



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΒΑΣΕΩΝ ΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙ
SECURE CLOUD ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥΣ
ΦΑΚΕΛΟΥΣ ΥΓΕΙΑΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
ΕΞΥΠΙΝΗΣ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΠΑΡΑΣΧΑΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΛΑΜΙΑ 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΒΑΣΕΩΝ ΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙ
SECURE CLOUD ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥΣ
ΦΑΚΕΛΟΥΣ ΥΓΕΙΑΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
ΕΞΥΠΙΝΗΣ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΠΑΡΑΣΧΑΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΛΑΜΙΑ 2023



UNIVERSITY OF
THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

OPTIMISATION OF KNOWLEDGE BASES AND
SECURE CLOUDS FOR ELECTRONIC HEALTH
RECORDS IN SMART AND MOBILE HEALTH
SYSTEMS

ATHANASIOS PARASCHAKIS

FINAL THESIS

ADVISOR

DR. THEOFILOS CHRYSIKOS
TEACHER - SCIENTIFIC COLLABORATOR
UNIVERSITY OF THESSALY

LAMIA 2023

«Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις ⁽¹⁾, που προβλέπονται από της διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:

1. Δεν παραθέτω κομμάτια βιβλίων ή άρθρων ή εργασιών άλλων αυτολεξεί **χωρίς να τα περικλείω σε εισαγωγικά** και χωρίς να αναφέρω το συγγραφέα, τη χρονολογία, τη σελίδα. Η αυτολεξεί παράθεση χωρίς εισαγωγικά χωρίς αναφορά στην πηγή, είναι λογοκλοπή. Πέραν της αυτολεξεί παράθεσης, λογοκλοπή θεωρείται και η παράφραση εδαφίων από έργα άλλων, συμπεριλαμβανομένων και έργων συμφοιτητών μου, καθώς και η παράθεση στοιχείων που άλλοι συνέλεξαν ή επεξεργάστηκαν, χωρίς αναφορά στην πηγή. Αναφέρω πάντοτε με πληρότητα την πηγή κάτω από τον πίνακα ή σχέδιο, όπως στα παραθέματα.

2. Δέχομαι ότι η αυτολεξεί **παράθεση χωρίς εισαγωγικά**, ακόμα κι αν συνοδεύεται από αναφορά στην πηγή σε κάποιο άλλο σημείο του κειμένου ή στο τέλος του, είναι αντιγραφή. Η αναφορά στην πηγή στο τέλος λ.χ. μιας παραγράφου ή μιας σελίδας, δεν δικαιολογεί συρραφή εδαφίων έργου άλλου συγγραφέα, έστω και παραφρασμένων, και παρουσιάσή τους ως δική μου εργασία.

3. Δέχομαι ότι υπάρχει επίσης περιορισμός στο μέγεθος και στη συχνότητα των παραθεμάτων που μπορώ να εντάξω στην εργασία μου εντός εισαγωγικών. Κάθε μεγάλο παράθεμα (λ.χ. σε πίνακα ή πλαίσιο, κλπ), προϋποθέτει ειδικές ρυθμίσεις, και όταν δημοσιεύεται προϋποθέτει την άδεια του συγγραφέα ή του εκδότη. Το ίδιο και οι πίνακες και τα σχέδια

4. Δέχομαι όλες τις συνέπειες σε περίπτωση λογοκλοπής ή αντιγραφής.

Ημερομηνία: ...7.../...7.../2023.....

Ο – Η Δηλών

(1) «Όποιος εν γνώσει του δηλώνει ψευδή γεγονότα ή αρνείται ή αποκρύπτει τα αληθινά με έγγραφη υπεύθυνη δήλωση του άρθρου 8 παρ. 4 Ν. 1599/1986 τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών. Εάν ο υπαίτιος αυτών των πράξεων σκόπευε να προσπορίσει στον εαυτόν του ή σε άλλον περιουσιακό όφελος βλάπτοντας τρίτον ή σκόπευε να βλάψει άλλον, τιμωρείται με κάθειρξη μέχρι 10 ετών.»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τη βελτιστοποίηση βάσεων γνώσης και secure cloud για ηλεκτρονικούς φακέλους υγείας σε συστήματα έξυπνης και κινητής υγείας. Αναζητήθηκε σύγχρονη διεθνής βιβλιογραφία στις βάσεις δεδομένων google scholar και science direct. Οι λέξεις κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: βελτιστοποίηση βάσεων γνώσης, φάκελοι υγείας, συστήματα έξυπνης υγείας. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν αποκλείστηκαν μελέτες πριν το 2010.

Από την εν λόγω μελέτη προέκυψε ότι η υγειονομική περίθαλψη είναι το ταχύτερα αναπτυσσόμενο τμήμα του IoT. Οι συσκευές, τα gadget και τα έξυπνα συστήματα έχουν σχεδιαστεί για να διευκολύνουν και να βελτιστοποιήσουν την εργασία τους.

Ο κύριος μοχλός που θα συμβάλει στην ανάπτυξη της αγοράς IoMT είναι η ανάγκη για gadget και εφαρμογές υγείας. Οι λύσεις IoT για την ιατρική χρησιμοποιούνται κυρίως σε οικονομικά ανεπτυγμένες χώρες στον δυτικό κόσμο. Το κύριο πρόβλημα της ευρείας εισαγωγής τέτοιων συσκευών και συστημάτων είναι η συμβατότητα και η ασφάλεια, καθώς και το υψηλό κόστος της τεχνολογίας.

Η πρόοδος και η αυξανόμενη υπεροχή των τεχνικών IoT και DL που βασίζονται σε σύννεφο είχαν γίνει τα βασικά στοιχεία των εφαρμογών υγειονομικής περίθαλψης. Η ενσωμάτωση του cloud και του IoT στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης συνιστάται κυρίως λόγω των αποτελεσματικών υπηρεσιών του, όπως μαζικά αποθετήρια δεδομένων, διαθεσιμότητα δεδομένων, βέλτιστη απόδοση, εξισορρόπηση δικτύου και υπολογιστικές υποδομές. Το δίκτυο 5G πρόκειται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στις έξυπνες εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης και IoT. Οι έξυπνες εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης και IoT διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στο δίκτυο 5G από λειτουργική και οικονομική άποψη. Στην παρούσα εργασία, επισημαίνονται διάφορες εφαρμογές με διάφορες προοπτικές και συγκρίνονται τεχνολογίες επικοινωνίας μικρής και μεγάλης εμβέλειας όσον αφορά το εύρος, τη συχνότητα, τη χρήση ισχύος και το ρυθμό δεδομένων για έξυπνη υγειονομική περίθαλψη.

ABSTRACT

This work deals with the optimization of knowledge bases and secure cloud for electronic health records in smart and mobile health systems. Contemporary international literature was searched in the google scholar and science direct databases. The keywords used were: optimization of knowledge bases, health files, smart health systems. Studies before 2010 were excluded from the resulting results.

The said study revealed that healthcare is the fastest growing segment of IoT. Devices, gadgets and smart systems are designed to facilitate and optimize their work.

The main driver that will contribute to the growth of the IoMT market is the need for health gadgets and applications. IoT solutions for medicine are mainly used in economically developed countries in the western world. The main problem with the widespread introduction of such devices and systems is compatibility and security, as well as the high cost of the technology.

The advancement and growing prominence of cloud-based IoT and DL techniques had become the staples of healthcare applications. The integration of cloud and IoT in healthcare is mainly recommended due to its efficient services such as massive data repositories, data availability, optimal performance, network balancing and computing infrastructure. The 5G network is set to play an important role in smart healthcare and IoT applications. Smart healthcare and IoT applications play a vital role in the 5G network from an operational and financial point of view. In this paper, various applications with various perspectives are highlighted and short-range and long-range communication technologies are compared in terms of range, frequency, power usage, and data rate for smart healthcare.

Table of Contents

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ABSTRACT	II
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΦΑΚΕΛΟΣ ΥΓΕΙΑΣ.....	4
2.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ	4
2.2 ΕΠΕΙΓΟΥΣΕΣ ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ	5
2.3 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	6
2.4 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ	7
2.4.1 ΠΟΙΟΤΗΤΑ.....	7
2.4.2 ΚΟΣΤΟΣ	7
2.4.3 ΌΦΕΛΟΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ	8
2.5 ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΣΗ, ΑΠΟΡΡΗΤΟ ΚΑΙ ΝΟΜΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ.....	9
2.5.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΑΠΟΡΡΗΤΟ	9
2.6 ΝΟΜΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ.....	10
2.6.1 ΕΥΘΥΝΗ	10
2.6.2 ΝΟΜΙΚΗ ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 INTERNET OF MEDICAL THINGS (IOMT).....	13
.....	14
3.1 ΤΟ INTERNET OF MEDICAL THINGS (IOMT) ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ: ΠΩΣ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΒΕΛΤΙΩΝΕΙ ΤΗΝ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗ.....	14
3.1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ INTERNET OF MEDICAL THINGS ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ	15
3.2 ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΕΞ ΑΠΟΣΤΑΣΕΩΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΣΘΕΝΩΝ.....	17
3.3 Η ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΦΡΟΝΤΙΔΑΣ ΑΣΘΕΝΩΝ ΜΕ ΤΟ ΙΑΤΡΙΚΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ.....	17

3.4 GPS ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΚΑΙ ΕΞΥΠΝΕΣ ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ	18
3.5 ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΑΡΜΑΚΩΝ	19
3.6 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΜΑΘΗΣΗ (MACHINE LEARNING)	20
3.7 DEEP LEARNING (DL).....	21
3.7.1 DEEP LEARNING ARCHITECTURES (DLA)	22
3.7.1.1 ΣΥΝΕΛΙΚΤΙΚΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (CNN).	23
3.8 CLOUD COMPUTING (CC).....	24
3.9 ΈΞΥΠΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΥΓΕΙΑΣ.....	26
3.9.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	26
3.9.2 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΥΓΕΙΑΣ.....	27
 <u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΈΞΥΠΝΗ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ 5G</u>	<u>30</u>
 4.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ.....	30
4.2 ΤΥΠΟΙ ΔΙΚΤΥΩΝ	31
4.3 ΣΕΝΑΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 5G ΚΑΙ ΤΙΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΟΥ	32
4.3.1 ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΗ ΚΙΝΗΤΗ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΟΤΗΤΑ (EMB: ENHANCED MOBILE BROADBAND).....	32
4.3.2 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΜΑΖΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ΜΗΧΑΝΗΣ (MMTC: MASSIVE MACHINE-TYPE COMMUNICATIONS)	33
4.3.3 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΥΨΗΛΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ.....	33
4.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΤΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 5G	33
4.4.1 MASSIVE MIMO (ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΞΟΔΟΥ) ΚΑΙ 3D MIMO	34
4.4.2 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΥΜΑΤΩΝ ΧΛΑΙΟΣΤΩΝ	35
4.4.3 ΜΙΚΡΕΣ ΚΥΨΕΛΕΣ, ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΠΥΚΝΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΔΙΚΤΥΑ	36
4.4.4 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΑΠΟ ΣΥΣΚΕΥΗ ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΗ (D2D).	37
4.4.5 ΓΝΩΣΤΙΚΟ RADIO	38
4.5 ΑΝΟΙΧΤΑ ΘΕΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ	39
4.5.1 ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΔΙΑΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ	40
4.5.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΓΑΛΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	41

4.5.3 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΙΟΤ	41
4.5.4 5G ΚΑΙ ΤΟ CONTINUUM OF CARE	42
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΈΝΑ ΑΣΦΑΛΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟ ΕΞΥΠΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ ΣΤΟ INTERNET-OF-MEDICAL-THINGS</u>	<u>44</u>
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΙΟΤ ΚΑΙ ΤΟ ΙΟΜΤ.....	44
5.2 ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ	47
5.3 ΣΤΟΧΟΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΠΟΥ ΕΠΙΤΥΓΧΑΝΟΝΤΑΙ.....	49
5.4 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ	51
5.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ	52
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</u>	<u>53</u>
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</u>	<u>56</u>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να μελετήσει τη βελτιστοποίηση βάσεων γνώσης και secure cloud για ηλεκτρονικούς φακέλους υγείας σε συστήματα έξυπνης και κινητής υγείας.

Στο πλαίσιο αυτό αρχικά μελετήθηκε ο ηλεκτρονικός φάκελος υγείας. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε σύγκριση με παραδοσιακές μεθόδους, αναλύθηκαν τα τεχνικά χαρακτηριστικά και σχολιάστηκε η διαδικασία υλοποίησής του. Ακόμα αναλύθηκαν νομικά ζητήματα που εγείρονται.

Στο επόμενο κεφάλαιο μελετήθηκε η έννοια του Internet of Things (IoT). Έγινε ανασκόπηση της σύγχρονης διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με παρακολούθηση εξ αποστάσεως ασθενών, βελτιστοποίηση της φροντίδας ασθενών με το IoT, μηχανική μάθηση και deep learning.

Στην συνέχεια της εργασίας μελετήθηκε η έξυπνη υγεία σε σχέση με την τεχνολογία 5G. Εισαγωγικά αναλύθηκαν τεχνολογίες επικοινωνίας, τύποι δικτύων και σενάρια για το δίκτυο 5G και τις απαιτήσεις του. Έπειτα, μελετήθηκε η διεθνής βιβλιογραφία για τεχνολογικές τάσεις για την επίτευξη των απαιτήσεων στο δίκτυο 5G, καθώς και ανοιχτά θέματα και προκλήσεις σχετικά με το θέμα.

Στο τελευταίο κεφάλαιο αναλύθηκε μία μελέτη περίπτωσης της σύγχρονης διεθνούς βιβλιογραφίας που αφορούσε σε ένα ασφαλές και αποτελεσματικό έξυπνο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης με δημόσια επαλήθευση στο IOMT.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Ηλεκτρονικός φάκελος υγείας

2.1 Σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους

Ενώ εξακολουθεί να υπάρχει μεγάλη συζήτηση σχετικά με την υπεροχή των ηλεκτρονικών αρχείων υγείας έναντι των έντυπων αρχείων, η ερευνητική βιβλιογραφία παρουσιάζει μια πιο ρεαλιστική εικόνα των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων [9].

Η αυξημένη διαφάνεια, φορητότητα και προσβασιμότητα, που αποκτώνται με την υιοθέτηση ηλεκτρονικών ιατρικών αρχείων, μπορεί μεν να αυξήσει την ευκολία, με την οποία μπορούν να έχουν πρόσβαση στα αρχεία υγείας οι επαγγελματίες υγείας, αλλά επίσης μπορεί να αυξήσει τον όγκο των κλεμμένων πληροφοριών από μη εξουσιοδοτημένα άτομα ή κακόβουλους χρήστες, έναντι των έντυπων ιατρικών αρχείων, όπως αναγνωρίζεται και από τις αυξημένες απαιτήσεις ασφαλείας για τους ηλεκτρονικούς ιατρικούς φακέλους, που περιλαμβάνονται στον νόμο για τις πληροφορίες υγείας, και από τις μεγάλης κλίμακας παραβιάσεις εμπιστευτικών αρχείων που αναφέρθηκαν από χρήστες EMR((Electronic Medical Record ή Ηλεκτρονικών Ιατρικών Μητρώων)[10], [11]. Τις περισσότερες φορές βέβαια, όσον αφορά το τελευταίο, υπεύθυνοι είναι οι ίδιοι οι χρήστες. Όταν οι χρήστες συνδέονται στα ηλεκτρονικά αρχεία υγείας, είναι δική τους ευθύνη να διασφαλίσουν ότι οι πληροφορίες παραμένουν εμπιστευτικές, και αυτό γίνεται κρατώντας τους κωδικούς πρόσβασης τους άγνωστους στους άλλους και αποσυνδεδεμένοι πριν αποχωρήσουν από τον υπολογιστή [12].

Τα χειρόγραφα ιατρικά αρχεία μπορεί να είναι δυσανάγνωστα, γεγονός που μπορεί να συμβάλει σε ιατρικά λάθη [13]. Τα εκτυπωμένα έντυπα, η τυποποίηση των συντομογραφιών και τα πρότυπα για την ιατρική τεχνογνωσία ώθησαν τη βελτίωση της αξιοπιστίας των ιατρικών αρχείων σε χαρτί. Ένα παράδειγμα πιθανών ιατρικών λαθών είναι η λανθασμένη χορήγηση φαρμάκων. Η φαρμακευτική αγωγή είναι μια παρέμβαση που μπορεί να μετατρέψει την κατάσταση ενός ατόμου από σταθερή σε ασταθή πολύ γρήγορα. Με την έντυπη τεκμηρίωση είναι πολύ δύσκολο να τεκμηριωθεί λανθασμένα η χορήγηση του φαρμάκου, ο χρόνος που χορηγείται, ή να τεκμηριωθούν σφάλματα όπως, η παροχή λάθος φαρμάκου, λάθος δόσης, λάθος

μορφής ή έλλειψη ελέγχου για αλλεργίες, που θα μπορούσαν να επηρεάσουν αρνητικά τον ασθενή. Έχει αναφερθεί, ότι αυτά τα σφάλματα έχουν μειωθεί κατά "55% - 83%" επειδή οι συνταγογραφήσεις είναι πλέον online και απαιτούν συγκεκριμένα βήματα, που έχουν αποτέλεσμα την αποφυγή αυτών των σφαλμάτων [14].

Τα ηλεκτρονικά αρχεία μπορεί να βοηθήσουν στην τυποποίηση της ορολογίας και της εισαγωγής δεδομένων [15]. Η τυποποίηση διευκολύνει τη συλλογή δεδομένων για επιδημιολογικές και κλινικές μελέτες [16], [17]. Έτσι, η τυποποίηση μπορεί να δημιουργήσει προκλήσεις για την ακολουθούμενη πρακτική [9]. Συνολικά, όσοι είχαν EMR που διαθέτουν αυτοματοποιημένες σημειώσεις και αρχεία, εισαγωγή παραγγελιών και υποστήριξη κλινικών αποφάσεων, είχαν λιγότερες επιπλοκές, χαμηλότερα ποσοστά θνησιμότητας και χαμηλότερο κόστος [18].

Τα EMR μπορούν να ενημερώνονται συνεχώς (εντός ορισμένων νομικών περιορισμών, βλέπε παρακάτω). Εάν τελειοποιηθεί η δυνατότητα ανταλλαγής αρχείων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων EMR (διαλειτουργικότητα [19]), αυτό θα διευκόλυνε τον συντονισμό της παροχής υγειονομικής περίθαλψης σε μη συνδεδεμένες μονάδες υγειονομικής περίθαλψης. Επιπλέον, τα δεδομένα από ένα ηλεκτρονικό σύστημα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανώνυμα για στατιστικές αναφορές σε θέματα όπως, η βελτίωση της ποιότητας, η διαχείριση πόρων και η επιτήρηση μεταδοτικών ασθενειών [20]. Καλό είναι να γνωρίζουμε πάντως, ότι είναι δύσκολο να αφαιρεθούν δεδομένα από το σύστημα [9].

2.2 Επείγουσες ιατρικές υπηρεσίες

Οι υπηρεσίες ασθενοφόρων στην Αυστραλία, τις Ηνωμένες Πολιτείες και το Ηνωμένο Βασίλειο έχουν εισαγάγει τη χρήση συστημάτων EMR [34] [35]. Οι συνδέσεις EMS (Emergency Medical Services) στις Ηνωμένες Πολιτείες καταγράφονται χρησιμοποιώντας διάφορες πλατφόρμες και προμηθευτές σε συμμόρφωση με το πρότυπο NEMESIS (Εθνικό Σύστημα Πληροφοριών EMS) [36]. Τα οφέλη των ηλεκτρονικών αρχείων στα ασθενοφόρα περιλαμβάνουν: Κοινή χρήση δεδομένων ασθενών, πρόληψη τραυματισμών και ασθενειών, καλύτερη εκπαίδευση

για το παραϊατρικό προσωπικό, αναθεώρηση κλινικών προτύπων, καλύτερες επιλογές έρευνας για προνοσοκομειακή περίθαλψη και σχεδιασμό μελλοντικών επιλογών θεραπείας, βελτίωση των αποτελεσμάτων βάσει δεδομένων και υποστήριξη κλινικών αποτελεσμάτων.

2.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Η ψηφιακή μορφοποίηση επιτρέπει:

- Χρήση και ανταλλαγή πληροφοριών μέσω ασφαλών δικτύων
- Παρακολούθηση της φροντίδας (λ.χ. συνταγές) και των αποτελεσμάτων (λ.χ. αρτηριακής πίεσης)
- Ενεργοποίηση προειδοποιήσεων και υπενθυμίσεων
- Αποστολή και λήψη παραγγελιών, εκθέσεων και αποτελεσμάτων
- Μείωση του χρόνου επεξεργασίας χρέωσης και δημιουργία ακριβέστερου συστήματος χρέωσης
- Ανταλλαγή πληροφοριών υγείας
- Τεχνικό και κοινωνικό πλαίσιο, που επιτρέπει στις πληροφορίες να μετακινούνται ηλεκτρονικά μεταξύ των οργανισμών

Η χρήση EMR για την εγγραφή και ανάγνωση του αρχείου ενός ασθενούς δεν είναι δυνατή μόνο μέσω ενός σταθερού υπολογιστή, αλλά, ανάλογα με τον τύπο του συστήματος και τις ρυθμίσεις υγειονομικής περίθαλψης, μπορεί επίσης να είναι δυνατή μέσω κινητών συσκευών που έχουν δυνατότητα πληκτρολόγησης κειμένου (tablet και smartphone) [19]. Τα Ηλεκτρονικά Ιατρικά Μητρώα μπορεί να περιλαμβάνουν πρόσβαση σε Προσωπικά Μητρώα Υγείας (PHR), τα οποία καθιστούν μεμονωμένες σημειώσεις από ένα EMR εύκολα διαθέσιμες και προσβάσιμες στους χρήστες.

Ορισμένα συστήματα EMR παρακολουθούν αυτόματα τα κλινικά δεδομένα, αναλύοντας δεδομένα ασθενών από ένα ηλεκτρονικό αρχείο υγείας για την πρόβλεψη, τον εντοπισμό και την πιθανή πρόληψη ανεπιθύμητων συμβάντων. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει εντολές εξόδου/μεταφοράς, εντολές φαρμακείου, αποτελέσματα ακτινολογίας, εργαστηριακά αποτελέσματα και οποιαδήποτε άλλα δεδομένα από βοηθητικές υπηρεσίες ή σημειώσεις κλινικής [20]. Αυτός ο τύπος

παρακολούθησης δεδομένων έχει εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας την ανταλλαγή πληροφοριών δημόσιας υγείας της Λουϊζιάνα στις Νοτιοδυτικές ΗΠΑ. Ανταλλαγή πληροφοριών που συνδέει τη δημόσια υγεία σε όλη την Πολιτεία με ηλεκτρονικά ιατρικά αρχεία. Αυτό το σύστημα ειδοποιεί τους ιατρικούς παρόχους υγείας όταν ένας ασθενής με AIDS δεν έχει λάβει φροντίδα για περισσότερους από δώδεκα μήνες, κάτι που μείωσε σημαντικά τον αριθμό των κρίσιμων ευκαιριακών λοιμώξεων.

2.4 Υλοποίηση

2.4.1 Ποιότητα

Αρκετές μελέτες αμφισβητείται εάν τα EMR βελτιώνουν την ποιότητα της περίθαλψης [9]. Ισχύει όμως κάτι τέτοιο στην πραγματικότητα; Σύμφωνα με τα ευρήματα μια μελέτης του 2011 για τη φροντίδα του Διαβήτη που δημοσιεύτηκε στο “New England Journal of Medicine (NEJM)”, οι πρακτικές με EMR παρείχαν φροντίδα καλύτερης ποιότητας [18].

Τα EMR μπορεί τελικά να βοηθήσουν στη βελτίωση του συντονισμού της φροντίδας. Ένα άρθρο σε εμπορικό περιοδικό προτείνει, ότι εφόσον οποιοσδήποτε χρησιμοποιεί EMR μπορεί να δει το πλήρες διάγραμμα του ασθενούς, αυτό μειώνει τις υποθέσεις και την επίσκεψη πολλών ειδικών. Ακόμη, εξομαλύνει τις μεταβάσεις μεταξύ πολλαπλών ρυθμίσεων φροντίδας, και μπορεί να επιτρέψει καλύτερη φροντίδα σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης [19]. Τα EMR μπορούν επίσης να βελτιώσουν την πρόληψη, παρέχοντας στους γιατρούς και τους ασθενείς καλύτερη πρόσβαση στα αποτελέσματα των εξετάσεων, εντοπίζοντας πληροφορίες για τους ασθενείς που δεν είναι γνωστές, και προσφέροντας συστάσεις για προληπτικές υπηρεσίες βασισμένες σε στοιχεία [20].

2.4.2 Κόστος

Η αβεβαιότητα των παρόχων υγείας σχετικά με το κέρδος που θα αποκομίσουν από την υιοθέτηση EMR με τη μορφή απόδοσης επένδυσης έχει σημαντική επίδραση στην επιλογή υιοθέτησης EMR [51]. Σε μια προσπάθεια, που ξεκίνησε από το “Office of the National Coordinator for Health Information (ONC)”, οι επιθεωρητές διαπίστωσαν πως οι διοικητές νοσοκομείων και οι γιατροί που είχαν υιοθετήσει τα

EMR, σημείωναν ότι τυχόν κέρδη στην αποτελεσματικότητα αντισταθμίστηκαν από τη μειωμένη παραγωγικότητα, κατά την εφαρμογή της τεχνολογίας, καθώς πρέπει να αυξηθεί το προσωπικό τεχνολογίας πληροφοριών για τη συντήρηση του συστήματος [21].

Το Γραφείο Προϋπολογισμού του Κογκρέσου των ΗΠΑ κατέληξε στο συμπέρασμα, ότι η εξοικονόμηση κόστους μπορεί να συμβεί μόνο σε μεγάλα ολοκληρωμένα ιδρύματα, όπως το Kaiser Permanente, και όχι σε μικρά ιατρεία. Αμφισβήτησαν τις εκτιμήσεις της Rand Corporation ως προς την εξοικονόμηση. «Ιδίως οι γιατροί που εργάζονται στο ιατρείο μπορεί να μην έχουν κανένα όφελος αν αγοράσουν ένα τέτοιο προϊόν, και μπορεί ακόμη και να υποστούν οικονομική ζημία». Παρόλο που η χρήση πληροφορικής υγείας θα μπορούσε να οδηγήσει γενικότερα σε εξοικονόμηση κόστους για το σύστημα υγείας, που θα μπορούσε να αντισταθμίσει το κόστος των EMR, πολλοί οι γιατροί ενδέχεται να μην είναι σε θέση να μειώσουν τα έξοδα του γραφείου τους ή να αυξήσουν αρκετά τα έσοδά τους ώστε να έχουν την οικονομική δυνατότητα. Για παράδειγμα, η χρήση τεχνολογιών πληροφορικής υγείας θα μπορούσε να μειώσει τον αριθμό των διπλών διαγνωστικών εξετάσεων, αλλά αυτή η βελτίωση της αποτελεσματικότητας θα ήταν απίθανο να αυξήσει το εισόδημα πολλών γιατρών [22]. Αντίθετα, ένας Διευθύνων Σύμβουλος εταιρείας EMR έχει υποστηρίξει ότι εάν ένας/μία γιατρός πραγματοποιεί εξετάσεις στο ιατρείο, μπορεί να μειώσει το εισόδημά του/της [23].

Αμφιβολίες σχετικά με την εξοικονόμηση κόστους από τα EMR έχουν διατυπωθεί από ερευνητές στο Πανεπιστήμιο του Χάρβαρντ, τη Σχολή Wharton του Πανεπιστημίου της Πενσυλβάνια, το Πανεπιστήμιο Στάνφορντ και άλλους [24]. Το 2022, ο διευθύνων σύμβουλος του Guy's and St Thomas' NHS Foundation Trust, ενός από τους μεγαλύτερους οργανισμούς του NHS, δήλωσε ότι τα 450 εκατομμύρια £ που κόστισε η εγκατάσταση του ηλεκτρονικού αρχείου ασθενών της Epic Systems σε έξι νοσοκομεία της ήταν ποσό μηδαμινό, συγκριτικά με τον συνολικό προϋπολογισμό του NHS Trust [26].

2.4.3 Όφελος εξοικονόμησης χρόνου

Η εφαρμογή των EMR μπορεί ενδεχομένως να μειώσει τον χρόνο ταυτοποίησης των ασθενών κατά την εισαγωγή στο νοσοκομείο. Μια έρευνα από το Annals of

Internal Medicine (ACP Journals), το ακαδημαϊκό ιατρικό περιοδικό που εκδίδεται από το Αμερικανικό Κολλέγιο Ιατρών, έδειξε ότι από την υιοθέτηση των EMR σε νοσηλευτικά ιδρύματα, έχει καταγραφεί μείωση του χρόνου κατά 65%.

2.5 Διακυβέρνηση, απόρρητο και νομικά ζητήματα

2.5.1 Προβληματισμός για το απόρρητο

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, τη Μεγάλη Βρετανία και τη Γερμανία, η ιδέα ενός εθνικού κεντρικού μοντέλου διακομιστή δεδομένων υγειονομικής περίθαλψης δεν έγινε αποδεκτή [12]. Τα ζητήματα ιδιωτικότητας και ασφάλειας που προκύπτουν σε ένα τέτοιο μοντέλο προκαλούσαν προβληματισμό.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), ένα νέο και άμεσα δεσμευτικό μέσο, δηλαδή ένας κανονισμός του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου, ψηφίστηκε το 2016 για να τεθεί σε ισχύ το 2018. Έχει να κάνει με την προστασία της επεξεργασίας δεδομένων προσωπικού χαρακτήρα, συμπεριλαμβάνοντας σκοπούς υγειονομικής περίθαλψης. Είναι ο Γενικός Κανονισμός Προστασίας Δεδομένων.

Οι απειλές για τις πληροφορίες υγειονομικής περίθαλψης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις ενότητες:

- Ανθρώπινες απειλές (λ.χ. υπάλληλοι ή χάκερ)
- Φυσικές και περιβαλλοντικές απειλές (λ.χ. σεισμοί, τυφώνες και πυρκαγιές)
- Τεχνολογικές αποτυχίες (λ.χ. συντριβή συστήματος)

Αυτές οι απειλές μπορεί να είναι εσωτερικές ή εξωτερικές και εκούσιες ή ακούσιες. Ως εκ τούτου, θα συναντήσει κανείς επαγγελματίες συστημάτων πληροφοριών υγείας, που έχουν κατά νου αυτές τις ιδιαίτερες απειλές όταν συζητούν τρόπους προστασίας των πληροφοριών υγείας των ασθενών. Έχει διαπιστωθεί ότι υπάρχει έλλειψη ευαισθητοποίησης σχετικά με την ασφάλεια μεταξύ των επαγγελματιών υγείας σε χώρες όπως η Ισπανία [15]. Ο νόμος περί φορητότητας και λογοδοσίας ασφάλισης υγείας Health Insurance Portability and Accountability (HIPAA) έχει αναπτύξει ένα πλαίσιο για τον μετριασμό της βλάβης αυτών των απειλών, που είναι μεν ολοκληρωμένο, αλλά όχι τόσο συγκεκριμένο ώστε

να περιορίζει τις επιλογές των επαγγελματιών υγείας, που μπορεί να έχουν πρόσβαση σε διαφορετική τεχνολογία [86].

Ο νόμος περί προστασίας προσωπικών πληροφοριών και ηλεκτρονικών εγγράφων (The Personal Information Protection and Electronic Documents Act (PIPEDA)) έλαβε βασιλική συναίνεση στον Καναδά στις 13 Απριλίου 2000 για τη θέσπιση κανόνων σχετικά με τη χρήση, την αποκάλυψη και τη συλλογή προσωπικών πληροφοριών. Τα προσωπικά στοιχεία περιλαμβάνουν τόσο μη ψηφιακή, όσο και ηλεκτρονική μορφή. Το 2002 ο PIPEDA επεκτάθηκε και στον τομέα της υγείας, στο Στάδιο 2 της εφαρμογής του νόμου [87]. Υπάρχουν τέσσερις επαρχίες όπου αυτός ο νόμος δεν ισχύει επειδή ο νόμος περί απορρήτου θεωρήθηκε ότι συγκρούεται με τον PIPEDA: Αλμπέρτα, Βρετανική Κολομβία, Οντάριο και Κεμπέκ.

Η πανδημία COVID-19 στο Ηνωμένο Βασίλειο οδήγησε σε ριζικές αλλαγές. Το NHS Digital και το NHSX πραγματοποίησαν αλλαγές, που λέγεται ότι αφορούν μόνο κατά τη διάρκεια της κρίσης, στο σύστημα ανταλλαγής πληροφοριών GP Connect σε όλη την Αγγλία, πράγμα που σημαίνει ότι τα αρχεία ασθενών γίνονται διαθέσιμα στην πρωτοβάθμια περίθαλψη. Εξαιρούνται μόνο οι ασθενείς που έχουν εξαιρεθεί για συγκεκριμένους λόγους [88].

2.6 Νομικά ζητήματα

2.6.1 Ευθύνη

Η νομική ευθύνη σε όλες τις πτυχές της υγειονομικής περίθαλψης ήταν ένα αυξανόμενο πρόβλημα τις δεκαετίες του 1990 και του 2000. Η αύξηση του κατά κεφαλήν αριθμού δικηγόρων στις ΗΠΑ [19], και οι αλλαγές στο σύστημα αδικοπραξίας προκάλεσαν αύξηση στο κόστος κάθε πτυχής της υγειονομικής περίθαλψης. Η τεχνολογία υγειονομικής περίθαλψης δεν αποτέλεσε εξαίρεση [20].

Η αποτυχία ή οι ζημιές, που προκαλούνται κατά την εγκατάσταση ή τη χρήση ενός συστήματος EHR (electronic health record) έχει θεωρηθεί ότι επισείει κίνδυνο απειλής σε αγωγές [21]. Ομοίως, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί, ότι η εφαρμογή ηλεκτρονικών αρχείων υγείας συνεπάγεται σημαντικούς νομικούς κινδύνους [22].

Αυτή η ανησυχία περί ευθύνης απασχολεί ιδιαίτερα τους μικρούς κατασκευαστές συστημάτων EHR. Ορισμένες μικρότερες εταιρείες ενδέχεται να αναγκαστούν να εγκαταλείψουν τις αγορές με αιτία το κλίμα περιφερειακής ευθύνης [3]. Οι μεγαλύτεροι πάροχοι EHR (ή οι πάροχοι που χρηματοδοτούνται από την κυβέρνηση) είναι σε θέση να αντέξουν καλύτερα τις όποιες νομικές επιθέσεις.

Αν και η ηλεκτρονική τεκμηρίωση των επισκέψεων και των δεδομένων των ασθενών προσφέρει βελτιωμένη φροντίδα των ασθενών, υπάρχει η ανησυχία ότι κάτι τέτοιο θα μπορούσε να εκθέσει τους γιατρούς σε αυξημένη συχνότητα εμφάνισης αγωγών για αμέλεια. Η απενεργοποίηση της πληροφόρησης των γιατρών, η επιλογή πληροφοριών από τα αναπτυσσόμενα μενού και η χρήση προτύπων, μπορεί να οδηγήσουν τους γιατρούς να παραλείπουν μια πλήρη ανασκόπηση του ιστορικού και της φαρμακευτικής αγωγής του παρελθόντος ασθενών, και επομένως, να χάνουν σημαντικά δεδομένα.

Ένα άλλο πιθανό πρόβλημα είναι η ηλεκτρονική χρονική σήμανση . Πολλοί γιατροί δεν γνωρίζουν ότι τα συστήματα παράγουν ηλεκτρονική χρονική σήμανση κάθε φορά που ενημερώνεται το αρχείο του ασθενούς. Εάν μια αξίωση για κακή πρακτική οδηγηθεί στο δικαστήριο μέσω της διαδικασίας διερεύνησης αρχείων, η εισαγγελία μπορεί να ζητήσει λεπτομερή καταγραφή όλων των εγγραφών, που έγιναν στο ηλεκτρονικό αρχείο ενός ασθενούς. Η αναμονή για την καταγραφή των σημειώσεων για τον ασθενή μέχρι το τέλος της ημέρας και η προσθήκη πληροφοριών στα αρχεία πολύ μετά την επίσκεψη του ασθενούς μπορεί να είναι προβληματική, καθώς αυτή η πρακτική θα μπορούσε να οδηγήσει σε λιγότερο ακριβή δεδομένα ασθενών, ή να υποδηλώνει πιθανή πρόθεση παράνομης τροποποίησης του αρχείου του ασθενούς [24].

Σε ορισμένες κοινότητες, τα νοσοκομεία προσπαθούν να καθιερώσουν τα συστήματα EMR που χρησιμοποιούν, παρέχοντας το λογισμικό του νοσοκομείου σε τοπικούς παρόχους υγειονομικής περίθαλψης με έκπτωση, δηλαδή σε τιμή φθηνότερη από την αρχική. Αυτή η πρακτική έχει τεθεί ως παραβίαση των κανόνων Stark, που απαγορεύουν στα νοσοκομεία να βοηθούν κατά προτίμηση τους κοινοτικούς παρόχους υγειονομικής περίθαλψης. [25]. Το 2006 ωστόσο, θεοπίστηκαν εξαιρέσεις στον κανόνα Stark, ώστε να επιτραπεί στα νοσοκομεία να

παρέχουν λογισμικό και εκπαίδευση σε κοινοτικούς παρόχους, αίροντας σε μεγάλο βαθμό αυτό το νομικό εμπόδιο.

2.6.2 Νομική διαλειτουργικότητα

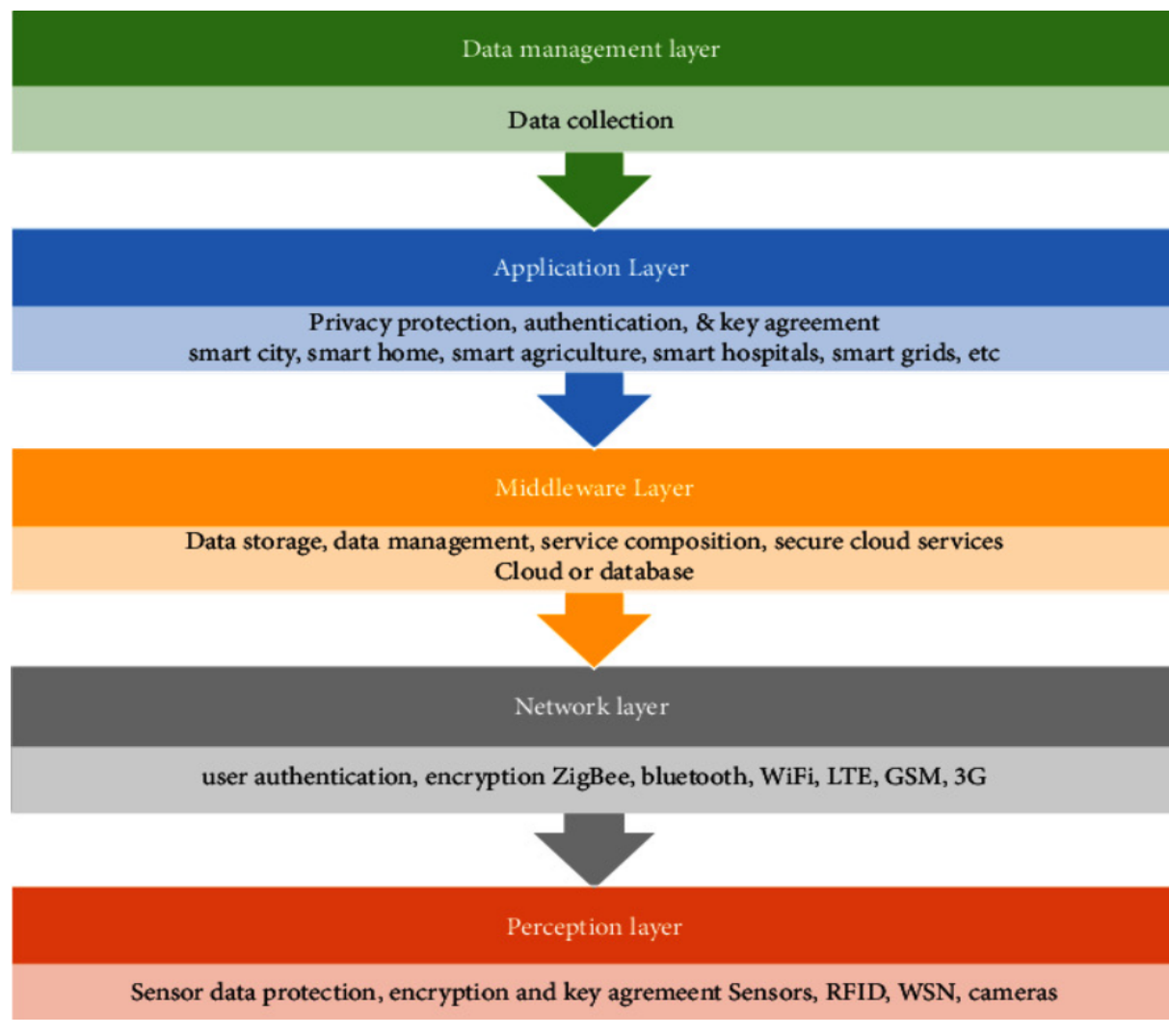
Σε περιπτώσεις διασυνοριακής χρήσης εφαρμογών EMR, τίθεται το πρόσθετο ζήτημα της νομικής διαλειτουργικότητας. Διαφορετικές χώρες ενδέχεται να έχουν αποκλίνουσες νομικές απαιτήσεις για το περιεχόμενο ή τη χρήση ηλεκτρονικών αρχείων υγείας, κάτι που μπορεί να απαιτήσει ριζικές αλλαγές στην τεχνική σύνθεση της εν λόγω εφαρμογής EMR, ειδικά όταν εμπλέκονται θεμελιώδεις νομικές ασυμβατότητες. Η διερεύνηση αυτών των ζητημάτων είναι επομένως συχνά απαραίτητη κατά την εφαρμογή διασυνοριακών λύσεων EMR.

Κεφάλαιο 3 Internet of Medical Things (IoMT)

Το IoT είναι ένα σύστημα που περιλαμβάνει συσκευές συνδεδεμένες, που έχουν τη δυνατότητα να αποκτούν δεδομένα και μπορούν αυτόματα να μεταφέρουν/ανταλλάσσουν δεδομένα μέσω ασύρματου δικτύου. Επιτρέπει την αυτοματοποιημένη συλλογή και ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ μιας μεγάλης ποικιλίας βιομηχανικών τομέων. Το IoT έχει ήδη εφαρμοστεί σε διάφορους τομείς όπως ο βιομηχανικός αυτοματισμός, η γεωργία, οι μεταφορές, οι κατασκευές, η αλυσίδα εφοδιασμού, το λιανικό εμπόριο, οι εφαρμογές έξυπνων κατοικιών, οι έξυπνες πόλεις, τα έξυπνα δίκτυα και η έξυπνη στάθμευση.

Εκτός από όλα αυτά τα πεδία, μπορεί ακόμη να εφαρμοστεί στην υγειονομική περίθαλψη για την εκτέλεση διαφορετικών εργασιών που εκτείνονται από τη συλλογή δεδομένων ασθενών έως την παρακολούθηση της υγείας των ασθενών [56, 57]. Τα υπάρχοντα μοντέλα IoT λειτουργούν καλά για τη συλλογή δεδομένων και τον έλεγχο/παρακολούθηση αντικειμένων [32, 58, 59], και ως εκ τούτου, τα μοντέλα IoT μπορούν να εφαρμοστούν για την παρακολούθηση της υγείας και την αναφορά της κατάστασης του ασθενούς σε κατάλληλα άτομα όπως γιατρούς, κηδεμόνες, ιατρικά κέντρα και σε πληρώματα έκτακτης ανάγκης.

Η γενική αρχιτεκτονική του IoT περιλαμβάνει διαφορετικά επίπεδα όπως το επίπεδο διαχείρισης δεδομένων, το επίπεδο εφαρμογής, το επίπεδο μέσου λογισμικού, το επίπεδο δικτύου και το επίπεδο συναντίληψης. Το σχήμα παρακάτω δείχνει την αρχιτεκτονική του IoT με διαφορετικά επίπεδα και τις συσκευές που χρησιμοποιούνται σε κάθε επίπεδο.



Εικόνα 1. Αρχιτεκτονική με επίπεδα IoT [8]

3.1 Το Internet of Medical Things (IoMT) στην Ιατρική: Πώς το διαδίκτυο των πραγμάτων βελτιώνει την υγειονομική περίθαλψη

Σύμφωνα με την Market Research Engine, η αγορά IoT στον τομέα της υγείας ήταν 158 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2022. Το IoT χρησιμοποιείται σε μια μεγάλη ποικιλία βιομηχανιών υγειονομικής περίθαλψης, όπου η τεχνολογία βοηθά στην εξ αποστάσεως παρακολούθηση των ασθενών και στην πιο αποτελεσματική διάγνωση τους.

3.1.1 Τι είναι το Internet of Medical Things στην Ιατρική

Η σύγχρονη υγειονομική περίθαλψη είναι ο τομέας, στον οποίο το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι πιο κοινό. Έτσι, αναλυτές από την IDC (International Data Corporation) υπολόγισαν, ότι το τμήμα των φορητών συσκευών μόνο το 2021 είναι 222 εκατομμύρια δολάρια (το 2017 ο όγκος αυτής της αγοράς ήταν 113,2 εκατομμύρια δολάρια). Ο συνολικός αριθμός των συνδεδεμένων ιατρικών συσκευών παγκοσμίως αναμένεται να αυξηθεί από 10 δισεκατομμύρια σε 50 δισεκατομμύρια τα επόμενα 10 χρόνια.

Το Internet of Medical Things (IoMT, Health IoT) στην ιατρική, περιλαμβάνει μια υποδομή έξυπνων συσκευών, λογισμικού, συστημάτων υγειονομικής περίθαλψης και μεμονωμένων «έξυπνων» υπηρεσιών. Το IoMT βελτιώνει και αναπτύσσει τη βιομηχανία υγειονομικής περίθαλψης, βοηθά στην παροχή περίθαλψης από απόσταση και συλλέγει περισσότερες πληροφορίες για τον ασθενή. Συμβατικά, όλες οι συσκευές και οι λύσεις IoT στον τομέα της ιατρικής μπορούν να χωριστούν σε δύο τύπους:

- Σε αυτές που προορίζονται για νοσοκομεία και επαγγελματίες που εργάζονται σε αυτά.
- Σε αυτές που επικεντρώνονται στον μέσο χρήστη, δηλαδή στον ασθενή.

Έξυπνες συσκευές (λ.χ. έξυπνα gadget, αισθητήρες, μετρητές καρδιακών παλμών) συλλέγουν και επεξεργάζονται δεδομένα όπως γενικούς δείκτες υγείας, αλλεργικές αντιδράσεις και αποτελέσματα εξετάσεων. Βοηθούν το ιατρικό προσωπικό να δημιουργήσει γρήγορα προσωπικές στατιστικές των ασθενών δηλαδή τα ιατρικά τους αρχεία. Ταυτόχρονα, οι γιατροί μπορούν να χρησιμοποιούν πληροφορίες από συνδεδεμένα συστήματα για την καλύτερη θεραπεία ασθενών, την έγκαιρη και κατάλληλη φροντίδα τους και την πρόληψη οξείας φάσεως χρόνιων ασθενειών.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της χρήσης έξυπνων gadget και έξυπνων λύσεων για την ιατρική είναι:

- Αυξάνουν την κινητικότητα του προσωπικού του νοσοκομείου και την παραγωγικότητα του.
- Επιταχύνουν την επεξεργασία των δεδομένων ασθενών.

- Μειώνουν τον κίνδυνο λάθους και του λανθασμένου υπολογισμού λόγω του ανθρώπινου παράγοντα.
- Μειώνεται το κόστος θεραπείας .

Σύμφωνα με μια μελέτη της Accenture του 2017, τα τρία τέταρτα των στελεχών υγειονομικής περίθαλψης πιστεύουν ότι το IoT θα φέρει επανάσταση στην υγειονομική περίθαλψη τα επόμενα χρόνια. Αυτό ισχύει κυρίως για τρεις τομείς, που αναμένεται τεράστια βελτίωση: απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών, πρόληψη οξείας φάσεως χρόνιων ασθενειών (με χρήση φορητών συσκευών) και συλλογή πληροφοριών.

Ποιες όμως είναι οι τάσεις στη χρήση του IoT για τον ιατρικό τομέα στη σύγχρονη αγορά και πώς μπορεί αυτό να βοηθήσει τώρα ασθενείς και εργαζόμενους στον τομέα της υγείας;

Το IoMT βοηθά στην παρακολούθηση της κατάστασης του εξοπλισμού στους θαλάμους και στην παρακολούθηση της κατάστασης των βαρέως πασχόντων ασθενών χρησιμοποιώντας ειδικούς αισθητήρες. Έτσι, τέτοιες συσκευές είναι σε θέση να παρακολουθούν και να επιμελούνται την υγεία των ασθενών από τη στιγμή που φτάνουν στην κλινική, και να συλλέγουν και να ενημερώνουν δεδομένα σχετικά με αυτούς, χωρίς τη συμμετοχή παραϊατρικού προσωπικού, πράγμα που εξοικονομεί χρόνο και πόρους.

Οι έξυπνοι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε ιατρικές εγκαταστάσεις βρίσκονται πιο συχνά σε νοσοκομειακά κρεβάτια. Για παράδειγμα, η SMI (Silicon Microstructure Inc.) παράγει ειδικούς αισθητήρες που αποτρέπουν τις κατακλίσεις. Μετρούν την πίεση στο στρώμα και βοηθούν στη σωστή κατανομή του, ώστε ένα άτομο να μην αναπτύσσει έλκη κατάκλισης. Υπάρχουν επίσης συσκευές, που παρακολουθούν τον καρδιακό ρυθμό και την αναπνοή, ελέγχοντας τα ζωτικά σημεία των ασθενών, και ειδοποιούν το προσωπικό του νοσοκομείου εάν συμβούν κρίσιμες αλλαγές.

Και το Advent Health (Florida Hospital Celebration Health) χρησιμοποιεί ειδικά σήματα με αισθητήρες που παρακολουθούν την κίνηση όλων των ανθρώπων εντός της κλινικής, τόσο των ιατρών όσο και των ασθενών. Αυτό επιτρέπει να βελτιστοποιήσουμε την εργασία εντός των εγκαταστάσεων δηλαδή να οργανώνουμε

αποθήκες με φάρμακα με μέγιστη άνεση, να προγραμματίζουμε την εργασία του προσωπικού και να διανέμουμε τους ασθενείς στους θαλάμους.

3.2 Παρακολούθηση εξ αποστάσεως της κατάστασης των ασθενών

Αισθητήρες, gadget και άλλες έξυπνες συσκευές δεν χρησιμοποιούνται μόνο σε ιατρικά ιδρύματα. Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των λύσεων IoMT είναι ότι επιτρέπουν να παρέχουμε ορισμένες ιατρικές υπηρεσίες, καθώς και να παρακολουθούμε την υγεία εξ αποστάσεως.

Η απομακρυσμένη παρακολούθηση της υγείας ή η τηλεϊατρική καθιστά δυνατή:

- Τη συλλογή δεδομένων για την υγεία του ασθενούς ακόμη και πριν από την άμεση επίσκεψή του στον γιατρό.
- Την εξ αποστάσεως συμβουλευτική ατόμων για επείγοντα ζητήματα.
- Τη δημιουργία ενός χάρτη των εκδηλώσεων των χρόνιων ασθενειών του ασθενούς, και της γενικότερης καταστάσεώς του κατά τα ενδιάμεσα διαστήματα.
- Την παροχή γρήγορης βοήθειας σε κρίσιμες περιπτώσεις (λ.χ. σε εγκεφαλικά επεισόδια).

Ταυτόχρονα, βασικές ενέργειες πραγματοποιούνται από διάφορες συσκευές, σε συνδυασμό με έξυπνες εφαρμογές, αντί για κλήση ιατρών. Για παράδειγμα, για την αποκατάσταση ασθενών μετά από εγκεφαλικό, χρησιμοποιούνται εύκαμπτοι/ευλύγιστοι αισθητήρες σε μορφή επιδέσμου από το ίδρυμα Shirley Ryan Ability Lab. Αυτοί συνδέονται στο λαιμό για να ελέγχουν την ικανότητα κατάποσης, καθώς και να παρακολουθούν τις διαταραχές του λόγου (λ.χ. αφασία). Έτσι, ένας ασθενής που έχει υποστεί εγκεφαλικό, μπορεί να είναι στο σπίτι και να κάνει τις καθημερινές του δραστηριότητες χωρίς να χρειάζεται να είναι συνεχώς στο κρεβάτι του νοσοκομείου. Όλες οι πληροφορίες παρακολουθούνται σε πραγματικό χρόνο και επιταχύνουν την αποκατάσταση ενός ατόμου.

3.3 Η βελτιστοποίηση της φροντίδας ασθενών με το Ιατρικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Οι κλινικές που είναι εφοδιασμένες με έξυπνα συστήματα διευκολύνουν και επιταχύνουν την επίλυση θεμάτων περίθαλψης ασθενών. Για παράδειγμα, το

σύστημα AutoBed, (που αναπτύχθηκε από την GEHealthcare) βοηθά τους νοσηλευτές να κατανέμουν γρήγορα και αποτελεσματικά τους ασθενείς στα κρεβάτια, ελέγχει τον αριθμό των ασθενών και παρακολουθεί τις κινήσεις τους. Χρησιμοποιεί ετικέτες αναγνώρισης, υπέρυθρες ακτίνες και μηχανική όραση. Η λύση IoMT μειώνει τους χρόνους αναμονής ακριβώς στο μισό, έτσι ώστε οι ασθενείς που φτάνουν στα επείγοντα να λαμβάνουν φροντίδα και θεραπεία γρηγορότερα. Το έξυπνο σύστημα AutoBed χρησιμοποιείται στο Ιατρικό Κέντρο Sinai στη Νέα Υόρκη.

Η αμερικανική startup Inspiren έχει αναπτύξει ένα ολόκληρο έξυπνο οικοσύστημα για το ιατρικό Internet of Things. Ονομάζεται iN και δημιουργήθηκε για να παρέχει στους ασθενείς τη μέγιστη φροντίδα, με τη βοήθεια σύγχρονων τεχνολογιών. Το σύστημα είναι εξοπλισμένο με μηχανική όραση, αισθητήρες κίνησης και είναι σε θέση να συλλέγει δεδομένα από μια μεγάλη ποικιλία συσκευών IoT και να τα αναλύει, χρησιμοποιώντας προηγμένη τεχνολογία. Έτσι, το iN βοηθά στην πρόβλεψη της πορείας της νόσου, στη διάγνωση και στην αποφυγή ιατρικών λαθών.

Στις ΗΠΑ, τα ιατρικά λάθη είναι η τρίτη κύρια αιτία θανάτου (πάνω από 250.000 ετησίως). Παρόμοιες εξελίξεις στον τομέα του ιατρικού διαδικτύου των πραγμάτων συμβάλλουν στη μείωση αυτών των αριθμών, και στην πρόληψη θανατηφόρων περιπτώσεων.

3.4 GPS εσωτερικού χώρου και έξυπνες ιατρικές συσκευές

Οι συσκευές IoT στην ιατρική διευκολύνουν το έργο των γιατρών όσον αφορά τη διάγνωση και τη θεραπεία. Επιπλέον, τα έξυπνα συστήματα συλλέγουν πληροφορίες όχι μόνο για την κατάσταση της υγείας των ασθενών, αλλά και για το έργο του ίδιου του ιατρικού ιδρύματος. Είναι σε θέση να αναλύουν τις πληροφορίες που λαμβάνουν και να προσφέρουν λύσεις που θα επιτρέψουν στο προσωπικό να εργάζεται πιο αποτελεσματικά.

Μία από τις σημαντικές λειτουργίες τέτοιων έξυπνων συστημάτων είναι η καταγραφή των φαρμάκων και του εξοπλισμού που είναι απαραίτητα για τη θεραπεία ασθενών. Για παράδειγμα, στο ολλανδικό νοσοκομείο του Χρόνινγκεν, υπάρχει ένα έξυπνο δίκτυο, μέσω του οποίου κάθε εργαζόμενος μπορεί να έχει

γρήγορη πρόσβαση σε δεδομένα ασθενών, καθώς και να παρακολουθεί πού υπάρχει διαθέσιμος εξοπλισμός και φάρμακα.

Το σύστημα e-Alert της Philips έχει επίσης σχεδιαστεί για τη βελτιστοποίηση της εργασίας των νοσοκομείων. Βοηθά στην πλήρη παρακολούθηση της κατάστασης των ιατρικών συσκευών, οργάνων και εξοπλισμού. Προβλέπει και αποτρέπει βλάβες, και ενημερώνει όταν ο εξοπλισμός χρειάζεται προγραμματισμένο έλεγχο και αντικατάσταση εξαρτημάτων.

Οι ιατρικές συσκευές και τα συστήματα IoT βοηθούν επίσης τους ασθενείς στα νοσοκομεία να αισθάνονται πιο άνετα. Για παράδειγμα, στο νοσοκομείο της Νέας Υόρκης NYU Langone, οι ασθενείς μπορούν να παραγγείλουν φαγητό, να αλλάξουν τον φωτισμό στον θάλαμο, να παρακολουθήσουν βίντεο από ένα tablet και επίσης να λάβουν πληροφορίες για το προσωπικό του νοσοκομείου χρησιμοποιώντας ένα ειδικό έξυπνο σύστημα MyWall.

3.5 Βελτιωμένη διαχείριση φαρμάκων

Χάρη στο IoMT, η βιομηχανία υγειονομικής περίθαλψης έχει επίσης αρχίσει να χρησιμοποιεί εντελώς νέους τρόπους για την παρακολούθηση της υγείας και τη θεραπεία ασθενών. Τώρα υπάρχουν έξυπνα tablets με ενσωματωμένους αισθητήρες, που επιτρέπουν στους γιατρούς να λαμβάνουν πιο ακριβείς πληροφορίες για την κατάσταση ενός ατόμου. Έτσι, το έργο Proteus Discover προτείνει τη χρήση χαπιών με αισθητήρες και μαζί τους ένα ειδικό έμπλαστρο, που στερεώνεται στο ανθρώπινο σώμα. Στο έμπλαστρο υπάρχουν επίσης αισθητήρες, με τη βοήθεια των οποίων το σύστημα συλλέγει δεδομένα για τον ασθενή, ενώ το έξυπνο χάπι συμπληρώνει τα δεδομένα με πληροφορίες που λαμβάνει μέσα στο σώμα. Τα επεξεργασμένα και αναλυόμενα δεδομένα μπορούν να διαβιβασθούν τόσο από τον ίδιο τον ασθενή όσο και από τον θεράποντα ιατρό του.

Η Adhere Tech δημιούργησε μια άλλη έξυπνη λύση για ασθενείς, που είναι ένα έξυπνο κουτί για φάρμακα: Η συσκευή είναι σε θέση να υπενθυμίζει στους ανθρώπους ότι είναι ώρα να λάβουν φάρμακα, ενώ ειδικοί αισθητήρες καταγράφουν πότε το φάρμακο βγαίνει από το κουτί. Εάν, σύμφωνα με το πρόγραμμα αυτό δεν συμβεί, το σύστημα εκπέμπει έναν ήχο και ενημερώνει τον ασθενή στο smartphone

του. Ο θεράπων ιατρός λαμβάνει επίσης τα δεδομένα που συλλέγονται σχετικά με τη λήψη φαρμάκων. Αυτό βοηθάει στη μείωση του κινδύνου υποτροπών μετά τη θεραπεία που προκαλείται από λανθασμένη λήψη φαρμακευτικής αγωγής.

3.6 Μηχανική μάθηση (Machine Learning)

Η Μηχανική μάθηση (ML) είναι ένας κλάδος της τεχνητής νοημοσύνης που στοχεύει στην αυτοματοποίηση μηχανών με ελάχιστη ανθρώπινη συμμετοχή. Κατηγοριοποιείται ευρέως σε τρεις τύπους:

- Μάθηση με επίβλεψη
- Μάθηση χωρίς επίβλεψη
- Ενισχυτική και ημι-εποπτευόμενη μάθηση.

Οι εποπτευόμενοι και μη εποπτευόμενοι αλγόριθμοι εφαρμόζουν μαθηματικά μοντέλα, και έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν ικανότητα στα συστήματα να αναλύουν και να δείχνουν πώς να αντιμετωπίζουν διαφορετικές εργασίες. Σύνολο δεδομένων και αντίστοιχες ετικέτες (δηλαδή, τιμές ή σειρές) χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του μοντέλου της εποπτευόμενης μάθησης. Το σύνολο δεδομένων εισόδου και οι σχετικές έξοδοι τροφοδοτούνται στον αλγόριθμο, στη συνέχεια συγκρίνεται η προκύπτουσα έξοδος με τη σωστή έξοδο για τον εντοπισμό σφαλμάτων, και στη συνέχεια, το μοντέλο τροποποιείται ανάλογα [41]. Επιπλέον, το σύστημα χωρίζεται σε διαφορετικές μεθόδους όπως ταξινόμηση, πρόβλεψη, παλινδρόμηση και ενίσχυση κλίσης.

Παραδείγματα εποπτευόμενης μάθησης είναι η μηχανή διανυσμάτων υποστήριξης (SVM), η γραμμική παλινδρόμηση (LR), το τυχαίο δείγμα (RF) και τα «δένδρα» αποφάσεων (DT). Η μάθηση χωρίς επίβλεψη εκπαιδεύει το μοντέλο μόνο στις δεδομένες τιμές εισόδου. Οι αντίστοιχες μεταβλητές εξόδου δεν τροφοδοτούνται στο μοντέλο μαζί με δεδομένα εισόδου, σε αντίθεση με την εποπτευόμενη μάθηση, και το μοντέλο ταξινομείται περαιτέρω σε θέματα ομαδοποίησης και συσχέτισης, πράγμα που σημαίνει, ότι τα μοντέλα δεν εποπτεύονται με βάση τα δεδομένα εκπαίδευσης, αλλά εντοπίζουν κρυφά στοιχεία από δεδομένα εισόδου όπως ο ανθρώπινος εγκέφαλος. Κ-μέσες, k-πλησιέστεροι γείτονες (k-nearest neighbors KNN), ανάλυση κύριου συστατικού (PCA), ανάλυση ανεξάρτητων συστατικών

(ICA), ιεραρχική ομαδοποίηση και ο αλγόριθμος *a priori* είναι μερικά από τα παραδείγματα αλγορίθμων χωρίς επίβλεψη [42], ενώ η ημι-εποπτευόμενη μάθηση χρησιμοποιεί τόσο επισημασμένα, όσο και χωρίς επισημάνση δεδομένα για εκπαίδευση, και μερικές φορές, χρησιμοποιεί τόσο εποπτευόμενες όσο και μη εποπτευόμενες μεθόδους.

Η ML προχωρά γρήγορα σε κάθε πεδίο λόγω των προηγμένων αλγορίθμων της, που ανιχνεύουν και ταξινομούν δεδομένα. Η ML διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην έξυπνη υγειονομική περίθαλψη, καθώς προάγει τις υπηρεσίες που παρέχονται από συστήματα υγειονομικής περίθαλψης, όπως, ανάλυση ασθενειών, παροχή ευρημάτων με ακρίβεια, ακριβή διάγνωση, και πρόβλεψη σε πρώιμο στάδιο. Δεδομένου, ότι τα ιατρικά δεδομένα είναι σε ψηφιακή μορφή, η εκμετάλλευση αυτών των δεδομένων σε έξυπνα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης είναι αντικείμενο πολλών προκλήσεων, που πρέπει να κατακτηθούν. Τα τελευταία χρόνια, υπήρξε τεράστια αύξηση στα δεδομένα υγειονομικής περίθαλψης, τα οποία πρέπει να διαχειρίζονται και να ταξινομούνται ανάλογα για σωστή διάγνωση. Οι αλγόριθμοι ML μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή λύσεων σε ποικίλα προβλήματα υγείας.

3.7 Deep learning (DL)

Το DL είναι ένας υποτομέας της ML, που περιέχει αλγόριθμους, και λειτουργεί όπως στον ανθρώπινο εγκέφαλο τα νευρωνικά δίκτυα. Το βασικό πλεονέκτημα της DL έναντι της ML είναι ότι καταργεί τις διαδικασίες προεπεξεργασίας, εξαγωγής χαρακτηριστικών και επιλογής χαρακτηριστικών, που εμπλέκονται στην παραδοσιακή μηχανική εκμάθηση.

Οι αλγόριθμοι DL λειτουργούν καλά για μη δομημένα δεδομένα, όπως εικόνες, εγγραφές, κείμενο, δεδομένα αισθητήρων, χωρικά δεδομένα κ.λπ., ενώ η εξαγωγή χαρακτηριστικών και οι διαδικασίες επιλογής χαρακτηριστικών είναι αυτοματοποιημένες. Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα ή τα βαθιά νευρωνικά δίκτυα προσομοιώνουν τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου, χρησιμοποιώντας διάφορα στοιχεία όπως εισόδους, συμπτώματα, παλαιά επεισόδια και σύγκριση δεδομένων, όπου όλα αυτά τα στοιχεία λειτουργούν ταυτόχρονα, για να

ολοκληρώσουν διάφορες εργασίες σε μια συγκεκριμένη ταξινόμηση και αναγνώριση [54].

Οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης αποτελούνται από τρία επίπεδα: Εισόδου, εξόδου και «κρυφό» επίπεδο. Τα επίπεδα εισόδου και εξόδου είναι γνωστά ως ορατά επίπεδα. Τα επίπεδα εισόδου αποκτούν και επεξεργάζονται τα δεδομένα, ενώ τα επίπεδα εξόδου χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση ή την πρόβλεψη του αποτελέσματος. Οι κύριοι υπολογισμοί του δικτύου πραγματοποιούνται στα κρυφά επίπεδα. Στους αλγόριθμους DL πολλαπλά επίπεδα και κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους για να αναλύσουν και να βελτιώσουν το έργο, είτε της ταξινόμησης, είτε της αναγνώρισης.

Τέτοιες διαδοχές υπολογισμών σε ένα δίκτυο είναι γνωστές ως "Εμπρός Διάδοση". Τα επίπεδα ή οι αλγόριθμοι, όπου τα βάρη του ασθενούς υπολογίζονται μέσω της διέλευσης προς τα πίσω, με την προσαρμογή των βαρών των κόμβων είναι γνωστά ως "Πίσω Διάδοση". Αυτές οι δύο διαδόσεις προς τα εμπρός και προς τα πίσω επιτρέπουν στον αλγόριθμο την ακριβή παράθεση των προβλέψεων. Εφόσον οι αλγόριθμοι DL αναλύουν δεδομένα σύμφωνα με τη λειτουργία του εγκεφάλου, είναι εφικτό να εφαρμοστούν σε διαφορετικές εργασίες του περιβάλλοντος κόσμου. Εφαρμόζεται κυρίως για την αναγνώριση εικόνας, κειμένου και ομιλίας, ανίχνευση ασθενειών [55], πρόβλεψη και διάγνωση, ανακάλυψη φαρμάκων, επιχειρήσεις και διαχείριση, κατασκευή, βιοπληροφορική και επεξεργασία φυσικής γλώσσας. Αυτές οι εφαρμογές είναι ενοποιημένες ως μια σειρά υπηρεσιών και προϊόντων, έτσι ώστε οι πελάτες δεν γνωρίζουν την περίπλοκη λειτουργία του μοντέλου.

3.7.1 Deep Learning Architectures (DLA)

Οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης (DLA) παρέχουν την καλύτερη απόδοση για όλους τους τύπους δεδομένων. Οι βασικές απαιτήσεις αυτού του αλγορίθμου είναι ένας τεράστιος όγκος δεδομένων, και μια μονάδα επεξεργασίας προηγμένης τεχνολογίας. Οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης ταξινομούνται κυρίως σε τύπους εποπτευόμενης βαθιάς μάθησης, δηλαδή τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANN), συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (CNN), επαναλαμβανόμενα νευρωνικά δίκτυα (RNN) και μη εποπτευόμενο αυτοκωδικοποιητή βαθιάς μάθησης, μηχανή

Boltzmann και αυτοοργανωτικούς Χάρτες (SOM). Αυτοί οι αλγόριθμοι αποτελούνται από επίπεδα και πολλούς κόμβους. Τα επίπεδα μπορούν να καθοριστούν με βάση την εργασία. Έτσι διαφορετικά είδη μοντέλων είχαν σχεδιαστεί για διαφορετικές εργασίες όπως, CNN για εργασίες αναγνώρισης, RNN για προβλήματα χρονικής ακολουθίας και πρόβλεψης, U-Nets για ιατρικές εικόνες κ.λπ. Στη βαθιά εκμάθηση διευκρινίζεται, ότι υπάρχει δεν υπάρχει συγκεκριμένος αλγόριθμος για μια συγκεκριμένη εργασία, και ότι ο αλγόριθμος μπορεί να δομηθεί με βάση διάφορους παράγοντες. Ο όρος «βαθύς» ισχύει για την ανάλυση διαδοχικών επιπέδων από διαδοχικές σημαντικές εικόνες εισόδου. Το βάθος του δικτύου καθορίζεται από τον αριθμό των επιπέδων που χρησιμοποιούνται.

Επί του παρόντος, οι αρχιτεκτονικές κατά τη βαθιά εκμάθηση, περιλαμβάνουν δεκάδες έως εκατοντάδες επίπεδα. Οι παραδοσιακές τεχνικές μηχανικής μάθησης συνήθως δίνουν έμφαση στη μάθηση από λίγα επίπεδα, δηλαδή ένα ή δύο. Αυτές οι τεχνικές θεωρούνται ρηχή μάθηση.

3.7.1.1 Συνελικτικά νευρωνικά δίκτυα (CNN).

Ο πιο σημαντικός αλγόριθμος βαθιάς εκμάθησης είναι το CNN (Convolutional Neural Networks), που περιλαμβάνει πολλά δεκτικά επίπεδα που επιτρέπουν την ποιοτική και γρήγορη εκπαίδευση για την επεξεργασία των εικόνων εισόδου. Εφαρμόζεται κυρίως για διάφορες εργασίες μηχανικής όρασης, και για τη βελτίωση της απόδοσης προβλημάτων αναγνώρισης [37, 38]. Τα CNN είναι νευρωνικά δίκτυα, που χρησιμοποιούν τόσο μαθηματικές συνελίξεις, όσο και πίνακες.

Τα επίπεδα CNN είναι οργανωμένα σε επικαλυπτόμενες μορφές στα επίπεδα εισόδου, για την εξασφάλιση αποτελεσμάτων υψηλής ανάλυσης, όπως η αρχική είσοδος, και κάθε επίπεδο στο δίκτυο ακολουθεί την παραπάνω διαδικασία. Ο κύριος στόχος των CNN είναι να αναλύουν πυρήνες δεδομένων, που καθορίζονται από επιλεγμένα δεδομένα, που έχουν μεγάλη πιθανότητα να ισχύουν, σε σχέση με δεδομένα από προκαθορισμένους πυρήνες.

Τα συστήματα απομακρυσμένης παρακολούθησης της υγείας των ασθενών (Remote Health Monitoring) [61] είναι σημαντικά, και ότι η βασική πρόκληση σε αυτά τα συστήματα είναι οι υπηρεσίες που παρέχουν σε διάφορα περιβάλλοντα. Τα

συστήματα RHM εφαρμόζονται για την εξέταση και την παρακολούθηση των συνθηκών των ασθενών εξ αποστάσεως προς όφελος των ασθενών, του προσωπικού του νοσοκομείου και για την μείωση των εξόδων [6].

Ο κύριος στόχος τέτοιων συστημάτων είναι να παρέχουν τις καλύτερες υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης στους ασθενείς των αγροτικών περιοχών. Παρόλο που αυτό το σύστημα παρέχει ποικίλες υπηρεσίες, ορισμένες προκλήσεις που πρέπει να ξεπεραστούν είναι το απόρρητο και η αποθήκευση δεδομένων. Αυτά μπορούν να επιλυθούν με την εισαγωγή συστημάτων υγειονομικής περίθαλψης IoT που βασίζονται σε ποικιλία δεδομένων.

Πολλοί ερευνητές είχαν αναπτύξει τέτοια συστήματα. Όπως περιγράφεται στη βιβλιογραφική μελέτη, η χρήση τους, που βασίζεται στο IoT, είχε γίνει μια μόνιμη λύση στα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης, που παρέχουν υπηρεσίες σε αγροτικές περιοχές και σε ηλικιωμένους ασθενείς [13]. Το σύστημα RHM μπορεί να εφαρμοστεί για να παρέχει ποικίλες υπηρεσίες όπως έλεγχοι ΑΠ, παρακολούθηση καρδιακών παλμών, έλεγχος θερμοκρασίας, έλεγχοι διαβήτη, αποκατάσταση, ανίχνευση καρκίνου, ασθένειες που σχετίζονται με τον εγκέφαλο, παρακολούθηση της υγείας κ.λπ. Επομένως, αυτά τα συστήματα μπορούν να αναπτυχθούν για διαφορετικές εργασίες, και συνδέονται στενά με τις εφαρμογές τεχνολογιών άλλων ενεργειών.

Οι κύριες απαιτήσεις των συστημάτων RHM είναι μια ποικιλία αισθητήρων και συσκευών επικοινωνίας [64]. Οι ευρέως χρησιμοποιούμενοι αισθητήρες είναι φορητοί αισθητήρες (ασύρματοι ή εξωτερικοί αισθητήρες που φοριούνται), αισθητήρες που βασίζονται στην όραση, δίκτυα αισθητήρων σώματος – Body Sensor Network (BSN), ενώ οι συσκευές επικοινωνίας κατηγοριοποιούνται σε δύο τύπους, δηλ. συσκευές επικοινωνίας μικρής εμβέλειας και συσκευές επικοινωνίας μεγάλης εμβέλειας.

3.8 Cloud Computing (CC)

Το CC είναι παροχή υπηρεσιών υπολογιστών μέσω του διαδικτύου, που κυμαίνονται από διακομιστές έως λογισμικό, δηλαδή χώρος αποθήκευσης, δικτύωσης, υπηρεσία επικοινωνίας δεδομένων, προκλήσεις ασφάλειας δεδομένων

(απόρρητο, ασφάλεια, διαλειτουργικότητα και αξιοπιστία), ανάλυση δεδομένων και λογισμικό. Το Cloud μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον τομέα υγειονομικής περίθαλψης για αποθήκευση, διαχείριση, ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων, ενώ παρέχει επίσης υπηρεσίες για τη διαχείριση λογισμικού και εφαρμογών σε πραγματικό χρόνο. Η ανάπτυξη της υπηρεσίας Cloud κατηγοριοποιείται σε τρεις τύπους, δηλαδή ιδιωτικό σύννεφο (cloud), δημόσιο σύννεφο και υβριδικό σύννεφο[12].

Ένα ιδιωτικό σύννεφο ανήκει σε έναν μεμονωμένο οργανισμό ή εταιρεία και τοποθετείται στο κέντρο δεδομένων ενός οργανισμού [13]. Οι ιδιωτικοί πόροι του cloud μπορούν να παρέχονται εξωτερικά ή εσωτερικά στον ίδιο τον οργανισμό και σε αυτό το cloud η συντήρηση των υποδομών και των υπηρεσιών γίνεται σε ιδιωτικό δίκτυο. Τα δημόσια cloud ανήκουν σε τρίτους προμηθευτές οι οποίοι τα διαχειρίζονται, για παράδειγμα οι Microsoft Azure, Amazon Elastic Compute Cloud (EC2), IBM's Cloud, κ.λπ.

Όλες οι υπηρεσίες και οι πόροι στο δημόσιο cloud διατηρούνται από προμηθευτές (παρόχους cloud). Ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση σε αυτές τις υπηρεσίες και τους πόρους μέσω προγραμμάτων περιήγησης στο Διαδίκτυο [14]. Τα ιδιωτικά και δημόσια σύννεφα ενσωματώνονται για να σχηματίσουν ένα υβριδικό σύννεφο, που παρέχει τη δυνατότητα πρόσβασης σε δημόσιες υπηρεσίες cloud από το ιδιωτικό σύννεφο, το οποίο είναι γνωστό ως τεχνολογία εκρήξεως cloud (Cloud Bursting).

Το cloud αποδίδει τρία επίπεδα υπηρεσιών, δηλαδή, υποδομή ως υπηρεσία (Infrastructure as a Service - IaaS), λογισμικό ως υπηρεσία (Software as a Service - SaaS) και πλατφόρμα ως υπηρεσία (Platform as a Service - PaaS):

IaaS (Υποδομή ως υπηρεσία): Πληρώνοντας τη συνδρομή, οι πελάτες εξυπηρετούνται από ένα εικονικό περιβάλλον, που αποτελείται από εικονικές συσκευές, συσκευές δικτύωσης και συσκευές αποθήκευσης. Το σύστημα τιμολόγησης παρέχεται επίσης σε πελάτες όπου κάποιος μπορεί να ζητήσει και να πληρώσει για την απαιτούμενη υποδομή.

SaaS (Λογισμικό ως υπηρεσία): Παρέχει πρόσβαση σε κέντρο δεδομένων και λογισμικό βάσει της ιδιότητας μέλους. Διαχειρίζεται την εγκατάσταση, την

ενημέρωση και την ανάκτηση λογισμικού. Αυτό το λογισμικό μπορεί να προσπελαστεί εξ αποστάσεως μέσω του Διαδικτύου.

PaaS (Πλατφόρμα ως υπηρεσία): Παρέχει μια πλατφόρμα και διεπαφές όπου οι πελάτες μπορούν να δημιουργήσουν, να αναπτύξουν, να διαχειριστούν, να δοκιμάσουν και να αναπτύξουν εφαρμογές χρησιμοποιώντας τη διεπαφή που παρέχεται.

3.9 Έξυπνες Εφαρμογές και Προκλήσεις Υγείας

3.9.1 Εφαρμογές

Οι έξυπνες εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης είναι λογισμικά που υλοποιούνται για τη δημιουργία, τη συλλογή, τη συντήρηση και για δεδομένα που σχετίζονται, τόσο με ασθενείς, όσο και με οργανισμούς υγείας. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση διαφορετικών εργασιών, όπως η παρακολούθηση της υγείας των απομακρυσμένων ασθενών [20], η δημιουργία αρχείων ασθενών, ο σχεδιασμός θεραπείας, η ανίχνευση ασθενειών, η ανίχνευση των συνθηκών του ασθενούς κ.λπ. Τα έξυπνα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης ωφελούν τους ασθενείς, τους γιατρούς, τους κηδεμόνες, τα κέντρα υγειονομικής περίθαλψης και τους ασφαλιστικούς οργανισμούς.

Το Smart Healthcare System (SHS) είναι ένα σύστημα υπηρεσιών και συντήρησης υγειονομικής περίθαλψης που λειτουργεί με ολοκληρωμένες τεχνολογίες όπως IoT, φορητές συσκευές και διαδίκτυο για την ανταλλαγή πληροφοριών και δεσμεύει έξυπνα τους ασθενείς, το ιατρικό προσωπικό, τα ιδρύματα υγειονομικής περίθαλψης, τους κηδεμόνες και τα δεδομένα. Η κοινή πλατφόρμα για απομακρυσμένη βοήθεια είναι ένα σύνολο διαφόρων τομέων, όπως παρακολούθηση και διαχείριση ασθενών, ανίχνευση ασθενειών, πρόληψη και διάγνωση, συστήματα λήψης αποφάσεων, τηλεϊατρική βοήθεια, επιλογή φαρμάκων, διαχείριση κέντρων υγείας και υποβοήθηση της έρευνας φαρμάκων και ιατρικής θεραπείας.

Ένα πακέτο διακριτών τεχνολογιών, όπως το IoT, η τεχνητή νοημοσύνη, το cloud computing, το fog computing, το edge computing [12], τα συνολικά δεδομένα, το διαδίκτυο, οι αισθητήρες, οι φορητές συσκευές, οι εφαρμοσμένες επιστήμες και η

νανοτεχνολογία ενσωματώνουν συλλογικά την «έξυπνη υγειονομική περίθαλψη». Το Smart Healthcare System SHS θα διευκολύνει τη σύνδεση μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων φορέων και θα αναγνωρίσει ότι όλοι οι συνεργάτες λαμβάνουν τις απαραίτητες υπηρεσίες. Συνοπτικά το SHS μπορεί να οριστεί ως η δομή ιατρικής πληροφόρησης του ανώτατου επιπέδου.

Οι προοπτικές των γιατρών και των ασθενών στα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης καθορίζονται ως εξής:

Ασθενείς: Φορητές συσκευές ή αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο, διαχείριση και παρακολούθηση της υγείας των ασθενών, τις απομακρυσμένες υπηρεσίες, την παρακολούθηση ηλικιωμένων και την πρόσβαση σε δεδομένα, όπως αρχεία και αναφορές εξετάσεων.

Ιατροί: Διάφορα συστήματα διάγνωσης και υποστήριξης αποφάσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Οι γιατροί μπορούν να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα ασθενών, και να παρακολουθούν τους ασθενείς.

3.9.2 Προκλήσεις υγείας

Η ενσωμάτωση των τεχνικών Internet of Things και Machine Learning που βασίζονται σε σύννεφο στον ιατρικό τομέα καθόρισε το βασικό αποτέλεσμα στην καθημερινή ζωή, που ωφελεί τόσο τους ασθενείς όσο και το προσωπικό του νοσοκομείου. Παρά τα οφέλη του για τους ασθενείς, οδηγεί επίσης σε ορισμένες επικίνδυνες προκλήσεις που απαιτούν βιώσιμες λύσεις. Ορισμένες σημαντικές προκλήσεις παρατίθενται ως εξής [17]:

1. **Ασφάλεια και απόρρητο:** Δεδομένου ότι τα συστήματα IoT, που βασίζονται σε σύννεφο, είναι πανταχού παρόντα, η ενίσχυση θεμελιωδών ζητημάτων όπως η ασφάλεια, το απόρρητο και η ακεραιότητα διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην ενσωμάτωση διαφορετικών τεχνολογιών. Για την αντιμετώπιση διαφόρων προκλήσεων ασφάλειας δεδομένων, όπως η διαθεσιμότητα, η ακεραιότητα και η αυθεντικότητα των δεδομένων, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένα μέτρα για τη διατήρηση των δεδομένων που είναι αποθηκευμένα στο cloud. Η κλοπή προσωπικών δεδομένων μπορεί να συμβεί όταν αυτές οι προκλήσεις ασφαλείας δεν αντιμετωπίζονται. Όταν τα δεδομένα γίνονται προσβάσιμα σε

τρίτα μέρη, το θέμα περιπλέκεται καθώς μπορούν να εκτελέσουν μη εξουσιοδοτημένες δραστηριότητες σε δεδομένα. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να αναπτυχθεί ένα καλό σύστημα ασφαλείας για συσκευές αποκεντρωμένης επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών IoT και του cloud [18].

2. Ποιότητα Υπηρεσιών (Quality of service - QoS): Αυτό είναι το βασικότερο παράδειγμα κατά την αντιμετώπιση του συνολικού αποτελέσματος απόδοσης των ολοκληρωμένων δικτύων. Στην περίπτωση της τεράστιας αποθήκευσης δεδομένων και ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ συσκευών IoT και τραπεζών cloud/δεδομένων, η συντήρηση υπηρεσιών QoS είναι η πρωταρχική πρόκληση. Ο πελάτης απαιτεί από την πλατφόρμα cloud μια αποτελεσματική και ισχυρή διαχείριση δεδομένων, καθώς μπορεί να είναι ευαίσθητα στις καθυστερήσεις.

Επομένως, η ανάπτυξη της υπηρεσίας QoS σε εφαρμογές αποτρέπει την απώλεια δεδομένων. Η βέλτιστη λύση για εφαρμογές IoT, που βασίζονται σε σύννεφο είναι η χρήση πρωτοκόλλου IPv6, καθώς αυτό παρέχει σημαντικά χαρακτηριστικά ποιότητας μαζί με διασφάλιση QoS.

3. Υποστήριξη τυπικού πρωτοκόλλου: Καθώς δεν υπάρχει κοινή τυπική αρχιτεκτονική IoT, χρησιμοποιούνται διάφορα πρωτόκολλα για την επικοινωνία και τη μεταφορά δεδομένων στο δίκτυο. Το γεγονός, ότι η ανάπτυξη των πρωταρχικών πρωτοκόλλων ομοιογενών κόμβων, όπως τα Zigbee, CoAp, 6LOWPAN και Z-wave παραμένουν ετερογενή, οδηγεί σε συγκρούσεις. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μια μεγάλη πρόκληση όταν το IoT και το cloud συνδυάζονται. Ως εκ τούτου, υπάρχει ανάγκη να δημιουργηθούν τυπικά πρωτόκολλα, που να επιτρέπουν αρχιτεκτονικές IoT που βασίζονται σε Cloud.

4. Καθυστερήση και περιορισμός εύρους ζώνης: Οι αποκεντρωμένες πλατφόρμες cloud παρέχουν απεριόριστους πόρους και ποικίλες υπηρεσίες, αλλά δεν διασφαλίζουν την πρόσβαση στην υπηρεσία λόγω καθυστέρησης. Η λύση για ένα σύστημα βέλτιστης απόδοσης είναι η χρήση υψηλού εύρους ζώνης για τη μετάδοση δεδομένων. Για την εξάλειψη των προβλημάτων καθυστέρησης, μια προσέγγιση υπολογισμού ομίχλης (fog computing) μπορεί να εφαρμοστεί ως ενδιάμεσο επίπεδο μεταξύ του IoT και του cloud. Εκτός από τις

προαναφερθείσες προκλήσεις, ορισμένες άλλες είναι η ευελιξία και η τεχνολογική πρόοδος, η επάρκεια στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, η αποδοτική κατανάλωση ενέργειας, η γνώση φορητών συσκευών, θέματα που σχετίζονται με το υλικό κατά την αποθήκευση και ανταλλαγή δεδομένων, όπως ο έλεγχος της μνήμης και η εκτέλεση του συστήματος.

Κεφάλαιο 4ο Έξυπνη υγεία και 5G

4.1 Τεχνολογίες Επικοινωνίας

Διάφορες έξυπνες υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το εύρος επικοινωνίας (δηλαδή, μικρής και μεγάλης εμβέλειας) μεταξύ συσκευών και διακομιστών. Το Bluetooth, το ZigBee και το Wi-Fi είναι οι πιο αξιοσημείωτες ασύρματες τεχνολογίες μικρής εμβέλειας για έξυπνη υγειονομική περίθαλψη, όπως το Body Area Network (BAN). Το LTE (Long-Term Evaluation) και το WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) είναι χαρακτηριστικές τεχνολογίες μεγάλης εμβέλειας που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ τοπικού διακομιστή σε BS (Base Station) στο έξυπνο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης.

Επιπλέον, το LTE-M θεωρείται ότι είναι μια βελτίωση για να βοηθήσει το IoT. Ωστόσο, το 3GPP (Third Generation Partnership Project) πρέπει να παρέχει περαιτέρω βελτιώσεις για την αντιμετώπιση της κάλυψης, της διάρκειας ζωής της μπαταρίας και της πολυπλοκότητας της συσκευής [34]. Εκτός από τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται αυτήν τη στιγμή, το LoRa (Long Range) τυποποιεί το πρωτόκολλο LoRa-WAN (Long Range Wide Area Network) για έξυπνη χρήση υγειονομικής περίθαλψης για να διασφαλίσει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ πολλών παρόχων υπηρεσιών. Επιπλέον, το SIGFOX προσφέρει ένα εξαιρετικά προσαρμόσιμο παγκόσμιο δίκτυο εξετάζοντας έξυπνες εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Μια σύγκριση αξιοσημείωτων τεχνολογιών επικοινωνίας παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1. Σύγκριση των υφιστάμενων προτεινόμενων τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας και των παραμέτρων τους για έξυπνη υγειονομική περίθαλψη [24]

Short Range Communication	LOW					
	Bluetooth 4	PAN	2.4 GHz	1 Mbps	0.1 Km	Low
	Bluetooth 5	PAN	2.4 GHz	2 Mbps	0.25 Km	Very Low
	ISO/IEC 15693	PAN	3.56 MHz	6.6–26 Kbit/s	1–1.5 m	Very Low
	Z Wave	LAN	968–908 MHz	100 kbps	100 m	Very Low
	RFID	LAN	13.56 MHz –2.45 GHz	40–640 kbps	1–100m	Low
	Thread	LAN	2.4 GHz	250 Kbits/s	10–100m	Low
	Wi-Fi	LAN	2.4 GHz and 5GHz	802.11(b)11 M; (g) 54 M; (n) 0.6, (Gac) 1 Gbps	50 m	Low-High
	ZigBee	LAN	2.4 GHz	250 kbps	10–100 m	Very Low
Long Range Communication	WiMAX	WAN	10–66 GHz	11–100 Mbs	50 km	High
	LoRa	WAN	868/915 MHz	50 kbps	25 km	Low
	LoRaWAN	WAN	Numerous	0.3–50 kbps	2–5 km (Urban) 15 km (Sub urban) 45 km (rural)	Low
	Sigfox	WAN	868/915 MHz	300 bps	50 Km	Low
	4G	WAN	700, 1700, 2800 MHz	Up-to 12 Mbps	Up-to 10 Km	High
	5G	WAN	At Low Bands	Up-to 3.6 Gbps	Up-to 10 Km	High
	5G	WAN	At High Bands	10 Gbps	<1 Km	High
	(NB-IoT)	WAN	850 MHz	245 kbps	Up-to 35 Km	High
	(EC-GSM IoT)	WAN	890 MHz	Up-to 140 kbps	Up-to 100 Km	High
	LTE-M (M1)	WAN	700, 1450–2200, 5400 MHz	0.144 Mbps	35km	High

4.2 Τύποι Δικτύων

Τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης που βασίζονται στο IoT εξαρτώνται από διάφορες τοπολογίες για την αποτελεσματική παροχή υπηρεσιών. Τα δίκτυα IoT παρέχουν πολλές υπηρεσίες σε μικρή εμβέλεια. Για παράδειγμα, τα ασύρματα τοπικά δίκτυα, (WLAN: wireless Local Area Network), τα BAN και τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα περιοχής (WPAN: Wireless Personal Area Networks) χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης εσωτερικού χώρου, ενώ η κινητή ηλεκτρονική φροντίδα υγείας χρησιμοποιεί δίκτυα μητροπολιτικής περιοχής (MANs: Metropolitan Area Networks), δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN:

Wide Area Networks) και δίκτυα κινητής επικοινωνίας. Τα συστήματα που συζητήθηκαν παρουσιάζουν συγκεκριμένες δομές ως προς το μέγεθος, τη χωρητικότητα, τα δεδομένα, την κάλυψη και τις απαιτήσεις καθυστέρησης.

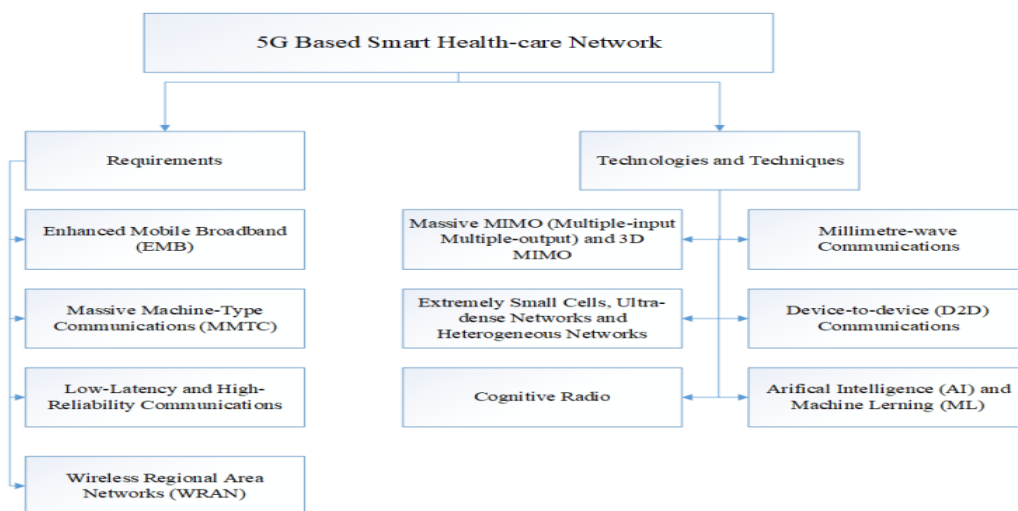
4.3 Σενάρια για το δίκτυο 5G και τις απαιτήσεις του

Τέσσερις τύποι σεναρίων για δίκτυα 5G είναι οι παρακάτω:

Η εικόνα 2 απεικονίζει τις απαιτήσεις και τις τάσεις της τεχνολογίας για την επίτευξη αυτών των απαιτήσεων του έξυπνου δικτύου υγειονομικής περίθαλψης που βασίζεται στο 5G.

- Βελτιωμένη ευρυζωνική κινητή.
- Επικοινωνίες τύπου massive machine.
- Επικοινωνίες υψηλής αξιοπιστίας και χαμηλής καθυστέρησης.
- WRAN (Wireless Regional Area Networks).

Κάθε εγκατάσταση απαιτεί διαφορετικές απαιτήσεις και διαφορετικές εφαρμογές όπως αναλύεται στη συνέχεια.



Εικόνα 2. Απαιτήσεις και τάση της τεχνολογίας της έξυπνης υγειονομικής περίθαλψης που βασίζεται στο 5G. [37]

4.3.1 Βελτιωμένη Κινητή Ευρυζωνικότητα (EMB: Enhanced Mobile Broadband)

Οι βασικές απαιτήσεις αυτού του σεναρίου είναι η απόδοση υψηλού επιπέδου και η ανώτερη χωρητικότητα κυκλοφορίας. Για παράδειγμα, στο [61], προσδιορίζονται οι ακόλουθες απαιτήσεις. Σε αστικές και προαστιακές περιοχές, ο

ρυθμός μετάδοσης δεδομένων από τον χρήστη είναι 100 Mbps και σε hotspot έως 1 Gbps. Ο υψηλότερος ρυθμός δεδομένων είναι 20 Gbps. και, η χωρητικότητα ισοδυναμεί με 10 Mbps/m². Ο κύριος σκοπός του σεναρίου είναι η ενίσχυση της χωρητικότητας της κίνησης και του ρυθμού δεδομένων στο δίκτυο.

4.3.2 Επικοινωνίες μαζικού τύπου μηχανής (MMTC: Massive Machine-Type Communications)

Το σενάριο σχετίζεται με το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, την επικοινωνία M2M και τις επικοινωνίες IoT. Ο κύριος στόχος που σχετίζεται με αυτό το σενάριο είναι η ενεργειακή απόδοση και η πυκνότητα σύνδεσης. Για παράδειγμα, στο [22], αναφέρεται ότι η πυκνότητα των συνδέσεων είναι ίση με 10⁶ συσκευές/m² και η ενεργειακή απόδοση θα πρέπει να είναι 100 φορές πιο βελτιωμένη από τα δίκτυα 4G. Στο [27], διευκρινίζεται ότι οι συσκευές στο δίκτυο απαιτούν διάρκεια ζωής μπαταρίας 10 ετών.

4.3.3 Επικοινωνίες χαμηλής καθυστέρησης και υψηλής αξιοπιστίας

Το σενάριο συνδέεται με εξαιρετικά αξιόπιστες εφαρμογές επικοινωνίας και Απτικού Διαδικτύου, όπως τηλεχειρουργικές επεμβάσεις και επικοινωνίες από όχημα με όχημα (όπως ασθενοφόρα) για οχήματα χωρίς οδηγό. Η κύρια απαίτηση για αυτό το σενάριο είναι η υψηλή αξιοπιστία και η χαμηλή καθυστέρηση. Για παράδειγμα, στο [63,64], η πιθανότητα διακοπής που απαιτείται είναι περίπου ίση με 10⁻⁷ και η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο είναι 1ms.

4.4 Τεχνολογικές τάσεις για την επίτευξη των απαιτήσεων στο δίκτυο 5G

Από τις προαναφερθείσες εφαρμογές και σενάρια, οι βασικές απαιτήσεις που συνοψίζονται στον πίνακα παρακάτω είναι αυτές οι οποίες απαιτούνται για τη μελλοντική γενιά του κυψελοειδούς δικτύου (5G). Γίνεται αναφορά σε εξαιρετικά υψηλή πυκνότητα σύνδεσης, χωρητικότητα κίνησης και υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία, εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση, εξαιρετικά υψηλή ενεργειακή απόδοση και επικοινωνία σε μεγάλες

αποστάσεις. Για την υλοποίηση αυτών των απαιτήσεων, μπορούν να εντοπιστούν πολλές τεχνολογικές τάσεις και πολλές μέθοδοι αναφορικά με το πώς να χρησιμοποιηθούν αυτές οι τεχνολογίες για την παροχή των παρουσιαζόμενων απαιτήσεων για το δίκτυο 5G. Ο Πίνακας παρακάτω δείχνει τη σύνοψη πολλών σεναρίων για έξυπνη υγειονομική περίθαλψη και τις αντίστοιχες απαιτήσεις.

Πίνακας 2. Περίληψη πολυάριθμων σεναρίων για έξυπνη υγειονομική περίθαλψη [37]

Scenario	Drivers	Technologies	Latency	Data Rate
M2M Wearables	Connection for data gathering	NB-IoT (interconnected devices) LoRa (sensor applications) Zigbee (data collection) Bluetooth (D2D sensors)	10–700 ms	Few Kbps to Mbps
Digital Hospital	Communication inside building	Wi-Fi	10–100 ms	Few Mbps
Emergency Medical Services	Emergency Communication and High-speed reply	LTE LTE-A LTE-A Pro	20–100 ms	From 100 Mbps to 3 Gbps
Remote Surgery	URLLC service between many locations	5G	20–30 ms	Few Gbps
Tactile Communication	URLLC (Ultra-reliable and low latency communications), eMBB (enhanced Mobile Broadband)	5G, 4G, Wi-Fi, Bluetooth	sub-ms	Few Gbps
Combination of all scenarios	Communication, latency, bandwidth, applications	5G, 4G, Wi-Fi, Bluetooth	up-to few ms	Few Mbps to 3 Gbps

4.4.1 Massive MIMO (Πολλαπλής Εισόδου Πολλαπλής Εξόδου) και 3D MIMO

Σύμφωνα με το θεώρημα του Shannon για τη χωρητικότητα ενός δικτύου, το ανώτατο όριο της χωρητικότητας μιας ζεύξης επικοινωνίας σε bps είναι σταθερό και αυτός ο κανόνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έρευνα σχετικά με την επίτευξη ανώτερων ρυθμών δεδομένων [5]. Μια ρύθμιση που λειτουργεί στο MIMO, η χωρητικότητα καναλιού υπολογίζεται κατά προσέγγιση ως

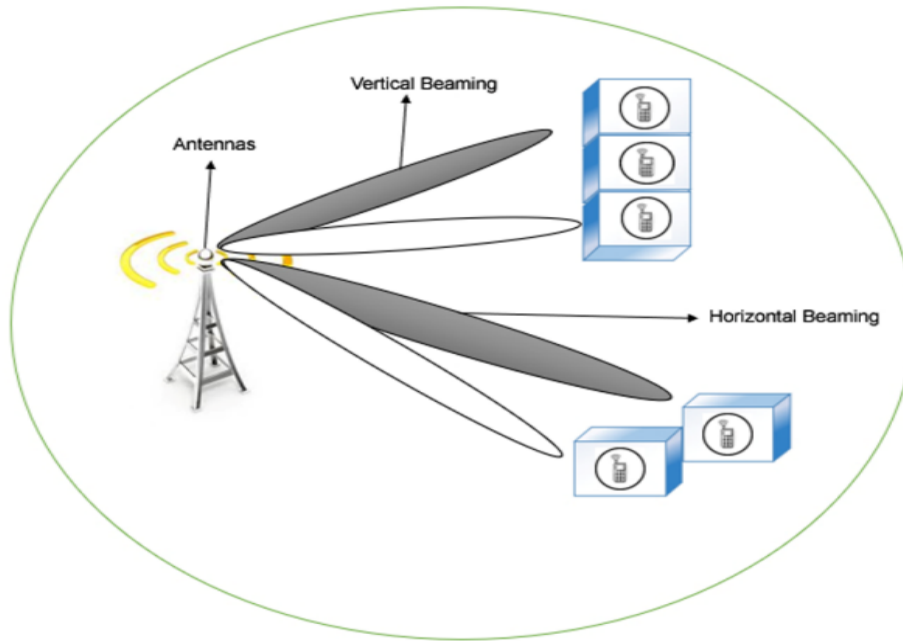
$$C = \min(M, N) \cdot B \log_2(1 + \text{SNR}) \quad (1)$$

Τα M και N είναι ο αριθμός των κεραιών στην πλευρά του πομπού και του δέκτη για το σύστημα MIMO, το B είναι το εύρος ζώνης του καναλιού, ενώ το SNR είναι ο λόγος σήματος προς θόρυβο στη σύνδεση. Από το παραπάνω θεώρημα, μπορούμε να

συμπεράνουμε ότι αυξάνοντας τον αριθμό των κεραιών στο σύστημα, ο ρυθμός δεδομένων μπορεί να βελτιωθεί. Αντίστοιχα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το σύστημα MIMO για να επιτύχουμε υψηλό ρυθμό δεδομένων, ο οποίος μπορεί να λύσει την πρώτη τάση για το δίκτυο 5G επόμενης γενιάς. Στο massive MIMO, μια σημαντική συλλογή κεραιών χρησιμοποιείται στο σταθμό βάσης για την υποστήριξη πολλαπλών τερματικών ταυτόχρονα [36]. Επιπλέον, με τη χρήση των ενεργών κεραιών, είναι δυνατός ο έλεγχος της δέσμης της κεραίας τόσο στην οριζόντια όσο και στην κατακόρυφη κατεύθυνση (ονομάζεται 3D MIMO), κάτι που μπορεί να μεγιστοποιήσει την κατανομή των κυψελών [17]. Επιπλέον, το SNR μπορεί να βελτιωθεί για τον έλεγχο της δέσμης κεραίας, γεγονός που οδηγεί στην ελαχιστοποίηση της ισχύος μετάδοσης ή στη μεγιστοποίηση της χωρητικότητας της ζεύξης. Το σχήμα παρακάτω δείχνει την ιδέα του MIMO και του 3D MIMO. Στο [18], αποδείχθηκε ότι, χρησιμοποιώντας massive MIMO, η χωρητικότητα μπορεί να μεγιστοποιηθεί έως και 10 φορές και η απόδοση της ακτινοβολούμενης ενέργειας μπορεί να μεγιστοποιηθεί έως και 100 φορές περίπου.

4.4.2 Επικοινωνίες κυμάτων χιλιοστών

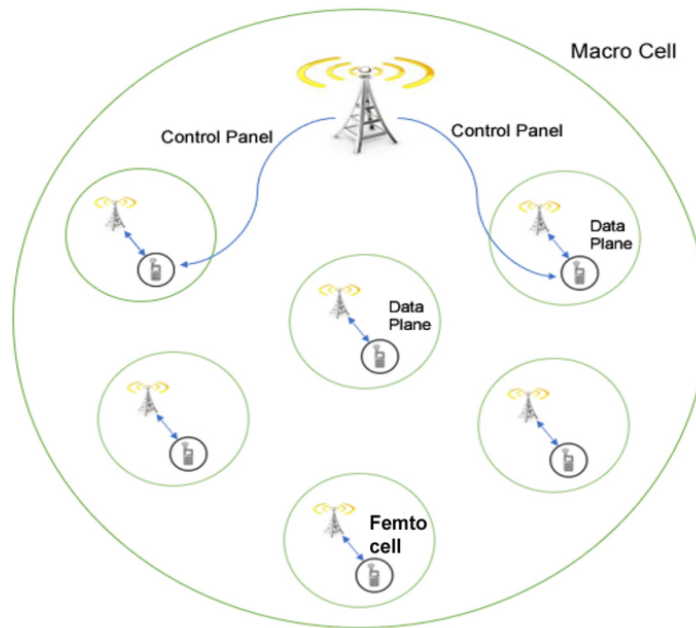
Από την εξίσωση παραπάνω, είναι σαφές ότι το κανάλι με υψηλό εύρος ζώνης έχει ως αποτέλεσμα βελτιωμένο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Ωστόσο, για την αύξηση του εύρους ζώνης του καναλιού, απαιτείται η υψηλότερη συχνότητα λειτουργίας. Θα λύσει τη δεύτερη τάση για το δίκτυο επόμενης γενιάς (δηλαδή, 5G) χρησιμοποιώντας υψηλότερες συχνότητες στη ζώνη κυμάτων χιλιοστών. Ωστόσο, υπάρχουν πολλά μειονεκτήματα των επικοινωνιών κυμάτων χιλιοστών. Πρώτον, η διάδοση ελεύθερου χώρου στο κύμα χιλιοστών οδηγεί σε υψηλότερη εξασθένηση του σήματος [9]. Δεύτερον, η βροχή, τα ατμοσφαιρικά αέρια και τα κτίρια είναι λογικοί παρατηρητές αυτής της ζώνης [60]. Για το πρόβλημα αυτό, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι δυνατές διάφορες λύσεις: η χρήση μικροσκοπικών κυψελών θα οδηγήσει στην ελαχιστοποίηση των εξασθενήσεων. Για υψηλότερες αποσβέσεις, θα χρησιμοποιηθούν οι κατευθυντήριες κεραιές ή οι εσωτερικοί σταθμοί βάσης για να αποφευχθεί το ζήτημα της απορρόφησης του κτιρίου.



Εικόνα 3. Massive MIMO και 3D MIMO [37]

4.4.3 Μικρές κυψέλες, εξαιρετικά πυκνά δίκτυα και ετερογενή δίκτυα

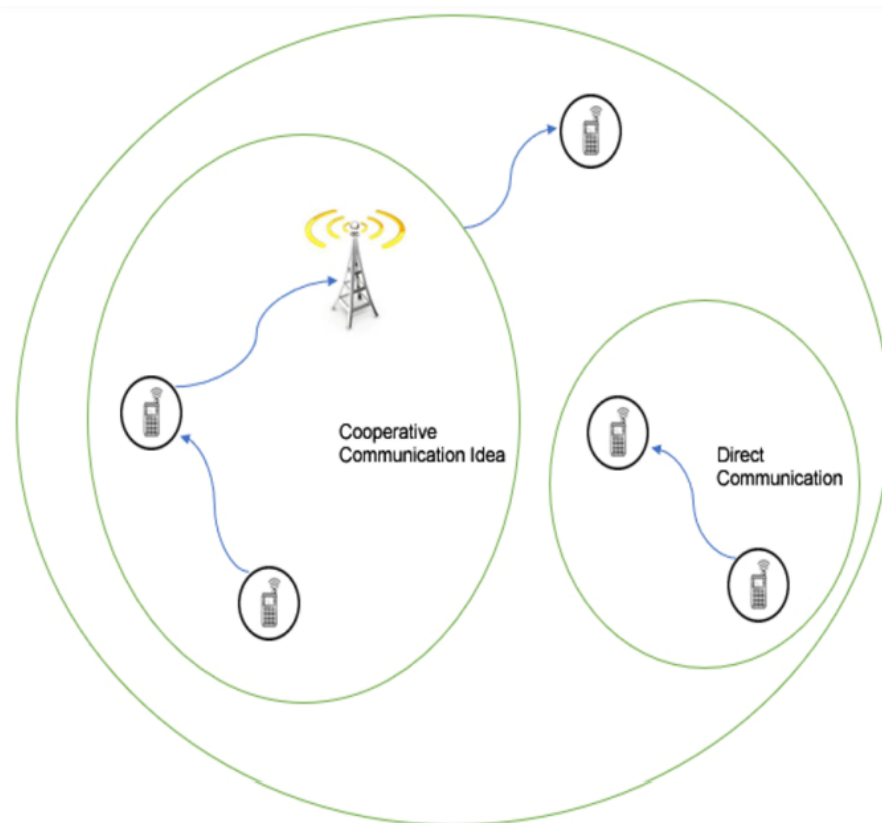
Με τη χρήση μικρών κυψελών, ενισχύεται η ικανότητα κυκλοφορίας του συστήματος λόγω της αυξημένης επαναχρησιμοποίησης συχνοτήτων. Η χρήση μικρών κυψελών στο σενάριο του εξαιρετικά πυκνού δικτύου είναι μια άλλη τάση για το δίκτυο 5G επόμενης γενιάς. Επιπλέον, η χρήση μικρών κυψελών μεγιστοποιεί επίσης το SNR ενώ η ισχύς μετάδοσης ελαχιστοποιείται. Ακόμα μειώνεται η ισχύς επικοινωνίας και μεγιστοποιείται η χωρητικότητα της ζεύξης, αυξάνοντας έτσι την εξοικονόμηση ενέργειας. Για το 5G, ένα ετερογενές δίκτυο με μικρά κύτταρα, μακροστοιχεία, picocell και femtocell είναι μια άλλη τάση. Σε αυτήν την περίπτωση, ο πίνακας ελέγχου υποστήριξης macrocell προσφέρει κινητικότητα και συνδεσιμότητα, ενώ το pico και τα femtocells υποστηρίζουν το επίπεδο δεδομένων για την παροχή δεδομένων με μεταφορά. Η εικόνα 4 δείχνει αυτή την ιδέα. Ωστόσο, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη ότι τα μικρά κελιά δεν είναι κατάλληλα σε ένα σενάριο WRAN. Τα Super microcells μπορούν να ληφθούν υπόψη για το σενάριο WRAN. Για αυτό το σενάριο, η επικοινωνία κυμάτων χιλιοστών δεν είναι επίσης κατάλληλη. Έτσι, ο συνδυασμός επικοινωνιών κυμάτων χαμηλών συχνοτήτων και χιλιοστών θα ληφθεί υπόψη για το δίκτυο 5G.



Εικόνα 4. Ετερογενές δίκτυο [37]

4.4.4 Επικοινωνίες από συσκευή σε συσκευή (D2D).

Η επικοινωνία D2D είναι μια άλλη τάση για το δίκτυο επόμενης γενιάς που είναι το 5G [33]. Η εν λόγω τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο διαφορετικές μεθόδους. Ο πρώτος τρόπος είναι όταν ένα τερματικό συνεργάζεται με άλλα κατά τρόπο που βελτιώνει τις δυνατότητες επικοινωνίας μεταξύ του σταθμού βάσης και των τερματικών. Η δεύτερη μέθοδος είναι όπου ένα τερματικό επικοινωνεί απευθείας με ένα άλλο τερματικό χωρίς να περιλαμβάνει τον σταθμό βάσης. Η επικοινωνία από συσκευή σε συσκευή μπορεί να βελτιώσει την αξιοπιστία του καναλιού, την απόδοση του συστήματος, τη μείωση του κόστους λειτουργίας και την ενεργειακή απόδοση. Το Σχήμα παρακάτω δείχνει και τις δύο προσεγγίσεις. Η άμεση επικοινωνία στο D2D επιτρέπει σε πολλές συνδέσεις D2D ταυτόχρονα να μοιράζονται το ίδιο εύρος ζώνης, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση της χωρητικότητας της κίνησης κυψέλης. Επιπλέον, το SNR μπορεί να βελτιωθεί με προσέγγιση άμεσης επικοινωνίας (σε σύγκριση με την επικοινωνία μέσω του σταθμού βάσης), λόγω της οποίας η ισχύς μετάδοσης ελαχιστοποιείται για εξοικονόμηση ενέργειας ή μεγιστοποίηση της χωρητικότητας της ζεύξης. Τέλος, η καθυστέρηση ραδιοζεύξης μειώνεται από την άμεση επικοινωνία D2D [74].



Εικόνα 5. Προσεγγίσεις D2D [37]

4.4.5 Γνωστικό Radio

Το γνωστικό radio αφορά σε μια άλλη θεμελιώδη τεχνολογία που πρέπει να εξεταστεί για το δίκτυο 5G επόμενης γενιάς [25]. Η τεχνολογία γνωστικού radio μπορεί να είναι μια ουσιαστική λύση για την ενεργοποίηση του σεναρίου WRAN [16]. Οι χρήστες ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες στο γνωστικό ραδιοδίκτυο. Ο πρώτος είναι ο κύριος χρήστης και ο δεύτερος ο δευτερεύων χρήστης. Ένα γνωστικό σύστημα μπορεί να λειτουργήσει με δύο τρόπους. Το πρώτο είναι επικάλυψη φάσματος και το δεύτερο είναι υπόστρωμα φάσματος. Κατά την πρώτη προσέγγιση, οι δευτερεύοντες χρήστες και οι κύριοι χρήστες μπορούν να εκπέμπουν ταυτόχρονα, ενώ η ισχύς μετάδοσης για τον δευτερεύοντα χρήστη είναι περιορισμένη, έτσι ώστε η παρεμβολή του κύριου χρήστη να είναι μικρότερη από ένα δεδομένο όριο. Στη δεύτερη προσέγγιση, επιτρέπεται στους δευτερεύοντες χρήστες να χρησιμοποιούν ευκαιριακά το λευκό διάστημα που εκχωρείται στο πρωτεύον δίκτυο στο φάσμα χρησιμοποιώντας δυναμική πρόσβαση στο φάσμα [27]. Το Γνωστικό Δίκτυο είναι πιο κατάλληλο για το σενάριο WRAN.

4.5 Ανοιχτά Θέματα και Προκλήσεις

Εκτός από τις προόδους που αναφέρονται παραπάνω, υπάρχουν πολλές προκλήσεις και ανοιχτά ερευνητικά ζητήματα στην υιοθέτηση του 5G για έξυπνη υγειονομική περίθαλψη. Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά, τα πλεονεκτήματα και τις μελλοντικές κατευθύνσεις έρευνας. Σε αυτή την ενότητα, περιγράφουμε διάφορες ερευνητικές προκλήσεις και μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις.

Πίνακας 3. Μελλοντικές ερευνητικές προκλήσεις [37]

Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα	Ερευνητικές προκλήσεις	Βασικές απαιτήσεις
Επίτευξη διαλειτουργικότητας	Μια σημαντική πλατφόρμα για την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών συσκευών IoT με τη χρήση διαφόρων πρωτοκόλλων	Ενσωμάτωση συσκευών για ασφαλείς διοικήσεις λιανοπωλητών	Απαιτούνται προσαρμοσίμα, καθολικά και ολοκληρωμένα μοντέλα για την ενσωμάτωση και την επικοινωνία (π.χ. CoAP, IP) για συσκευές IoT.
Ανάλυση μεγάλων δεδομένων	Βελτίωση της απόδοσης του δικτύου με την επεξεργασία δεδομένων που λαμβάνονται από έγκυρες πηγές (π.χ., η ανάλυση των δεδομένων των ασθενών με μια έξυπνη μέθοδο μπορεί να ελαχιστοποιήσει τη συμφόρηση του δικτύου).	Περιορισμός χρήσιμων εργαλείων για την επεξεργασία μεγάλου όγκου πληροφοριών που παράγονται από συσκευές στο δίκτυο. Έλλειψη κεντρικών και κατακερματισμένων πόρων	Ανάγκη για ένα συγκεντρωτικό κέντρο μεγάλων δεδομένων για την επεξεργασία. Δημόσια εκτίμηση για τον τρόπο αξιοποίησης των διαθέσιμων πόρων με ασφαλή τρόπο
Συνδεσιμότητα IoT	Διασφάλιση της επικοινωνίας των συσκευών IoT από διάφορους τομείς	Πώς εξασφαλίζεται η συνδεσιμότητα διαφόρων συσκευών από διαφορετικό τομέα σε συνθήκες υψηλής κινητικότητας; Πώς βελτιστοποιούνται οι πόροι σε ένα εξαιρετικά πυκνό δίκτυο; Πώς επιτυγχάνεται ενεργειακή απόδοση σε ένα εξαιρετικά πυκνό δίκτυο;	Χρήση του φάσματος με μια αποτελεσματική τεχνική για την επικοινωνία συσκευών IoT. Ευφυείς αλγόριθμοι που εγγυώνται τη συνδεσιμότητα διαφορετικών συσκευών με διάφορους τομείς στο

			δίκτυο. Σχήματα ομαδοποίησης για την υποστήριξη μικτού φόρτου εργασίας και την ενίσχυση της διαθεσιμότητας των πόρων
Επίτευξη ασφάλειας	Παρέχει μια ασφαλή πλατφόρμα (χωρίς επιθέσεις) για την ανάπτυξη υπηρεσιών	Ασφαλής ανάπτυξη και ενσωμάτωση υπηρεσιών που βασίζονται στο cloud τόσο σε επίπεδο δικτύου όσο και σε επίπεδο συσκευής. Ανίχνευση απειλών και στα δύο επίπεδα εσωτερικού και εξωτερικού ατόμου πριν από την εκτέλεση. Ευφυείς λύσεις ασφάλειας που βοηθούν στην ακεραιότητα των δεδομένων για την αποφυγή καθυστερήσεων	Αναγνωρίσιμη απόδειξη τρωτών σημείων σε διαφορετικό επίπεδο του συστήματος, τα οποία λειτουργούν ως σημεία εισόδου για διάφορες επιθέσεις

4.5.1 Επίτευξη Διαλειτουργικότητας

Η διαλειτουργικότητα είναι η δυνατότητα διασύνδεσης δύο ή περισσότερων από δύο διαφορετικών συσκευών και δικτύων για ανταλλαγή δεδομένων. Το έξυπνο δίκτυο υγειονομικής περίθαλψης αποτελείται από διάφορες συσκευές IoT με διαφορετικούς τομείς (δηλαδή, απομακρυσμένη παρακολούθηση της υγείας, εξ αποστάσεως χειρουργική επέμβαση και ECG: Electrocardiogram). Η διαλειτουργικότητα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο παρέχοντας μια πλατφόρμα συνδεσιμότητας σε διάφορες συσκευές με διαφορετικές τεχνολογίες επικοινωνίας. Ωστόσο, λόγω της έλλειψης τεχνολογιών επικοινωνίας καθολικών προτύπων, η διαλειτουργικότητα μεταξύ πολλαπλών τομέων αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για την επιτυχία του IoT [9].

Ως εκ τούτου, απαιτείται μια κρίσιμη έξυπνη προσέγγιση για τον έλεγχο της διαλειτουργικότητας σε διαφορετικά επίπεδα και για να επιτρέπεται σε εκατομμύρια συσκευές στο δίκτυο να επικοινωνούν μεταξύ τους. Διαφορετικοί οργανισμοί, όπως το oneM2M και το FIWARE, εργάζονται σε συνεργασία με διάφορες τυποποιήσεις, όπως το ETSI, το OMA και το 3GPP, για να επιλύσουν το ζήτημα της διαλειτουργικότητας.

4.5.2. Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων

Σε ένα έξυπνο δίκτυο υγειονομικής περίθαλψης, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων είναι μια κυρίαρχη ερευνητική κατεύθυνση. Το μελλοντικό έξυπνο δίκτυο υγειονομικής περίθαλψης θα αποτελείται από εκατομμύρια συσκευές που θα παράγουν τεράστιο όγκο πληροφοριών και δεδομένων για ανάλυση [8]. Αυτά τα δεδομένα περιέχουν ιδιωτικές πληροφορίες χρήστη (δηλαδή Δεδομένα ασθενούς) και πληροφορίες περιβάλλοντος του ασθενούς (δηλαδή καρδιακό ρυθμό, ΗΚΓ κ.λπ.). Επομένως, απαιτούνται έξυπνοι αλγόριθμοι και προσεγγίσεις για την ανάλυση δεδομένων. Για παράδειγμα, οι πληροφορίες που παράγονται από τοπικές συσκευές στο δίκτυο πρέπει να αναλύονται αποτελεσματικά με τη βοήθεια αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Οι κύριες ανησυχίες που πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι:

- ότι η ανάλυση δεδομένων πρέπει να παρέχει ιδιωτικότητα στα δεδομένα χρήστη.
- ότι τα ευαίσθητα δεδομένα πρέπει να παραμένουν απόρρητα.
- ότι για τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων, πρέπει να παρέχεται μια καλά καθορισμένη υποδομή.
- ότι για την εξαγωγή πληροφοριών, πρέπει να παρέχεται υπολογιστική ισχύς.

4.5.3 Εκτέλεση συνδεσιμότητας IoT

Το έξυπνο δίκτυο υγειονομικής περίθαλψης μπορεί να αποτελείται από εκατομμύρια συσκευές στο μέλλον. Η ιδέα αυτού του δικτύου μπορεί να πετύχει μόνο εάν η συνδεσιμότητα παρέχεται σε κάθε συσκευή [27]. Αυτές οι συσκευές έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν πληροφορίες μετά την ανίχνευση. Σε αυτό το δίκτυο, οποιαδήποτε υπάρχουσα τεχνολογία επικοινωνίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί από συσκευές IoT, όπως ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας (δηλαδή, 5G και LTE), Bluetooth και Wi-Fi. Ωστόσο, υπάρχουν πολλές προκλήσεις για την εξασφάλιση της συνδεσιμότητας σε κάθε συσκευή στο έξυπνο δίκτυο υγειονομικής περίθαλψης, όπως:

- Εγγύηση συνδεσιμότητας με συσκευές με υψηλή κινητικότητα (δηλαδή κινούμενο ασθενή, ασθενοφόρο υψηλής ταχύτητας) στο δίκτυο.
- Παροχή συνδεσιμότητας σε κάθε συσκευή που αναπτύσσεται στο δίκτυο τόσο με μικρή όσο και μεγάλη εμβέλεια.

Επίτευξη ασφάλειας, εμπιστοσύνης και απορρήτου Σε ένα έξυπνο δίκτυο υγειονομικής περίθαλψης, η ασφάλεια είναι μια σημαντική πρόκληση, λόγω της συνδεσιμότητας διαφορετικών συσκευών IoT. Είναι δύσκολο να εφαρμοστούν πολύπλοκοι αλγόριθμοι και πρωτόκολλα ασφαλείας λόγω της περιορισμένης διάρκειας ζωής της μπαταρίας και της ισχύος επεξεργασίας στις συσκευές IoT [81]. Στο μέλλον, το μεγαλύτερο μέρος της συσκευής IoT θα κινδυνεύει από επιθέσεις. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικούς τύπους απειλών και επιθέσεων όσον αφορά το απόρρητο και την ασφάλεια. Τα ακόλουθα ζητήματα πρέπει να ληφθούν υπόψη για να σχεδιαστεί ένα επιτυχημένο έξυπνο δίκτυο υγειονομικής περίθαλψης που βασίζεται στο 5G.

- Πρέπει να παρέχεται μια ασφαλής και απλή επικοινωνία μεταξύ έξυπνων συσκευών υγειονομικής περίθαλψης και κέντρου βάσεων δεδομένων cloud για αυθεντικότητα και ακεραιότητα δεδομένων.
- Πρέπει να παρέχεται καλά καθορισμένη προσέγγιση για την αξιολόγηση κινδύνου, για τον εντοπισμό επερχόμενων και παρόντων επιθέσεων.
- Πρέπει να παρέχεται ισχυρή πολιτική απορρήτου για έγκριση και εμπιστοσύνη από νέους χρήστες.

4.5.4 5G και το Continuum of Care

Η συνδεσιμότητα 5G μπορεί επίσης να βελτιώσει δραστικά την ικανότητα της βιομηχανίας υγειονομικής περίθαλψης να παρέχει συνεχή φροντίδα στους ασθενείς. Τα άτομα σε διαφορετικά στάδια της ζωής και σε διαφορετικές συνθήκες χρειάζονται φροντίδα προσαρμοσμένη στις μοναδικές τους ανάγκες. Οι εξατομικευμένες ιατρικές υπηρεσίες μπορούν να κάνουν σημαντική διαφορά στην αποτελεσματικότητα των ιατρικών παρεμβάσεων. Οι τεχνολογίες 5G και IoT θέτουν αυτές τις εξατομικευμένες υπηρεσίες στην εμβέλεια των ασθενών.

Οι δυνατότητες παρακολούθησης κρατούν τους ασθενείς ενήμερους για τις προσωπικές τάσεις της υγείας, όπως η αύξηση των επιπέδων σακχάρου στο αίμα που μπορεί να υποδηλώνει προδιαβήτη. Αυτό το σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης μπορεί να αποτρέψει πολλά σοβαρά περιστατικά υγείας. Αυτές οι τεχνολογίες βοηθούν επίσης πολλούς ασθενείς στην ανάρρωση όταν συμβεί κάποιο περιστατικό

υγείας. Τα άτομα που φεύγουν από το νοσοκομείο είναι συχνά σχετικά εύθραυστα σωματικά, έχοντας μόλις πρόσφατα αναρρώσει από σοβαρή ασθένεια ή τραυματισμό.

Ενώ δεν χρειάζονται πλέον συνεχή ιατρική επίβλεψη, είναι πολύ πιο πιθανό να αντιμετωπίσουν προβλήματα υγείας και άλλες καταστάσεις έκτακτης ανάγκης από τον γενικό πληθυσμό. Ο συνδυασμός τεχνολογίας 5G και IoT στην υγειονομική περίθαλψη επιτρέπει στους παρόχους να διατηρούν συνεχώς υψηλό επίπεδο περίθαλψης καθώς οι ασθενείς μεταβαίνουν από το νοσοκομείο και επιστρέφουν στα σπίτια τους. Εάν αποκαλυφθούν τυχόν ανησυχητικά σημάδια από τα δεδομένα υγείας ενός ασθενούς που μπορεί να υποδηλώνουν επερχόμενη υποτροπή, η ιατρική ομάδα του ασθενούς μπορεί να ανταποκριθεί προληπτικά. Στη συνέχεια, μπορούν να λάβουν μέτρα για να κρατήσουν τον ασθενή στο δρόμο προς την πλήρη ανάκαμψη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Μελέτη περίπτωσης: Ένα ασφαλές και αποτελεσματικό έξυπνο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης με δυνατότητα δημόσιας επαλήθευσης στο Internet-of-Medical-Things

5.1 Εισαγωγή στο IIoT και το IOMT

Το Industrial Internet of Things (IIoT) είναι η εξέχουσα ταχέως αναπτυσσόμενη τεχνολογία που διαθέτει πολλές έξυπνες διασυνδεδεμένες συσκευές, οι οποίες ανιχνεύουν, επεξεργάζονται και μοιράζονται δεδομένα χρησιμοποιώντας αισθητήρες που είναι ενσωματωμένοι παντού [1]. Οι συσκευές ιατρικής παρακολούθησης που είναι συνδεδεμένες με IIoT [λ.χ. ασύρματο δίκτυο σωματικής περιοχής (WBAN: wireless body area network)] έχουν γίνει πρόσφατα προσβάσιμες και έχει επιτραπεί η παρακολούθηση της υγείας ενός ασθενούς εξ αποστάσεως σε πραγματικό χρόνο. Το WBAN είναι το δίκτυο διαφόρων μικροσκοπικών αισθητήρων, που συνήθως έχουν περιορισμένες δυνατότητες αποθήκευσης, ισχύος και υπολογισμού. Ο αισθητήρας εμφυτεύεται στο σώμα του ασθενούς και συλλέγει τις προσωπικές πληροφορίες υγείας του ασθενούς (PHI: personal health information) και τις μεταδίδει μέσω ασύρματου (κυτταρικού) δικτύου. Οποιαδήποτε επίθεση σε αισθητήρα ή μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στο PHI ενός ασθενούς μπορεί να οδηγήσει σε κίνδυνο για τη ζωή των ασθενών [2]. Έτσι, η ασφάλεια και το απόρρητο του PHI ενός ασθενούς μέσω του δημόσιου δικτύου είναι τα κύρια άλυτα προβλήματα με την πρόκληση που προκύπτει από τη συμπεριφορά περιορισμών πόρων [3].

Τα τελευταία χρόνια, η κινητή τεχνολογία έχει ωφελήσει την έξυπνη υγειονομική περίθαλψη, αλλά η μέρα με τη μέρα αυξανόμενη μετάδοση δεδομένων επιβαρύνει το κυψελοειδές δίκτυο [4]. Μία από τις πλέον ενδιαφέρουσες λύσεις είναι η επικοινωνία συσκευής με συσκευή (D2D: device-to-device) που μπορεί να λειτουργεί με τους ίδιους πόρους ώρας/συχνότητας σε μικρές αποστάσεις. Πρόσφατα, το IIoT με δυνατότητα cloud έχει δυνητικά εξυπηρετήσει την ικανότητα

αποθήκευσης και υπολογισμού για μαζικά δεδομένα IoT [5]. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα που αξιοποιεί το cloud στο IoT συνοδεύονται από το κόστος άλλων κινδύνων ασφάλειας που δεν έχουν ποτέ παρατηρηθεί στο συμβατικό σύστημα IoT [6].

Στην πράξη, ένα σύννεφο είναι μια αξιόπιστη αλλά σύνθετη οντότητα που ακολουθεί έναν σωστό τρόπο για τον υπολογισμό και την αποθήκευση των μαζικών δεδομένων που συλλέγονται. Το πλεονέκτημα της ύπαρξης αυτών των τεχνολογιών στο σύστημα παρακολούθησης ηλεκτρονικής υγείας είναι η δημιουργία μιας βολικής πλατφόρμας που επιτρέπει σε έναν εξουσιοδοτημένο ιατρικό φορέα να διαγνώσει εξ αποστάσεως τη νόσο ενός ασθενούς [1].

Επιπλέον, ένα άλλο ουσιαστικό πρόβλημα που σχετίζεται με το ιατρικό σύστημα με δυνατότητα cloud είναι η επικύρωση της ακεραιότητας των αποθηκευμένων δεδομένων στο cloud. Ωστόσο, ο δημόσιος έλεγχος μπορεί να προσφέρει μια αποτελεσματική λύση για την εξ αποστάσεως επαλήθευση της ακεραιότητας των αποθηκευμένων δεδομένων [7]. Πολλά συστήματα διατήρησης της ιδιωτικής ζωής [8]–[10] έχουν συζητηθεί, αλλά η παροχή ενός ασφαλούς συστήματος μετάδοσης δεδομένων για υγειονομική περίθαλψη με cloud-centric IoMT εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση.

Η υπογραφή και η κρυπτογράφηση είναι δύο θεμελιώδεις κρυπτογραφικές αρχές για την επίτευξη της αυθεντικότητας και του απορρήτου των δεδομένων, αντίστοιχα, σε περιβάλλον δημόσιου κλειδιού. Αυτά τα δύο βασικά δομικά στοιχεία μπορούν να συντεθούν με διάφορους τρόπους, όπως με υπογραφή και μετά κρυπτογράφηση, κρυπτογράφηση και μετά υπογραφή, ψηφιακή υπογραφή με ανάκτηση μηνυμάτων και κρυπτογράφηση υπογραφής (επαληθευμένη κρυπτογράφηση) για να διασφαλιστεί η αυθεντικότητα και το απόρρητο των δεδομένων ταυτόχρονα.

Τα σχήματα “υπογραφή και μετά κρυπτογράφηση” και “κρυπτογράφηση και μετά υπογραφή” έχουν μια απλή δομή, η οποία παρέχει έλεγχο ταυτότητας δεδομένων και απόρρητο με κόστος ισοδύναμο με το συνδυασμένο κόστος των σχημάτων υπογραφής και κρυπτογράφησης. Στην υπογραφή με το σχήμα ανάκτησης μηνυμάτων, οποιοσδήποτε μπορεί να εξαγάγει το ενσωματωμένο μήνυμα χωρίς να γνωρίζει μυστικές πληροφορίες.

Πρόσφατα, μια πιο αποτελεσματική λύση, η κρυπτογράφηση υπογραφής εμφανίστηκε για να σχεδιάσει ένα σύστημα που επιτυγχάνει ταυτόχρονα ιδιωτικότητα και αυθεντικότητα με κόστος σημαντικά μικρότερο από τα σχήματα υπογραφή και μετά κρυπτογράφηση και κρυπτογράφηση και μετά υπογραφή. Επιπλέον, επιτρέπει σε έναν καθορισμένο παραλήπτη να αποκρυπτογραφήσει και να αποκτήσει πρόσβαση στο μήνυμα χρησιμοποιώντας το μυστικό του κλειδί.

Πριν αναλύσουμε την εν λόγω μελέτη περίπτωσης θα αναφέρουμε τα υπάρχοντα σχήματα που αντιμετωπίζουν αυτήν την ασφάλεια στις ακόλουθες παραμέτρους: ασφάλεια αισθητήρα εντός BAN, ασφάλεια επικοινωνίας εντός και εκτός του BAN και διατήρηση της ιδιωτικής ζωής των δεδομένων στο περιβάλλον που υποβοηθείται από το cloud. Οι Akinyele et al. [11] σχεδίασαν ένα αυτοπροστατευόμενο ηλεκτρονικό ιατρικό αρχείο (EMR: electronic medical record) χρησιμοποιώντας κρυπτογράφηση βασισμένη σε χαρακτηριστικά σε κινητές συσκευές που παρείχε EMR ενώ ήταν εκτός σύνδεσης. Πρόσφατα, οι Hu et al. [12] αντιμετώπισαν την ασφαλή επικοινωνία μεταξύ ενός BAN και του καταναλωτή δεδομένων του (τελικού χρήστη) χρησιμοποιώντας κρυπτογράφηση βασισμένη σε χαρακτηριστικά. Οι Chandrasekaran et al. ανέφεραν ότι το σύστημα της προαναφερθείσας έρευνας είναι αναποτελεσματικό για πολλαπλή μετάδοση δεδομένων και παρουσίασαν ένα νέο σύστημα για ασφαλείς επικοινωνίες δεδομένων στο WBAN για πολλαπλή μετάδοση δεδομένων. Οι Li et al. παρουσίασαν μια κρυπτογράφηση με βάση την ταυτότητα για συσκευές χαμηλής κατανάλωσης (αισθητήρες) σε μια ρύθμιση online/offline που ταυτόχρονα πληροί τον έλεγχο ταυτότητας και την εμπιστευτικότητα χωρίς να επαληθεύει ξεχωριστά το δημόσιο κλειδί του παραλήπτη. Άλλη έρευνα πρότεινε ένα ελαφρύ σύστημα κρυπτογράφησης χωρίς πιστοποιητικό (CLSC: certificateless signcryption) για ασφαλή μετάδοση δεδομένων για το σύστημα WBAN. Οι Yin και Liang έδωσαν ένα αποτελεσματικό σχήμα υβριδικής κρυπτογράφησης σε μια ρύθμιση χωρίς πιστοποιητικό για ασφαλή επικοινωνία για WSN.

Οι Zhang et al. συζήτησαν ένα σχήμα επικοινωνίας δεδομένων για το σύστημα ηλεκτρονικής υγείας χρησιμοποιώντας σύστημα γενικευμένης κρυπτογράφησης χωρίς πιστοποιητικό (CLGSC). Ο Zhou επεσήμανε ότι το σχέδιο των Zhang et al. είναι επιρρεπές σε μια επίθεση εκ των έσω. Έτσι, το σύστημα είναι

ανασφαλές και ευάλωτο όσον αφορά την εμπιστευτικότητα των δεδομένων. Πρόσφατα, ο Zhou παρουσίασε ένα αυτοσχέδιο σύστημα CLGSC για το κινητό σύστημα υγειονομικής περίθαλψης.

5.2 Στόχος και συνεισφορά της παρούσας μελέτης περίπτωσης

Στην παρούσα μελέτη περίπτωσης των Mahender Kumar και Satish Chand (2020), παρουσιάστηκε το υπερούγχρονο ασφαλές και αποτελεσματικό έξυπνο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης με επίκεντρο το cloud IoMT με δυνατότητα δημόσιας επαλήθευσης [64]. Η καινοτομία του συστήματος εφαρμόζει το σύστημα συγκεντρωτικής κρυπτογράφησης με βάση την ταυτότητα (EF-IDASC: escrow-free identity-based aggregate signcryption) χωρίς escrow για την ασφαλή μετάδοση δεδομένων. Το προτεινόμενο έξυπνο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης ανακτά θεματικά δεδομένα από πολλαπλούς αισθητήρες που έχουν εμφυτευτεί στο σώμα του ασθενούς, τα υπογράφει και τα συγκεντρώνει στο πλαίσιο του προτεινόμενου σχήματος EF-IDASC και κάνει outsource (αναθέτει σε εξωτερικούς συνεργάτες) τα δεδομένα στον διακομιστή medical cloud μέσω smartphone. Το σύστημα δεν αποκαλύπτει καμία πληροφορία σχετικά με την ταυτότητα και τα ιατρικά δεδομένα του ασθενούς. Αναλύεται περαιτέρω η απόδοση του προτεινόμενου συστήματος smarthealthcare όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον, συγκρίνεται η απόδοση του προτεινόμενου σχήματος EF-IDASC με άλλα σχετικά σχήματα.

Στη βιβλιογραφία, πολυάριθμα σχήματα IDASC και άλλα κρυπτογραφικά στοιχεία που βασίζονται σε διγραμμικά και πολυγραμμικά ζεύγη έχουν συζητηθεί στο ασφαλές σύστημα υγειονομικής περίθαλψης. Σε σύγκριση με το IDSC, τα σχήματα CLSC αντιμετωπίζουν το βασικό πρόβλημα μεσεγγύησης αλλά δεν μπόρεσαν να επιτύχουν τη φύση που βασίζεται στην ταυτότητα. Είναι γνωστό ότι λόγω της υιοθέτησης του IoT με δυνατότητα cloud με το σύστημα e-healthcare, εμφανίζονται πολλά ζητήματα, στα οποία η ασφάλεια των ιατρικών δεδομένων του ασθενούς και η ακεραιότητα των αποθηκευμένων δεδομένων στο cloud είναι τα κύρια ερευνητικά προβλήματα. Ένα από τα ζητήματα που παραβλέπονται στο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης είναι το απόρρητο έναντι της αξιόπιστης αρχής. Τα προηγούμενα υπάρχοντα συστήματα είναι αναποτελεσματικά και ανεπαρκή σε πρακτικές πραγματικού χρόνου. Αυτό παρακινεί να εφαρμοστεί ένα ασφαλές

σύστημα έξυπνης υγειονομικής περίθαλψης με δυνατότητα IoMT με επίκεντρο το cloud, ασφαλισμένο έναντι της μη αξιόπιστης αρχής που επιτυγχάνει δημόσια επαληθευσσιμότητα με το μικρότερο κόστος υπολογισμού, αποθήκευσης και επικοινωνίας. Το σχήμα της εν λόγω εργασίας έχει σχεδιαστεί με τις ελάχιστες λειτουργίες σύζευξης για μια συσκευή με περιορισμένους πόρους. Συνοπτικά, η προτεινόμενη εργασία έχει διάφορες συνεισφορές.

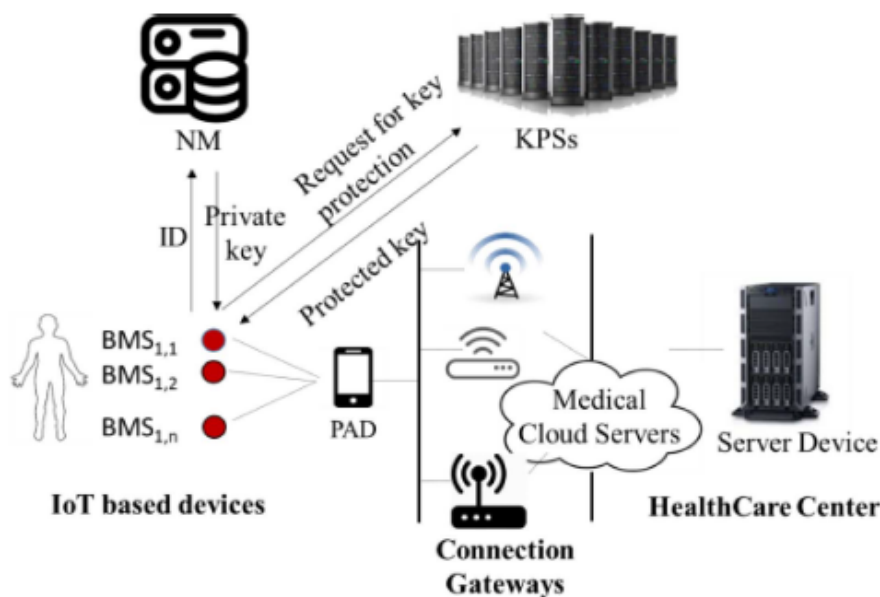
Αρχικά προτείνεται ένα σύστημα συγκεντρωτικής κρυπτογράφησης με βάση την ταυτότητα χωρίς μεσεγγύηση (EF-IDASC), το οποίο αντιμετωπίζει το πρόβλημα μεσεγγύησης κλειδιού με βάση την ιδέα που δίνεται σε παλαιότερη βιβλιογραφία [4]. Ακόμα αποδεικνύεται ότι το προτεινόμενο σχήμα EF-IDASC είναι απαραβίαστο υπό την επιλεγμένη επίθεση μηνυμάτων (EUF-CMA: existentially unforgeable under the chosen message attack) και προσαρμοστικά δυσδιάκριτο κάτω από την επίθεση επιλεγμένου κρυπτογραφημένου κειμένου (IND-CCA: indistinguishable under the chosen ciphertext attack) στο μοντέλο ROM και στο γνωστό BDH problem (BDHP). Ακόμα, στην μελέτη περίπτωσης αυτή συγκρίθηκε προτεινόμενο σχήμα EF-IDASC με άλλα σχετικά σχήματα κρυπτογράφησης, στα οποία δείχνεται ότι το προτεινόμενο σχήμα καταναλώνει τη λιγότερη ενέργεια σε σύγκριση με τα σχετικά σχήματα.

Στη συνέχεια, προτάθηκε ένα ασφαλές πρωτόκολλο επικοινωνίας συγκεντρωτικών δεδομένων D2D στο περιβάλλον IoMT με επίκεντρο το cloud για έξυπνη υγειονομική περίθαλψη, η ασφάλεια του οποίου βασίζεται στο προτεινόμενο σχήμα EF-IDASC.

Επιπλέον, αξιολογήθηκε το κόστος κατανάλωσης ενέργειας (σε mJ) ως προς τον υπολογισμό, την αποθήκευση και την επικοινωνία.

Τέλος το προτεινόμενο ασφαλές σύστημα υγειονομικής περίθαλψης επιτυγχάνει την ανωνυμία του ασθενούς, τον δημόσιο έλεγχο της ακεραιότητας των αποθηκευμένων δεδομένων στο cloud και την αμοιβαία γνησιότητα των δεδομένων του ασθενούς με δυνατότητα δημόσιας επαλήθευσης.

Στην εικόνα 6 παρατίθεται η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου συστήματος [64].



Εικόνα 6.Προτεινόμενη αρχιτεκτονική συστήματος [64]

5.3 Στόχοι ασφαλείας που επιτυγχάνονται

Το προτεινόμενο σύστημα επιτυγχάνει τους ακόλουθους στόχους ασφαλείας.

Υποκλοπή: Στο προτεινόμενο σχήμα, το BMS υπογράφει τα δεδομένα (χρησιμοποιώντας το ιδιωτικό του κλειδί, το οποίο θα μπορούσε να αποκρυπτογραφηθεί χρησιμοποιώντας το ιδιωτικό κλειδί του SD και την ταυτότητα του BMS. Για να υποκλέψει τα αρχικά δεδομένα από κρυπτογραφημένα δεδομένα, ένας εισβολέας χρειάζεται το ιδιωτικό κλειδί του SD/BMS του οποίου η παραγωγή βασίζεται στο κύριο κλειδί του NM και στα μυστικά κλειδιά KPS. Η γενιά του κύριου κλειδιού είναι ισοδύναμη για την επίλυση του προβλήματος BDH. Ως εκ τούτου, οποιαδήποτε μη εξουσιοδοτημένη οντότητα δεν μπορεί να υποκλέψει το αρχικό μήνυμα.

Τροποποίηση δεδομένων: Οποιαδήποτε πλαστογραφία ή τροποποίηση σε αυτά τα κρυπτογραφημένα δεδομένα θα εντοπιστεί από το SD κατά την αποκρυπτογράφηση. Υποθέτοντας ότι το πρόβλημα BDH είναι δύσκολο να λυθεί, οποιοσδήποτε κακόβουλος εισβολέας δεν μπορεί να τροποποιήσει τα αρχικά δεδομένα.

Αμοιβαίος έλεγχος ταυτότητας: Κατά την εγγραφή, στο προτεινόμενο σχήμα, κάθε οντότητα πιστοποιείται και καταχωρείται από τη NM και στη συνέχεια αποκτά ένα

ιδιωτικό κλειδί. Δύο οντότητες στο προτεινόμενο σύστημα WBAN μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους εάν είχαν καταχωρηθεί στο NM προηγουμένως.

Contextual Privacy: Η ταυτότητα του προοριζόμενου αποστολέα ενθυλακώνεται στο signcryptext $D=M || C || ID_{BMS} || T \oplus S^{sk}$ και μεταδίδεται στο το SD/MCS via PAD. Σε ένα δεδομένο κείμενο κρυπτογράφησης D, ο εισβολέας δεν μπορεί να υποκλέψει τις ταυτότητες του προβλεπόμενου αποστολέα και παραλήπτη. Ακόμη και το PAD δεν έχει πληροφορίες για το PHI, ενώ γνωρίζει τον προορισμό για τη μετάδοση του κρυπτογραφημένου κειμένου.

Αποσυνδεσιμότητα: Στο προτεινόμενο σύστημα, η ταυτότητα πηγής ID_{BMS} ενθυλακώνεται από το κλειδί συνεδρίας S^{sk} του οποίου η παραγωγή εξαρτάται από τα ιδιωτικά κλειδιά της πηγής και του προορισμού και κλειδί συνεδρίας προηγούμενης επικοινωνίας ως $D=M || C || ID_{BMS} || T \oplus S^{sk}$. Η αποκρυπτογράφηση γίνεται από το ιδιωτικό κλειδί του SD.

Patient Anonymity: Η ιδιότητα unlinkability εξασφαλίζει επίσης την ανωνυμία του ασθενούς.

Resilient to key Escrow: Το προτεινόμενο σύστημα είναι ανθεκτικό στο πρόβλημα μεσεγγύησης κλειδιού.

Ανάκληση οντότητας: αντιμετωπίστηκε το πρόβλημα ανάκλησης προσθέτοντας μια χρονική σήμανση με ταυτότητα για το δημόσιο κλειδί της. Για παράδειγμα, αντί να χρησιμοποιηθεί το αναγνωριστικό μιας ανακληθείσας οντότητας, χρησιμοποιήθηκε το "ID || time" ως δημόσιο κλειδί. Το KCG και τα πολλαπλά KPS υπολογίζουν το αντίστοιχο ιδιωτικό κλειδί για το ID || time στην οντότητα. Με αυτόν τον τρόπο, η οντότητα θα πρέπει να ανανεώσει το ιδιωτικό κλειδί της αναλόγως.

Μη άρνηση: Τα δεδομένα υπογράφονται μέσω του ιδιωτικού κλειδιού dBMS του βιοϊατρικού αισθητήρα ώστε να μη μπορεί να αρνηθεί τη γνησιότητα της υπογραφής τους.

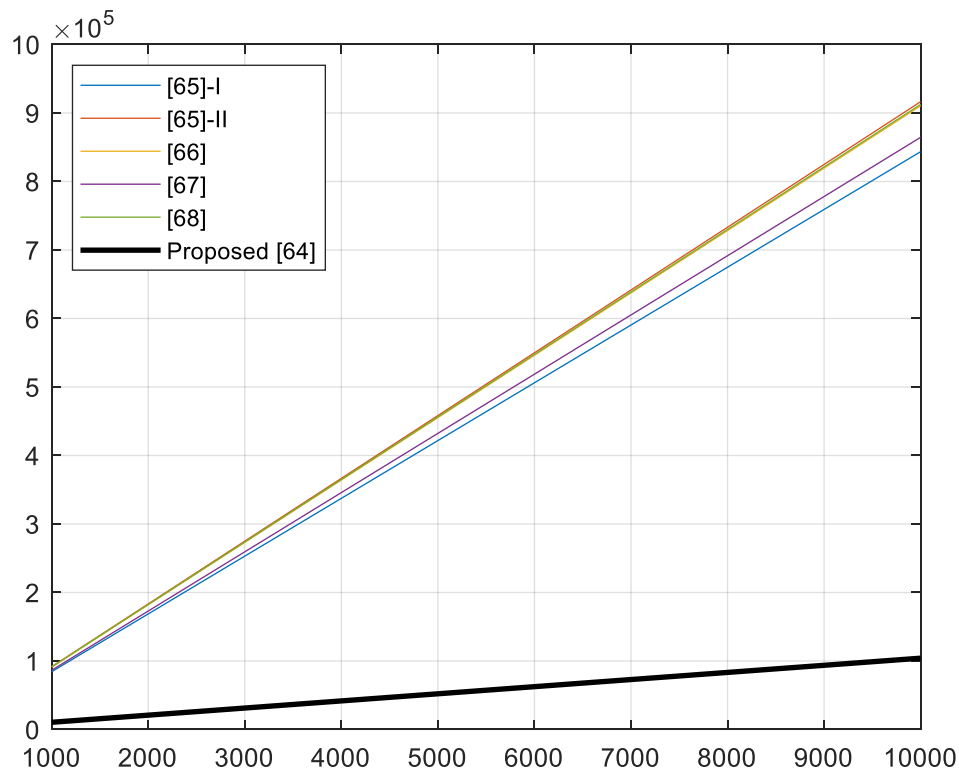
Πρώτηση μυστικότητας: Το τυχαίο στοιχείο a_j που περιλαμβάνεται στο κλειδί συνεδρίας S_j^k στην k περίπτωση, διασφαλίζει το απόρρητο του κλειδιού, εάν το ιδιωτικό κλειδί του BMS και το κλειδί συνόδου S_j^{k-1} στο $k-1$ έχει παραβιαστεί.

5.4 Αριθμητική επεξεργασία στην μελέτη περίπτωσης

Στην παρούσα μελέτη περίπτωσης προτάθηκε ένα σχήμα EF-IDASC, το οποίο έχει μία συγκεκριμένη κατανάλωση ενέργειας. Αυτό το υπολογιστικό κόστος αφορά στην αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης του προτεινόμενου σχήματος. Στον Πίνακα 4 παρατίθενται οι τύποι που δίνουν την κατανάλωση ενέργειας για την προτεινόμενη τεχνική, σε σχέση με άλλα αντίστοιχα σενάρια υλοποίησης στην βιβλιογραφία [65]-[68]. Στο πλαίσιο της μελέτης εργασίας μας, εισάγοντας στο πρόγραμμα MATLAB, τις γραμμικές συναρτήσεις κατανάλωσης ενέργειας σε σχέση με το πλήθος των μηνυμάτων, παράγουμε μια γραφική παράσταση, την εικόνα 7. Αυτή είναι η συγκριτική απόδοση για πλήθος μηνυμάτων από 1000 έως 10000 μηνύματα. Στο πλαίσιο αυτής της σύγκρισης, παρατηρούμε πως η ολική ενεργειακή κατανάλωση για την προτεινόμενη τεχνική δεν υπερβαίνει, για μέγιστο πλήθος μηνυμάτων ίσο με 10000, τα 100 Joule. Παρατηρούμε πως όλες οι υπόλοιπες τεχνικές καταναλώνουν πολλή περισσότερη ενέργεια και ως εκ τούτου είναι λιγότερο αποδοτικές.

Πίνακας 4. Σύγκριση προτεινόμενων τεχνικών ως προς την κατανάλωση ενέργειας

Schemes	Υπολογιστικό κόστος		
	Signcrypt (A)	Unsigncrypt (B)	Κατανάλωση ενέργειας (mJ)
[65]-I	$n(3T_S + 1T_P)$	$(2n + 2)T_P$	$84.35n + 2.4$
[65]-II	$n(4T_S + 1T_P)$	$(2n + 4)T_P + 1T_S$	$91.65n + 4.9$
[65] – III	$n(3T_S + 1T_P)$	$2nT_S + 4T_P$	$84.35n + 2.4$
[66]	$n(4T_S + 1T_P)$	nT_P	$91.05n + 2.4$
[67]	$n(3T_S + 1T_P)$	$3nT_S + nT_P$	$86.45n + 2.4$
[68]	$n(4T_S + 1T_P)$	$nT_S + 3T_P$	$91.25n + 2.4$
[64]	$(n + 4)T_S + 1T_P$	$nT_S + 3T_P$	$10.4n + 95.8$



Εικόνα 7. Συγκριτική απόδοση για πλήθος μηνυμάτων από 1000 έως 10000

5.5 Συμπεράσματα από την μελέτη περίπτωσης

Στην παρούσα μελέτη περίπτωσης προτάθηκε ένα σχήμα EF-IDASC, το οποίο είναι ασφαλισμένο έναντι της επίθεσης πλαστογραφίας κάτω από την επίθεση επιλεγμένου μηνύματος (EUF-CMA) και δεν διακρίνεται από την επίθεση επιλεγμένου κρυπτογραφημένου κειμένου (IND-CCA2). Σε σύγκριση με άλλα συστήματα, όπως φαίνεται έχει τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας σε επίπεδο επικοινωνίας και υπολογισμού. Με βάση το προτεινόμενο EF-IDASC, εφαρμόστηκε ένα έξυπνο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης με επίκεντρο το cloud IoMT. Το σύστημα υγειονομικής περίθαλψης έχει επιτύχει ασφαλή PHI ασθενών εντός του BAN και εκτός του BAN, και δημόσια ακεραιότητα του PHI που είναι αποθηκευμένη στο cloud χωρίς πληροφορίες να αποκαλύπτονται σε οποιαδήποτε τρίτη οντότητα. Επιπλέον, έχουν εξετάσει ενδελεχώς την απόδοση του προτεινόμενου συστήματος υγειονομικής περίθαλψης που βασίζεται στο cloud-centric IoMT όσον αφορά την υπολογιστική ενέργεια και την κατανάλωση ενέργειας στην επικοινωνία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Συμπεράσματα

Σύμφωνα με αναλυτές στο Markets and Markets, η υγειονομική περίθαλψη είναι το ταχύτερα αναπτυσσόμενο τμήμα του IoT. Οι συσκευές, τα gadget και τα έξυπνα συστήματα δεν έχουν σχεδιαστεί για να αντικαταστήσουν τους γιατρούς και τους νοσηλευτές, αλλά για να διευκολύνουν και να βελτιστοποιήσουν την εργασία τους.

Ο κύριος μοχλός που θα συμβάλει στην ανάπτυξη της αγοράς IoMT είναι η ανάγκη για gadget και εφαρμογές υγείας. Έτσι, οι αναλυτές προβλέπουν ότι οι αποστολές κλινικών και μη κλινικά συνδεδεμένων φορητών αισθητήρων θα φτάσουν τις 160 εκατομμύρια μονάδες το 2024 (για σύγκριση: 85 εκατομμύρια μονάδες ήταν το 2021).

Τώρα οι λύσεις IoT για την ιατρική χρησιμοποιούνται κυρίως σε οικονομικά ανεπτυγμένες χώρες του κόσμου, όπως για παράδειγμα, στις ΗΠΑ. Το κύριο πρόβλημα της ευρείας εισαγωγής τέτοιων συσκευών και συστημάτων είναι η συμβατότητα και η ασφάλεια, καθώς και το υψηλό κόστος της τεχνολογίας.

Η πρόοδος και η αυξανόμενη υπεροχή των τεχνικών IoT και DL που βασίζονται σε σύννεφο είχαν γίνει τα βασικά στοιχεία των εφαρμογών υγειονομικής περίθαλψης. Η ενσωμάτωση του cloud και του IoT στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης συνιστάται κυρίως λόγω των αποτελεσματικών υπηρεσιών του, όπως μαζικά αποθετήρια δεδομένων, διαθεσιμότητα δεδομένων, βέλτιστη απόδοση, εξισορρόπηση δικτύου και υπολογιστικές υποδομές.

Το δίκτυο επόμενης γενιάς (5G) πρόκειται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στις έξυπνες εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης και IoT. Οι έξυπνες εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης και IoT διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στο δίκτυο 5G από λειτουργική και οικονομική άποψη. Στην παρούσα εργασία, επισημάναμε διάφορες εφαρμογές με διαφορετικές προοπτικές και συγκρίναμε τεχνολογίες επικοινωνίας μικρής και μεγάλης εμβέλειας όσον αφορά το εύρος, τη συχνότητα, τη χρήση ισχύος και το ρυθμό δεδομένων για έξυπνη υγειονομική περίθαλψη.

Επιπλέον, εξετάστηκαν τέσσερα διαφορετικά σενάρια σύμφωνα με διαφορετικές απαιτήσεις για το δίκτυο 5G (δηλαδή, βελτιωμένη ευρυζωνική σύνδεση κινητής

τηλεφωνίας, επικοινωνίες χαμηλής καθυστέρησης και υψηλής αξιοπιστίας, μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής και πρόσβαση στο Διαδίκτυο για ασύρματα περιφερειακά δίκτυα). Πολύ σημαντική, από τη μελέτη περίπτωσης, είναι η διερεύνηση της αποδοτικότητας, μιας παραμέτρου που συχνά παραβλέπεται στη βιβλιογραφία. Με τη χρήση του προγράμματος MATLAB μπορέσαμε να ομαδοποιήσουμε και να οπτικοποιήσουμε την κατανάλωση ενέργειας του προτεινόμενου σεναρίου, (EF-IDASC), συγκριτικά με άλλα σεναρία και σχήματα. Το αποτέλεσμα, όπως φαίνεται και στην παραγόμενη γραφική παράσταση (Εικόνα 7), είναι ότι το προτεινόμενο σχήμα είναι το πιο αποδοτικό ενεργειακά. Αυτή η ενεργειακή αποδοτικότητα, έρχεται να δώσει ακόμη ένα χαρακτηριστικό επικράτησης έναντι των low range πρωτοκόλλων, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα την ανωνυμία της ταυτότητας και των ιατρικών δεδομένων του ασθενούς.

Τέλος, παρουσιάστηκαν τα ανοιχτά θέματα και τις μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις που σχετίζονται με την έξυπνη υγειονομική περίθαλψη στο δίκτυο 5G.

Έτσι, παρέχονται ευκαιρίες σε ερευνητές που θέλουν να ξεκινήσουν έρευνα στον τομέα της έξυπνης υγειονομικής περίθαλψης που βασίζεται στο 5G χρησιμοποιώντας διαφορετικές προσεγγίσεις, όπως μηχανική μάθηση, προγραμματισμό, δρομολόγηση, παράδοση και ομαδοποίηση. Η παρούσα εργασία έχει θέσει μια ισχυρή βάση για να εμπνεύσει τους ερευνητές να διερευνήσουν τα ανοιχτά ζητήματα που τίθενται σε αυτό το θέμα.

Μια πρόταση για μελλοντική έρευνα, θα ήταν να ελέγξουμε την ανθεκτικότητα και την ενεργειακή κατανάλωση όλων των εμπλεκόμενων πρωτοκόλλων, για το μέγιστο δυνατό πλήθος μηνυμάτων, αφού η περίπτωση που αναλύσαμε δεν είναι η μέγιστη, αλλά αντιθέτως είναι μια μέση λειτουργία του οικοσυστήματος του διαδικτύου των ιατρικών πραγμάτων και της ίδιας της δικτυακής υποδομής, άρα της επικράτησης αυτής της τεχνικής μέσω smartphone, προκειμένου να έχουμε αξιόπιστα Big Data και βάσεις γνώσης, όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση και τη βιωσιμότητα της συσκευής, αλλά και του δικτύου συνολικά.

Ακόμη θα μπορούσε να δοκιμαστεί η αποδοτικότητα του προτεινόμενου σεναρίου EF-IDASC, όχι μόνο με τη χρήση 5G το οποίο εξακολουθεί να

αναπτύσσεται, αλλά και με τον διάδοχό του, το 6G, όπου με την αξιοποίηση υψηλότερων ζωνών συχνοτήτων και την ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως η τεχνητή νοημοσύνη και το edge computing, θα διευρύνει τα όρια της ασύρματης επικοινωνίας. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το 6G βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο έρευνας και ανάπτυξης, οπότε θα χρειαστεί χρόνος μέχρι να γίνει εμπορικά διαθέσιμο. Εν τω μεταξύ, το 5G θα συνεχίσει να εξελίσσεται και να παρέχει σημαντικές προόδους στην ασύρματη συνδεσιμότητα και τις υπηρεσίες, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν υπάρχουν ακόμα ανοιχτές μελλοντικές ερευνητικές προκλήσεις για το 5G, σε σχέση με την έξυπνη υγεία. Μία από αυτές που μας ενδιαφέρει, είναι φυσικά η ανάλυση των Big Data.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Sundaravadivel, P.; Kougianos, E.; Mohanty, S.P.; Ganapathiraju, M.K. Everything you wanted to know about smart health care: Evaluating the different technologies and components of the Internet of Things for better health. *IEEE Consum. Electron. Mag.* 2017, 7, 18–28. [CrossRef]
2. 2019 Global Health Care Outlook Shaping the Future—Deloitte. Available online: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Life-Sciences-Health-Care/gxlshc-hc-outlook-2019.pdf> (accessed on 10 June 2020).
3. Liu, X.; Jia, M.; Zhang, X.; Lu, W. A novel multichannel Internet of things based on dynamic spectrum sharing in 5G communication. *IEEE Internet Things J.* 2018, 6, 5962–5970. [CrossRef]
4. Li, D. 5G and intelligence medicine—How the next generation of wireless technology will reconstruct healthcare? *Precis. Clin. Med.* 2019, 2, 205–208. [CrossRef] [PubMed]
5. Brito, J.M. Technological Trends for 5G Networks Influence of E-Health and IoT Applications. *Int. J. Health Med Commun. (IJEHMC)* 2018, 9, 1–22. [CrossRef]
6. McCue, T.J. \$117 billion market for the internet of things in healthcare by 2020. *Forbes Tech.* 2015. Available online: <https://www.forbes.com/sites/tjmccue/2015/04/22/117-billion-market-for-internet-of-thingsin-healthcare-by-2020> (accessed on 10 June 2020).
7. Rodrigues, J.J.; Pedro, L.M.; Vardasca, T.; de la Torre-Díez, I.; Martins, H.M. Mobile health platform for pressure ulcer monitoring with electronic health record integration. *Health Informatics J.* 2013, 19, 300–311. [CrossRef] [PubMed]
8. Rodrigues, J.J.; Lopes, I.M.; Silva, B.M.; Torre, I.D. A new mobile ubiquitous computing application to control

obesity: SapoFit. *Informatics Health Soc. Care* 2013, 38, 37–53. [CrossRef] [PubMed]

9. Silva, B.M.; Rodrigues, J.J.; Lopes, I.M.; Machado, T.M.; Zhou, L. A novel cooperation strategy for mobile health applications. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2013, 31, 28–36. [CrossRef]

10. Yang, G.; Urke, A.R.; Øvsthus, K. Mobility Support of IoT Solution in Home Care Wireless Sensor Network. In *Proceedings of the 2018 Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation and Location-Based Services (UPINLBS)*, Wuhan, China, 22–23 March 2018; pp. 475–480.

11. Santos, J.; Rodrigues, J.J.; Silva, B.M.; Casal, J.; Saleem, K.; Denisov, V. An IoT-based mobile gateway for intelligent personal assistants on mobile health environments. *J. Netw. Comput. Appl.* 2016, 71, 194–204. [CrossRef]

12. Vilela, P.H.; Rodrigues, J.J.; Solic, P.; Saleem, K.; Furtado, V. Performance evaluation of a Fog-assisted IoT solution for e-Health applications. *Future Gener. Comput. Syst.* 2019, 97, 379–386. [CrossRef]

13. Ahad, A.; Al Faisal, S.; Ali, F.; Jan B.; Ullah, N. Design and Performance Analysis of DSS (Dual Sink Based Scheme) Protocol for WBASNs. *Adv. Remote Sens.* 2017, 6, 245. [CrossRef]

14. Ojaroudi, Parchin, N.; Jahanbakhsh, Basherlou, H.; Al-Yasir, Y.I.; Abd-Alhameed, R.A.; Abdulkhaleq, A.M.; Noras, J.M. Recent developments of reconfigurable antennas for current and future wireless communication systems. *Electronics* 2019, 8, 128. [CrossRef]

15. Parchin, N.O.; Abd-Alhameed, R.A. Acompact Vivaldi antenna array for 5G channel sounding applications. In *Proceedings of the 12th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2018)*, London, UK, 9–13 April 2018; pp. 9–13.

16. Parchin, N.O. Low-profile air-filled antenna for next generation wireless systems. *Wirel. Pers. Commun.* 2017, 97, 3293–3300. [CrossRef]
17. Ojaroudi, Parchin, N.; Alibakhshikenari, M.; Jahanbakhsh, Basherlou, H.; AAbd-Alhameed, R.; Rodriguez, J.; Limiti, E. MM-wave phased array quasi-Yagi antenna for the upcoming 5G cellular communications. *Appl. Sci.* 2019, 9, 978. [CrossRef]
18. Ojaroudiparchin, N.; Shen, M.; Pedersen, G.F. Wide-scan phased array antenna fed by coax-to-microstriplines for 5G cell phones. In *Proceedings of the 2016 21st International Conference on Microwave, Radar and Wireless Communications (MIKON)*, Krakow, Poland, 9–11 May 2016; pp. 1–4.
19. Mohammad, A.; Virdee, B.S.; See, C.H.; Abd-Alhameed, R.A.; Falcone, F.; Ernesto, L. High-Gain Metasurface in polyimide on-chip Antenna Based on cRLH-tL for Sub-terahertz integrated circuits. *Sci. Rep.* 2020, 10, 1–9.
20. Saeidi-Manesh, H.; Zhang, G. Hybrid Feed Microstrip Patch Array Antenna for MPAR Application. In *Proceedings of the 2017 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, San Diego, CA, USA, 9–14 July 2017.
21. Saeidi-Manesh, H.; Zhang, G. Low cross-polarization, high-isolation microstrip patch antenna array for multi-mission applications. *IEEE Access* 2018, 7, 5026–5033. [CrossRef]
22. Alibakhshi-Kenari, M.; Naser-Moghadasi, M.; Sadeghzadeh, R.A.; Virdee, B.S.; Limiti, E. Periodic array of complementary artificial magnetic conductor metamaterials-based multiband antennas for broadband wireless transceivers. *IET Microwaves Antennas Propag.* 2016, 10, 1682–1691. [CrossRef]
23. Saeidi-Manesh, H.; Zhang, G. Challenges and Limitations of the Cross-Polarization Suppression in

- Dual-Polarization Antenna Arrays using Identical Subarrays. *IEEE Trans. Antennas Propag.* 2019, 68, 2853–2866. [CrossRef]
24. Alibakhshikenari, M.; Virdee, B.S.; See, C.H.; Abd-Alhameed, R.; Ali, A.H.; Falcone, F.; Limiti, E. Study on isolation improvement between closely-packed patch antenna arrays based on fractal metamaterial electromagnetic bandgap structures. *IET Microwaves Antennas Propag.* 2018, 12, 2241–2247. [CrossRef]
25. Alibakhshikenari, M.; Virdee, B.S.; Shukla, P.; See, C.H.; Abd-Alhameed, R.; Khalily, M.; Falcone, F.; Limiti, E. Antenna mutual coupling suppression over wideband using embedded periphery slot for antenna arrays. *Electronics* 2018, 7, 198. [CrossRef]
26. Agiwal, M.; Saxena, N.; Roy, A. Towards connected living: 5G enabled internet of things (IoT). *IETE Tech. Rev.* 2019, 36, 190–202. [CrossRef]
27. Palattella, M.R.; Dohler, M.; Grieco, A.; Rizzo, G.; Torsner, J.; Engel, T.; Ladid, L. Internet of things in the 5G era: Enablers, architecture, and business models. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2016, 34, 510–527. [CrossRef]
28. Chih-Lin, I.; Han, S.; Xu, Z.; Sun, Q.; Pan, Z. 5G: Rethink mobile communications for 2020+. *Philosophical Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.* 2016, 374, 20140432. [CrossRef] [PubMed]
29. Ahad, A.; Tahir, M.; Yau, K.L. 5G-Based Smart Healthcare Network: Architecture, Taxonomy, Challenges and Future Research Directions. *IEEE Access* 2019, 7, 100747–100762. [CrossRef]
30. Mahmoud, M.M.; Rodrigues, J.J.; Ahmed, S.H.; Shah, S.C.; Al-Muhtadi, J.F.; Korotaev, V.V.; De Albuquerque, V.H.C. Enabling technologies on cloud of things for smart healthcare. *IEEE Access* 2018, 6, 31950–31967. [CrossRef]

31. Qi, J.; Yang, P.; Min, G.; Amft, O.; Dong, F.; Xu, L. Advanced internet of things for personalised healthcare systems: A survey. *Pervasive Mob. Comput.* 2017, 41, 132–149. [CrossRef]
32. Dhanvijay, M.M.; Patil, S.C. Internet of Things: A survey of enabling technologies in healthcare and its applications. *Comput. Netw.* 2019, 153, 113–131. [CrossRef]
33. Baker, S.B.; Xiang, W.; Atkinson, I. Internet of things for smart healthcare: Technologies, challenges, and opportunities. *IEEE Access* 2017, 5, 26521–26544. [CrossRef]
34. Mehmood, Y.; Ahmad, F.; Yaqoob, I.; Adnane, A.; Imran, M.; Guizani, S. Internet-of-things-based smart cities: Recent advances and challenges. *IEEE Commun. Mag.* 2017, 55, 16–24. [CrossRef]
35. Islam, S.R.; Kwak, D.; Kabir, M.H.; Hossain, M.; Kwak, K.S. The internet of things for health care: A comprehensive survey. *IEEE Access* 2015, 3, 678–708. [CrossRef]
36. Jara, A.J.; Belchi, F.J.; Alcolea, A.F.; Santa, J.; Zamora-Izquierdo, M.A.; Gómez-Skarmeta, A.F. A Pharmaceutical Intelligent Information System to detect allergies and Adverse Drugs Reactions based on internet of things. In *Proceedings of the 2010 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)*, Mannheim, Germany, 29 March–2 April 2010; pp. 809–812.
37. Rohokale, V.M.; Prasad, N.R.; Prasad, R. A cooperative Internet of Things (IoT) for rural healthcare monitoring and control. In *Proceedings of the 2011 2nd International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace and Electronic Systems Technology (Wireless VITAE)*, Chennai, India, 28 February–3 March 2011; pp. 1–6.
38. You, L.; Liu, C.; Tong, S. Community medical network (CMN): Architecture and implementation. In *Proceedings of the 2011 Global Mobile Congress*, Shanghai, China, 17–18 October 2011; pp. 1–6.

39. Chung, W.Y.; Lee, Y.D.; Jung, S.J. A wireless sensor network compatible wearable u-healthcare monitoring system using integrated ECG, accelerometer and SpO2. In Proceedings of the 2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Vancouver, BC, Canada, 20–25 August 2008; pp. 1529–1532.
40. Castillejo, P.; Martinez, J.F.; Rodriguez-Molina, J.; Cuerva, A. Integration of wearable devices in a wireless sensor network for an E-health application. *IEEE Wirel. Commun.* 2013, 20, 38–49. [CrossRef]
41. Faisal, A.I.; Majumder, S.; Mondal, T.; Cowan, D.; Naseh, S.; Deen, M.J. Monitoring Methods of Human Body Joints: State-of-the-Art and Research Challenges. *Sensors* 2019, 19, 2629. [CrossRef] [PubMed]
42. Rasid, M.F.; Musa, W.M.; Kadir, N.A.; Noor, A.M.; Touati, F.; Mehmood, W.; Khriji, L.; Al-Busaidi, A.; Mnaouer, A.B. Embedded gateway services for Internet of Things applications in ubiquitous healthcare. In Proceedings of the 2014 2nd International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT), Bandung, Indonesia, 28–30 May 2014; pp. 145–148.
43. De Brouwer, M.; Ongenaes, F.; Bonte, P.; De Turck, F. Towards a Cascading Reasoning Framework to Support Responsive Ambient-Intelligent Healthcare Interventions. *Sensors* 2018, 18, 3514. [CrossRef] [PubMed]
44. Viswanathan, H.; Chen, B.; Pompili, D. Research challenges in computation, communication, and context awareness for ubiquitous healthcare. *IEEE Commun. Mag.* 2012, 50, 92–99. [CrossRef]
45. Kiran, M.S.; Rajalakshmi, P.; Acharyya, A. Context predictor based sparse sensing technique and smart transmission architecture for IoT enabled remote health monitoring applications. In Proceedings of the 2014

- 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Chicago, IL, USA, 26–30 August 2014; pp. 4151–4154.
46. Mosa, A.S.; Yoo, I.; Sheets, L. A systematic review of healthcare applications for smartphones. *BMC Med Informatics Decis. Mak.* 2012, 12, 67. [CrossRef] [PubMed]
47. Istepanian, R.S.; Hu, S.; Philip, N.Y.; Sungoor, A. The potential of Internet of m-health Things “m-IoT” for non-invasive glucose level sensing. In *Proceedings of the 2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, Boston, MA, USA, 30 August–3 September 2011; pp. 5264–5266.
48. Liu, S.H.; Lin, C.B.; Chen, Y.; Chen, W.; Huang, T.S.; Hsu, C.Y. An EMG Patch for the Real-Time Monitoring of Muscle-Fatigue Conditions During Exercise. *Sensors* 2019, 19, 3108. [CrossRef] [PubMed]
49. Guan, Z.J. Internet-of-Things human body data blood pressure collecting and transmitting device. *Chin. Pat.* 2013, 202, 362.
50. Curran, K.; Mansell, G.; Curran, J. An IoT Framework for Detecting Movement Within Indoor Environments. In *International Conference on Machine Learning for Networking*; Springer: Cham, Switzerland, 2018; pp. 333–340.
51. Mi, Z.; Wei, G. A CoAP-Based Smartphone Proxy for Healthcare with IoT Technologies. In *Proceedings of the 2018 IEEE 9th International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS)*, Beijing, China, 23–25 November 2018; pp. 271–278.
52. Tabish, R.; Ghaleb, A.M.; Hussein, R.; Touati, F.; Mnaouer, A.B.; Khriji, L.; Rasid, M.F. A 3G/WiFi-enabled 6LoWPAN-based U-healthcare system for ubiquitous real-time monitoring and data logging. In *Proceedings of the 2014 Middle East Conference on Biomedical Engineering (MECBME)*, Doha, Qatar, 17–20 February 2014; pp. 277–280.
53. Fan, Y.J.; Yin, Y.H.; Da Xu, L.; Zeng, Y.; Wu, F. IoT-based smart rehabilitation system. *IEEE Trans. Ind. Inf.*

2014, 10, 1568–1577.

54. Pang, Z.; Tian, J.; Chen, Q. Intelligent packaging and intelligent medicine box for medication management towards the Internet-of-Things. In Proceedings of the 16th International Conference on Advanced Communication Technology, Pyeong Chang, Korea, 16–19 February 2014; pp. 352–360.

55. Yang, L.; Ge, Y.; Li, W.; Rao, W.; Shen, W. A home mobile healthcare system for wheelchair users.

In Proceedings of the 2014 IEEE 18th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD), Hsinchu, Taiwan, 21–23 May 2014; pp. 609–614.

56. Pesta, M.; Fichtl, J.; Kulda, V.; Topolcan, O.; Treska, V. Monitoring of circulating tumor cells in patients undergoing surgery for hepatic metastases from colorectal cancer. *Anticancer Res.* 2013, 33, 2239–2243.

57. Hii, P.C.; Chung, W.Y. A comprehensive ubiquitous healthcare solution on an Android™ mobile device.

Sensors 2011, 11, 6799–6815. [CrossRef]

58. Syed, R.A. Next Generation and Advanced Network Reliability Analysis; Springer: Cham, Switzerland, 2019; pp. 1–27.

59. Bader, A.; Ghazzai, H.; Kadri, A.; Alouini, M.S. Front-end intelligence for large-scale application-oriented internet-of-things. *IEEE Access* 2016, 4, 3257–3272. [CrossRef]

60. Ahad, A.; Ullah, Z.; Amin, B.; Ahmad, A. Comparison of Energy Efficient Routing Protocols in Wireless Sensor Network. *Am. J. Netw. Commun.* 2017, 6, 67–73. [CrossRef]

61. Yu, H.; Lee, H.; Jeon, H. What is 5G? Emerging 5G mobile services and network requirements. *Sustainability* 2017, 9, 1848. [CrossRef]

62. A. A. Omala, N. Robert, and F. Li, “A provably-secure transmissionscheme for wireless body area networks,” *J. Med. Syst.*, vol. 40, no. 11, p. 247, 2016.

63. A. Yin and H. Liang, “Certificateless hybrid signcryption scheme for secure communication of wireless sensor networks,” *Wireless Pers. Commun.*, vol. 80, no. 3, pp. 1049–1062, 2015

64. Kumar, M., & Chand, S. (2020). A secure and efficient cloud-centric internet-of-medical-things-enabled smart healthcare system with public verifiability. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(10), 10650-10659.
65. S. S. D. Selvi, S. S. Vivek, J. Shriram, S. Kalaivani, and C. P. Rangan, "Identity based aggregate signcryption schemes," in *Proc. Int. Conf. Cryptol. India*, 2009, pp. 378–397.
66. Z. Eslami and N. Pakniat, "Certificateless aggregate signcryption: Security model and a concrete construction secure in the random oracle model," *J. King Saud Univ. Inf. Sci.*, vol. 26, no. 3, pp. 276–286, 2014.
67. J. Kar, "Provably secure identity-based aggregate signcryption scheme in random oracles," *IACR Cryptol. ePrint Arch.*, vol. 2013, pp. 580–587, Jan. 2013.
68. S. Niu, Z. Li, and C. Wang, "Privacy-preserving multi-party aggregate signcryption for heterogeneous systems," in *Proc. Int. Conf. Cloud Comput. Security*, 2017, pp. 216–229.