publication/348799624_6G_Ecosystem_Current_Status_and_Future_Perspective
- [49] Danish Company CVR-no. 3051 4777, (2018) <https://www.realfiction.com/holographic-displays>
- [50] Excelerate <https://www.excelerate-group.com/>
- [51] SAP <https://www.sap.com/greece/insights/what-is-machine-learning.html>
- [52] Sabuzima Nayak and Ripon Patgiri, Senior Member, IEEE (2021), 6G Communication Technology: A Vision on Intelligent Healthcare, January 31, 2021 https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-9735-0_1