



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Μελέτη Προδιαγραφών Διαδικτύου των Ιατρικών
Πραγμάτων (Internet of Medical Things) για τον
Ψηφιακό Μετασχηματισμό της Παροχής
Υπηρεσιών Έξυπνης Υγείας

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΟΖΑΝΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ

Διδάσκων – Επιστημονικός Συνεργάτης

Λαμία 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Μελέτη Προδιαγραφών Διαδικτύου των Ιατρικών
Πραγμάτων (Internet of Medical Things) για τον
Ψηφιακό Μετασχηματισμό της Παροχής
Υπηρεσιών Έξυπνης Υγείας

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΟΖΑΝΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ

Διδάσκων – Επιστημονικός Συνεργάτης

Λαμία 2022



UNIVERSITY OF
THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

Study of Internet Specifications of Medical
Things for the Digital Transformation of the
Provision of Smart Health Services

KONSTANTINOS KOZANIS

FINAL THESIS

ADVISOR

THEOFILOS CHRYSIKOS

Tutor

Lamia 2022

«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 π.χ. μιας παραγράφου ή μιας σελίδας, δεν δικαιολογεί συρραφή εδαφίων έργου άλλου συγγραφέα, έστω και παραφρασμένων, και παρουσίασή 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 (π.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.../2022.....

Ο 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

Διαδίκτυο των πραγμάτων κυριολεκτικά σημαίνει διασυνδεδεμένο δίκτυο φυσικών αντικειμένων ή «Πραγμάτων» που ενσωματώνονται για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συσκευών που χρησιμοποιούν το διαδίκτυο. Από την πρώτη απόδοση του όρου Internet of things την δεκαετία του 1990 από τον Kevin Ashton έχει παρατηρηθεί μια εκθετική ανάπτυξη που έχει οδηγήσει σε περίπου 46 δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές στα τέλη του 2021 με μια προβλεπόμενη αύξηση σε περίπου 125 δισεκατομμύρια έως το 2030. Τεχνικά προσφέρει την βελτιστοποίηση της ανταλλαγής δεδομένων και αποθήκευση των πληροφοριών σε ένα ασφαλές περιβάλλον (cloud) από όπου οι συνδεδεμένες υπολογιστικές συσκευές δημιουργούν ένα δίκτυο για κοινή χρήση δεδομένων και επικοινωνίας μέσω του διακομιστή. Πολλές συσκευές μετατράπηκαν σε «έξυπνες» με την ενσωμάτωση λογισμικού που είτε ενημερώνει την υπάρχουσα λειτουργικότητά τους με νέες δυνατότητες, είτε ενσωματώνει νεότερες λειτουργίες. Η απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών, ο έλεγχος, η θεραπεία μέσω τηλεϊατρικής δημιούργησαν την ανάγκη του Δικτύου των Ιατρικών Πραγμάτων (Internet of Medical Things) το οποίο έχει προσαρμοστεί με επιτυχία τόσο από τους παρόχους ιατρικής φροντίδας, όσο και από τους ίδιους τους ασθενείς. Η χρήση και τα αποτελέσματα των έξυπνων συσκευών που βασίζονται στο IoMT, φαίνονται ιδιαίτερα σήμερα με την εμφάνιση της πανδημίας του Covid-19, καθώς παρέχουν απαραίτητες πληροφορίες για τον περιορισμό και την εξάλειψή της. Σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες το δίκτυο των ιατρικών πραγμάτων έχει προκαλέσει την είσοδο καινούριων μεθόδων στον τομέα της Ιατρικής. Με σκοπό την άνθηση του τομέα και την ανάπτυξη της ζωής του ανθρώπου, εκσυγχρόνισε διάφορους κλάδους και δημιούργησε άλλους, αλλάζοντας έτσι τον τρόπο λειτουργίας ακόμη και βασικών εργασιών, όπως η συλλογή δεδομένων και η διαχείριση των ιατρικών ιστορικών ασθενείας. Με την πρόοδο στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης, της τηλεϊατρικής και την χρήση αισθητήρων, το δίκτυο των ιατρικών πραγμάτων έχει αποδείξει την χρησιμότητά του και την αποτελεσματικότητά του στην πρόταση λήψης κλινικών αποφάσεων. Τις ανθρώπινες αποφάσεις συμπληρώνουν εικονικοί βοηθοί, οι οποίοι έχοντας πρόσβαση σε τεράστιες βάσεις δεδομένων και κάνοντας χρήση διάφορων αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης, βοηθούν στη σωστή διάγνωση και τη λήψη αποφάσεων. Οι επιδόσεις, καθώς και η ακρίβεια των αλγορίθμων αυτών βελτιώνονται με την πάροδο του χρόνου καθώς εκμεταλλεύονται ένα σύστημα αυτοδιόρθωσης. Οι εικονικοί βοηθοί μπορούν επίσης να κρατάνε ενήμερους τους γιατρούς δίνοντάς τους πληροφορίες, από νέα επιστημονικά άρθρα και περιοδικά, καθώς και κλινικές πρακτικές, εξελισσόντάς τους πάνω στον τομέα εργασίας τους. Τέλος το δίκτυο των ιατρικών πραγμάτων μπορεί να

χρησιμοποιηθεί για την συνεχή παρακολούθηση ασθενών, για την προειδοποίηση τυχών αλλαγών στην υγεία του ασθενούς και ίσως για την λήψη απαραίτητων προφυλάξεων.

ABSTRACT

Internet of Things literally means an interconnected network of physical objects or "Things" that are integrated to exchange data between devices using the internet. Since the first coining of the term "Internet of things" in the 1990s by Kevin Ashton has seen exponential growth leading to approximately 46 billion connected devices at the end of 2021 with a projected increase to approximately 125 billion by 2030. Technically it offers optimization of data and storing the information in a secure environment (cloud) from where the connected computing devices create a network for data sharing and communication through the server. Many devices have become "smart" by incorporating software that either updates their existing functionality with new capabilities or incorporates newer functions. Remote patient monitoring, control, treatment through telemedicine created the need for the Internet of Medical Things which has been successfully adapted by both medical care providers and patients themselves. The use and results of IoMT-based smart devices are especially visible today with the emergence of the Covid-19 pandemic, as they provide essential information for its containment and elimination. Combined with other technologies, the internet of medical things has caused new methods to enter the field of Medicine. Aiming to flourish the field and develop human life, it has modernized several disciplines and created others, thereby changing the way even basic tasks such as data collection and medical history management work. With advancements in artificial intelligence, telemedicine and the use of sensors, the network of medical things has proven its usability and effectiveness in proposing clinical decision-making. Human decisions are supplemented by virtual assistants, who, having access to huge databases and using various Machine Learning algorithms, help in correct diagnosis and decision-making. The performance as well as the accuracy of these algorithms improves over time as they take advantage of a self-correction system. Virtual assistants can also keep doctors informed by giving them information, from new scientific articles and journals, as well as clinical practices, developing them on their field of work. Finally, internet of medical things can be used to continuously monitor patients, to warn of possible changes in the patient's health and perhaps to take necessary precaution.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ABSTRACT	III

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΙΑΤΡΙΚΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ..... 2

1.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΕΞΥΠΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΚΑΙ ΣΗΜΕΡΑ	2
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΗΣ ΕΞΥΠΝΗΣ ΥΓΕΙΑΣ.....	3
1.2.1 Η ΑΡΧΗ (1897).....	3
1.2.2 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ (1950-1999).....	3
1.2.3 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ (2000-2015)	3
1.2.4 ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ.....	4
1.3 INTERNET OF MEDICAL THINGS	5
1.3.1 ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (INTERNET OF THINGS)	5
1.3.2 ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΙΑΤΡΙΚΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (INTERNET OF MEDICAL THINGS)	6
1.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΙΑΤΡΙΚΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ.....	7
1.5 BODY-CENTRIC ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΩΜΑΤΟΜΕΤΡΙΚΑ.....	7
1.5.1 BODY-CENTRIC ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ	8
1.5.2 BODY-CENTRIC ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ	11
1.6 ΟΒΪΕΚΤ-CENTRIC ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΜΕΤΡΙΚΑ	13
1.6.1 ΟΒΪΕΚΤ-CENTRIC ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ.....	14
1.6.2 ΟΒΪΕΚΤ-CENTRIC ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ	15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΙΑΤΡΙΚΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ..... 17

2.1 ΑΠΟΚΤΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	17
2.1.1 ΒΙΟ-ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	18
2.1.2 ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	22
2.1.3 ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΨΗΦΙΑΚΟ	23
2.2 ΠΥΛΕΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	24
2.2.1 ΡΟΛΟΙ ΤΩΝ ΠΥΛΩΝ ΤΟΥ ΙοΜΤ.....	25
2.2.2 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΥΛΗΣ ΤΟΥ ΙοΜΤ.....	25
2.2.3 ΥΠΟΔΟΧΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ.....	26
2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΝΕΦΟΣ (SMART HEALTH CLOUD)	33
2.4 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΣΗΜΑΤΩΝ.....	34
2.4.1 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΣΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΧΡΟΝΟΥ ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	34
2.4.2 ΕΞΟΡΥΞΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	35
2.5 ΤΟ ΕΞΥΠΝΟ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ (SMART HOSPITAL).....	39
2.5.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑ	40
2.6 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΦΑΚΕΛΟΣ ΥΓΕΙΑΣ (ELECTRONIC HEALTH RECORD).....	41
2.7 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	42

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΤΟ 5G ΣΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΙΑΤΡΙΚΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ

45

3.1 5G ΚΑΙ INTERNET OF MEDICAL THINGS.....	45
3.1.1 5G ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ INTERNET OF MEDICAL THINGS (ΙΟΜΤ).....	45
3.1.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ	47
3.2 Ο ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΤΟΥ 5G ΣΤΙΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ.....	50
3.2.1 ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ Η ΣΤΡΟΦΗ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΑΞΙΑ.....	50
3.2.2 ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΝΕΕΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΕΣ ΕΥΚΑΙΡΙΕΣ.....	52
3.3 ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ 5G ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΠΩΛΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΤΟΥΣ ΤΟΜΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ.....	53
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....</u>	56
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</u>	59
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</u>	60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Επισκόπηση των συστημάτων του διαδικτύου των ιατρικών πραγμάτων

1.1 Η έννοια της έξυπνης υγείας ιστορικά και σήμερα

Ο κλάδος της υγειονομικής περίθαλψης είναι πολύ δυναμικός και ενσωματώνει τεχνολογίες στις διαδικασίες του, ώστε να βελτιώσει την ποιότητα ζωής των ασθενών (π.χ. επιταχύνοντας τις διαγνωστικές διαδικασίες και εξατομικεύοντας τις θεραπείες) και να αυξήσει την αποτελεσματικότητά του (π.χ. μειώνοντας το κόστος διαχείρισης και με το αποχωρίζονται νωρίτερα τους ασθενείς).

Αυτή η υιοθέτηση των τεχνολογικών πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ) στον κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης γέννησε τη λεγόμενη ηλεκτρονική υγεία (e health), η οποία είχε ως στόχο να αντιμετωπίσει οργανωτικά προβλήματα όπως η διαχείριση αρχείων υγειονομικής περίθαλψης και άνοιξε την πόρτα στην τηλεϊατρική και την εξ αποστάσεως συνεργασία μεταξύ επαγγελματιών υγείας και ασθενών. Αργότερα, με την εξάπλωση των φορητών συσκευών και την ενσωμάτωσή τους στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, εμφανίστηκε η έννοια της κινητής υγείας (m-health). Χάρη στην πανταχού παρουσία τέτοιων συσκευών, η απομακρυσμένη και συνεχής παρακολούθηση των ασθενών έγινε πραγματικότητα και προέκυψαν πολλές νέες δυνατότητες συλλογής δεδομένων.

Ωστόσο, τα περισσότερα από αυτά τα δεδομένα εξαρτώνται από το περιβάλλον (δηλαδή, η ίδια τιμή για μια δεδομένη μεταβλητή θα μπορούσε να έχει διαφορετικές σημασίες/ερμηνείες ανάλογα με το περιβάλλον – για παράδειγμα, ανάλογα με την τοποθεσία). Ως εκ τούτου, ένα νέο παράδειγμα υγειονομικής περίθαλψης που συνδύαζε τις δυνατότητες των κινητών συσκευών και τις υποδομές ανίχνευσης και δικτύωσης περιβαλλόντων με επίγνωση του πλαισίου ήταν μια φυσική εξέλιξη και πήρε το όνομα Smart Health (s-health). Αν και ο αρχικός ορισμός της έξυπνης υγείας προέκυψε από τον ρόλο των Έξυπνων Πόλεων, το παράδειγμα έχει γενικευθεί από τις έξυπνες πόλεις σε οποιοδήποτε έξυπνο περιβάλλον με επίγνωση του πλαισίου, όπως έξυπνα νοσοκομεία, έξυπνα σπίτια και ούτω καθεξής.

1.2 Ιστορική αναδρομή της έννοιας της έξυπνης υγείας

1.2.1 Η αρχή (1897)

Ως ένας από τους πιο ολοκληρωμένους τομείς της ψηφιακής υγείας, η τηλεϊατρική περιλαμβάνει τη χρήση ηλεκτρονικών μορφών επικοινωνίας (δηλαδή, τηλεφωνικές και βιντεοκλήσεις) για τη διενέργεια ιατρικής διάγνωσης. Σύμφωνα με τους Adam Darkins και Margaret Cary στο βιβλίο τους *Telemedicine and Telehealth: Principles, Policies, Performances and Pitfalls*, ήταν το 1897 που συνέβη η πρώτη τεκμηριωμένη τηλεϊατρική. Ένα παιδί διαγνώστηκε με Λαρυγγίτιδα - μια ιογενή λοίμωξη στους αεραγωγούς που χαρακτηρίζεται από έναν χαρακτηριστικό βήχα - κατά τη διάρκεια μιας τηλεφωνικής συνεννόησης με έναν γιατρό. Παρά την πρόωμη εμφάνισή του, μέχρι σχεδόν 9 δεκαετίες μετά από αυτό το περιστατικό, η διάγνωση μεγάλων αποστάσεων προοριζόταν για αποστολές στην Ανταρκτική και, αργότερα, για διαστημικές αποστολές [1].

1.2.2 Περίοδος ανάπτυξης (1950-1999)

Αυτή η περίοδος κυριαρχείται από την πλευρική δημιουργική σκέψη, την εποχή των διευθυντικών οραμάτων και των μαγικών αλλαγών. Δοκιμάζονται λύσεις «Ένα μέγεθος για όλους», που σχετίζονται με τις τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών (ΤΠΕ), αλλά και λύσεις που σχετίζονται με πολλούς τομείς της υγειονομικής περίθαλψης. Ωστόσο, η φύσκα του οραματισμού των ΤΠΕ δεν διατηρείται λόγω μιας γενικής αποσύνδεσης μεταξύ των κύριων ενδιαφερομένων των ΤΠΕ και της ιατρικής κοινότητας. Νέοι όροι γεννιούνται: Πληροφορική της υγείας (Health Informatics), Τηλεϊατρική (Telemedicine), Τηλεφροντίδα (Telecare), νέοι επαγγελματικοί σύλλογοι εμφανίζονται: International Medical Informatics Association (1989), American Telemedicine Association (1993), UK Telecare Services Association (1995), ΕΗΤΕΛ (1999), και πάροχοι πληροφοριών υγείας: WebMD(1996), Medline Plus(1998). Αυτοί οι οργανισμοί επηρέασαν σε μεγάλο βαθμό τη μετάβαση από τις παραδοσιακές μεθόδους υγειονομικής περίθαλψης σε πιο προηγμένα υποκατάστατα που βασίζονται στην τεχνολογία.

1.2.3 Περίοδος Ωρίμανσης (2000-2015)

Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, παρατηρούμε μια αυξανόμενη επιθυμία για ψηφιοποίηση της υγειονομικής περίθαλψης. Από τις αρχές του 21ου αιώνα, καθώς οι τεχνολογικές καινοτομίες, όπως ο παγκόσμιος ιστός, έγιναν πιο φιλικές προς τον χρήστη, οι

ασθενείς απέκτησαν ευκολότερη πρόσβαση στον κόσμο της ιατρικής. Ταυτόχρονα, άρχισαν να εμφανίζονται νέοι όροι στη σφαίρα της ψηφιακής υγείας, όπως **mHealth** (υγεία για κινητά), **eHealth** (ηλεκτρονική υγεία) και **Personalized Health**.

Η πρώτη δεκαετία αυτού του αιώνα ήταν επίσης τα γενέθλια της ψηφιακής θεραπείας. Αυτή η θεραπευτική επιλογή χρησιμοποιεί διαδικτυακές και ψηφιακές τεχνολογίες για την πρόληψη και τη θεραπεία ιατρικών και ψυχολογικών διαταραχών. Για παράδειγμα, η WellDoc, που ιδρύθηκε το 2005, είναι από τις πρώτες εταιρείες στον κλάδο της ψηφιακής θεραπείας.

Η εφεύρεση του Fitbit ήταν το αποκορύφωμα αυτής της περιόδου. Το 2007, αυτή η εταιρεία βρέθηκε να παράγει ασύρματες συσκευές γυμναστικής που βοηθούν τους χρήστες να παρακολουθούν την κατάσταση της υγείας τους, όπως τον καρδιακό ρυθμό και τις θερμίδες που καίγονται. Η Fitbit ξεκίνησε την εποχή των εμπορικών φορητών συσκευών στον τομέα της ψηφιακής υγείας. Αυτό ήταν ένα σημαντικό βήμα: η ψηφιακή υγεία δεν προοριζόταν πλέον για περιπετειώδεις, δαπανηρές αποστολές στο φεγγάρι ή στην Ανταρκτική όλοι μπορούσαν πλέον να το χρησιμοποιήσουν, ακόμη και στο σπίτι τους.

Αυτό που παρατηρείται τώρα είναι μια έντονη αλληλεπίδραση μεταξύ των ενδιαφερομένων και των βιομηχανιών και μια αναδυόμενη/εκρηκτική αγορά στο σταυροδρόμι μεταξύ των καταναλωτικών ψηφιακών τεχνολογιών, των ιατρικών συσκευών και της υγειονομικής περίθαλψης.

Ο κόσμος της ψηφιακής υγείας γεμίζει, όχι μόνο με εφαρμογές και φορητές συσκευές αλλά και με νέους παίκτες (φαρμακευτικές εταιρείες, ακαδημαϊκά ιδρύματα κ.λπ.). Οι πλατφόρμες αναδύονται επίσης - η πλατφόρμα M2M της Gemalto, το Connected Health της Microsoft, το HealthKit της Apple, καθώς και το Google Fit.

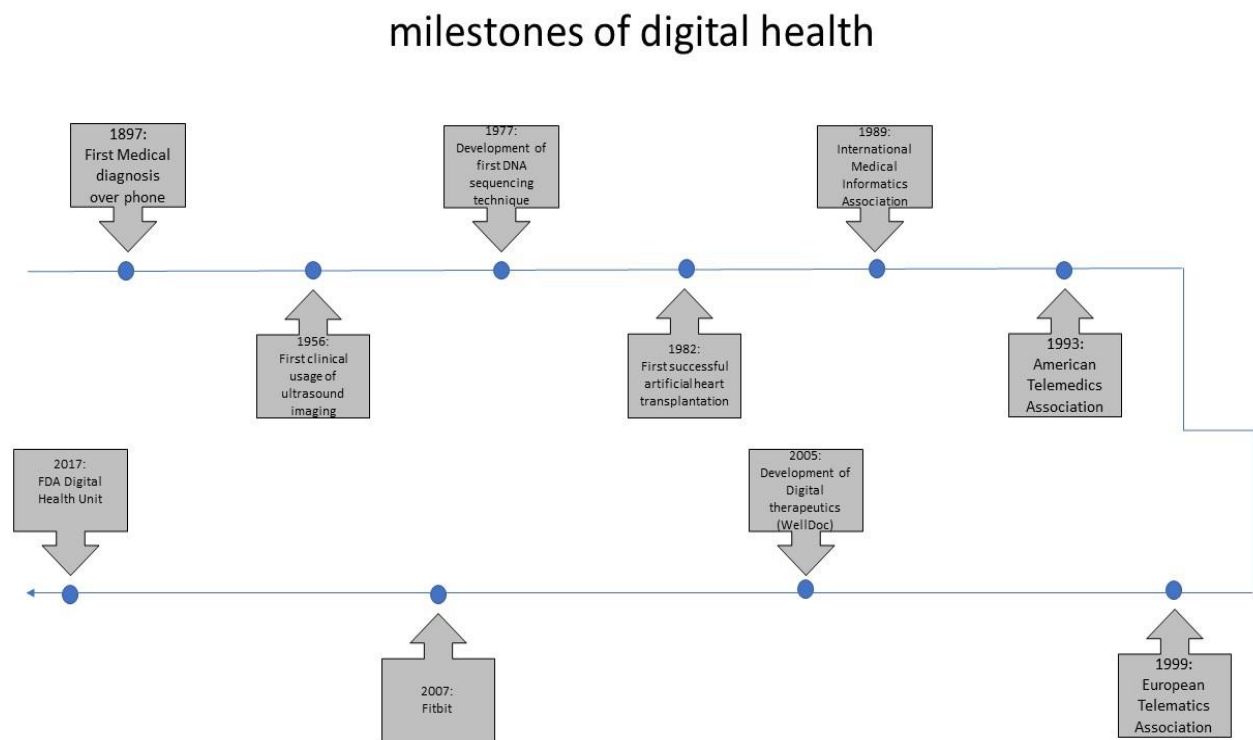
1.2.4 Προοπτική εξέλιξης

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας — από το 2010 έως το 2020 — η ψηφιακή υγεία έχει εξελιχθεί σε μια εντελώς αποδεκτή πορεία για την επίτευξη υψηλότερων προτύπων υγείας.

Σημαντικό ορόσημο στην ανάπτυξη της ψηφιακής υγείας ήταν η έναρξη λειτουργίας μιας ψηφιακής μονάδας υγείας από τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ (FDA) το

2017. Στόχος της μονάδας είναι να επεκτείνει τις ευκαιρίες για την ψηφιακή υγεία και να γίνει μέρος της γενικής υγειονομικής περίθαλψης. Η Μονάδα Ψηφιακής Υγείας του FDA έχει επιταχύνει τρομερά την ανάπτυξη και τη διανομή ψηφιακών τεχνολογιών υγείας.

Οι επενδύσεις στην ψηφιακή υγεία εκτοξεύονται σε αυτήν την εποχή: από 4,1 δισεκατομμύρια δολάρια το 2014 σε 9,4 δισεκατομμύρια δολάρια το 2020. Με άλλα λόγια, το πολλά υποσχόμενο μέλλον της ψηφιακής υγείας γίνεται πιο εμφανές στο ευρύ κοινό. Με την ανάπτυξη των τεχνολογικών καινοτομιών σε αυτήν την εποχή, βλέπουμε την ψηφιακή υγεία να εξελίσσεται σε μια αυτόνομη αγορά — μια αγορά που βελτιώνει τις ελπίδες για την επίτευξη πιο ανταποκρινόμενης και βιώσιμης υγειονομικής περίθαλψης [2].



Σχήμα 1: milestones of digital health 1

1.3 Internet of Medical Things

1.3.1 Το διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things)

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι μια τεχνολογική επανάσταση που αντιπροσωπεύει το μέλλον των υπολογιστών και των επικοινωνιών, και η ανάπτυξή του εξαρτάται από τη

δυναμική τεχνολογική καινοτομία σε διάφορα σημαντικά πεδία, από ασύρματους αισθητήρες μέχρι και νανοτεχνολογία. Τεχνικά, η αρχιτεκτονική βασίζεται σε εργαλεία επικοινωνίας δεδομένων, κυρίως στοιχεία με ετικέτα RFID (Αναγνώριση Ραδιοσυχνοτήτων).

Ο σκοπός του Διαδικτύου των Πραγμάτων συνίσταται στη διευκόλυνση της ανταλλαγής πληροφοριών σχετικά με, μεταξύ άλλων, αγαθά σε παγκόσμια δίκτυα εφοδιαστικής αλυσίδας, δηλαδή η υποδομή πληροφορικής θα πρέπει να παρέχει πληροφορίες σχετικά με "πράγματα" με ασφαλή και αξιόπιστο τρόπο. Επέκταση του αρχικού πεδίου εφαρμογής, η παρτίδα μπορεί επίσης να χρησιμεύσει ως ραχοκοκαλιά για πανταχού παρόντες υπολογιστές, επιτρέποντας το smart περιβάλλοντα για αναγνώριση και αναγνώριση αντικειμένων και ανάκτηση πληροφορίες από το Διαδίκτυο για τη διευκόλυνση της προσαρμογής τους λειτουργικότητα.

1.3.2 Το διαδίκτυο των ιατρικών πραγμάτων (Internet of Medical Things)

Το IoMT είναι μια συνδεδεμένη υποδομή ιατρικών συσκευών, εφαρμογών λογισμικού και συστημάτων και υπηρεσιών υγείας.

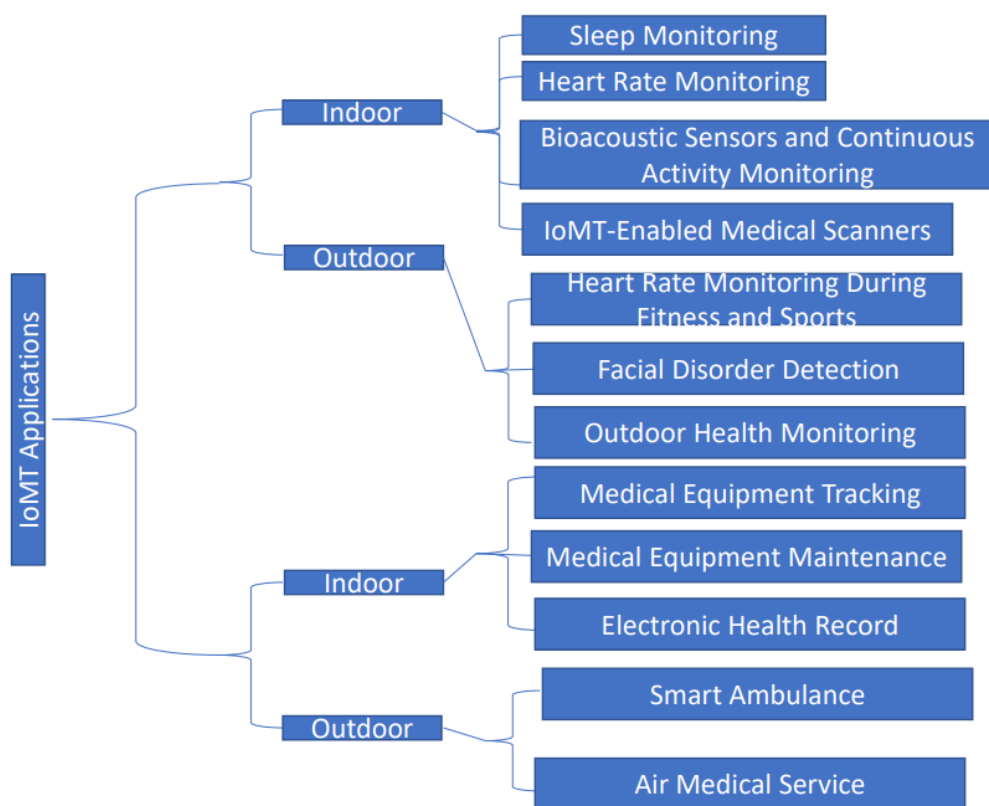
Και ενώ η αυξανόμενες περιστάσεις και η γενική υιοθέτηση των τεχνολογιών IoT ωφελούν πολλές βιομηχανίες, είναι ένα κύμα εργαλείων που βασίζονται σε αισθητήρες - συμπεριλαμβανομένων φορητών συσκευών και αυτόνομων συσκευών για απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών - και ο συνδυασμός ιατρικών συσκευών που συνδέονται στο διαδίκτυο με πληροφορίες ασθενών που τελικά ξεχώρισε το οικοσύστημα IoMT.

Η άνοδος του IoMT οφείλεται στην αύξηση του αριθμού των συνδεδεμένων ιατρικών συσκευών που είναι σε θέση να δημιουργούν, να συλλέγουν, να αναλύουν ή να μεταδίδουν δεδομένα ή εικόνες υγείας και να συνδέονται με δίκτυα παρόχων υγειονομικής περίθαλψης, μεταδίδοντας δεδομένα είτε σε cloud είτε σε εσωτερικούς διακομιστές.

Τελικά, αυτή η συνδεσιμότητα μεταξύ ιατρικών συσκευών και αισθητήρων εξορθολογίζει τη διαχείριση της ροής της κλινικής εργασίας και οδηγεί σε συνολική βελτίωση της φροντίδας των ασθενών, τόσο εντός των τοίχων της μονάδας φροντίδας όσο και σε απομακρυσμένες τοποθεσίες.

1.4 Εφαρμογές συστημάτων του διαδικτύου των ιατρικών πραγμάτων

Οι εφαρμογές των τεχνολογιών IoT είναι πολλαπλές και προσαρμόσιμες σε σχεδόν κάθε τεχνολογία που είναι ικανή να παρέχει σχετικές πληροφορίες για τη δική της λειτουργία, για την απόδοση μιας δραστηριότητας ακόμα και για τις περιβαλλοντικές συνθήκες που πρέπει να παρακολουθούμε και να ελέγχουμε εξ αποστάσεως. Στην περίπτωση του δικτύου των ιατρικών πραγμάτων χωρίζουμε αυτές τις τεχνολογίες σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στις τεχνολογίες με επίκεντρο το σώμα (σωματοκεντρικές) και αυτές με επίκεντρο τα αντικείμενα (αντικειμενοκεντρικές).



Σχήμα 2: IoMT applications 1

1.5 Body-centric Συστήματα σωματομετρικά

Οι σωματοκεντρικές εφαρμογές αναφέρονται σε συστήματα υγειονομικής περίθαλψης ή συσκευές που παράγουν ψυχολογικά δεδομένα με άμεση αλληλεπίδραση με το ανθρώπινο σώμα. Στη συνέχεια, τα δεδομένα που αποκτήθηκαν, υποβάλλονται σε επεξεργασία και αποστέλλονται στους φροντιστές για ιατρική ανάλυση.

Τα ιατρικά wearable και non-wearable είναι κοινά παραδείγματα σωματοκεντρικών εφαρμογών. Τα ιατρικά wearables είναι οι έξυπνες συσκευές ανίχνευσης που μπορούν να φορεθούν σε ένα ανθρώπινο σώμα ως εμφυτεύματα ή αξεσουάρ. Ενώ, τα non-wearable είναι οι έξυπνες συσκευές ανίχνευσης που δεν μπορούν να είναι φοριέται σε ανθρώπινα σώματα. Με βάση το περιβάλλον, οι σωματοκεντρικές εφαρμογές χωρίζονται σε δύο γκρουπ, εσωτερικού και εξωτερικού χώρου.

1.5.1 Body-centric εφαρμογές εσωτερικού χώρου

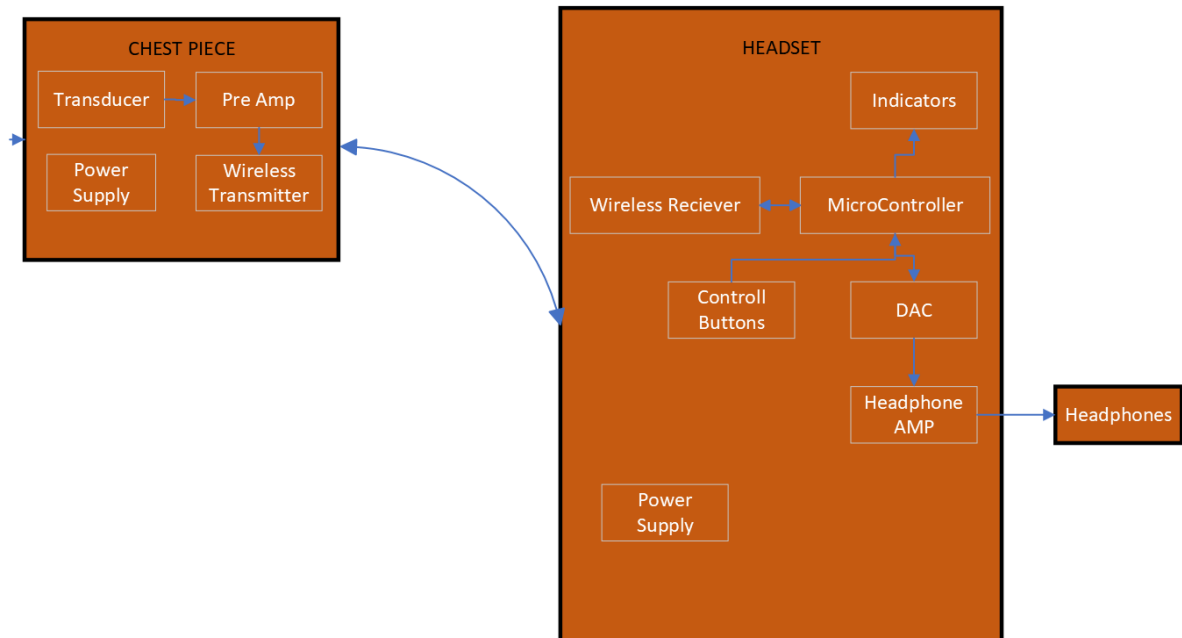
Το ΙοMT εγκαινιάζει την υγειονομική περίθαλψη σε εσωτερικούς χώρους με πολλά υποσχόμενες δυνατότητες επιτυχίας λόγω των ευφών τεχνολογιών επικοινωνίας. Μερικές από τις έξυπνες λύσεις παρακολούθησης εσωτερικού χώρου που χρησιμοποιούν νέες και οι καινοτόμες ιδέες ΙοMT παρατίθενται παρακάτω.

Βιο-ακουστικοί αισθητήρες και παρακολούθηση συνεχούς δραστηριότητας

Με τις εξελίξεις στην κινητή επικοινωνία και ΙοT, έχουν αναπτυχθεί διάφοροι νέοι βιοακουστικοί αισθητήρες για την παρακολούθηση του σώματος με βάση τους ήχους, αναπνοή, αρτηριακή πίεση και τους καρδιακούς παλμούς. Σε μια μελέτη των G.A. Mills, T.A. Nketia, I.A. Orpong, E.E. Kaufmann, [3], εισήχθη ένα στηθοσκόπιο Bluetooth, για την επεξεργασία βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων σωματικών ήχων. Για παράδειγμα, επινοήθηκε ένας βιο-ακουστικός αισθητήρας για την παρακολούθηση της γαστρεντερικής δραστηριότητας μετά από χειρουργική επέμβαση για άτομα που χάνουν τη μυϊκή τους δύναμη στο πεπτικό σύστημα και έχουν προβλήματα κινητικότητας.

Οι τακτικές επισκέψεις ασθενών και η ακρόαση με αναλογικό στηθοσκόπιο είναι οι παραδοσιακοί τρόποι παρατήρησης δραστηριότητας του εντέρου. Αντ' αυτού, χρησιμοποιήθηκε ένας ψηφιακός βιο-ακουστικός αισθητήρας σε συνδυασμό με πρωτόκολλα ΙοMT για την ανίχνευση της δραστηριότητας του εντέρου και την αποστολή δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασία [4]. Ομοίως, σε άλλη μελέτη, οι ερευνητές ανέπτυξαν ένα ηλεκτρονικό στηθοσκόπιο που χρησιμοποιεί δύο μικρόφωνα, το ένα για περιβαλλοντικό θόρυβο και ένα για ήχους σώματος [5]. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσαν να είναι σε θέση να εξαλείψουν παρεμβολή περιβαλλοντικών ήχων από ήχους σώματος.

Επίσης, αντί για πρωτόκολλο Bluetooth, χρησιμοποιούσαν ZigBee για ασύρματη επικοινωνία. Παρόλο που το Bluetooth είναι η κορυφαία ασύρματη τεχνολογία για ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η επικοινωνία που βασίζεται στο ZigBee είναι πιο αξιόπιστη και προσφέρει καλύτερη επικοινωνιακή απόδοση.



Σχήμα 3: Bluetooth stethoscope implementation

Παρακολούθηση καρδιακών παλμών

Ακρόαση καρδιακού ήχου, μεταβλητότητα καρδιακού ρυθμού και ηλεκτροκαρδιογράφημα είναι οι κοινές τεχνικές παρακολούθησης για καρδιακές παθήσεις. Σχεδιάστηκαν διάφορες συσκευές που είναι κατάλληλες για σωματοκεντρικές εφαρμογές. Οι Y. Tang, G. Cao, H. Li, K. Zhu, [6] ανέπτυξαν ένα ηλεκτρονικό στηθοσκόπιο για την παρακολούθηση της καρδιάς, το οποίο αφού συγκεντρώσει τα σήματα, ένας ενσωματωμένος επεξεργαστής χρησιμοποιείται για τη δειγματοληψία σημάτων και την εμφάνισή τους σε οθόνη LCD. Στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά μεταδίδονται σε υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία χρησιμοποιώντας τεχνολογία Bluetooth.

Συνήθως, οι συσκευές που αναφέρθηκαν προηγουμένως είναι κατάλληλες για υποβοηθούμενη υγειονομική περίθαλψη. Σε άλλη μελέτη, οι C. Aguilera-Astudillo, M. Chavez-Campos, A. Gonzalez-Suarez, J.L. Garcia-Cordero [7] επινόησαν ένα νέο

τριδιάστατο εκτυπωμένο (3D printed) στηθοσκόπιο χαμηλού κόστους που μπορεί να συνδεθεί με ένα smartphone. Αυτή η συσκευή χρησιμοποιείται εύκολα από χρήστες χωρίς ιδιαίτερες γνώσεις για την παρακολούθηση της υγείας τους. Οι χρήστες μπορούν επίσης να εκτελέσουν διάφορες δοκιμές σε παρατηρούμενα σήματα χρησιμοποιώντας μια εφαρμογή για κινητά και στέλνοντας δεδομένα στο γιατρό τους για διάγνωση.

Παρακολούθηση ύπνου

Τα συστήματα παρακολούθησης ύπνου χρησιμοποιούνται συνήθως στα νοσοκομεία λόγω του υψηλού κόστους εξοπλισμού. Με το IoMT, οι ειδικοί γιατροί μπορούν να παρακολουθούν εξ αποστάσεως, επίσης να παρατηρούν το σώμα, την στάση και την αναπνευστική λειτουργία των ασθενών. Η πολυσωμογραφία (PSG) είναι μια τυπική μέθοδος που χρησιμοποιείται συνήθως για την παρακολούθηση της αποφρακτικής άπνοιας ύπνου (OSA). Μερικές φορές οι ασθενείς για να κάνουν την παραπάνω εξέταση, πρέπει να περιμένουν για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, λόγω έλλειψης διαθεσιμότητας εργαστηρίων ύπνου στα νοσοκομεία.

Επίσης, οι συνθήκες ύπνου και η περιορισμένη κινητικότητα των ασθενών σε περιβάλλον εργαστηρίου μπορεί να αλλάξει τα πρότυπα ύπνου τους και να προκαλέσει λανθασμένες διαγνώσεις. Επομένως, η εκτέλεση PSG στο σπίτι των ασθενών, θα μπορούσε να είναι πιο πρόσφορη. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, οι C. Lin, M. Prasad, C. Chung, D. Puthal, H. El-Sayed, S. Sankar, Y. Wang, J. Singh, A.K. Sangaiiah [8] ανέπτυξαν ένα φορητό ασύρματο χαμηλής κατανάλωσης, βασισμένο στο IoMT σύστημα πολυσωμογραφίας, που μπορούσε να λειτουργήσει έως και 16-20 ώρες. Συνέκριναν τα PSG συστήματα με ασύρματο σύστημα PSG που βασίζεται στο IoT και πραγματοποίησαν πειράματα σε ασθενείς. Τα ευρήματα έδειξαν ότι τα ασύρματα συστήματα PSG που βασίζονται στο IoMT ήταν πιο αξιόπιστα για την άπνοια ύπνου.

ΙΑτρικοί σαρωτές με δυνατότητα IoMT

Το IoMT έχει δημιουργήσει νέες ευκαιρίες για τις περιοχές όπου οι εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης δεν είναι κατάλληλα εξοπλισμένες ή δεν είναι διαθέσιμες. Για παράδειγμα, στις περισσότερες από τις αναπτυσσόμενες χώρες, το 75% των ακτινολόγων είναι σε αστικές περιοχές. Γι' αυτό, υπάρχει ανάγκη για φορητές συσκευές ακτινογραφίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία εικόνων εσωτερικών οργάνων και την

αποστολή δεδομένων σε ειδικούς ιατρούς. Με τη βοήθεια της Τεχνητής Νοημοσύνης, αυτά τα συστήματα μπορούν επίσης να ανιχνεύσουν ανωμαλίες και να βοηθήσουν τους ακτινολόγους να σώσουν ζωές.

Η υπερηχογραφία είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία απεικόνισης. Οι G. Kim, C. Yoon, S. Kye, Y. Lee, J. Kang, Y. Yoo, T. Song ανέπτυξαν ένα φορητό σύστημα υπερήχων χαμηλού κόστους για εφαρμογές σημείου φροντίδας (POC) [9]. Λειτουργεί ως αυτόνομη συσκευή που χρησιμοποιεί μια ενιαία Συστοιχία Προγραμματιζόμενης Πύλης Πεδίου (FPGA). Το σύστημα μπορεί να μεταφέρει εικόνες απευθείας σε άλλα συστήματα μέσω εξωτερικής μνήμης, χωρίς να απαιτείται καμία μονάδα επεξεργασίας βίντεο. Παρέχει απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο στα 30 καρέ ανά δευτερόλεπτο. Το σύστημα λειτουργεί με μπαταρία, η οποία μπορεί να διαρκέσει έως και 1,5 ώρα. Ως εκ τούτου, προσφέρει βελτιωμένη ευελιξία για εφαρμογές POC.

Για τις αγροτικές περιοχές, όπου υπάρχει έλλειψη ακτινολόγων, η τηλε-ακτινολογία με χρήση συσκευών υπερήχων με δυνατότητα IoMT είναι ευεργετική. Ωστόσο, η συνεχής ασύρματη σύνδεση για αυτά τα συστήματα ενδέχεται να μην είναι δυνατή. Για τέτοιες περιστάσεις, οι K. Divya Krishna, V. Akkala, R. Bharath, P. Rajalakshmi, A.M. Mohammed, S.N. Merchant, U.B. Desai δημιούργησαν μια φορητή συσκευή υπερήχων με διάγνωση μέσω υπολογιστή (CAD) [10]. Αυτό το σύστημα ήταν μια τροποποιημένη έκδοση του σαρωτή που αναπτύχθηκε στο [9].

1.5.2 Body-centric εφαρμογές εξωτερικού χώρου

Τα προηγμένα πρωτόκολλα IoMT και τα πρότυπα επικοινωνίας επιτρέπουν βελτιωμένη επικοινωνία για υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης σε εξωτερικούς χώρους. Μερικές από τις λύσεις έξυπνης παρακολούθησης για υπαίθρια υγειονομική περίθαλψη που χρησιμοποιούν νέες και καινοτόμες ιδέες IoMT παρατίθενται παρακάτω.

Παρακολούθηση καρδιακού ρυθμού σε εξωτερικό χώρο

Το IoMT όχι μόνο επέτρεψε στους ανθρώπους να παρακολουθούν τον καρδιακό ρυθμό σε εσωτερικούς χώρους αλλά και σε εξωτερικούς χώρους. Όταν πρόκειται για έντονες σωματικές δραστηριότητες όπως προπόνηση φυσικής κατάστασης ή αθλήματα, η παρακολούθηση του καρδιακού ρυθμού είναι το βασικό εργαλείο για την αξιολόγηση της

κατάστασης του καρδιαγγειακού συστήματος. Η ένταση της σωματικής δραστηριότητας αυξάνει τον καρδιακό ρυθμό [11]. Επομένως, είναι ζωτικής σημασίας να παρακολουθείτε τη ζώνη καρδιακών παλμών (HRZ) κατά τη διάρκεια έντονων δραστηριοτήτων. Έξυπνα ρολόγια και συσκευές Bluetooth είναι διαθέσιμα για παρακολούθηση καρδιακού ρυθμού τόσο για εξωτερικό όσο και για εσωτερικό περιβάλλον.

Η φωτοπλαστικογραφία είναι μια απλή μέθοδος για τη μέτρηση των διακυμάνσεων του όγκου του αίματος σε μικρά αγγεία [12]. Ο καρδιακός παλμός μεταβάλλει τον όγκο του αίματος που διέρχεται από τα μικρά αγγεία του δέρματος. Το δέρμα φωτίζεται με πηγή φωτός και η ένταση του φωτός που διαδίδεται μετριέται με φωτοανιχνευτή.

Οι αλλαγές στον όγκο του αίματος προκαλούν διακυμάνσεις στην ένταση του φωτός που διαδίδεται. Αυτές οι παραλλαγές αναλύονται για να εξαχθεί ο καρδιακός παλμός. Το PulseOn και το MioLINK είναι οι δύο κορυφαίες οθόνες παρακολούθησης καρδιακών παλμών που φοριούνται στον καρπό και χρησιμοποιούν φωτοπλαστικογραφία. R. Delgado-Gonzalo, J. Parak, A. Tarniceriu, P. Renevey, M. Bertschi, I. Korhonen [13] συνέκρινε αυτές τις συσκευές παρακολούθησης HR για να αξιολογήσει την ακρίβεια και την αξιοπιστία τους για υπαίθριες δραστηριότητες (ξεκούραση, τρέξιμο, περπάτημα και ποδηλασία). Με βάση τα ευρήματά τους, οι οθόνες PulseOn ήταν 94,5% αξιόπιστες με ακρίβεια 96,6%, ενώ το Mio LINK ήταν 86,6% αξιόπιστο με ακρίβεια 94,3% [13].

Ανίχνευση διαταραχών προσώπου

Είναι επίσης δυνατή η ανάπτυξη φορητών συσκευών παρακολούθησης για τον εντοπισμό και τη διάγνωση παθήσεων του δέρματος του προσώπου. Η εγκατάσταση τέτοιων συσκευών στην είσοδο νοσοκομείων, σχολείων ή δημόσιων χώρων μπορεί να βοηθήσει στην έγκαιρη διάγνωση τέτοιων διαταραχών ή να αποτρέψει τις περιττές επισκέψεις στο νοσοκομείο.

Στην μηχανική όραση, η τεχνική ανίχνευσης προσώπου προσφέρει μεγάλες δυνατότητες σε εφαρμογές παρακολούθησης και επιτήρησης [14]. Το 2016, μια τεχνική ανίχνευσης διαταραχών προσώπου σε πραγματικό χρόνο (RFDD) προτάθηκε από τον Al-Turjman [15]. Σε αυτή τη μελέτη, ανέπτυξε μια τεχνική που ανιχνεύει και τμηματοποιεί τη μολυσμένη περιοχή του προσώπου. Η προτεινόμενη τεχνική ήταν επίσης αποτελεσματική και χρήσιμη για την ανίχνευση του κρυολογήματος, της γρίπης και της θερμοκρασίας του προσώπου. Σε

πολυούχναστα μέρη όπως νοσοκομεία, σιδηροδρομικούς σταθμούς ή αεροδρόμια, το RFDD θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό ατόμων με μεταδοτικές ασθένειες και την πρόληψη της εξάπλωσής τους μεταξύ των ανθρώπων [16,17].

Παρακολούθηση Υπαιθρίας Υγείας

Αυτά τα έξυπνα συστήματα επιτρέπουν την παρακολούθηση ασθενών στο σπίτι ή σε εξωτερικούς χώρους. Οι αισθητήρες συμβατοί με κινητό τηλέφωνο μπορούν να παρακολουθούν ασθενείς με χρόνιες παθήσεις, υψηλή αρτηριακή πίεση και πυρετό. Εάν υπάρχει οποιαδήποτε ανωμαλία, οι συσκευές παρακολούθησης προειδοποιούν σχετικά τον ιατρό μέσω εφαρμογής για φορητές συσκευές. Οι A. Abdullah, A. Ismael, A. Rashid, A. Abou-Elmour, M. Tarique [18] ανέπτυξαν ένα ασύρματο σύστημα παρακολούθησης της υγείας σε πραγματικό χρόνο. Το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να ανιχνεύσει τις παθήσεις της υγείας του ασθενούς όπως ο καρδιακός παλμός, η αρτηριακή πίεση, η θερμοκρασία, οι μύες και το επίπεδο γλυκόζης. Μπορεί επίσης να αποθηκεύσει τα δεδομένα για μελλοντικές αναφορές. Σε καταστάσεις που απειλούν τη ζωή, το σύστημα μπορεί να ειδοποιήσει τους ειδικούς γιατρούς για έγκαιρη διάγνωση. Αυτό το σύστημα λειτουργεί πολύ γρήγορα, προσφέρει υψηλή απόδοση και ακρίβεια.

Για ηλικιωμένους ασθενείς, έχει παρουσιαστεί ένα σύστημα παρακολούθησης υγείας σε πραγματικό χρόνο που βασίζεται σε φορητές συσκευές στο [19] για εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Χρησιμοποιείται ένας φορητός βιοαισθητήρας για την συλλογή των φυσικών δεδομένων του ασθενούς, τα οποία στη συνέχεια μεταδίδονται στον ευφυή διακομιστή μέσω GPRS για περαιτέρω ανάλυση.

Οι απομακρυσμένοι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα που συλλέγονται μέσω διαδικτυακής εφαρμογής. Το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να παρακολουθεί τα ζωτικά στοιχεία και τη θέση ενός ασθενούς.

1.6 Object-centric συστήματα αντικειμενομετρικά

Σε αντίθεση με τις σωματοκεντρικές εφαρμογές, οι αντικειμενοκεντρικές εφαρμογές δεν σχετίζονται άμεσα με το ανθρώπινο σώμα. Ωστόσο, οι αντικειμενοκεντρικές εφαρμογές αναφέρονται σε λύσεις και υπηρεσίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά, για τη βελτίωση της παροχής υγειονομικής περίθαλψης. Ένα βασικό παράδειγμα

αντικειμενοκεντρικών εφαρμογών είναι το σύστημα διαχείρισης νοσοκομείων. Με βάση το περιβάλλον χωρίζονται και αυτές σε δύο κατηγορίες, εσωτερικού και εξωτερικού χώρου.

1.6.1 Object-centric αντικειμενοκεντρικές εφαρμογές εσωτερικού χώρου

Παρακολούθηση ιατρικού εξοπλισμού

Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, απαιτείται ο άμεσος εντοπισμός ιατρικών μηχανημάτων και εξοπλισμού. Η τεχνολογία ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID) θεωρείται μια από τις πιο αξιόπιστες και αποτελεσματικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για εντοπισμό σε εσωτερικούς χώρους. Επιτρέπει στις συσκευές να αναγνωρίζουν αντικείμενα και να καταγράφουν δεδομένα μέσω ραδιοκυμάτων. Το RFID αποτελείται από ετικέτες RFID και αναγνώστες. Οι ετικέτες είναι οι αναμεταδότες (μικροτσιπ με κεραία) που λειτουργούν ως αναγνωριστικό προσαρτημένο σε ένα αντικείμενο. Και οι αναγνώστες (πομποί/δέκτες), επικοινωνούν με την ετικέτα χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα. Μερικές από τις εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης της τεχνολογίας RFID είναι συστήματα παρακολούθησης εξοπλισμού. Οι M.-H. Tsai, C.-S. Pan, C.-W. Wang, J.-M. Chen, C.-B. Kuo [20] ανέπτυξαν ένα σύστημα παρακολούθησης εξοπλισμού RFID που βοηθά το ιατρικό προσωπικό να εντοπίζει και να παρακολουθεί γρήγορα τον εξοπλισμό υγειονομικής περίθαλψης. Το προτεινόμενο σύστημα βελτίωσε την ποιότητα των υπηρεσιών, την απόδοση της εργασίας και τον έλεγχο των αποθεμάτων.

Συντήρηση Ιατρικού Εξοπλισμού

Οι συσκευές IoMT παρέχουν λύσεις για τη συντήρηση εξοπλισμού υγειονομικής περίθαλψης. Οι C. Wang, H.T. Vo, P. Ni, ανέπτυξαν μια εφαρμογή IoMT που μπορεί να ανιχνεύσει σφάλματα σε ιατρικές συσκευές [21]. Η προτεινόμενη εφαρμογή μπορεί να ανακαλύψει την αιτία του προβλήματος και μετά τον εντοπισμό των σφαλμάτων σε συγκεκριμένες συσκευές, η εφαρμογή μπορεί να προβλέψει σφάλματα σε άλλες σχετικές συσκευές χρησιμοποιώντας τα κοινά τους χαρακτηριστικά. Επομένως, μπορούν να δημιουργηθούν έγκαιρες προειδοποιήσεις για την αποφυγή μελλοντικών αστοχιών. Ομοίως, ο Jamal Maktoubian και ο Keyvan Ansari παρουσίασαν μια αρχιτεκτονική IoMT για προληπτική συντήρηση και επιθεώρηση ιατρικών συσκευών [22]. Σε αυτή τη μελέτη, πρότειναν ένα πλαίσιο το οποίο θα μπορούσε να ανιχνεύσει το σφάλμα και να παρακολουθεί την κατάσταση των ιατρικών συσκευών χρησιμοποιώντας τεχνολογίες μεγάλων δεδομένων

και IoMT. Συνήθως, οι τεχνικοί παρακολουθούν έναν μικρό αριθμό συσκευών κάθε φορά. Ωστόσο, το προτεινόμενο πλαίσιο μπορεί να παρακολουθεί ταυτόχρονα μεγαλύτερο αριθμό συσκευών.

Ηλεκτρονικός φάκελος υγείας

Το σύστημα μελάνης και χαρτιού είναι ο παραδοσιακός τρόπος διαχείρισης της ιατρικών εγγραφών. Η υιοθέτηση ηλεκτρονικών ιατρικών αρχείων (EHR) αλλάζει το παιχνίδι στα έξυπνα νοσοκομεία. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά ιατρικά αρχεία, το σύστημα EHR προσφέρει ένα ενιαίο μέρος για τη διατήρηση όλων των πληροφοριών. Οι πληροφορίες είναι εύκολα προσβάσιμες και κοινοποιημένες στα ενδιαφερόμενα άτομα. Βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια της υγειονομικής περίθαλψης, τα συστήματα EHR μπορούν να σώσουν εκατομμύρια ζωές. Διαφορετικοί τύποι EHR έχουν εφαρμοστεί σε ιατρικά κέντρα. Το πρώτο σύστημα EHR, γνωστό ως σύστημα κλινικών πληροφοριών, αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1960 από τη Lockheed, το οποίο αργότερα παραδόθηκε σε άλλες ιατρικές εταιρείες [23]. Σήμερα, πιο προηγμένα συστήματα EHR έχουν αναπτυχθεί από τον ακαδημαϊκό χώρο και τα νοσοκομεία. Επιπλέον, το IoMT διαδραματίζει έναν εξελικτικό ρόλο στην πρόοδο των συστημάτων EHR.

1.6.2 Object-centric αντικειμενοκεντρικές εφαρμογές εξωτερικού χώρου

Το IoMT μπορεί να προσφέρει αποτελεσματικότητα για υπαίθριες υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης. Οι βελτιωμένες υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε καλύτερη ασφάλεια και δυνατότητα μείωσης του αριθμού των περιστατικών. Ακολουθούν μερικές από τις προηγμένες ιδέες υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης και επιβίωσης που βασίζονται στο IoMT.

Έξυπνο ασθενοφόρο

Η ταχεία απόκριση σε επείγουσα ιατρική κατάσταση είναι κρίσιμη για την αποφυγή απωλειών. Υπό αυτές τις συνθήκες, η ταχύτερη πρόσβαση στα νοσοκομεία είναι ένα σοβαρό ζήτημα. Οι S. Sivaraaj, K. Vigneshwaran, S. Vigneshwaran, M.V. Priyan [24] πρότειναν μια ιδέα IoMT που αποτελείται από δύο μέρη. Πρώτον, οι συσκευές IoMT παρατηρούν τα ζωτικά στοιχεία ενός ασθενούς μέσα στο ασθενοφόρο και στέλνουν πληροφορίες στο νοσοκομείο για προσunenνόηση. Δεύτερον, για την αποφυγή καθυστερήσεων, το σύστημα

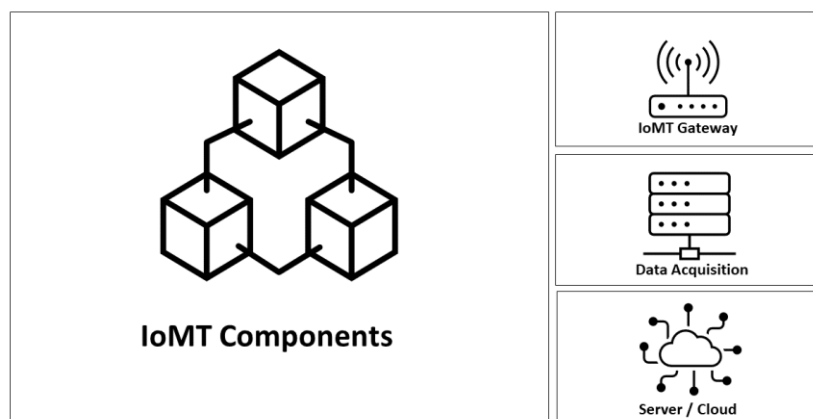
αλλάζει αυτόματα τα φανάρια και καθαρίζει τη διαδρομή του ασθενοφόρου. Μια άλλη μελέτη στοχεύει να βρει την ταχύτερη διαδρομή για το ασθενοφόρο [25]. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) χρησιμοποιήθηκαν στην προτεινόμενη μελέτη για την παρακολούθηση της οδικής κατάστασης. Οι πληροφορίες που προέρχονται από αυτούς τους κόμβους ανίχνευσης χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της ταχύτερης διαδρομής για το ασθενοφόρο.

Air Medical Service

Λόγω της αύξησης του πληθυσμού, η οδική κυκλοφορία αυξάνεται δραματικά παγκοσμίως, γεγονός που προκαλεί καθυστερήσεις στη μεταφορά ασθενών στα νοσοκομεία. Η αεροπορική ιατρική ή η αεροπορική υπηρεσία μεταφοράς είναι μια εναλλακτική λύση. Η χρήση ελικοπτέρων, είναι κοινή στην αεροπορική ιατρική στις ανεπτυγμένες χώρες. Σε υπανάπτυκτες χώρες, η υπηρεσία αυτή αποκλείεται λόγω του υψηλού κόστους της. Ωστόσο, έχει εκδηλώσει σημαντικές βελτιώσεις στη νοσηρότητα και τη θνησιμότητα για τις ανεπτυγμένες χώρες. Το πρώτο αεροπορικό ασθενοφόρο που διατέθηκε στο κοινό σε μια υπό αναπτυσσόμενη χώρα ήταν στις 12 Ιανουαρίου 2010 στην Αϊτή μετά από ένα τεράστιο περιστατικό σεισμού [26]. Τον πρώτο χρόνο λειτουργίας του μεταφέρθηκαν 76 ασθενείς. Στις μέρες μας, επιπρόσθετα ασθενοφόρα έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται ειδικά για τη μεταφορά καρδιοπαθών [27].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Αρχιτεκτονική συστημάτων διαδικτύου των ιατρικών πραγμάτων

Το οικοσύστημα IoMT αποτελείται από τρία κύρια στοιχεία, την απόκτηση δεδομένων, την πύλη επικοινωνίας και τον διακομιστή/cloud. Το σχήμα 4 δείχνει τη σύνδεση μεταξύ των στοιχείων IoMT και των συγκεκριμένων λειτουργιών τους.



Σχήμα 4: Κύρια στοιχεία του IoMT 1

Η απόκτηση δεδομένων είναι το πρώτο συστατικό του IoMT που εξαρτάται σημαντικά από τους αισθητήρες και τους χρήστες. Τα δεδομένα από τους ασθενείς συλλέγονται μέσω αισθητήρων και υποβάλλονται σε στάδια προεπεξεργασίας πριν αποσταλούν στον διακομιστή/cloud. Για την εξαγωγή και την ταξινόμηση χρήσιμων πληροφοριών εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές επεξεργασίας δεδομένων. Αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται στη συνέχεια από ειδικούς γιατρούς για περαιτέρω ανάλυση. Τα δεδομένα μεταξύ των στοιχείων και του χρήστη ανταλλάσσονται μέσω πυλών επικοινωνίας. Σε αυτήν την ενότητα, επεξηγούνται και τα τρία στοιχεία του IoMT και τα χαρακτηριστικά τους.

2.1 Απόκτηση Δεδομένων

Στο IoMT, η απόκτηση δεδομένων είναι μια διαδικασία απόκτησης βιολογικών δεδομένων για χρήσιμες εφαρμογές. Τα δεδομένα συλλέγονται συνήθως από βιο-αισθητήρες που υπάρχουν με τη μορφή αναλογικών σημάτων. Τις περισσότερες φορές, η συχνότητα των βιολογικών σημάτων είναι γεμάτη θόρυβο λόγω της φύσης αυτών των δεδομένων. Επομένως, αυτά τα σήματα υποβάλλονται σε προεπεξεργασία και ψηφιοποίηση. Η προεπεξεργασία

περιλαμβάνει λειτουργίες ενίσχυσης και φιλτραρίσματος. Κατά τη λήψη δεδομένων, είναι επιτακτική ανάγκη να διασφαλιστεί, ότι οι πληροφορίες είναι καλά διατηρημένες και ότι δεν χάνονται, διαφορετικά θα μπορούσε να οδηγήσει σε λανθασμένες αποφάσεις κατά τη διάγνωση.

2.1.1 Βιο-αισθητήρες

Οι βιοαισθητήρες είναι οι ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για την απόκτηση βιοϊατρικών σημάτων. Οι βιοαισθητήρες μπορούν να μεταμορφώσουν σημαντικά το παραδοσιακό σύστημα υγειονομικής περίθαλψης συνδέοντας τους ανθρώπους με το σύστημα υγείας. Αυτές οι έξυπνες συσκευές μπορούν να δημιουργήσουν έναν απίστευτο όγκο δεδομένων και να τον μεταδώσουν στους φροντιστές. Στο IoMT, οι βιοαισθητήρες ταξινομούνται σε φορετές (wearable) και μη φορετές (non-wearable) τεχνολογίες.

2.1.1.1 Φορετοί βιο-αισθητήρες (on-body wearables)

Η τεχνολογία Wearable είναι μια κατηγορία έξυπνων συσκευών ανίχνευσης που μπορούν να φορεθούν σε ανθρώπινο σώμα ως εμφυτεύματα ή αξεσουάρ. Αυτές οι συσκευές προσφέρουν μεγάλες δυνατότητες παραγωγής δεδομένων και επικοινωνίας με άλλες συσκευές χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Μερικές από τις πιο δημοφιλείς τεχνολογίες φορετών συσκευών είναι οι εξής:

Ακουστικά Βαρηκοΐας

Είναι μικρές ηλεκτρονικές συσκευές που φοριούνται πίσω από τα αυτιά. Μια τυπική συσκευή βαρηκοΐας αποτελείται από μικρόφωνο, ηχείο και ενισχυτή. Σήμερα, εκατομμύρια άνθρωποι υποφέρουν από απώλεια ακοής. Οι συσκευές βαρηκοΐας βοηθούν τους ανθρώπους να ακούν καθαρά τόσο σε ήσυχα όσο και σε θορυβώδη μέρη. Το μικρόφωνο συλλέγει ηχητικά κύματα από το περιβάλλον και τα μετατρέπει σε ηλεκτρικά σήματα. Τα ηλεκτρικά σήματα ενισχύονται από έναν ηλεκτρονικό ενισχυτή που στη συνέχεια τα στέλνει πίσω στο αυτί μέσω των ηχείων.

Τα ακουστικά βαρηκοΐας είναι η παλαιότερη μορφή φορητών τεχνολογιών, αλλά τώρα είναι πιο προηγμένα και πιο έξυπνα. Τα έξυπνα ακουστικά βαρηκοΐας είναι επαναφορτιζόμενες συσκευές που μπορούν να συνδεθούν με κινητά τηλέφωνα, τηλεοράσεις,

υπολογιστές, tablet και άλλα. Οι χρήστες έχουν τις επιλογές να προσαρμόσουν την ένταση και να προγραμματίσουν αυτές τις συσκευές ανάλογα με τις ανάγκες τους χρησιμοποιώντας εφαρμογές για κινητές συσκευές [28].

Ιχνηλάτες Γυμναστικής (Fitness Trackers)

Παρόμοια με τα ρολόγια χειρός, οι ιχνηλάτες γυμναστικής είναι συσκευές που φοριούνται στον καρπό και μπορούν να ανιχνεύσουν τις σωματικές δραστηριότητες ενός ατόμου μαζί με άλλα δεδομένα όπως τον καρδιακό παλμό, τη θερμοκρασία του σώματος και την απόσταση που διανύθηκε. Τα περισσότερα fitness trackers μπορούν να συνδεθούν με κινητά τηλέφωνα μέσω Bluetooth. Οι χρήστες φορητών τεχνολογιών φαίνεται να είναι πιο δραστήριοι σωματικά [29]. Ορισμένες έρευνες δείχνουν ότι οι ιχνηλάτες φυσικής κατάστασης παρακινούν τους ανθρώπους να θέτουν στόχους υγείας και να είναι συνεπείς, παρακολουθώντας και κρατώντας αρχείο των καθημερινών δραστηριοτήτων τους[30].

Συσκευές για χρόνιο πόνο

Ο χρόνιος πόνος είναι μια ασθένεια του κεντρικού νευρικού συστήματος που διαφέρει από τον οξύ πόνο. Όταν πληγώνεστε, ο εγκέφαλός σας λαμβάνει αμέσως συναγερμό ότι το σώμα σας έχει υποστεί βλάβη και αισθάνεστε πόνο. Ωστόσο, ο χρόνιος πόνος είναι ένας συνεχιζόμενος πόνος που παραμένει για αρκετές εβδομάδες ή μήνες ακόμη και αν δεν υπάρχει εμφανής λόγος. Βασικά παραδείγματα είναι ο πονοκέφαλος και ο πόνος στην πλάτη. Στις ΗΠΑ, αναφέρεται ότι περισσότεροι από 100 εκατομμύρια άνθρωποι υποφέρουν από χρόνιο πόνο [31].

Πολλές καινοτόμες εταιρείες ανέπτυξαν φορητές τεχνολογίες για την ανακούφιση του χρόνιου πόνου, χωρίς επισκέψεις στο νοσοκομείο και φαρμακευτική αγωγή. Είναι ένα νέο πεδίο στο IoMT, ορισμένα προϊόντα έχουν ήδη εγκριθεί για χρήση κατά τη διάρκεια του ύπνου [32]. Προκειμένου να αποτραπεί ο χρόνιος πόνος, φοριέται μια μικροσκοπική κομψή συσκευή ταινίας στο άνω μέρος της γάμπας. Η συσκευή λειτουργεί στέλνοντας νευρικούς παλμούς στον εγκέφαλο.

Συσκευή θεραπείας δέρματος

Αυτή η συσκευή διαθέτει ενσωματωμένους αισθητήρες υψηλής τεχνολογίας που συλλέγουν πληροφορίες από το δέρμα και αποστέλλουν τα δεδομένα, σε εφαρμογή για κινητά χρησιμοποιώντας τεχνολογία Bluetooth [33]. Η εφαρμογή αναλύει τα δεδομένα, κάνει την διάγνωση του προβλήματος και προτείνει την αντίστοιχη φωτοθεραπεία, καθώς και το κατάλληλο έμπλαστρο, που διοχετεύει μέσα από μικρό-βελόνες ουσίες, για την βελτίωση του δέρματος σύμφωνα με τον τύπο του.

Φορητός ανιχνευτής καρκινικών κυττάρων

Συνήθως, ο καρκίνος ανιχνεύεται με τη λήψη δείγματος ιστού από το σώμα του ασθενούς, για βιοψία. Η λήψη δείγματος αίματος είναι μια άλλη τυπική μέθοδος για τον εντοπισμό κυκλοφορούντων καρκινικών κυττάρων (CTCs) στο αίμα.

Το IoMT έδωσε τη δυνατότητα στους ερευνητές να αναπτύξουν μη επεμβατικές τεχνικές για την ανίχνευση CTC. Όπως ένας φορητός ανιχνευτής CTC που αναπτύχθηκε από ερευνητές από το Πανεπιστήμιο του Μίσιγκαν [34]. Ο ανιχνευτής συλλέγει συνεχώς και απευθείας CTC από μια περιφερειακή φλέβα, επιτρέποντας την κανονική ροή του αίματος. Έτσι τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συσκευή μπορεί να ανιχνεύσει 3,5 φορές περισσότερα καρκινικά κύτταρα ανά χιλιοστόλιτρο αίματος, από την παραδοσιακή μέθοδο αιμοληψίας. Το προτεινόμενο σύστημα θα μπορούσε ενδεχομένως να χρησιμοποιηθεί σε κλινικές αποφάσεις αναλύοντας μεγάλο αριθμό CTC.

2.1.1.2 βιο-αισθητήρες εκτός σώματος (off-body wearables)

Η τεχνολογία off-body wearables είναι μια κατηγορία έξυπνων συσκευών ανίχνευσης, που δεν μπορούν να φορεθούν σε ανθρώπινο σώμα. Αυτές οι συσκευές μπορούν επίσης να παράγουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων και να επικοινωνούν με άλλες συσκευές χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση.

Μερικές από τις πιο σύγχρονες τεχνολογίες που δεν φοριούνται, στους βιοαισθητήρες, είναι οι εξής:

Έξυπνο κουτί χαπιών

Πολλοί άνθρωποι μερικές φορές μπερδεύουν τα φάρμακά τους, λόγω του φορτωμένου προγράμματος της καθημερινότητάς τους. Το 2018, ο Minaam και η ομάδα του πρότεινε ένα πρωτότυπο έξυπνο κουτί χαπιών [35]. Είναι μια μικρή προγραμματιζόμενη συσκευή που μπορεί να οργανώσει διαφορετικά χάπια από μόνη της. Αποτελείται από εννέα ξεχωριστά υποπλαισία. Οι χρήστες ή οι φροντιστές μπορούν εύκολα να προγραμματίσουν την συσκευή ώστε την καθορισμένη ώρα και ημέρα, με ηχητική και φωτεινή ένδειξη, να υπενθυμίσουν στον ασθενή την ποσότητα της δόσης που πρέπει να καταναλώσει. Οι ειδοποιήσεις, για τα χάπια που πρέπει να λαμβάνονται, θα εμφανίζονται εναλλακτικά μέσω μίας εφαρμογής android που κατέχει ο ασθενής. Τις περισσότερες φορές, οι ηλικιωμένοι είναι αυτοί που ξεχνούν να πάρουν φάρμακα ή μερικές φορές παίρνουν παραπάνω δόσεις, κάτι που μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις για την υγεία τους.

Έξυπνα κρεβάτια

Τα έξυπνα κρεβάτια έχουν ευρεία χρήση στα νοσοκομεία. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει στους γιατρούς ή τους φροντιστές να παρακολουθούν τους ασθενείς εξ αποστάσεως. Τα έξυπνα κρεβάτια περιέχουν βιοαισθητήρες για την αναπνοή, τη θερμοκρασία και τον καρδιακό παλμό. Τα μακροπρόθεσμα δεδομένα, μπορούν να αναθεωρηθούν για την ανάλυση ύπνου, τον καρδιακό ρυθμό και τις τάσεις του ρυθμού αναπνοής των ασθενών που χρησιμοποιούν τεχνολογία έξυπνου κρεβατιού [36]. Σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, αυτές οι συσκευές μπορούν να δώσουν συναγερμό ή να στείλουν μια ειδοποίηση στους φροντιστές για άμεση δράση .

Ανίχνευση ανθρώπινης δραστηριότητας

Η παχυσαρκία, οι καρδιαγγειακές διαταραχές, το εγκεφαλικό επεισόδιο και οι μυοσκελετικές παθήσεις, έχουν γίνει τα μεγαλύτερα ζητήματα υγείας. Για τέτοια ζητήματα, τα συστήματα παρακολούθησης της υγείας και ανίχνευσης της ανθρώπινης δραστηριότητας, παρέχουν την καλύτερη ευκαιρία καθοδήγησης, για την αποκατάσταση της υγείας και έγκαιρου συναγερμού έκτακτης ανάγκης υγειονομικής περίθαλψης [37]. Η τεχνολογία IoT μας επιτρέπει να χειριζόμαστε αυτά τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης εξ αποστάσεως χρησιμοποιώντας διαφορετικούς ασύρματους αισθητήρες και συλλέγοντας δεδομένα.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ανίχνευση ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο σπίτι χρησιμοποιώντας ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN). Ωστόσο, αυτοί οι πολλαπλοί διασυνδεδεμένοι αισθητήρες απαιτούν υψηλό κόστος συντήρησης και εγκατάστασης, επίσης καταναλώνουν υψηλή ισχύ. Ένα δίκτυο αισθητήρων με δυνατότητα ραντάρ χαμηλής ισχύος, αναπτύχθηκε από τον Bodanese και την ομάδα του, προκειμένου να ανιχνευθούν οι ανθρώπινες δραστηριότητες [38]. Αναλύθηκαν δεκαπέντε δραστηριότητες που πραγματοποιήθηκαν στην κουζίνα. Η μελέτη έδειξε ότι το προτεινόμενο σύστημα προσφέρει 92,81% συνολική ακρίβεια ανίχνευσης δραστηριότητας. Επιπλέον, σε λειτουργία ανίχνευσης σε πραγματικό χρόνο, αναγνωρίζει ανθρώπινες δραστηριότητες, περισσότερο από το 89% του χρόνου.

2.1.2 Προεπεξεργασία δεδομένων

Τα βιολογικά σήματα είναι συνήθως αδύναμα και θορυβώδη, γεγονός που καθιστά δύσκολη την επεξεργασία. Επομένως, τα βιολογικά σήματα ενισχύονται πρώτα χρησιμοποιώντας κατάλληλους ενισχυτές. Ένας τυπικός ενισχυτής αποτελείται από ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα, το οποίο παράγει ένα σήμα εξόδου υψηλού πλάτους όταν δίνεται ένα ασθενές σήμα στην είσοδό του. Ενισχύει το σήμα χωρίς να αλλάζει άλλες παραμέτρους όπως η συχνότητα ή η μορφολογία του. Ένα τυπικό κύκλωμα του ενισχυτή αποτελείται από αντιστάσεις, αγωγούς και τρανζίστορ. Ένας ενισχυτής με ένα τρανζίστορ είναι γνωστός ως ενισχυτής ενός σταδίου και αυτός με πολλαπλά τρανζίστορ είναι γνωστός ως ενισχυτής πολλαπλών σταδίων.

Στην πρακτική εφαρμογή, οι ενισχυτές πολλαπλών σταδίων χρησιμοποιούνται ευρέως. Η ποσότητα ενίσχυσης ενός ενισχυτή μπορεί να μετρηθεί από το κέρδος του. Το κέρδος ορίζεται ως ο λόγος της τιμής εξόδου προς την τιμή εισόδου του ενισχυτή όπως απεικονίζεται στην Εξίσωση 1.

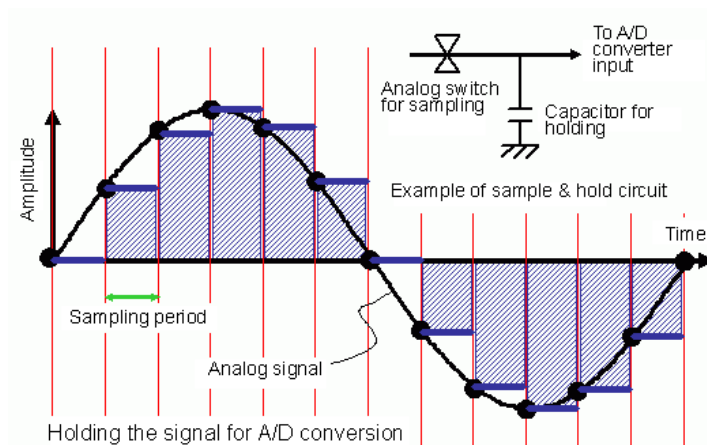
$$\text{Gain(voltage)} = \frac{\text{output voltage}}{\text{input voltage}} \quad (1)$$

Μετά τη διαδικασία ενίσχυσης, τα σήματα φιλτράρονται για να αφαιρεθούν τα ανεπιθύμητα μέρη του σήματος. Πολλά φίλτρα χρησιμοποιούνται για τη διεξαγωγή της διαδικασίας φιλτραρίσματος. Τα φίλτρα χωρίζονται περαιτέρω σε τέσσερις κατηγορίες: φίλτρο υψηλής διέλευσης, χαμηλοπερατό φίλτρο, band-block και band-pass φίλτρο.

Ένα υψηλοπερατό φίλτρο χρησιμοποιείται για την εξασθένιση των στοιχείων χαμηλής συχνότητας του σήματος ενώ το φίλτρο χαμηλής διέλευσης εξασθενεί τα στοιχεία υψηλής συχνότητας του σήματος. Ωστόσο, το band-pass φίλτρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξάλειψη των στοιχείων υψηλής και χαμηλής συχνότητας του σήματος [39]. Τα προσαρμοστικά φίλτρα είναι επίσης γνωστό ότι είναι αποτελεσματικά για την απενεργοποίηση σήματος [40-41].

2.1.3 Μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό

Οι μετατροπείς A/D χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά σήματα. Το Σχήμα 5 προβάλλει την αναλογική και την ψηφιακή έκδοση ενός ηχογραφημένου σήματος. Το ψηφιακό σήμα αποτελείται από μια ακολουθία αριθμητικών τιμών. Οι σύγχρονοι υπολογιστές, μπορούν εύκολα να αποθηκεύσουν και να επεξεργαστούν αυτές τις τιμές. Η μετατροπή A/D αποτελείται από δύο κύριες διαδικασίες, που είναι η δειγματοληψία και η κβαντοποίηση. Η διαδικασία δειγματοληψίας χρησιμοποιείται για τη μετατροπή του συνεχούς χρόνου σε διακριτό χρόνο. Περιλαμβάνει τη μέτρηση της τιμής ενός σήματος σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.



Σχήμα 5: Μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό

Κάθε μέτρηση είναι τότε γνωστή ως δείγμα. Εάν το $x(t)$ είναι ένα αναλογικό σήμα, γίνεται δειγματοληψία κάθε T δευτερόλεπτα και $x(kT)$ είναι η τιμή πλάτους όπου k ($k = 0, 1, 2, 3, \dots, n$) είναι ο αριθμός δείγματος της ακολουθίας δεδομένων και T είναι το διάστημα δειγματοληψίας.

Η συχνότητα δειγματοληψίας f_s είναι η αντίστροφη της περιόδου δειγματοληψίας ($1/T$). Για την αποφυγή παραμορφώσεων, είναι σημαντικό η συχνότητα δειγματοληψίας να ρυθμίζεται υψηλότερη από τη μέγιστη συχνότητα του αρχικού σήματος. Σύμφωνα με το θεώρημα του Nyquist, ο ρυθμός δειγματοληψίας πρέπει να είναι ίσος ή μεγαλύτερος από το διπλάσιο της μέγιστης συχνότητας του αρχικού σήματος.

Σύμφωνα με το θεώρημα του Nyquist, ο ρυθμός δειγματοληψίας θα έπρεπε να είναι ίση ή μεγαλύτερη από το διπλάσιο της μέγιστης συχνότητας του αρχικού σήματος. Η συχνότητα Nyquist, $f_{nyquist}$ δίνεται ως:

$$f_{nyquist} = 2 \cdot f_{max} \quad (2)$$

όπου το f_{max} αντιπροσωπεύει τη μέγιστη συχνότητα σήματος. Πρακτικά η δειγματοληψία γίνεται με συχνότητα δειγματοληψίας 5-10 φορές μεγαλύτερη από το f_{max} του αρχικού σήματος.

Η κβαντοποίηση είναι η δεύτερη συνάρτηση του μετατροπέα A/D που μετατρέπει το συνεχές εύρος αριθμητικών τιμών σε πεπερασμένες διακριτές τιμές. Κάθε δείγμα κβαντοποιείται και αποθηκεύεται σε δυαδικά bit. Ο μετατροπέας A/D μπορεί να είναι οποιουδήποτε αριθμού bit, αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται αναλύσεις 16 bit ή 8 bit. Ο μετατροπέας A/D 16 bit μπορεί να αντιπροσωπεύει 65.536 επίπεδα πλάτους ενώ ο μετατροπέας 8bit A/D μπορεί να αντιπροσωπεύει μόνο 256 επίπεδα πλάτους.

2.2 Πύλες εισόδου δεδομένων

Οι πύλες Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) είναι οι φυσικές συσκευές ή τα προγράμματα λογισμικού που συνδέουν τους αισθητήρες, τις ευφυείς συσκευές, το cloud και τα συστήματα δεδομένων μεταξύ τους.

Τα δεδομένα που μεταφέρονται στο cloud/σύστημα δεδομένων ή αντίστροφα, περνούν από την πύλη. Ως εκ τούτου, μπορεί να ειπωθεί ότι οι πύλες IoMT παρέχουν γέφυρα επικοινωνίας μεταξύ των έξυπνων πραγμάτων στο πεδίο.

2.2.1 Ρόλοι των πυλών του ΙοMT

Κανονικοποίηση δεδομένων

Τα δεδομένα συλλέγονται από πολλούς αισθητήρες. Οι πύλες λαμβάνουν διάφορα σύνολα δεδομένων και τα μετατρέπουν σε τυπική μορφή δεδομένων.

Προεπεξεργασία δεδομένων

Πριν από τη μεταφορά δεδομένων στο cloud, πραγματοποιείται προεπεξεργασία δεδομένων από την πύλη. Αυτό το βήμα ελαχιστοποιεί και φιλτράρει τα δεδομένα που πρέπει να προωθηθούν στο cloud.

Η προεπεξεργασία δεδομένων μειώνει τη μετάδοση, την επεξεργασία σε δεύτερη φάση και το μέγεθος του χώρου αποθήκευσης που θα χρειαστεί.

Συνδεσιμότητα δικτύου

Οι αισθητήρες έχουν την ελάχιστη δυνατότητα σύνδεσης δικτύου. Δεν μπορούν να συνδεθούν απευθείας σε πιο εκτεταμένα δίκτυα όπως το Wide Area Network (WAN). Επομένως, η πύλη ΙοMT παρέχει σύνδεση σε εξωτερικά δίκτυα χρησιμοποιώντας Wi-Fi, δεδομένα κινητής τηλεφωνίας ή κάποιο άλλο είδος συνδεσιμότητας.

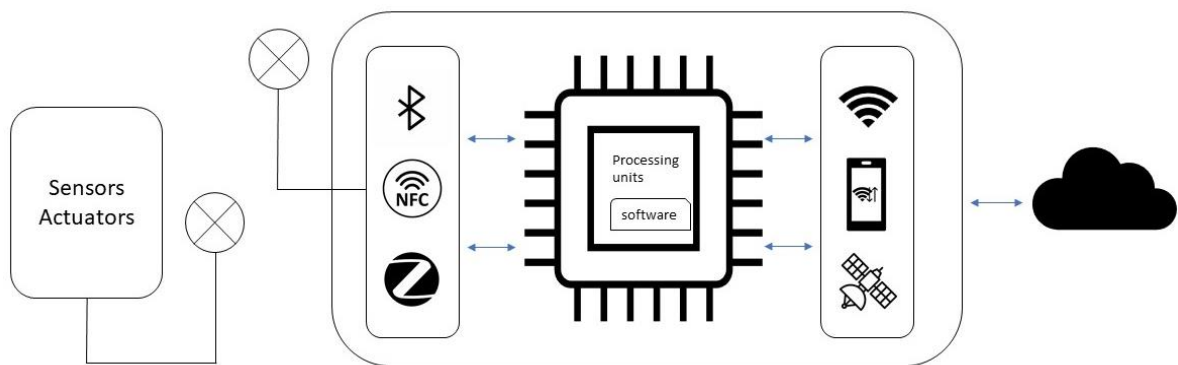
2.2.2 Αρχιτεκτονική Πύλης του ΙοMT

Το σχήμα 6 αντιπροσωπεύει την πιο κοινή αρχιτεκτονική των συστημάτων πύλης ΙοMT. Γενικά, αποτελείται από την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) και τις υποδοχές ασύρματου πεδίου (WFC). Οι αισθητήρες συνήθως, δεν συνοδεύονται από την ίδια την πύλη. Ωστόσο, η πύλη λαμβάνει πληροφορίες από ασύρματους αισθητήρες χρησιμοποιώντας υποδοχές πεδίου όπως Bluetooth, NFC, ZigBee ή κάποιους άλλους τύπους σύνδεσης. Τα δεδομένα συλλέγονται με τη μορφή μικρών πακέτων και αποστέλλονται στην CPU για προεπεξεργασία, η οποία είναι το βασικό συστατικό του συστήματος.

Το Gateway περιέχει ενσωματωμένο λογισμικό, το οποίο θεωρείται ως η καρδιά του συστήματος. Το λογισμικό του Gateway είναι υπεύθυνο για τη συλλογή δεδομένων, την προεπεξεργασία και τη διαχείριση δεδομένων. Αφού συλλεχθούν τα δεδομένα από τους

αισθητήρες, κατά την προεπεξεργασία, η πύλη αποφασίζει εάν τα δεδομένα πρέπει να αποθηκευτούν ή να απορριφθούν. Είναι επίσης υπεύθυνο για το χειρισμό εξωτερικών προβλημάτων και τη σταθεροποίηση της λειτουργίας. Αυτά τα εμπόδια μπορεί να οδηγήσουν σε διακοπή της επεξεργασίας της πύλης. Ένα από τα χαρακτηριστικά παραδείγματα εξωτερικών προβλημάτων είναι η διακοπή ρεύματος. Σε αυτήν την περίπτωση, το λογισμικό πρέπει να διασφαλίσει ότι το σύστημα μπορεί να ενεργοποιηθεί αυτόματα, όταν επανέλθει η τροφοδοσία και να συνεχίσει την επεξεργασία από το σημείο όπου διακόπηκε.

Μετά την προεπεξεργασία και το φιλτράρισμα των δεδομένων, η πύλη IoMT στέλνει τα δεδομένα στο cloud/κέντρο δεδομένων, για περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση. Τα WFC μικρών αποστάσεων δύσκολα μπορούν να επικοινωνήσουν σε πιο εκτεταμένα δίκτυα. Επομένως, για την αποστολή δεδομένων, η πύλη χρησιμοποιεί WFC μεγάλων αποστάσεων όπως Wi-Fi, δεδομένα κινητής τηλεφωνίας, δορυφόρος, LTE κ.λ.π.



Σχήμα 6: Γενική αρχιτεκτονική πύλης IoMT

2.2.3 Υποδοχές ασύρματου πεδίου

Οι υποδοχές ασύρματου πεδίου (WFC) είναι τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές IoMT. Αυτές οι συσκευές και τα πρωτόκολλα συνδέουν διαφορετικές συσκευές ανταλλάσσοντας δεδομένα μέσω διαφορετικών δικτύων. Με απλά λόγια, τα WFC λειτουργούν ως γέφυρα επικοινωνίας μεταξύ έξυπνων συσκευών. Στον Πίνακα 3, συνοψίζουμε τις κύριες παραμέτρους τόσο για τα λευκά αιμοσφαίρια μικρής όσο και για μεγάλης εμβέλειας, εκτός από τις εφαρμογές IoMT τους. Σύμφωνα με την δυνατότητα εφαρμογής τους σε διαφορετικές περιοχές, κατηγοριοποιήσαμε τα WFC σε δύο ομάδες, δίκτυα κλειστής περιοχής και δίκτυα ευρείας περιοχής.

2.2.3.1 Δίκτυα κοντινής περιοχής

Τα δίκτυα κοντινής περιοχής, ανήκουν σε εκείνα τα δίκτυα στα οποία οι συσκευές συνδέονται μεταξύ τους σε κοντινή απόσταση. Τυπικά παραδείγματα αυτών των δικτύων είναι τα δίκτυα PAN, HAN και LAN.

Δίκτυα Προσωπικού Χώρου (PAN)

Το PAN είναι ένας τύπος δικτύου επικοινωνίας στο οποίο οι συσκευές συνδέονται μεταξύ τους εντός του χώρου εργασίας ενός ατόμου (συνήθως εντός 10-15 μέτρων). Αυτές οι διασυνδεδεμένες συσκευές μπορεί να είναι προσωπικοί υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα, εκτυπωτές, σαρωτές και άλλες συσκευές προσωπικής χρήσης.

Οικιακά Δίκτυα (HAN)

Το HAN είναι ένας τύπος δικτύου που προσφέρει επικοινωνία μεταξύ έξυπνων συσκευών και συσκευών κοντά στο σπίτι του χρήστη. Αυτές οι συσκευές μπορεί να είναι έξυπνες τηλεοράσεις, οικιακό σύστημα ασφαλείας, τηλέφωνα, πλυντήρια ρούχων και άλλες έξυπνες οικιακές συσκευές.

Τοπικά δίκτυα (LAN)

Το LAN είναι ένας τύπος δικτύου επικοινωνίας για τη σύνδεση υπολογιστών ή συσκευών μέσα σε ένα κτίριο ή ομάδα κτιρίων. Αυτά τα κτίρια πρέπει να βρίσκονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή που καλύπτει λίγα τετραγωνικά χιλιόμετρα. Για παράδειγμα, τα κτίρια της πανεπιστημιούπολης, οι μικρές κατοικημένες περιοχές και τα νοσοκομεία, είναι οι ενδεδειγμένες τοποθεσίες για δικτύωση LAN. Οι διασυνδεδεμένες συσκευές σε αυτές τις περιοχές δικτύου επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας WFC μικρής απόστασης. Τα WFC μικρών αποστάσεων προσφέρουν λιγότερη κατανάλωση ενέργειας και ανταλλάσσουν δεδομένα σε μικρά πακέτα μεταξύ συσκευών. Μερικές από τις πιο σύγχρονες τεχνολογίες επικοινωνίας και WFC παρατίθενται παρακάτω:

Bluetooth

Η τεχνολογία Bluetooth αναπτύχθηκε από την Ericsson το 1994, η οποία είναι πλέον ευρέως γνωστή ως η καλύτερη τεχνολογία ασύρματης μετάδοσης. Είναι μια τυπική τεχνολογία που ενσωματώθηκε σε πολλές ηλεκτρονικές συσκευές, όπως φορητούς υπολογιστές, smartphone, ηχεία και εκτυπωτές. Το IoMT είναι ένας άλλος τομέας ευρείας υιοθέτησης Bluetooth. Η εξέλιξη του Bluetooth στα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης είναι ακόμη σε εξέλιξη, όπως το ψηφιακό στηθοσκόπιο χαμηλού κόστους με δυνατότητα Bluetooth που σχεδιάστηκε από τους Frank και Meng για την ανίχνευση καρδιακών φουσημάτων [42]. Ομοίως, ο Tang και η ομάδα του ανέπτυξε ένα ηλεκτρονικό στηθοσκόπιο για τη μέτρηση των καρδιακών παλμών χρησιμοποιώντας ενσωματωμένους επεξεργαστές και μετέφερε δεδομένα χρησιμοποιώντας Bluetooth για περαιτέρω ανάλυση [6]. Υπάρχουν επίσης αρκετές φορητές συσκευές παρακολούθησης όπως το δημοφιλές FitBit. Αυτά τα wearables μπορούν εύκολα να συγχρονιστούν με smartphone χρησιμοποιώντας Bluetooth.

ZigBee

Το ZigBee είναι ένα από τα αξιόπιστα τυπικά πρωτόκολλα που χρησιμοποιείται για ασύρματες επικοινωνίες. Καταναλώνει περισσότερη ενέργεια από το Bluetooth, το οποίο επιτρέπει στις συσκευές να διασυνδέονται και να περνούν εντολές εμπρός και πίσω. Τόσο το ZigBee όσο και το Bluetooth λειτουργούν στην ίδια περιοχή συχνοτήτων (2,4 GHz). Το εύρος επικοινωνίας της τεχνολογίας ZigBee είναι μερικές φορές μεγαλύτερο από το Bluetooth.

Σήμερα, ο κλάδος της υγειονομικής περίθαλψης υιοθετεί ταχύτατα τεχνολογίες IoT. Προκειμένου να βελτιωθεί η ακρίβεια, να προωθηθεί η αποτελεσματικότητα, να μειωθεί το κόστος και να ενισχυθεί η υγειονομική περίθαλψη, οι τεχνολογίες ασύρματων επικοινωνιών, έχουν γίνει επιτακτική ανάγκη στο IoMT. Ως νέα τεχνολογία, το ZigBee μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για τη σύνδεση ασύρματων ιατρικών συσκευών. Όπως μια συσκευή παρακολούθησης της δραστηριότητας του εντέρου με βάση το ZigBee που αναπτύχθηκε από τον Ulusar και την ομάδα του [4]. Αυτή η συσκευή αναπτύχθηκε για την ανίχνευση της γαστρεντερικής κινητικότητας μετά από χειρουργική επέμβαση στην κοιλιά.

Ομοίως, ο DD Kadam Patil και ο RK Shastri σχεδίασαν ένα ασύρματο ηλεκτρονικό στηθοσκόπιο για την παρακολούθηση των καρδιακών ήχων, το οποίο βασίζεται επίσης στο πρωτόκολλο ZigBee [43].

Μια άλλη συσκευή παρακολούθησης καρδιακών παλμών σε μέγεθος επιδέσμου, σχεδιάστηκε από την ομάδα του Dinh [44]. Αυτό το σύστημα απλώς ανιχνεύει τους ήχους της καρδιάς χρησιμοποιώντας το μικρόφωνο. Μετά τη συλλογή δεδομένων, επεξεργάζεται, δειγματίζει και στέλνει τα δεδομένα ασύρματα χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο ZigBee.

RFID (Ταυτοποίηση μέσω Ραδιοσυχνότητων)

Το RFID είναι μια αυτοματοποιημένη τεχνολογία που βοηθά τις συσκευές ή τους υπολογιστές να αναγνωρίζουν αντικείμενα και να καταγράφουν δεδομένα μέσω ραδιοκυμάτων. Αποτελείται από ετικέτες και αναγνώστες. Οι ετικέτες είναι οι αναμεταδότες (μικροτσιπ με κεραία) που λειτουργούν ως αναγνωριστικό συνδεδεμένο σε ένα αντικείμενο. Και οι αναγνώστες (πομποί/δέκτες), οι οποίοι είναι επίσης γνωστοί ως ανακριτές, επικοινωνούν με την ετικέτα χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα. Αυτή η τεχνολογία ανακαλύφθηκε πριν από πολλά χρόνια. Η εξέλιξή του ξεκίνησε μόλις την τελευταία δεκαετία, καθώς το κόστος ήταν ο κύριος περιορισμός στους σχεδιαστικούς παράγοντες ΙοMT.

Στον κλάδο της υγείας, η τεχνολογία RFID είναι μια αναδυόμενη τάση. Μπορεί να εξοικονομήσει πολλά χρήματα και χρόνο στα νοσοκομεία παρακολουθώντας τις προμήθειες. Λόγω της έλλειψης κατάλληλης τήρησης αρχείων απογραφής, τα νοσοκομεία συνεχίζουν να αγοράζουν πράγματα που ήδη έχουν. Μερικές από τις εφαρμογές της τεχνολογίας RFID στον ιατρικό τομέα είναι τα συστήματα παρακολούθησης. Η ομάδα του Tsai, ανέπτυξε ένα σύστημα παρακολούθησης ιατρικού εξοπλισμού RFID που βοηθά το διοικητικό προσωπικό να εντοπίζει και να παρακολουθεί γρήγορα τον εξοπλισμό υγειονομικής περίθαλψης [20].

Αυτό το προτεινόμενο σύστημα, βελτιώνει την ποιότητα της υπηρεσίας εργασίας, τον έλεγχο των αποθεμάτων και την απόδοση. Ομοίως, μια φορητή κεραία ετικέτας RFID αναπτύχθηκε από τον S. López-Soriano και J. Parrón [45]. Η προτεινόμενη ετικέτα RFID μπορεί να ενσωματωθεί στο βραχιολάκι του ασθενούς για σκοπούς παρακολούθησης.

NFC

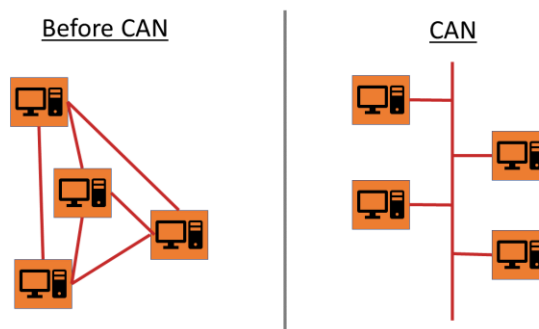
Το NFC επιτρέπει σε δύο συσκευές να συνδέονται σε πολύ μικρή απόσταση. Λειτουργεί ανταλλάσσοντας δεδομένα μέσω ραδιοκυμάτων. Η τεχνολογία NFC είναι παρόμοια με την RFID, η οποία χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητική επαγωγή για τη μετάδοση των δεδομένων. Οι συσκευές NFC ταξινομούνται σε παθητικές και ενεργές συσκευές. Οι παθητικές συσκευές περιλαμβάνουν ετικέτες που στέλνουν δεδομένα σε άλλη συσκευή NFC χωρίς να απαιτείται πηγή ενέργειας. Ωστόσο, οι ενεργές συσκευές NFC μπορούν να στέλνουν και να λαμβάνουν δεδομένα και μπορούν επίσης να επικοινωνούν με παθητικές συσκευές NFC. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ενεργής συσκευής NFC είναι το smartphone.

Αυτή η τεχνολογία είναι σχετικά νέα στην υγειονομική περίθαλψη, παρόλο που τα ευρήματα φαίνεται να είναι ενθαρρυντικά. Ο Bravo και άλλοι, παρουσίασαν μια πρόταση για την υιοθέτηση τεχνολογιών NFC και RFID για την υποστήριξη ατόμων με Αλτσχάιμερ [46]. Ένα άλλο παράδειγμα είναι οι επικοινωνίες NFC για την απόκτηση ιατρικών δεδομένων από εμφυτευμένες συσκευές [47]. Οι τεχνολογίες NFC έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν τη σκοπιμότητα και τη χρηστικότητα των οικιακών συσκευών παρακολούθησης, ειδικά για ηλικιωμένους [48].

2.2.3.2 Δίκτυα ευρείας περιοχής

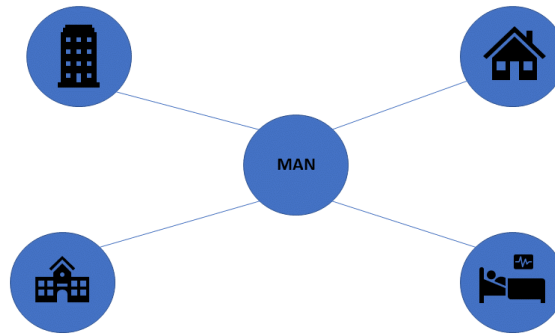
Τα δίκτυα ευρείας περιοχής ανήκουν σε εκείνα τα δίκτυα στα οποία οι συσκευές/υπολογιστές συνδέονται μεταξύ τους μέσω μεγάλης απόστασης. Τυπικά παραδείγματα αυτών των δικτύων είναι τα δίκτυα CAN, MAN και WAN.

Controller Area Networks (CAN)



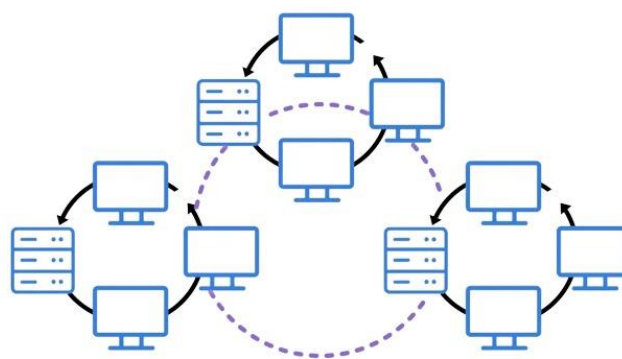
Το CAN είναι ένα δίκτυο επικοινωνίας πολύ υψηλής ταχύτητας ειδικά σχεδιασμένο για την αυτοκινητοβιομηχανία. Το CAN συνδέει μικροελεγκτές και συσκευές για να επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς κεντρικό υπολογιστή.

Μητροπολιτικά δίκτυα (MAN)



Το MAN είναι παρόμοιο με τα δίκτυα LAN, αλλά καλύπτει μια περιοχή του μεγέθους μιας μητροπολιτικής περιοχής. Τα MAN είναι πιο εκτεταμένα από τα LAN αλλά μικρότερα από τα δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN). Για παράδειγμα οι υπολογιστές που είναι διασυνδεδεμένοι σε μια ολόκληρη πόλη ή μια πολιτεία.

Δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN)



Το WAN είναι ένας τύπος δικτύου επικοινωνίας που καλύπτει μια ευρεία γεωγραφική περιοχή. Όπως η σύνδεση δικτύων μεταξύ διαφορετικών πόλεων ή πολιτειών. Το WAN μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί μεταξύ χωρών.

Οι διασυνδεδεμένες συσκευές σε αυτές τις περιοχές δικτύου επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας WFC μεγάλων αποστάσεων. Τυπικά, σε σύγκριση με τα WFC μικρών αποστάσεων, τα WFC μεγάλων αποστάσεων καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια. Μερικές από τις πιο σύγχρονες τεχνολογίες επικοινωνίας και WFC που χρησιμοποιούνται σε δίκτυα ευρείας περιοχής παρατίθενται παρακάτω.

Wi-Fi

Το Wi-Fi είναι το πιο δημοφιλές πρωτόκολλο δικτύωσης που επιτρέπει στις συσκευές να επικοινωνούν ασύρματα. Λειτουργεί σε μια σταθερή τοποθεσία και καταναλώνει υψηλή ενέργεια. Το Wi-Fi μεταδίδει δεδομένα με τη μορφή ραδιοκυμάτων μέσω του αέρα. Παρέχει πρόσβαση στο διαδίκτυο υψηλής ταχύτητας. Τυπικά παραδείγματα συνδεσιμότητας Wi-Fi είναι τα εσωτερικά δίκτυα.

Το Wi-Fi παίζει σημαντικό ρόλο στις εφαρμογές IoMT. Έχει υπολογιστεί ότι σχεδόν το 80% των ιατρικών εγκαταστάσεων χρησιμοποιούν Wi-Fi [49]. Ο Yu και άλλοι ανέπτυξαν ένα ασύρματο σύστημα παρακολούθησης φυσικής κατάστασης [50]. Το προτεινόμενο σύστημα ενσωμάτωσε δύο ασύρματες τεχνολογίες, Wi-Fi και Bluetooth, για την απομακρυσμένη παρακολούθηση του ασθενούς. Ένα άλλο παράδειγμα είναι ο εντοπισμός εσωτερικού χώρου για την παρακολούθηση ασθενών με βάση την τεχνολογία Wi-Fi [51]. Το πείραμα που παρουσιάστηκε σε αυτή τη μελέτη έδειξε πολύ αξιοπρεπή ακρίβεια με ελάχιστη προσπάθεια ρύθμισης.

Δεδομένα κινητής τηλεφωνίας

Τα smartphone με κινητό Διαδίκτυο μπορούν να συνδεθούν με μια ποικιλία συσκευών, να επεξεργάζονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να επικοινωνούν με τις διαθέσιμες ιατρικές υπηρεσίες. Αυτές οι ευρέως διαδεδομένες τεχνολογίες προσφέρουν τώρα νέους τρόπους βελτίωσης των ιατρικών πραγμάτων.

Η κινητή τεχνολογία έχει μεταμορφώσει πολλές πτυχές της παροχής υγειονομικής περίθαλψης στο IoMT. Αυτή η εξέλιξη οδήγησε σε ταχεία ανάπτυξη ιατρικών εφαρμογών για κινητές συσκευές. Οι εφαρμογές για κινητά μπορούν να βοηθήσουν τους ανθρώπους να διαχειρίζονται την υγεία τους ανεξάρτητα. Ο Lou με την ομάδα του, σχεδίασε ένα ασύρματο σύστημα παρακολούθησης της υγείας [52].

Το προτεινόμενο σύστημα ανιχνεύει φυσιολογικά δεδομένα από κόμβους αίσθησης και μεταδίδει τα δεδομένα στην κινητή συσκευή για επεξεργασία. Σε σοβαρές συνθήκες, δημιουργεί αυτόματα συναγερμό και στέλνει τα δεδομένα σε έναν απομακρυσμένο διακομιστή μέσω δικτύου 3G [52].

Δορυφόρος

Σε έναν ταχέως αναδυόμενο κόσμο του ΙοMT, η δορυφορική επικοινωνία διαδραματίζει ηγετικό ρόλο στις υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης. Αναφέρεται ότι περίπου 4852 τεχνητοί δορυφόροι βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη [53]. Τα σήματα από τους επίγειους σταθμούς μεταδίδονται στον δορυφόρο. Ο δορυφόρος λαμβάνει και ενισχύει τα σήματα και στέλνει πίσω στη γη. Οι δορυφόροι επιτρέπουν την επικοινωνία σε αγροτικές περιοχές, σε ωκεανούς και σε ευρέως διαχωρισμένα γεωγραφικά σημεία.

Σε απομακρυσμένες περιοχές όπου οι τηλεπικοινωνίες είναι ανεπαρκείς ή δεν είναι διαθέσιμες, η δορυφορική επικοινωνία μπορεί να είναι πολύ επωφελής, προσφέροντας άμεση πρόσβαση σε ευρυζωνικές υπηρεσίες. Η δορυφορική επικοινωνία παρέχει εξαιρετική ποιότητα και μεταφορά δεδομένων υψηλής ταχύτητας, κάτι που είναι επιτακτική ανάγκη σε καταστάσεις καταστροφής [54].

Η ομάδα του Aziz παρουσίασε ένα σύστημα παρακολούθησης της υγείας σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας τεχνολογίες κινητής και δορυφορικής επικοινωνίας [55]. Το προτεινόμενο σύστημα διαθέτει ασύρματους αισθητήρες για τη συλλογή δεδομένων από ασθενείς. Υπό ανησυχητική κατάσταση υγείας, αυτό το σύστημα επικοινωνεί με τους φροντιστές μέσω μηνυμάτων κειμένου. Το σύστημα παρακολουθεί τη θέση του ασθενούς για να παρέχει πρώτες βοήθειες εάν χρειαστεί.

2.3 Υπολογιστικό νέφος (smart health cloud)

Οι διακομιστές αποτελούν το βασικό μέρος των συστημάτων ΙοMT, το οποίο ανιχνεύει μη φυσιολογικές δραστηριότητες και εκτελεί αναλύσεις. Αφού ληφθούν σήματα από αισθητήρες και υποβληθούν σε προεπεξεργασία, η πύλη στέλνει τα ψηφιακά δεδομένα στους διακομιστές ή στο cloud για εξόρυξη δεδομένων.

Στο IoMT, η εξόρυξη δεδομένων είναι η διαδικασία ταξινόμησης κρίσιμων πληροφοριών σχετικά με βιο-σήματα. Στη συνέχεια, περιγράφονται ορισμένες τεχνικές επεξεργασίας σήματος και εξόρυξης δεδομένων.

2.4 Τεχνικές Επεξεργασίας Δεδομένων και Σημάτων

Η επεξεργασία δεδομένων περιλαμβάνει αναγνώριση και βελτίωση σήματος, εξαγωγή και ταξινόμηση χαρακτηριστικών και, τέλος, ανάλυση των αποτελεσμάτων. Κατά την επεξεργασία δεδομένων, λόγω της χρήσης ακατάλληλων τεχνικών, μπορεί να χαθούν πληροφορίες ή τροποποιηθεί, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες αποφάσεις. Το υπόλοιπο αυτής της ενότητας οργανώνεται ως εξής. Στην ενότητα 2.4.1, τα σήματα ταξινομούνται στον τομέα χρόνου και συχνότητας, επιπλέον των δυνατοτήτων εξαγωγής χαρακτηριστικών τους. Στην ενότητα 2.4.2, περιγράφονται τα μοντέλα και οι μέθοδοι εξόρυξης δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων, εκτός από τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

2.4.1 Αναπαράσταση σημάτων στον τομέα χρόνου και συχνότητας

Τα βιο-σήματα αντιπροσωπεύονται συνήθως σε τομείς χρόνου και συχνότητας. Τα σήματα που συλλέγονται από τους αισθητήρες καταγράφονται με την πάροδο του χρόνου, γνωστά ως σήματα τομέα χρόνου. Το σήμα τομέα χρόνου παρέχει πληροφορίες πλάτους ενός σήματος σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες χρόνου και πλάτους, είναι δυνατή η εξαγωγή άλλων χαρακτηριστικών, όπως ο λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR) και η εκτέλεση ανίχνευσης συμβάντων.

Μια άλλη μορφή αναπαράστασης σημάτων τομέα χρόνου είναι ο τομέας συχνότητας (domain-frequency). Ο τομέας συχνότητας περιέχει τις πληροφορίες σχετικά με την ισχύ σε κάθε συχνότητα. Για τον υπολογισμό του πλάτους κάθε συχνότητας, τυπικά, εκτελείται ένας μετασχηματισμός Fourier. Μπορούν να εξαχθούν διάφορα χαρακτηριστικά από το σήμα του τομέα συχνότητας, συμπεριλαμβανομένης της κεντροειδούς συχνότητας (centroid frequency), sub-band energy και του φασματικού εύρους ζώνης (spectral bandwidth).

2.4.2 Εξόρυξη δεδομένων

Η εξόρυξη δεδομένων στο IoMT διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην έγκαιρη διάγνωση και τη συνεχή παρακολούθηση των ασθενών. Είναι μια διαδικασία εξαγωγής χρήσιμων πληροφοριών και ανακάλυψης μοτίβων σε τεράστια βιο-δεδομένα.

Οι αλγόριθμοι εκτελούνται με βάση τις αποκτηθείσες και διαθέσιμες πληροφορίες για τη δημιουργία ενός μοντέλου που θα μπορούσε να είναι χρήσιμο στη διάγνωση ορισμένων διαταραχών.

Η εξόρυξη δεδομένων ταξινομείται συνήθως σε δύο μεγάλα μοντέλα, την εποπτευόμενη (supervised) και την μη εποπτευόμενη (unsupervised). Στο εποπτευόμενο μοντέλο, ένας αλγόριθμος ταξινόμησης εκπαιδεύεται χρησιμοποιώντας δεδομένα με ετικέτα και χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση δεδομένων χωρίς ετικέτα. Τα δεδομένα με ετικέτα σημαίνει ότι κάθε μεταβλητή εισόδου επισημαίνεται με την κατάλληλη έξοδο. Ενώ, στο μοντέλο χωρίς επίβλεψη, δεν υπάρχουν δεδομένα με ετικέτα. Επομένως, ένας αλγόριθμος ταξινόμησης χωρίς επίβλεψη προσπαθεί να ομαδοποιήσει τα δεδομένα σε διαφορετικές ομάδες και ανακαλύπτει σχέσεις μεταξύ τους.

Σε αυτήν την ενότητα, συζητήσαμε μερικούς από τους δημοφιλείς αλγόριθμους εξόρυξης δεδομένων που περιλαμβάνουν SI (Swarm Intelligence), LDA (Linear Discriminant Analysis), KC (K-means Clustering), DT (Decision Tree), NB (Naive Bayes), VQ (Vector Quantization), ANN (Artificial Neural Networks) και FL (Fuzzy Logic).

SI

Το SI είναι μια μέθοδος ταξινόμησης που χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό μοντέλων διάγνωσης. Ο Harish και η ομάδα του χρησιμοποίησε τη μέθοδο SI για τη διάγνωση της νόσου της αρρυθμίας [56]. Οι βέλτιστες λύσεις σε μεγάλους χώρους αναζήτησης μπορούν να βρεθούν αποτελεσματικά με τη βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων (particle swarm optimization). Το πρόβλημα βελτιστοποίησης που επιλύθηκε στην προτεινόμενη μελέτη περιλαμβάνει χαρακτηριστικά που βρίσκονται κυρίως στην ταξινόμηση. Λιγότερος αριθμός χαρακτηριστικών οδηγεί σε ταχύτερη διαδικασία ταξινόμησης. Η μελέτη απέδειξε ότι τα συνολικά αποτελέσματα ταξινόμησης μπορούν να βελτιωθούν χρησιμοποιώντας τη βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων, καθώς επιλέγονται κατάλληλες παράμετροι.

LDA

Είναι μια τυπική τεχνική ταξινόμησης που δημιουργεί μια διακριτική συνάρτηση για τον αποτελεσματικό διαχωρισμό δύο ή περισσότερων δειγμάτων. Κάθε τάξη έχει πολλά χαρακτηριστικά. Ορισμένα χαρακτηριστικά υπάρχουν σε χώρο υψηλότερων διαστάσεων και μερικά σε χώρο χαμηλότερης διάστασης. Το LDA χρησιμοποιείται για την προβολή χαρακτηριστικών υψηλών διαστάσεων σε χώρο χαμηλότερης διάστασης. Γι' αυτό είναι γνωστή και ως τεχνική μείωσης διαστάσεων. Οι διαστάσεις συνήθως μειώνονται για να μεγιστοποιηθεί ο διαχωρισμός μεταξύ δύο ή περισσότερων κατηγοριών. Στον ιατρικό τομέα, η μέθοδος LDA χρησιμοποιείται ευρέως σε συστήματα αναγνώρισης προσώπου [57].

Ένα άλλο παράδειγμα είναι η πρόβλεψη της νόσου του θυρεοειδούς χρησιμοποιώντας την τεχνική εξόρυξης δεδομένων LDA [58].

DT

Είναι ένας εποπτευόμενος αλγόριθμος λήψης αποφάσεων που χρησιμοποιείται κυρίως σε προβλήματα ταξινόμησης και παλινδρόμησης. Αντιπροσωπεύει ένα γραφικό μοντέλο (με τη μορφή δέντρου) όλων των πιθανών λύσεων σε μια απόφαση που βασίζεται στα χαρακτηριστικά των μεταβλητών εισόδου. Ένα DT ξεκινά με έναν ριζικό κόμβο (δεδομένα δείγματος), που χωρίζεται σε υπο-κόμβους (κόμβοι απόφασης). Οι κόμβοι απόφασης χωρίζονται περαιτέρω σε τερματικούς κόμβους/κόμβους φύλλων (λύσεις). Ο αλγόριθμος που βασίζεται σε DT θεωρείται μια από τις πιο αποτελεσματικές και αξιόπιστες τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε διάφορους τομείς της λήψης ιατρικών αποφάσεων. Παρέχει υψηλή ακρίβεια ταξινόμησης απλώς αναπαριστά τα συγκεντρωμένα δεδομένα σε ένα δομικό μοντέλο. Πρόσφατα παραδείγματα ανάλυσης που βασίζεται σε DT στην υγειονομική περίθαλψη περιλαμβάνουν την αξιολόγηση των προγνωστικών παραγόντων που χρησιμοποιούνται σε ιατρικές διαδικασίες [59], την ανάπτυξη προληπτικών και διαγνωστικών εργαλείων [60] και τις στρατηγικές θεραπείας της γρίπης [61].

NB

Είναι ο πιθανοτικός αλγόριθμος μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιείται ευρέως σε προβλήματα ταξινόμησης. Βασίζεται στο θεώρημα Bayes όπου τα χαρακτηριστικά που εμπίπτουν στο μοντέλο θεωρούνται ανεξάρτητα (αφελή) το ένα από το άλλο. Το θεώρημα Bayes περιγράφει την πιθανότητα ανιχνευόμενης δραστηριότητας, $P(Y)$, η οποία βασίζεται στις προηγούμενες πληροφορίες του συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης, $P(X)$, όπου Y είναι η έξοδος, X είναι η είσοδος και P είναι η συνάρτηση πιθανότητας. Έχει αναπτυχθεί ένα

πρωτότυπο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης που προβλέπει καρδιακές παθήσεις χρησιμοποιώντας την τεχνική ταξινόμησης NB [62]. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η πρόβλεψη ηπατικής νόσου χρησιμοποιώντας μοντέλα NB και SVM [63].

VQ

Είναι μια μη εποπτευόμενη τεχνική που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ενός πεπερασμένου συνόλου κατηγοριών. Οι Rui Veloso και άλλοι, χρησιμοποίησαν τη ομαδοποίηση VQ για να προβλέψουν τις επανεισγωγές στην εντατική ιατρική [64]. Το VQ περιλάμβανε αλγόριθμους k-means, x-means και k-medoids. Για την αξιολόγηση καθενός από τους αλγόριθμους χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης Davies-Bouldin. Τα καλύτερα αποτελέσματα λήφθηκαν με k-means. Ωστόσο, το x-means έλαβε δίκαιο εύρημα, ενώ τα ευρήματα k-medoids ήταν τα χειρότερα από όλα. Η μελέτη αυτών των ερευνητών βρέθηκε πολύ χρήσιμη στον χαρακτηρισμό διαφορετικών ασθενών με μεγαλύτερη πιθανότητα επανεισοχής.

K-Means

Είναι η πιο δημοφιλής και απλή τεχνική μάθησης χωρίς επίβλεψη για ανάλυση συστάδων. Περιλαμβάνει ομαδοποίηση σημείων δεδομένων εισόδου σε k αριθμό ομάδων όπου το k είναι προκαθορισμένο. Τα σημεία K είναι τα τυχαία επιλεγμένα κέντρα συμπλέγματος. Τα σημεία δεδομένων που εκχωρούνται στο κλειστό κέντρο συστάδων βασίζονται στη συνάρτηση Ευκλείδειας απόστασης. Εν ολίγοις, ο αλγόριθμος k-means βρίσκει τον k αριθμό κεντροειδών, που είναι το κεντρικό σημείο του συμπλέγματος και εκχωρεί όλα τα σημεία δεδομένων στο πλησιέστερο σύμπλεγμα. Το k-means είναι ένα πολύ ισχυρό εργαλείο για την ανακάλυψη δομών σε σύνολα δεδομένων, με πολλές πολύτιμες εφαρμογές στον τομέα IoMT όπως η ταξινόμηση των σημάτων ECG (Electrocardiography) για την ανάλυση καρδιαγγειακών παθήσεων [65]. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η ανίχνευση όγκου στον εγκέφαλο με χρήση τμηματοποίησης ομαδοποίησης με βάση το χρώμα k-means [66].

ANN

Είναι το δίκτυο εκμάθησης πολλαπλών νευρώνων με πολλές διασυνδέσεις. Οι νευρώνες ομαδοποιούνται σε πολλαπλά στρώματα. Ένα τυπικό ANN αποτελείται από τρία επίπεδα. Το πρώτο στρώμα είναι γνωστό ως στρώμα εισόδου. Το δεύτερο είναι γνωστό ως κρυφό στρώμα όπου συμβαίνουν τα περισσότερα από τα βήματα επεξεργασίας. Το τρίτο επίπεδο

είναι γνωστό ως επίπεδο εξόδου όπου το σύστημα παράγει αποτελέσματα εξόδου με δεδομένες μεταβλητές εισόδου.

Το ANN εκπαιδεύεται πρώτα από τα παραδείγματα εισόδου που δίνονται από τον χρήστη. Μετά από πολλές φορές εκπαίδευσης, το ANN μαθαίνει να παράγει συγκεκριμένες εξόδους για συγκεκριμένες εισόδους. Η διάδοση προς τα πίσω (backward propagation) είναι ένας κοινός αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση του ANN για εποπτευόμενη εκμάθηση. Η προς τα πίσω διάδοση είναι μια μέθοδος για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων στο ANN. Το ANN χρησιμοποιείται κυρίως σε προβλήματα αναγνώρισης προτύπων και ταξινόμησης. Χρησιμοποιείται ευρέως για την ταξινόμηση των σημάτων ECG και EEG (Electoencephalography) προκειμένου να αναλυθούν καρδιακές παθήσεις [67-69]. Άλλα παραδείγματα περιλαμβάνουν ιατρικές εικόνες όπως η κατάτμηση όγκων εγκεφάλου σε εικόνες MRI [70].

FL

Χρησιμοποιείται για την εύρεση ενός κατά προσέγγιση και όχι ενός συγκεκριμένου, ακριβούς σχεδίου. Οι σύγχρονοι υπολογιστές βασίζονται συνήθως στη λογική Boolean όπου υπάρχουν 1 και 0 (αληθές ή ψευδές). Ωστόσο, σε αντίθεση με τη Boolean λογική, η FL βασίζεται σε «βαθμούς αλήθειας» που φαίνεται πιο κοντά στην ανθρώπινη λογική. Στην ιατρική, οι αποφάσεις που λαμβάνουν οι γιατροί βασίζονται κυρίως σε γλωσσικές έννοιες. Λόγω της πολύπλοκης φύσης των βιολογικών συστημάτων, η μετατροπή αυτής της πολύπλοκης φύσης σε ηλεκτρονικά συστήματα μπορεί να προκαλέσει απώλεια ακρίβειας.

Επομένως, η FL φαίνεται να είναι μια κατάλληλη τεχνολογία που μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε τομέα της ιατρικής. Οι περισσότερες από τις εφαρμογές της FL βρίσκονται στον τομέα της αναισθησίας. Μερικές από τις εφαρμογές της FL στην ιατρική περιλαμβάνουν τον έλεγχο της αρτηριακής πίεσης [71], τον μετεγχειρητικό έλεγχο της αρτηριακής πίεσης [72], τη μυϊκή χαλάρωση [73] και τον μηχανικό αερισμό κατά την αναισθησία [74].

2.5 Το έξυπνο νοσοκομείο (smart hospital)

Τα έξυπνα νοσοκομεία χρησιμοποιούν δεδομένα και τεχνολογία για να βελτιώσουν τις διαδικασίες τους και την ευημερία των ασθενών. Λειτουργούν σε ένα εξαιρετικά αυτοματοποιημένο και βελτιστοποιημένο περιβάλλον. Τέτοιες ιατρικές εγκαταστάσεις αναπτύσσουν συνδεδεμένες συσκευές, τεχνητή νοημοσύνη και αναλύσεις δεδομένων. Τα έξυπνα δωμάτια θα φαίνονται διαφορετικά σε κάθε νοσοκομείο, αλλά όλα εξυπηρετούν τους ίδιους στόχους – βελτίωση της εμπειρίας των ασθενών, βελτιστοποίηση των κλινικών ροών εργασίας και διευκόλυνση της επικοινωνίας.

Τα έξυπνα νοσοκομεία εμπνέονται από την ιδέα ότι οι ασθενείς είναι πελάτες και αναμένουν ότι οι ιατρικές εγκαταστάσεις θα καλύπτουν τις ανάγκες τους. Καθώς ο όρος «πελάτης» υποδηλώνει έναν ενεργό και πιο απαιτητικό αγοραστή, τα έξυπνα νοσοκομεία κάνουν ό,τι καλύτερο μπορούν για να προσφέρουν μια μοναδική εμπειρία αντί να επικεντρώνονται αποκλειστικά στις θεραπείες. Επεκτείνουν ακόμη και τις υπηρεσίες τους στους φροντιστές ασθενών. Για παράδειγμα, το Νοσοκομείο Stanford διατηρεί έναν βιβλιοθηκονόμο υγείας που θα βοηθήσει τα μέλη μιας οικογένειας να βρουν πόρους για να κατανοήσουν τη συγκεκριμένη διάγνωση και να προετοιμαστούν να υποστηρίξουν τον ασθενή στο σπίτι τους.

Ο εξοπλισμός ενός νοσοκομείου με έξυπνους θαλάμους είναι ακριβός. Το κόστος μπορεί να φτάσει τις δεκάδες χιλιάδες δολάρια ανά δωμάτιο [75].

Από τεχνολογική άποψη, τα έξυπνα νοσοκομεία χρησιμοποιούν το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και χρησιμοποιούν μια ποικιλία άλλων καινοτόμων τεχνολογιών.

Όπως μπορούμε να δούμε και στον παρακάτω πίνακα η λίστα των τεχνολογιών περιέχει:

Πίνακας 1. Τεχνολογίες έξυπνου νοσοκομείου

Τεχνολογίες Έξυπνου νοσοκομείου	
Artificial Intelligence	Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται συχνά για την ανίχνευση του καρκίνου και άλλων ασθενειών σε πρώιμα στάδια. Το AI είναι επίσης αναπόσπαστο μέρος του ευφυούς αυτοματισμού.
Ανάλυση Μεγάλου όγκου δεδομένων (Big data analytics)	Συμβάλλει στην ανίχνευση και θεραπεία ασθενειών, διευκολύνει την ιατρική έρευνα και διαχειρίζεται την υγεία του πληθυσμού, μεταξύ άλλων πλεονεκτημάτων.
Επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality)	Είναι ένα ισχυρό εργαλείο για τη διαχείριση του πόνου, τη θεραπεία ψυχικής υγείας και την εκπαίδευση του ιατρικού προσωπικού.
The Internet of Bodies (IoB)	Το IoB περιλαμβάνει λύσεις για απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών, συνδεδεμένα νοσοκομειακά κρεβάτια που καταγράφουν τα ζωτικά στοιχεία των ασθενών και συστήματα ελέγχου ταυτότητας με βιομετρική ισχύ.
Πλατφόρμες Cloud	Για να διατηρήσετε ένα έξυπνο νοσοκομειακό σύστημα, θα χρειαστεί να συγκεντρώσετε και να αναλύσετε μεγάλες ποσότητες δεδομένων. Θα ήταν μια πρόκληση να ολοκληρωθεί αυτό το έργο πλήρως στις εγκαταστάσεις. Και εδώ είναι χρήσιμο το υπολογιστικό νέφος (Cloud computing).

2.5.1 Τεχνολογίες διάγνωσης ασθενειών στα έξυπνα νοσοκομεία

Τα έξυπνα νοσοκομεία ενσωματώνουν εφαρμογές που βοηθούν τους επαγγελματίες υγείας να διαγνώσουν ασθένειες ταχύτερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Μερικά παραδείγματα:

A. Η Samsung συνεργάστηκε με την ΚΤ για να προσφέρει παθολογική ανάλυση βάσει της τεχνολογίας 5G, επιταχύνοντας κατά πολύ τη διαδικασία διάγνωσης. Παραδοσιακά, ο ιστός που λαμβάνεται κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης πρέπει να υποβληθεί

σε θεραπεία και μόνο τότε να αποσταλεί σε έναν παθολόγο. Αυτό μπορεί να διαρκέσει έως και 20 λεπτά. Με την τεχνολογία της Samsung, οι παθολόγοι μπορούν να έχουν πρόσβαση στα απαραίτητα δεδομένα και να λάβουν την απόφασή τους πιο γρήγορα [76].

B. Μια startup υγειονομικής περίθαλψης από το Σαν Φρανσίσκο, Freenome, χρησιμοποιεί τεχνητή νοημοσύνη στη γονιδιωματική για να ανιχνεύσει και να κατηγοριοποιήσει τον καρκίνο από μια εξέταση αίματος. Μετρά βιοδείκτες χωρίς κύτταρα και κυκλοφορούσες πρωτεΐνες για να εντοπίσει την ασθένεια και να προσδιορίσει τον τύπο και το στάδιο της [77].

2.6 Ηλεκτρονικός φάκελος υγείας (electronic health record)

Ο ηλεκτρονικός φάκελος υγείας (EHR) είναι μια ψηφιακή έκδοση του ιατρικού αρχείου ενός ασθενούς. Τα EHR είναι αρχεία σε πραγματικό χρόνο, με επίκεντρο τον ασθενή, τα οποία καθιστούν τις πληροφορίες διαθέσιμες άμεσα και με ασφάλεια σε εξουσιοδοτημένους χρήστες. Ενώ ένα EHR περιέχει το ιατρικό ιστορικό και το ιστορικό θεραπειών των ασθενών, ένα σύστημα EHR έχει κατασκευαστεί για να υπερβαίνει τα τυπικά κλινικά δεδομένα που συλλέγονται στο γραφείο ενός παρόχου και μπορεί να περιλαμβάνει μια ευρύτερη άποψη της φροντίδας ενός ασθενούς. Τα EHR αποτελούν ζωτικό μέρος της πληροφορικής υγείας και έχουν τις εξής ιδιότητες:

- Περιέχουν το ιατρικό ιστορικό του ασθενούς, διαγνώσεις, φάρμακα, σχέδια θεραπείας, ημερομηνίες ανοσοποίησης, αλλεργίες, ακτινολογικές εικόνες και αποτελέσματα εργαστηρίου και δοκιμών.
- Επιτρέπουν την πρόσβαση σε εργαλεία που βασίζονται σε στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι πάροχοι για να λάβουν αποφάσεις σχετικά με τη φροντίδα του ασθενούς.
- Αυτοματοποιούν και βελτιστοποιούν τη ροή εργασιών του παρόχου.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά ενός EHR είναι ότι οι πληροφορίες υγείας μπορούν να δημιουργηθούν και να διαχειρίζονται από εξουσιοδοτημένους παρόχους σε ψηφιακή μορφή που μπορεί να κοινοποιηθεί με άλλους παρόχους σε περισσότερους από έναν οργανισμούς υγειονομικής περίθαλψης. Τα EHR έχουν δημιουργηθεί για να μοιράζονται πληροφορίες με άλλους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης και οργανισμούς – όπως

εργαστήρια, ειδικούς, εγκαταστάσεις ιατρικής απεικόνισης, φαρμακεία, εγκαταστάσεις έκτακτης ανάγκης και κλινικές σχολείων και χώρων εργασίας – έτσι ώστε να περιέχουν πληροφορίες από όλους τους κλινικούς γιατρούς που εμπλέκονται στη φροντίδα ενός ασθενούς [78].

2.7 Παράγοντες σχεδιασμού και υλοποίησης

Το IoMT απεικονίζει ένα σύστημα ιατρικών συσκευών συνδεδεμένων στο Διαδίκτυο που μπορούν να δημιουργούν και να μεταφέρουν δεδομένα μεταξύ της εφαρμογής υγείας και των νοσοκομείων. Σύμφωνα με την έκθεση Deloitte [79], η αγορά του IoMT αναμένεται να έχει αξία 158,1 δισεκατομμυρίων δολαρίων έως το 2022. Ωστόσο, υπάρχουν ακόμη μερικές προκλήσεις και παράγοντες που εμποδίζουν τη συνεχή ανάπτυξή της. Μερικές από τις κύριες προκλήσεις και θέματα στον σχεδιασμό στον τομέα της υγείας συζητούνται παρακάτω:

Κόστος – Στον 21ο αιώνα, η ιατρική εξαρτάται περισσότερο από την τεχνολογία. Μία από τις κύριες προκλήσεις στην τεχνολογία υγειονομικής περίθαλψης είναι το σπειροειδές κόστος της. Για τις προηγμένες τεχνολογικές συσκευές, τα νοσοκομεία είναι ξοδεύει δισεκατομμύρια δολάρια κάθε χρόνο. Η χρήση νέων τεχνολογιών, διαδικασιών και φαρμάκων οδηγεί σε αύξηση του κόστους υγειονομικής περίθαλψης, γεγονός που καθιστά την ιατρική περίθαλψη απρόσιτη για πολλούς ανθρώπους [80]. Αυτή η κατάσταση πρέπει να ληφθεί επείγοντως υπόψη και πρέπει να ληφθούν νέες στρατηγικές ανάπτυξης για το ελάχιστο κόστος εξοπλισμού και λειτουργίας. Από αυτή την άποψη, το IoMT διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στη βελτίωση της τρέχουσας κατάστασης. Έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί διαφορετικές συσκευές παρακολούθησης που βασίζονται στο IoMT και είναι διαθέσιμες στις αγορές. Αυτές οι συσκευές μπορούν να στείλουν δεδομένα μέσω διαδικτυακών εφαρμογών απευθείας στους φροντιστές και μπορούν να σώσουν εκατομμύρια ζωές ανιχνεύοντας σοβαρές παθήσεις υγείας στα πρώτα τους στάδια. Ως εκ τούτου, οι έξυπνες συσκευές IoMT μπορούν επίσης να εξοικονομήσουν χρήματα και χρόνο.

Ακρίβεια – Η ακρίβεια των δεδομένων που παρατηρούνται από τους αισθητήρες είναι κρίσιμης σημασίας παράγοντας σχεδιασμού ιατρικών πραγμάτων [81]. Τα ανακριβή δεδομένα μπορεί να είναι παραπλανητικά και να είναι επιβλαβή σε ασθενείς. Είναι επιτακτική ανάγκη να διασφαλιστεί ότι μετά από πολλές χρήσεις, η ακρίβεια της συσκευής

παραμένει ίδια. Διαφορετικά, το σύστημα θα πρέπει να παράγει ειδοποιήσεις ή προειδοποιήσεις για την έκδοση συντήρησης ή αντικατάσταση. Το IoMT διαδραματίζει πολύ αποτελεσματικό ρόλο για την παροχή υγειονομικής περίθαλψης με μεγαλύτερη ακρίβεια, όπως π.χ. ενσωμάτωση και ανάλυση διαφορετικών τύπων ιατρικών αρχείων και χρήση τους σε κλινικά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων. Με αυτόν τον τρόπο, οι φροντιστές θα μπορούσαν να έχουν μια πλήρη εικόνα της υγείας κάθε ασθενούς και ως αποτέλεσμα θα εκτελούσαν πιο γρήγορα θεραπείες. Τέτοιες υπηρεσίες εφαρμόζονται ήδη στη διάγνωση της σήψης [82], όπου οι παράγοντες ταχύτητας και ακρίβειας ήταν κρίσιμοι για τη διάσωση της ζωής του ασθενούς.

Ασφάλεια και απόρρητο – Στην υγειονομική περίθαλψη, ένα ασφαλές σύστημα IoMT είναι πολύ σημαντικό. Όσο όλο και περισσότερο τα πράγματα συνδέονται μεταξύ τους, είναι επιτακτική ανάγκη να διασφαλιστεί η ασφάλεια και το απόρρητο των δεδομένων των ασθενών. Τα ελαττώματα ασφαλείας επιτρέπουν στους χάκερ να κλέβουν δημογραφικές πληροφορίες ασθενών και οδηγούν σε εγκλήματα όπως κλοπή ταυτότητας και πρόσβαση σε ελεγχόμενες ουσίες. Επίσης, η ασφαλής διατήρηση ασθενειών, ζωτικών στοιχείων και δεδομένων που συλλέγονται μέσω συνδεδεμένων συσκευών ή αισθητήρων έχει γίνει σημαντικό μέλημα της τεχνολογίας IoMT. Επιπλέον, θα μπορούσαν να υπάρχουν ελαττώματα ασφαλείας στο νοσοκομειακό σύστημα έχουν ως αποτέλεσμα σημαντικές ζημιές στην υποδομή, οι οποίες μπορεί επίσης να αποβούν θανατηφόρες σε ορισμένες περιπτώσεις [83]. Ένας από τα βασικά στοιχεία για την ασφάλεια μιας υποδομής IoMT είναι ο έλεγχος ταυτότητας συσκευής. Εξαιτίας ανεπαρκούς επεξεργαστικής ισχύος και ενέργειας ορισμένες συσκευές δεν υποστηρίζουν προηγμένα πρωτόκολλα ελέγχου ταυτότητας [84]. Ως εκ τούτου, για να ξεπεραστούν τα ζητήματα ασφαλείας, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν ταχύτερα και χαμηλά επεξεργαστές ισχύος με νέα σχήματα ελέγχου ταυτότητας

Ηλεκτρική ασφάλεια – Σχεδόν τα πάντα σε ένα οικοσύστημα IoMT λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια. Εάν οι ηλεκτρικές συσκευές χρησιμοποιούνται ή συντηρούνται ακατάλληλα, μπορεί να είναι δυνητικά επικίνδυνες και μπορεί να προκαλέσουν έντονο πόνο, εγκαύματα και ακόμη και θανατηφόρους. Οι οργανισμοί και τα νοσοκομεία πρέπει να λάβουν σοβαρά μέτρα διασφαλίζοντας το περιβάλλον ή τις συσκευές χωρίς ηλεκτρικούς κινδύνους. Επίσης, πριν από το σχεδιασμό τέτοιων συσκευών, πρέπει να τηρούνται τα γενικά πρότυπα μέτρων ασφαλείας όπως το IEC60601-1 για να διασφαλιστεί η πλήρης ασφάλεια.

Ενεργειακή απόδοση – Οι περισσότερες ασύρματες συσκευές λειτουργούν 24/7 και καταναλώνουν σημαντική ποσότητα ενέργειας. Η παραγωγή πράσινων ενεργειακά αποδοτικών συσκευών είναι μια νέα πρόκληση. Το IoMT έδωσε τη δυνατότητα στους ερευνητές να αναπτύξουν νέες τεχνικές προκειμένου να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας διαφορετικών ασύρματων συσκευών [85], [86], [87]. Έχουν αναπτυχθεί αρκετοί αλγόριθμοι ή πρωτόκολλα δρομολόγησης για τη μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Ωστόσο, εξακολουθεί να υπάρχει ανάγκη να βελτιστοποιηθεί η ποσότητα των δεδομένων που παράγονται και να μειωθεί η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία και τη μετάδοση. Επίσης, λόγω της σμίκρυνσης των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, υπάρχει δυνατότητα για μονάδες συγκομιδής ενέργειας που μπορεί να μετατρέψει διαφορετικές πηγές ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια όπως θερμότητα, ηλιακό φως και δόνηση [88]. Οι ενεργειακά αποδοτικές συσκευές μπορούν να μειώσουν σημαντικά την ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιείται στα νοσοκομεία και να δημιουργήσουν αξιόλογη εξοικονόμηση. Αυτές οι συσκευές έχουν επίσης θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις μειώνοντας τις ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες.

Ευχρηστία – Ο κύριος στόχος του IoMT είναι να κάνει τη ζωή ευκολότερη και, επομένως, η χρησιμότητα είναι ο τελευταίος αλλά ουσιαστικός παράγοντας σχεδιασμού για τη βελτίωση της ασφάλειας και της ποιότητας της περίθαλψης των ασθενών [89]. Τυπικά, η χρησιμότητα ελέγχεται χρησιμοποιώντας σχόλια καταναλωτών και εντοπίζονται ελαττώματα σχεδιασμού. Επειδή το IoMT αντιπροσωπεύει μια περίπλοκη συνεργασία συσκευών, τα πρότυπα για την ανάπτυξη εφαρμογών και την εμπειρία χρήστη πρέπει να προσαρμοστούν, ώστε τα στοιχεία του δικτύου να λειτουργούν αρμονικά. Η τεχνολογία πλησιάζει την εποχή των έξυπνων συσκευών που μπορούν να προβλέψουν και να κοινωνικοποιηθούν, και η ανάγκη για καλά καθορισμένα πρότυπα εμπειρίας χρήστη αυξάνεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Το 5G στην εξέλιξη του διαδικτύου των ιατρικών πραγμάτων

Το 5G είναι το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας 5ης γενιάς. Είναι ένα νέο παγκόσμιο ασύρματο πρότυπο μετά τα δίκτυα 1G, 2G, 3G και 4G. Το 5G επιτρέπει ένα νέο είδος δικτύου που έχει σχεδιαστεί για να συνδέει σχεδόν όλους και τα πάντα μαζί, συμπεριλαμβανομένων μηχανών, αντικειμένων και συσκευών. Μπορεί να παρέχει υψηλότερη ταχύτητα, χαμηλότερη καθυστέρηση και μεγαλύτερη χωρητικότητα από τα δίκτυα 4G LTE. Είναι μια από τις πιο γρήγορες, πιο ισχυρές τεχνολογίες που έχει δει ποτέ ο κόσμος.

Αυτό σημαίνει πιο γρήγορες λήψεις, πολύ μικρότερη καθυστέρηση και σημαντικό αντίκτυπο στον τρόπο που ζούμε, εργαζόμαστε και παίζουμε. Η ταχύτητα 5G και άλλα οφέλη συνδεσιμότητας αναμένεται να καταστήσουν τις επιχειρήσεις πιο αποτελεσματικές και να δώσουν στους καταναλωτές πρόσβαση σε περισσότερες πληροφορίες πιο γρήγορα από ποτέ.[90]

3.1 5G και Internet of Medical Things

3.1.1 5G Ενεργοποίηση του Internet of Medical Things (IoMT)

Το 5G έχει πολλές βασικές ιδιότητες που θα επιτρέψουν ένα τεράστιο δίκτυο συνδεδεμένων «πράξεων»—συσκευές και μηχανές που μπορούν να μιλήσουν σε άλλες συσκευές και μηχανήματα, με ή χωρίς ανθρώπινη μεσολάβηση. Το 5G διευκολύνει αυτό το «Διαδίκτυο των πραγμάτων» μέσω:

- Εξαιρετικά βελτιωμένους ρυθμούς ευρυζωνικών δεδομένων κινητής τηλεφωνίας που επιτρέπουν όλο και ταχύτερες ροές μεγαλύτερου όγκου πληροφοριών.
- Εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση και αξιοπιστία—το οποίο είναι κατάλληλο για υπηρεσίες κρίσιμες για την αποστολή.
- Δυνατότητα σημαντικής και αποτελεσματικής κλιμάκωσης για τη σύνδεση ενός τεράστιου αριθμού αισθητήρων

- Βελτιωμένη ασφάλεια, π.χ. δυνατότητες γύρω από τη βιομετρική ταυτοποίηση, που συμβάλλουν στη διασφάλιση της ακεραιότητας των πληροφοριών.

Το Διαδίκτυο ιατρικών πραγμάτων (IoMT) «περιλαμβάνει συσκευές όπως ιατρικές συσκευές, φορητές συσκευές, αισθητήρες τηλεχειρισμού και ασύρματα patches που παρακολουθούν και μεταδίδουν ηλεκτρονικά ζωτικά σημεία, τη σωματική δραστηριότητα, την προσωπική ασφάλεια και την τήρηση φαρμάκων» [91]. Το 5G είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός καταλύτης για το IoMT. Η πανταχού παρουσία, η εξαιρετική αξιοπιστία και η ικανότητα του 5G να υποστηρίζει υψηλότερο εύρος ζώνης μετάδοσης, με πολύ χαμηλότερο λανθάνοντα χρόνο από τα σημερινά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, όχι απλώς θα επιτρέψει ταχύτερες και μεγαλύτερες ροές δεδομένων, αλλά θα ενσωματώσει «κέντρα δεδομένων back-end, υπηρεσίες cloud και απομακρυσμένους διακομιστές αρχείων σε ένα υπολογιστικό μεγαθήριο. Θα υπάρχει «computing at the edge», που σημαίνει ότι οι υπολογισμοί μπορούν να εκτελεστούν κοντά στην πηγή, στην ίδια τη συσκευή ή τον αισθητήρα ή στο cloud, ανάλογα με την άμεση ανάγκη. Αυτές οι καινοτομίες 5G θα επιτρέψουν στις εφαρμογές να επεξεργάζονται γρήγορα περιεχόμενο και να παρέχουν μια εμπειρία σχεδόν σε πραγματικό χρόνο και με μεγάλη απόκριση» [92].

Εν ολίγοις, οι καινοτομίες που σχετίζονται με το 5G κάνουν πολύ περισσότερα από το να μετακινούν κομμάτια δεδομένων με ολόενα και υψηλότερους ρυθμούς. Αντίθετα, το «υπολογιστικό μεγαθήριο» που περιγράφηκε παραπάνω επιτρέπει στο δίκτυο να αφομοιώνει και να επεξεργάζεται μεγάλες ποσότητες δεδομένων, και να το κάνει έξυπνα, ώστε να μπορεί να μετατραπεί ξανά σε εξατομικευμένες συστάσεις και ενέργειες για τους ασθενείς και τους φροντιστές τους. Επιπλέον, αυτές οι καινοτομίες 5G θα διευκολύνουν (μέσω του cloud computing) την κοινή χρήση αυτών των πληροφοριών. Η πανταχού παρουσία του 5G επιτρέπει τον πολλαπλασιασμό των συνδεδεμένων «ιατρικών πραγμάτων». Αυτή η ιδιότητα της «πανταχού παρουσίας» προκύπτει επειδή το 5G δεν είναι απλώς μια επέκταση των υπαρχόντων δικτύων 3G και 4G. Ενώνει τα δίκτυα Wi-Fi και κινητής τηλεφωνίας σε ένα ενιαίο απρόσκοπτο δίκτυο. Αυτή η πανταχού παρουσία ή η απρόσκοπτη είναι που υποστηρίζει τον πολλαπλασιασμό των συνδεδεμένων συσκευών και επιτρέπει, για παράδειγμα, τη συνεχή παρακολούθηση των ασθενών. Οι ιδιότητες ασφαλείας του 5G είναι κρίσιμες για τη διαφύλαξη της ασφάλειας και της ακεραιότητας των πληροφοριών, μειώνοντας έτσι ένα κρίσιμο εμπόδιο στη διάδοση και αξιοποίηση των πληροφοριών.

3.1.2 Επιπτώσεις και οφέλη από τη διάδοση των πραγμάτων

3.1.2.1 Συνδεσιμότητα και Εξατομίκευση της Υγείας

Τα οφέλη αυτού του συνδεδεμένου «οικοσυστήματος» είναι σημαντικά. Όπως το θέτει ο West (2016), «αυτές οι συσκευές θα παρέχουν υπηρεσίες διάγνωσης και θεραπείας τηλεϊατρικής που δεν έχουμε ξαναδεί». Ένας παρατηρητής το επισημαίνει:

“Σε αυτόν τον κόσμο, το σημείο φροντίδας είναι τώρα όπου κι αν βρίσκεστε, με αισθητήρες και συσκευές που σας περιβάλλουν κάθε δευτερόλεπτο της ημέρας. Οι συσκευές προσαρμόζονται σε εσάς, γνωρίζουν για εσάς και σας δίνουν χρήσιμες πληροφορίες. Κάθε λιγη πληροφορία που συγκεντρώνουν θα μας δώσει τη δυνατότητα να διαχειριζόμαστε μόνοι μας την υγεία μας” [93].

Ως από παράδειγμα, θεωρήστε ένα γλυκόμετρο. Σήμερα οι περισσότεροι διαβητικοί δεν χρησιμοποιούν το γλυκόμετρο τους για να κατανοήσουν τα επίπεδα σακχάρου στο αίμα τους και η συσκευή δεν αποθηκεύει δεδομένα με τρόπο που να επιτρέπει την ανάλυση από τον χρήστη. Ακόμη και η πράξη της τήρησης ενός συστηματικού αρχείου καταγραφής αποτελεσμάτων είναι κάτι που απαιτεί σημαντικό βαθμό πειθαρχίας εκ μέρους του ασθενούς. Τα άτομα με διαβήτη λαμβάνουν επομένως ανατροφοδότηση σχετικά με την πρόδο τους και υποδείξεις ως προς τη μελλοντική πορεία δράσης συνήθως μέσω των επισκέψεων σε ιατρούς. Στον συνδεδεμένο κόσμο, όχι μόνο το γλυκόμετρο μπορεί να μεταδίδει συνεχώς δεδομένα σε άλλη συσκευή ή διακομιστή που τα καταγράφει, αλλά με την ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης, ο ασθενής μπορεί λαμβάνει τόσο ανατροφοδότηση όσο και καθοδήγηση που είναι προσαρμοσμένη στην τρέχουσα κατάσταση, τον τρόπο ζωής και τη μοναδική τους φυσιολογία [94].

Αυτές οι δυνατότητες για βελτιωμένη και εξατομικευμένη υγειονομική περίθαλψη ενισχύονται από το γεγονός ότι στο περιβάλλον IoMT, οι πληροφορίες από το γλυκόμετρο δεν θα υποβάλλονται σε επεξεργασία μεμονωμένα. Αντίθετα, ο κόσμος του IoMT θα περιλαμβάνει τις πληροφορίες από το γλυκόμετρο σε συνδυασμό με πληροφορίες από άλλους αισθητήρες και έξυπνες συσκευές. Μια πολύ πιο ολοκληρωμένη άποψη της υγείας του ασθενούς παρέχει πολύ πιο ισχυρές πρακτικές ιδέες που θα εξαχθούν από τα δεδομένα.

Για παράδειγμα, παροδικές ασθένειες ή λοιμώξεις μπορεί να αλληλεπιδράσουν με μια υποκείμενη μακροχρόνια πάθηση και να δημιουργήσουν περισσότερες επιπλοκές για τους ευάλωτους ασθενείς από ό,τι στο γενικό πληθυσμό. Ένα πλούσιο σύνολο πληροφοριών θα επιτρέψει την καλύτερη παρακολούθηση και διάγνωση τέτοιων αλληλεπιδράσεων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενημέρωση των παρεμβάσεων ή αλλαγών στην τυπική πορεία της θεραπείας.

Αυτός ο συνδυασμός ανώτερων δυνατοτήτων για αυτοδιαχείριση και εξατομικευμένων ενεργών γνώσεων είναι η ουσία της «εξατομικευμένης υγειονομικής περίθαλψης». Αντιπροσωπεύει μια εντυπωσιακή απομάκρυνση από τον σημερινό κόσμο όπου τόσα πολλά πράγματα απαιτούν την παρέμβαση ενός επαγγελματία, ο οποίος δεν έχει το πλεονέκτημα της συνεχούς καταγραφής της ευημερίας και της φυσικής κατάστασης του ασθενούς. Ακόμη και για καταστάσεις που δεν μπορούν να «διαχειριστούν» αλλά απαιτούν παρέμβαση, η παρέμβαση μπορεί να παραδοθεί εξ αποστάσεως—π.χ. οι φροντιστές στο σπίτι ή στο πεδίο μπορούν να έρθουν σε επαφή με ειδικούς, έχοντας και οι δύο πρόσβαση στο ίδιο σύνολο πληροφοριών που παράγεται συνεχώς.

Εναλλακτικά, οι ειδικοί θα μπορούσαν να χρονομετρήσουν τις παρεμβάσεις με βάση τις ροές πληροφοριών που λαμβάνουν από συνδεδεμένες συσκευές παρακολούθησης. Θα μπορούσε κανείς να δει, λοιπόν, την εμφάνιση νοσοκομείων με «λιγότερα κρεβάτια» ή μοντέλων φροντίδας στο σπίτι, με χαμηλότερο κόστος αλλά πιο εξατομικευμένη και έγκαιρη φροντίδα. Αυτό θα αντιπροσώπευε άμεση εξοικονόμηση κόστους όσον αφορά τον χρόνο και τους πόρους των ειδικών, καθώς και ένα κοινωνικό κέρδος με τη μορφή καλύτερης υγείας και ευημερίας.

3.1.2.2 Οικονομικά οφέλη από την εξατομικευμένη ιατρική και καλύτερα αποτελέσματα υγείας

Οι εξελίξεις που συζητήθηκαν παραπάνω έχουν προφανή κοινωνικά οφέλη.

Για παράδειγμα:

- **Διαχείριση μακροχρόνιων παθήσεων μέσω ανώτερης παρακολούθησης.** Μια έκθεση για τη Βρετανική Βουλή των Κοινοτήτων

αναφέρει: «Στο Ηνωμένο Βασίλειο, 15 εκατομμύρια ασθενείς του NHS στην Αγγλία με μακροχρόνιες παθήσεις όπως ο διαβήτης, η αρθρίτιδα και το άσθμα αντιπροσωπεύουν το 70% των ετήσιων δαπανών του NHS στην Αγγλία». Η αυξημένη επικράτηση αυτών των μακροπρόθεσμων συνθηκών προβλεπόταν ότι θα προσθέσει 5 δισεκατομμύρια £ στο ετήσιο κόστος του συστήματος κατά την περίοδο 2011 έως 2018.[95] Απαντώντας σε ερωτήσεις που τέθηκαν από μια επιτροπή, ένας ιατρός σημείωσε ότι η διαχείριση μακροπρόθεσμων συνθηκών απαιτούσε συνεχή φροντίδα. Σημείωσε επίσης ότι η συνεχής ενημέρωση ήταν ένας από τους σημαντικούς πυλώνες της συνεχούς περίθαλψης, υποδεικνύοντας την προφανή δυνατότητα των φορητών συσκευών να υποστηρίξουν τη συνεχή φροντίδα με χαμηλότερο κόστος (και πιθανώς στο σπίτι). Διαπιστώθηκε ότι οι ασθενείς που παρακολουθούσαν μόνοι τους τα ζωτικά τους στοιχεία είχαν 50% περισσότερες πιθανότητες να έχουν την αρτηριακή τους πίεση υπό έλεγχο από εκείνους που δεν την έκαναν. Η αποτελεσματικότητα της «συνδεδεμένης υγείας» και ιδιαίτερα της «υγείας μέσω κινητού τηλεφώνου» στην ενίσχυση της αυτοδιαχείρισης μακροπρόθεσμων καταστάσεων έχει σημειωθεί ευρέως. Δεδομένου του οικονομικού κόστους που επιβάλλουν αυτές οι μακροπρόθεσμες συνθήκες στα συστήματα υγείας και στην κοινωνία, είναι σαφές ότι η πιθανή εξοικονόμηση κόστους από την ανώτερη διαχείριση της μακροχρόνιας περίθαλψης με ενισχυμένη χρήση φορητών λύσεων υγείας είναι πιθανότατα αρκετά σημαντική. Η PWC (2013) υπολόγισε ότι για την Ευρώπη, η ευρύτερη υιοθέτηση του «M-Health» θα εξοικονομούσε 99 δισεκατομμύρια ευρώ στο κόστος υγειονομικής περίθαλψης μεταξύ 2014 και 2017. Η πιθανή εξοικονόμηση πόρων από μια βελτιωμένη έκδοση της κινητής υγειονομικής περίθαλψης—με 5G—είναι πιθανώς σημαντικά μεγαλύτερες.

- **Βελτιωμένη παραγωγικότητα, μείωση των κινδύνων ασφάλισης υγείας.** Μόνο στο Ηνωμένο Βασίλειο, περισσότερες από 130 εκατομμύρια ημέρες εργασίας χάθηκαν λόγω ασθένειας το 2013, με ετήσιο εκτιμώμενο κόστος 32 δισεκατομμυρίων λιρών.[96] Οι συνδεδεμένες συσκευές, που κυμαίνονται από φορητές συσκευές έως πιο εξελιγμένες συσκευές παρακολούθησης που απευθύνονται σε ασθενείς με χρόνιες και σοβαρές παθήσεις, μπορούν επίσης να βοηθήσουν στη μείωση αυτού του προβλήματος. Αυτό μπορεί να συμβεί μέσω ενός συνδυασμού συνεχούς παρακολούθησης και

ενός έξυπνου βρόχου ανατροφοδότησης, προσαρμοσμένη καθοδήγηση σχετικά με τον τρόπο διαχείρισης των συνθηκών και πρώιμες παρεμβάσεις σε κρίσιμες καταστάσεις. Επιπλέον, μειώνοντας το κόστος που σχετίζεται με τη διαχείριση (ίσως ιδιαίτερα) μακροπρόθεσμων ή χρόνιων παθήσεων, η συνδεδεμένη υγεία μπορεί να διαδραματίσει κάποιο ρόλο στη μείωση της πιθανότητας δαπανηρών πληρωμών για εντατική φροντίδα και νοσοκομειακή νοσηλεία, ή στην μείωση της επιβάρυνσης των φορολογουμένων περιορίζοντας το κόστος που σχετίζεται με παραμονή στο νοσοκομείο.

- **Καλύτερα αποτελέσματα υγείας.** Η «συνδεδεμένη υγεία» που τροφοδοτείται από το 5G προσφέρει επίσης την προοπτική βελτιωμένων αποτελεσμάτων υγείας, μειωμένη παραμονή χρόνου στο νοσοκομείο, μειωμένη ανάγκη για δαπανηρές θεραπείες στην περίπτωση καταστάσεων όπως ο διαβήτης που ανταποκρίνονται σε αυτοδιαχείριση κ.λπ.

3.2 Ο αντίκτυπος του 5G στις υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης

3.2.1 Πληροφορική για την υγεία και η στροφή στην υγειονομική περίθαλψη που βασίζεται στην αξία

Η προηγούμενη συζήτηση τόνισε το ρόλο της ενημέρωσης (και της «συνέχειας της πληροφόρησης») στη βελτίωση των αποτελεσμάτων της υγειονομικής περίθαλψης. Περαιτέρω βελτιώσεις στο ενημερωτικό περιεχόμενο και η συνέχεια της πληροφόρησης θα οδηγήσουν σε σημαντική εξοικονόμηση πόρων για το κοινωνικό σύνολο. Θα οδηγήσει επίσης σε σημαντικές αποταμιεύσεις και αυξήσεις παραγωγικότητας για τα νοσοκομεία και τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης, τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε μεγαλύτερη κερδοφορία. Πιο θεμελιωδώς, ωστόσο, οι πληροφορίες είναι απολύτως κεντρικές σε έναν μετασχηματισμό που ορισμένοι παρατηρητές σχολίασαν ότι είναι μια μετατροπή από έναν «βασισμένο στον όγκο» σε ένα «βασισμένο στην αξία» μοντέλο παροχής στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης.

Το Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ και το Boston Consulting Group έχουν επίσης επισημάνει ακριβώς αυτό το σημείο σε ένα άρθρο [97]. Η παραδοσιακή παροχή υγειονομικής περίθαλψης έχει ανταμείψει τους πωλητές (π.χ. γιατρούς και ειδικούς) βασιζόμενοι κυρίως

σε μέτρα όγκου. Οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι το παραδοσιακό μοντέλο αποζημίωσης «αμοιβής για υπηρεσία» παρέχει κίνητρα για υπερβολική θεραπεία και οδηγεί στον κατακερματισμό της υγειονομικής περίθαλψης. Αυτό που απαιτείται, λένε, είναι να μεταβούμε σε έναν κόσμο «υγειονομικής περίθαλψης που βασίζεται στην αξία» ή (εναλλακτικά) «υγειονομικής περίθαλψης με βάση το αποτέλεσμα».

Η ουσία αυτής της νέας προσέγγισης είναι να βασιστεί το σύστημα υγειονομικής περίθαλψης στην παροχή των αποτελεσμάτων που έχουν τη μεγαλύτερη σημασία για τους καταναλωτές, με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι το διαζύγιο μεταξύ των αποτελεσμάτων από τη μια πλευρά και του κόστους και της αποζημίωσης από την άλλη οδηγεί σε οικονομικά αναποτελεσματικά κίνητρα στην υγειονομική περίθαλψη—για παράδειγμα, σε ένα ιατρικό σύστημα κερδοσκοπικού χαρακτήρα, οι ασθενείς με επιπλοκές είναι πιο επικερδείς στη θεραπεία από τους ασθενείς χωρίς επιπλοκές. Τι επιπτώσεις έχει αυτό για τα κίνητρα μείωσης των επιπλοκών; Σημειώνουν ότι όταν αναλαμβάνονται μέτρα περιορισμού του κόστους στην υγειονομική περίθαλψη, αυτά είναι συχνά μέτρα που βασίζονται σε μικροδιαχειριστές ιατρών και ειδικευμένες δραστηριότητες για την προσαρμογή του κόστους στις δημοσιονομικές παραμέτρους.

Το 5G μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη διευκόλυνση του μετασχηματισμού σε ένα μοντέλο που βασίζεται στα αποτελέσματα από το παραδοσιακό μοντέλο παροχής υγειονομικής περίθαλψης. Οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι ένα από τα Θεμελιώδεις κινητήριες δυνάμεις ενός τέτοιου μετασχηματισμού θα ήταν η διαθεσιμότητα και η ποιότητα της πληροφορικής υγείας. Γενικότερα, τρία χαρακτηριστικά του 5G είναι ιδιαίτερα κρίσιμα για τον στόχο του καθορισμού και της παρακολούθησης της επίτευξης ενός επιθυμητού συνόλου αποτελεσμάτων και της επίτευξης αυτών των αποτελεσμάτων με το χαμηλότερο κόστος:

- Το 5G επιτρέπει την καινοτομία στα «άκρα». Περιλαμβάνει ένα «καταναμημένο υπολογιστικό μοντέλο που αντλεί πληροφορίες από τα δεδομένα που δημιουργούνται από δισεκατομμύρια συσκευές» . Ο καταναμημένος υπολογισμός υποδηλώνει ότι η υπολογιστική δραστηριότητα μπορεί να συμβεί κοντά στην πηγή - π.χ. στον ασθενή - επιταχύνοντας έτσι τον «βρόχο» συλλογής πληροφοριών από τον ασθενή, την επεξεργασία των πληροφοριών, τον υπολογισμό τυχόν πιθανών τρόπων δράσης ή συστάσεων και την παροχή ανατροφοδότησης στον ασθενή . Αυτή η πτυχή του 5G θα

πρέπει να είναι πολύ σημαντική για την εμφάνιση του τύπου υψηλής ποιότητας πληροφορικής υγείας που απαιτείται για τη συνολική μέτρηση των αποτελεσμάτων.

- Το 5G δεν θα βελτιώσει απλώς την παρακολούθηση των αποτελεσμάτων, αλλά θα βελτιώσει και τα ίδια τα αποτελέσματα. Η ανώτερη καθυστέρηση, η αξιοπιστία και η ταχύτητα μετάδοσης του 5G θα βοηθήσουν στην προώθηση της προληπτικής φροντίδας και στη βελτίωση των αποτελεσμάτων όπου απαιτούνται κρίσιμες παρεμβάσεις. Αυτές οι πτυχές του 5G θα βοηθήσουν στη βελτίωση των αποτελεσμάτων και στη μείωση του κόστους που σχετίζεται με την επίτευξη ενός δεδομένου επιπέδου αποτελέσματος (δηλαδή, το 5G θα βελτιώσει την παραγωγικότητα).
- Τα ανώτερα χαρακτηριστικά ασφαλείας του οικοσυστήματος 5G θα διευκολύνουν την επανάσταση της πληροφορικής και θα καθυστερήσουν τα συστήματα υγείας και τις υγειονομικές αρχές που διαχειρίζονται ευαίσθητα δεδομένα ασθενών εκτός νοσοκομείου. Η Orange Health σημειώνει «η υψηλή αξιοπιστία και ασφάλεια των υποδομών 5G θα πρέπει να συμβάλει στην ανακούφιση ανησυχιών των τελικών χρηστών και των επαγγελματιών υγείας σχετικά με το απόρρητο των δεδομένων και υπηρεσιών υγείας».

Η Goldman Sachs εκτιμά ότι η μετάβαση στη φροντίδα με βάση την αξία θα μπορούσε να προκαλέσει εξοικονόμηση πάνω από 650 δισεκατομμυρίων δολαρίων από το 2017 [98] έως το 2025 μέσω της μετατόπισης της φροντίδας σε ρυθμίσεις χαμηλότερου κόστους, του μετριασμού του πληθωρισμού των τιμών και της μείωσης των εκτιμώμενων 1,4 τρισεκατομμυρίων δολαρίων σε ετήσια οπατάλη υγειονομικής περίθαλψης στις ΗΠΑ. Ωστόσο, το κατά πόσον τέτοια μεγάλα οφέλη μπορούν πραγματικά να επιτευχθούν, θα εξαρτηθεί από αποτελεσματικές δημόσιες πολιτικές. Συζητάμε αυτό το σημείο στην τελική ενότητα σχετικά με τις επιπτώσεις της πολιτικής.

3.2.2 Πληροφορική Υγείας και Νέες Επιχειρηματικές Ευκαιρίες

Η υγειονομική περίθαλψη συχνά περιγράφεται ως πλούσια σε δεδομένα αλλά φτωχή σε πληροφορίες. Το 5G προσφέρει τη δυνατότητα εμφάνισης νέων επιχειρηματικών μοντέλων στη διασταύρωση της υγειονομικής περίθαλψης και της ανάλυσης δεδομένων. Η υγειονομική περίθαλψη είναι φυσικά εξαιρετικά εξειδικευμένη και είναι απαραίτητο να

διατηρηθεί το απόρρητο των αρχείων των ασθενών καθώς και η ασφάλεια των πληροφοριών. Ωστόσο, η δυνατότητα για "μεγάλα δεδομένα" στην υγειονομική περίθαλψη όχι μόνο προσφέρει ευκαιρίες ανάπτυξης για τους προμηθευτές αναλυτικών στοιχείων δεδομένων, αλλά προσφέρει επίσης μια ευκαιρία στους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης να κερδίζουν χρήματα από τις πληροφορίες που διαθέτουν, υπό την προϋπόθεση ότι μπορούν να ικανοποιηθούν οι ανησυχίες για την ασφάλεια και το απόρρητο. Αυτές οι πληροφορίες μπορεί να ενδιαφέρουν φαρμακευτικές εταιρείες και κατασκευαστές ιατρικών συσκευών που επιδιώκουν ενσωματωμένες αναλύσεις στις συσκευές και λύσεις φαρμάκων με δυνατότητα εξυπηρέτησης.

Η ευρύτερη διαθεσιμότητα και η προσβασιμότητα των πληροφοριών που τροφοδοτούνται από το 5G θα μπορούσε να ενθαρρύνει την ανάπτυξη συνεργασιών στον κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης—για παράδειγμα, πληροφορίες σχετικά με τα αποτελέσματα των ασθενών ως απόκριση σε ορισμένες θεραπείες ή αλλαγές στο περιβάλλον του ασθενούς μπορεί να ήταν προηγουμένως διαθέσιμες ως μέρος μιας δοκιμής ή πειράματος που διεξήχθη. Όμως, στο μέλλον, με τις εξελίξεις στην παρακολούθηση και την πληροφορική που συζητήθηκαν παραπάνω, τέτοιες πληροφορίες μπορεί να συλλέγονται πιο εύκολα από ένα ευρύτερο φάσμα συμμετεχόντων στον κλάδο και μπορούν να συγκεντρώνονται πιο αποτελεσματικά (π.χ. από εξειδικευμένους προμηθευτές πληροφορικής υγείας). Σε αυτό το περιβάλλον, τουλάχιστον από τεχνολογική άποψη, η συνεργασία μεταξύ κατασκευαστών φαρμακευτικών ειδών, κατασκευαστών εξοπλισμού και τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης θα πρέπει να είναι πολύ πιο εύκολο να επιτευχθεί.

3.3 Αντίκτυπος 5G στην Ενεργοποίηση Πωλήσεων και στους Τομείς χρήσης

Ένας μεγαλύτερος και πιο παραγωγικός τομέας υγειονομικής περίθαλψης σημαίνει βελτιωμένες πωλήσεις και παραγωγικότητα τόσο για τους τομείς που παρέχουν τον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης όσο και για τους τομείς στους οποίους ο τομέας της υγειονομικής περίθαλψης είναι προμηθευτής.

Στη μελέτη της τον Ιανουάριο του 2017 [99], η IHS Markit υπολογίζει αυτό που αποκαλεί «με δυνατότητα 5G» παγκόσμιες δραστηριότητες πωλήσεων. Αυτή είναι η σταδιακή δραστηριότητα πωλήσεων σε πολλούς βιομηχανικούς τομείς που θα ενεργοποιηθεί

από το 5G— δηλαδή, λαμβάνοντας υπόψη τη δραστηριότητα πωλήσεων που θα συνέβαινε ήδη με την τεχνολογία πριν από το 5G. Μετά από μια περίοδο αύξησης στα τέλη της δεκαετίας του 2020 και στις αρχές της δεκαετίας του 2030, εκτιμούν ότι η συνολική δυνατότητα ενεργοποίησης των παγκόσμιων πωλήσεων του 5G θα φτάσει τα 12,3 δισεκατομμύρια δολάρια το 2035, ή το 4,6% της πραγματικής παγκόσμιας παραγωγής εκείνο το έτος. Από αυτά, περίπου 3,4 δισεκατομμύρια δολάρια του αντίκτυπου θα γίνουν αισθητές στον κατασκευαστικό τομέα.

Η IHS ετοίμασε πιο πρόσφατα εκτιμήσεις για το αποτέλεσμα ενεργοποίησης των πωλήσεων στον παγκόσμιο τομέα της υγειονομικής περίθαλψης και τους τομείς «χρήσης» και «προμήθειας», συνολικού ύψους άνω των 1,1 τρισεκατομμυρίων δολαρίων το έτος 2035.

Πίνακας 2. Οικονομική επίδραση δικτύου 5G στον τομέα περίθαλψης υγείας

Ενεργοποίηση πωλήσεων λόγω χρήσης 5G στη βιομηχανία υγειονομικής περίθαλψης, 2035 (\$ δισεκατομμύρια)	
A. Sales Enablement in "Use" Sectors	\$253
B. Final Vertical Sales Enablement	\$453
C. Supply Chain Enablement	\$409
D. Total Sales Enablement from "Health care" 5G	\$1,115

Πηγή: IHS Economics/IHS Technology

Το IHS υπολογίζει:

- Η διασταύρωση του 5G και της υγειονομικής περίθαλψης θα οδηγήσει σε αύξηση 253 δισεκατομμυρίων δολαρίων στις παγκόσμιες πωλήσεις το 2035 (σε σχέση με το επόμενο καλύτερο σενάριο εκτός 5G) για βιομηχανίες που επεξεργάζονται ή προσθέτουν αξία στα δεδομένα υγειονομικής περίθαλψης. Αυτοί οι κλάδοι περιλαμβάνουν ασφαλιστές, πάροχους ανάλυσης δεδομένων και παρόχους υπηρεσιών δεδομένων που βασίζονται σε cloud.

- Η διασταύρωση του 5G και της υγειονομικής περίθαλψης θα οδηγήσει σε επέκταση των πωλήσεων 453 δισεκατομμυρίων δολαρίων για αυτό που θα μπορούσε να ονομαστεί «ο κλάδος της υγειονομικής περίθαλψης». Αυτός ο κλάδος περιλαμβάνει όχι μόνο αυτό που συνήθως πιστεύουμε ως επάγγελμα υγειονομικής περίθαλψης—νοσοκομεία, γιατρούς κ.λπ.—αλλά επίσης κατασκευαστές ιατρικού εξοπλισμού, όπως αυτοί που προμηθεύουν συσκευές ΙοMT, και (σε μικρότερο βαθμό) τον φαρμακευτικό τομέα.
- Η διασταύρωση του 5G και της υγειονομικής περίθαλψης θα οδηγήσει σε επέκταση 409 δισεκατομμυρίων δολαρίων σε πωλήσεις για την «αλυσίδα εφοδιασμού» στους τομείς που είτε ανήκουν στον κλάδο της «υγειονομικής περίθαλψης» ή στην κατηγορία «χρήση». Για παράδειγμα, οι αυξημένες πωλήσεις συσκευών ΙοMT σημαίνουν επίσης αυξημένες πωλήσεις για εταιρείες ημιαγωγών που παρέχουν εισροές σε αυτές τις ιατροτεχνολογικές συσκευές.

Αυτοί οι υπολογισμοί ενεργοποίησης πωλήσεων απεικονίζουν τον σημαντικό αντίκτυπο σε ολόκληρη την οικονομία από την ανάπτυξη του 5G στο περιβάλλον υγειονομικής περίθαλψης. Αυτοί οι υπολογισμοί ενεργοποίησης πωλήσεων είναι, ωστόσο, μια ουσιαστική υποτίμηση του πραγματικού οικονομικού αντίκτυπου του 5G.

Μερικά από τα μεγαλύτερα οφέλη του 5G πιθανότατα αψηφούν την ακριβή ποσοτικοποίηση. Ένα προφανές παράδειγμα είναι η επίδραση της υγείας που τροφοδοτείται από 5G φροντίδα για την ευημερία και την ικανοποίηση της ζωής των ασθενών. Ένα άλλο παράδειγμα είναι ο αντίκτυπος αυτής της αυξημένης ευημερίας στη μείωση του φόρτου και του κόστους (στα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης) στη φροντίδα ασθενών με χρόνιες παθήσεις. Ένα τρίτο παράδειγμα είναι τα κέρδη παραγωγικότητας για τις επιχειρήσεις και την ευρύτερη οικονομία από πιο ευτυχομένους, υγιέστερους και πιο παραγωγικούς εργαζόμενους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Σενάριο εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η κατανόηση και η επεξεργασία, μέσω εντολών, διάφορων μεταβλητών καθώς και γραφικών παραστάσεων, βιοσημάτων δηλαδή αποτελέσματα βιολογικών διεργασιών σε ζωντανούς οργανισμούς που παρέχουν βιοιατρικά δεδομένα.

Πίνακας 3. Φυσιολογικές τιμές γλυκόζης



Target Blood Sugar Levels for Diabetes (age: 20+)	
Fasting	Less than 100
Before Meal	70-130mg/dL
After Meal	Less than 180mg/dL
Before Exercise	If taking insulin, at least 100mg/dL
Bedtime	100-140mg/dL
A1c	Less than or around 7%

Δημιουργούμε λοιπόν ένα σενάριο στον πίνακα που ακολουθεί όπου ένας βιοαισθητήρας παρακολουθεί τις διακυμάνσεις των τιμών της γλυκόζης στο αίμα ενός πολίτη. Τα τυπικά δείγματα γλυκόζης λαμβάνονται εντός ενός 24ώρου και υιοθετούμε ένα σενάριο στο οποίο αυτή η συσκευή, ως μέρος μίας εφαρμογής έξυπνης υγείας καταγράφει ανά τακτά χρονικά διαστήματα ως internet of things device αυτές τις τιμές.

Η συχνότητα καταγραφής των τιμών αυτών καθορίζεται από την διαθεσιμότητα μνήμης του βιοαισθητήρα καθώς και από την ισχύ του analog to digital converter (ADC) το οποίο μετατρέπει το αναλογικό σήμα σε ψηφιακό με χρήση της τεχνικής Pulse Code Modulation (PCM) [100].

Έστω ότι καταγράφουμε τις εξής τιμές μέσα σε ένα 24ωρο:

Πίνακας 4. Σενάριο καταγραφής τιμών γλυκόζης

A	B	C
85	174	127
77	170	135
89	176	149
83	175	138
81	168	131
95	184	130
87	177	136
101	170	145
98	164	143
88	162	141
82	160	134
105	165	123

Η στήλη A εκπροσωπεί τις μετρήσεις στην πρωινή ζώνη, η στήλη B εκπροσωπεί τις τιμές στην μετα-μεσημβρινή ζώνη και η στήλη C τις τιμές στην απογευματινή-βραδινή ζώνη.

Ο έλεγχος των φυσιολογικών τιμών γίνεται με βάση τις ρήτρες του παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5. Ρήτρα εκτίμησης τιμών γλυκόζης

Τιμές ελέγχου		
να είναι < 100	να είναι <170	να είναι < 140

Συνεπώς με βάση αυτόν τον έλεγχο μπορούμε να έχουμε ένα σενάριο ψηφιακής κωδικοποίησης σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα 6. Με αυτόν τον τρόπο παρακάμπτουμε την συμβατική κωδικοποίηση των τιμών της γλυκόζης από αναλογικές σε ψηφιακές με βάση την διαδικασία τριών βημάτων της PCM (δειγματοληψία – κβάντιση – κωδικοποίηση) και προβαίνουμε σε άμεση αναπαράσταση των αποτελεσμάτων με μόνον ένα bit ελέγχου ανάλογα με το εάν η τιμή της γλυκόζης είναι παθολογική (θέτουμε flag bit=1) ή φυσιολογική (θέτουμε flag bit=0).

Η σημασία αυτής της μεθόδου κωδικοποίησης είναι διττή: από την μία, αποφεύγουμε το υπολογιστικό και αποθηκευτικό «φορτίο» της μετατροπής από αναλογικό σήμα (γλυκόζη) σε παλμικό ψηφιακό ηλεκτρικό που θα απαιτούσε για τις 36 τιμές γλυκόζης ένα ψηφιακό μήκος συμβόλου [100]:

$$n = \log_2(M) = \log_2(36) = 5,169 \rightarrow n = 6 \text{ bits/symbol} \quad (3)$$

Στον παραπάνω υπολογισμό θα πρέπει να προσθέσουμε και την περαιτέρω ενέργεια ελέγχου για μοναδικά σύμβολα αναλογικής πληροφορίας, δηλαδή θα έπρεπε να σιγουρευτούμε πως δεν έχουμε «επικαλυπτόμενες» τιμές γλυκόζης, κάτι ιδιαίτερα δύσκολο σε highly-correlated βιο-φυσιολογικές παραμέτρους όπως αυτή που μελετάμε στο εν λόγω σενάριο εργασίας. Για καταγραφή μίας εβδομάδας, οι 36 τιμές γλυκόζης αντιστοιχούν σε 36 σύμβολα μήκους 6 bits έκαστο, δηλαδή σε $36 \times 6 = 216$ bits/ημέρα, δηλαδή συνολικά $216 \times 7 = 1512$ bits/εβδομάδα ανά ασθενή. Αυτή η ψηφιακή πληροφορία αυξάνεται σημαντικά αν επιθυμούμε να έχουμε ψηφιακή καταγραφή των στοιχείων του ασθενούς και της χρονοσφραγίδας (time-stamp) των αποτελεσμάτων.

Συνεπώς, με την μέθοδο που καταγράφει μόνον με ένα bit ελέγχου την παθολογικότητα («1») ή φυσιολογικότητα («0») των τιμών, έχουμε μόνον 36 bits/ημέρα, δηλαδή, $36 \times 7 = 252$ bits/εβδομάδα για το ωφέλιμο περιεχόμενο. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να έχουμε για πολλούς ωφελούμενους πολίτες σε ένα συγκεκριμένο χωρικό πλαίσιο πχ πολυκατοικία, στα πλαίσια υλοποίησης ενός συστήματος real-time monitoring για έξυπνη πόλη, ένα πεπερασμένο και διαχειρίσιμο, τόσο από πλευράς αποθήκευσης όσο και από πλευράς επεξεργασίας και μετάδοσης, ψηφιακό μήκος ωφέλιμης πληροφορίας.

Πίνακας 6. Σενάριο ψηφιακής κωδικοποίησης τιμών γλυκόζης

0	1	0
0	1	0
0	1	1
0	1	0
0	0	0
0	1	0
0	1	0
1	1	1
0	0	1
0	0	1
0	0	0
1	0	0

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Συμπεράσματα

Τα συστήματα έξυπνης υγείας βασίζονται όλο και περισσότερο στην συγκρότηση μεγάλου όγκου ψηφιακής πληροφορίας που καταγράφεται από ειδικές συσκευές, τους βιο-αισθητήρες νέας γενιάς, οι οποίοι διαθέτουν αυξημένες δυνατότητες επεξεργασίας, αποθήκευσης και μετάδοσης σε επίλεκτα gateways. Αυτά τα gateways στην εποχή του 5G χρησιμοποιούν μέρος του ευρυζωνικού δικτύου κυψελωτής τηλεφωνίας μέσω της τεχνικής network slicing προκειμένου να επιτύχουν την ασφαλή και αξιόπιστη μετάδοση της ωφέλιμης πληροφορίας. Ζητούμενο δεν είναι οι υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης καθώς δεσμευόμαστε από συγκεκριμένες προδιαγραφές για την μέγιστη επιτρεπόμενη καθυστέρηση μετάδοσης, ως κομβική συνιστώσα της ολικής καθυστέρησης δικτύου (network latency) για να έχουμε τήρηση των προδιαγραφών αποφυγής της διασυμβολικής παρεμβολής (Inter Symbol Interference – ISI).

Ως εκ τούτου, δεσμεύουμε ένα πεπερασμένο κομμάτι της ευρυζωνικής 5G υποδομής. Αυτό σημαίνει πως ο χώρος αποθήκευσης και ψηφιακής μετάδοσης και λήψης της πληροφορίας είναι αυστηρά οριοθετημένο. Συνεπώς, μας ενδιαφέρει ένα όσο γίνεται πιο «μινιμαλιστικό» σενάριο συγκρότησης της baseband πληροφορίας σε ψηφιακή μορφή.

Για αυτό, στο σενάριο εργασίας μας, προκρίνουμε μία μέθοδο που μειώνει σημαντικά το ψηφιακό μήκος της ωφέλιμης πληροφορίας ανά παρακολουθούμενο πολίτη ανά ημέρα και ανά εβδομάδα, έτσι που να μπορούμε να υποστηρίξουμε αξιοπιστία και ασφάλεια για real-time monitoring μίας δυνητικά μεγάλης κλίμακας του πληθυσμού πχ μίας πόλης.

Στα πλαίσια της συνέργειας των έξυπνων οικοσυστημάτων πχ έξυπνης πόλης και mobile health, τέτοιες μέθοδοι ελάχιστης συγκρότησης και συμπίεσης της πληροφορίας είναι ιδιαίτερα σημαντικές για να μπορούν να οικοδομήσουν network-sliced 5G-based συστήματα παρακολούθησης της υγείας των πολιτών και άμεσης ενημέρωσης στην περίπτωση εμφάνισης παθολογικών τιμών, με τελικό σκοπό την άμεση και έγκαιρη πρόληψη παθογενειών και ασθενειών.

BIBΛIOΓPAΦIA

- 1) A Telehealth Technicality: Pennsylvania's Outdated Insurance Reimbursement Policies Deter Investment in Modern Telehealth Technology <http://tlp.law.pitt.edu/ojs/index.php/tlp/article/view/160/172>
- 2) A Brief History of Digital Health <https://medium.com/that-medic-network/a-brief-history-of-digital-health-b238f1f5883c>
- 3) G.A. Mills, T.A. Nketia, I.A. Opong, E.E. Kaufmann, WIRELESS DIGITAL STETHOSCOPE USING BLUETOOTH TECHNOLOGY, Int. J. Eng. Sci. Technol. 4 (2012) 9.
- 4) U.D. Uluşar, E. Turk, A.S. Oztas, A.E. Savli, G. Ogunc, M. Canpolat, IoT and Edge Computing as a Tool for Bowel Activity Monitoring, in: F. Al-Turjman (Ed.), Edge Comput. Hype Real., Springer International Publishing, Cham, 2019: pp. 133–144. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99061-3_8.
- 5) E. Türk, A.S. Öztaş, Ü.D. Uluşar, M. Canpolat, S. Kazanır, M. Yaprak, G. Ögünç, V. Doğru, O.C. Canagir, Wireless bioacoustic sensor system for automatic detection of bowel sounds, in: 2015 19th Natl. Biomed. Eng. Meet. BIYOMUT, 2015: pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/BIYOMUT.2015.7369458>.
- 6) Y. Tang, G. Cao, H. Li, K. Zhu, The Design of Electronic Heart Sound Stethoscope Based on Bluetooth, in: 2010 4th Int. Conf. Bioinforma. Biomed. Eng., IEEE, Chengdu, China, 2010: pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICBBE.2010.5516342>.
- 7) C. Aguilera-Astudillo, M. Chavez-Campos, A. Gonzalez-Suarez, J.L. Garcia-Cordero, A low-cost 3-D printed stethoscope connected to a smartphone, in: 2016 38th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBC, IEEE, Orlando, FL, USA, 2016: pp. 4365–4368. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591694>.
- 8) C. Lin, M. Prasad, C. Chung, D. Puthal, H. El-Sayed, S. Sankar, Y. Wang, J. Singh, A.K. Sangaiah, IoT-Based Wireless Polysomnography Intelligent System for Sleep Monitoring, IEEE Access. 6 (2018) 405–414. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2765702>.
- 9) G. Kim, C. Yoon, S. Kye, Y. Lee, J. Kang, Y. Yoo, T. Song, A single FPGA-based portable ultrasound imaging system for point-of-care applications, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control. 59 (2012) 1386–1394. <https://doi.org/10.1109/TUFFC.2012.2339>.
- 10) K. Divya Krishna, V. Akkala, R. Bharath, P. Rajalakshmi, A.M. Mohammed, S.N. Merchant, U.B. Desai, Computer Aided Abnormality Detection for Kidney on

- FPGA Based IoT Enabled Portable Ultrasound Imaging System, *IRBM*. 37 (2016) 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2016.05.001>.
- 11) Can you sing while you work out?, *Mayo Clin.* (n.d.). <https://www.mayoclinic.org/healthylifestyle/fitness/in-depth/exercise-intensity/art-20046887> (accessed July 3, 2019).
 - 12) J. Allen, Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement, *Physiol. Meas.* 28 (2007) R1–R39. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/28/3/R01>.
 - 13) R. Delgado-Gonzalo, J. Parak, A. Tarniceriu, P. Renevey, M. Bertschi, I. Korhonen, Evaluation of accuracy and reliability of PulseOn optical heart rate monitoring device, in: 2015 37th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBC, IEEE, Milan, 2015: pp. 430–433. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2015.7318391>.
 - 14) R. McCready, Real-Time Face Detection on a Configurable Hardware Platform, in: 2000.
 - 15) F.M. Al-Turjman, Towards smart ehealth in the ultra large-scale Internet of Things era, in: 2016 23rd Iran. Conf. Biomed. Eng. 2016 1st Int. Iran. Conf. Biomed. Eng. ICBME, 2016: pp. 102–105. <https://doi.org/10.1109/ICBME.2016.7890938>.
 - 16) M. Marzec, R. Koprowski, Z. Wróbel, A. Kleszcz, S. Wilczyński, Automatic method for detection of characteristic areas in thermal face images, *Multimed. Tools Appl.* 74 (2015) 4351–4368. <https://doi.org/10.1007/s11042-013-1745-9>.
 - 17) L.-S. Chan, G.T.Y. Cheung, I.J. Lauder, C.R. Kumana, Screening for Fever by Remotesensing Infrared Thermographic Camera, *J. Travel Med.* 11 (2006) 273–279. <https://doi.org/10.2310/7060.2004.19102>.
 - 18) A. Abdullah, A. Ismael, A. Rashid, A. Abou-Elnour, M. Tarique, Real Time Wireless Health Monitoring Application Using Mobile Devices, *Int. J. Comput. Netw. Commun.* 7 (2015) 13–30. <https://doi.org/10.5121/ijcnc.2015.7302>.
 - 19) A. Bourouis, M. Feham, A. Bouchachia, Ubiquitous Mobile Health Monitoring System for Elderly (UMHMSE), *Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol.* 3 (2011) 74–82. <https://doi.org/10.5121/ijcsit.2011.3306>.
 - 20) M.-H. Tsai, C.-S. Pan, C.-W. Wang, J.-M. Chen, C.-B. Kuo, RFID Medical Equipment Tracking System Based on a Location-Based Service Technique, *J. Med. Biol. Eng.* 39 (2019) 163–169. <https://doi.org/10.1007/s40846-018-0446-2>.

- 21) C. Wang, H.T. Vo, P. Ni, An IoT Application for Fault Diagnosis and Prediction, in: 2015 IEEE Int. Conf. Data Sci. Data Intensive Syst., IEEE, Sydney, Australia, 2015: pp. 726–731. <https://doi.org/10.1109/DSDIS.2015.97>.
- 22) J. Maktoubian, K. Ansari, An IoT architecture for preventive maintenance of medical devices in healthcare organizations, *Health Technol.* 9 (2019) 233–243. <https://doi.org/10.1007/s12553-018-00286-0>.
- 23) M. Amatayakul, *Electronic health records: A practical guide for professionals and organizations*. Chicago: American Health Information Management Association, 3rd ed., 2007
- 24) S. Sivaraj, K. Vigneshwaran, S. Vigneshwaran, M.V. Priyan, IoT Ambulance With Automatic Traffic Light Control, in: 2017.
- 25) X. Wang, J. Liu, Design and Implementation for Ambulance Route Search Based on the Internet of Things, in: 2011 Third Int. Conf. Commun. Mob. Comput., IEEE, Qingdao, China, 2011: pp. 523–526. <https://doi.org/10.1109/CMC.2011.110>.
- 26) Why We Fly, Ayiti Air Anbilans Haiti Air Ambulance. (n.d.). <https://www.haitiairambulance.org/about/why-we-fly/> (accessed August 13, 2019).
- 27) V. Essebag, A.R. Halabi, M. Churchill-Smith, S. Lutchmedial, Air Medical Transport of Cardiac Patients *, *Chest.* 124 (2003) 1937–1945. <https://doi.org/10.1378/chest.124.5.1937>.
- 28) The 5 best hearing aids with Bluetooth for 2019, *Hear. Aid Know.* (2019). <https://www.hearingaidknow.com/five-best-hearing-aids-with-bluetooth-for-2019> (accessed July 10, 2019).
- 29) Activity trackers and weight loss, *Mayo Clin.* (n.d.). <https://www.mayoclinic.org/healthylifestyle/weight-loss/expert-answers/activity-trackers-for-weight-loss/faq-20348545> (accessed July 10, 2019).
- 30) Looking to get into shape? Snag one of these excellent fitness trackers, *Digit. Trends.* (2019). <https://www.digitaltrends.com/wearables/best-fitness-trackers/> (accessed July 10, 2019).
- 31) a board-certified physician | U. August 23, 2018, What Is Chronic Pain?, *Verywell Health.* (n.d.). <https://www.verywellhealth.com/what-is-chronic-pain-4134684> (accessed July 10, 2019).
- 32) Product Services – NeuroMetrix, (n.d.). <https://www.neurometrix.com/product-services/> (accessed July 10, 2019).

- 33) Samsung S Skin Analyzes and Improves Your Skin |, Medgadget. (2017). <https://www.medgadget.com/2017/01/samsung-s-skin-analyzes-improves-skin.html> (accessed July 11, 2019).
- 34) T.H. Kim, Y. Wang, C.R. Oliver, D.H. Thamm, L. Cooling, C. Paoletti, K.J. Smith, S. Nagrath, D.F. Hayes, A temporary indwelling intravascular aphaeretic system for in vivo enrichment of circulating tumor cells, *Nat. Commun.* 10 (2019) 1478. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09439-9>.
- 35) D.S. Abdul Minaam, M. Abd-ELfattah, Smart drugs: Improving healthcare using Smart Pill Box for Medicine Reminder and Monitoring System, *Future Comput. Inform. J.* 3 (2018) 443–456. <https://doi.org/10.1016/j.fcij.2018.11.008>.
- 36) Smart Bed Technology, Goodmark MedicalTM. (n.d). <http://smartbed.goodmarkmedical.com/smart-bed-technology-new/> (accessed July 11, 2019).
- 37) H.F. Nweke, Y.W. Teh, G. Mujtaba, M.A. Al-garadi, Data fusion and multiple classifier systems for human activity detection and health monitoring: Review and open research directions, *Inf. Fusion.* 46 (2019) 147–170. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2018.06.002>.
- 38) E. Bodanese, F. Luo, S. Poslad, I. Icc 2019, Kitchen Activity Detection for Healthcare using a low-power Radar-Enabled Sensor Network, (2019). <https://qmro.qmul.ac.uk/xmlui/handle/123456789/56670> (accessed July 17, 2019).
- 39) A. Matzik, S. Anwar, Review of electrical filters, *Int J Innov. Sci Eng Technol.* 3 (2016) 543– 556.
- 40) H.A. Mansy, R.H. Sandler, Bowel-sound signal enhancement using adaptive filtering, *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.* 16 (1997) 105–117. <https://doi.org/10.1109/51.637124>.
- 41) H.A. Mansy, R.H. Sandler, Choice of operating parameters in heart sound removal from bowel sounds using adaptive filtering, in: *Proc. 19th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. Magnif. Milest. Emerg. Oppor. Med. Eng. Cat No97CH36136*, IEEE, Chicago, IL, USA, 1997: pp. 1398–1401. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.1997.756644>.
- 42) P.-W.L. Frank, M.Q.-H. Meng, A low cost Bluetooth powered wearable digital stethoscope for cardiac murmur, in: *2016 IEEE Int. Conf. Inf. Autom. ICIA*, IEEE, Ningbo, China, 2016: pp. 1179–1182. <https://doi.org/10.1109/ICInfA.2016.7831998>.
- 43) K. Patil, Design of Wireless Electronic Stethoscope Based on Zigbee, *Int. J. Distrib. Parallel Syst.* 3 (2012) 351–359. <https://doi.org/10.5121/ijdps.2012.3130>.

- 44) Anh Dinh, Tao Wang, Bandage-size non-ECG heart rate monitor using ZigBee wireless link, in: 2010 Int. Conf. Bioinforma. Biomed. Technol., IEEE, Chengdu, China, 2010: pp. 160– 163. <https://doi.org/10.1109/ICBBT.2010.5478989>.
- 45) S. Lopez-Soriano, J. Parron, Wearable RFID tag antenna for healthcare applications, in: 2015 IEEE-APS Top. Conf. Antennas Propag. Wirel. Commun. APWC, IEEE, Torino, Italy, 2015: pp. 287–290. <https://doi.org/10.1109/APWC.2015.7300156>.
- 46) J. Bravo, G. Chavira, V. Villarreal, R. Hervás, R. Gallego, G. Casero, M. Vergara, T. Carmona, C. Fuentes, D. Gachet, S. Nava, Identification technologies to support Alzheimer contexts, in: Proc. 1st ACM Int. Conf. PErvasive Technol. Relat. Assist. Environ. - PETRA 08, ACM Press, Athens, Greece, 2008: p. 1. <https://doi.org/10.1145/1389586.1389650>.
- 47) J. Hjelm, T.G. Kanter, M. Lidstrom, NFC Communications for Implanted Medical Data Acquisition Devices, US20110022411A1, 2011. <https://patents.google.com/patent/US20110022411A1/en>.
- 48) K.A. Kuhn, J.R. Warren, T.-Y. Leong, MEDINFO 2007: Proceedings of the 12th World Congress on Health (Medical) Informatics, IOS Press, 2007.
- 49) B. Cooper, WiFi and Wellness: 3 ways WiFi Service has Changed the Healthcare Industry and How to Prepare, (n.d). <https://www.securedgenetworks.com/blog/wifi-and-wellness-4-ways-wifi-is-changing-the-healthcare-industry-and-how-to-prepare-for-it>
- 50) Sung-Nien Yu, Jen-Chieh Cheng, A Wireless Physiological Signal Monitoring System with Integrated Bluetooth and WiFi Technologies, in: 2005 IEEE Eng. Med. Biol. 27th Annu. Conf., 2005: pp. 2203–2206. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2005.1616900>.
- 51) N. Goga, A. Vasilateanu, M.N. Mihailescu, L. Guta, A. Molnar, I. Bocicor, L. Bolea, D. Stoica, Evaluating indoor localization using WiFi for patient tracking, in: 2016 Int. Symp. Fundam. Electr. Eng. ISFEE, 2016: pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/ISFEE.2016.7803173>.
- 52) D. Lou, X. Chen, Z. Zhao, Y. Xuan, Z. Xu, H. Jin, X. Guo, Z. Fang, A Wireless Health Monitoring System based on Android Operating System, IERI Procedia. 4 (2013) 208–215. <https://doi.org/10.1016/j.ieri.2013.11.030>.
- 53) UCS Satellite Database. <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>

- 54) C.E. Chronaki, A. Berthier, M. Lleo, L. Esterle, A. Lenglet, F. Simon, L. Josseran, M. Lafaye, Y. Matsakis, A. Tabasco, L. Braak, A satellite infrastructure for health early warning in postdisaster health management, in: MEDINFO 2007, 2007.
- 55) K. Aziz, S. Tarapiah, S.H. Ismail, S. Atalla, Smart real-time healthcare monitoring and tracking system using GSM/GPS technologies, in: 2016 3rd MEC Int. Conf. Big Data Smart City ICBDS, 2016: pp. 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICBDSC.2016.7460394>.
- 56) N. Harish, S. Mandal, S. Rao, S.G. Patil, Particle Swarm Optimization based support vector machine for damage level prediction of non-reshaped berm breakwater, *Appl. Soft Comput.* 27 (2015) 313–321.
- 57) N.A. Singh, M.B. Kumar, M.C. Bala, Face recognition system based on SURF and LDA technique, *Int. J. Intell. Syst. Appl.* 8 (2016) 13.
- 58) G.R. Banu, Predicting thyroid disease using linear discriminant analysis (LDA) data mining technique, *Commun Appl ElectronCAE.* 4 (2016) 4–6.
- 59) K.D. Gregory, L.M. Korst, L.D. Platt, Variation in elective primary cesarean delivery by patient and hospital factors, *Am. J. Obstet. Gynecol.* 184 (2001) 1521–1534. <https://doi.org/10.1067/mob.2001.115496>.
- 60) M. LaValley, T.E. McAlindon, S. Evans, C.E. Chaisson, D.T. Felson, Problems in the development and validation of questionnaire-based screening instruments for ascertaining cases with symptomatic knee osteoarthritis: the Framingham Study, *Arthritis Rheum. Off. J. Am. Coll. Rheumatol.* 44 (2001) 1105–1113 .
- 61) K.J. Smith, M.S. Roberts, Cost-effectiveness of newer treatment strategies for influenza, *Am. J. Med.* 113 (2002) 300–307. [https://doi.org/10.1016/S0002-9343\(02\)01222-6](https://doi.org/10.1016/S0002-9343(02)01222-6).
- 62) S.A. Pattekari, A. Parveen, Prediction system for heart disease using Naïve Bayes, *Int. J. Adv. Comput. Math. Sci.* 3 (2012) 290–294.
- 63) S. Vijayarani, S. Dhayanand, Liver disease prediction using SVM and Naïve Bayes algorithms, *Int. J. Sci. Eng. Technol. Res. IJSETR.* 4 (2015) 816–820.
- 64) R. Veloso, F. Portela, M.F. Santos, A. Silva, F. Rua, A. Abelha, J. Machado, A clustering approach for predicting readmissions in intensive medicine, *Procedia Technol.* 16 (2014) 1307–1316.
- 65) M. Kaur, A.S. Arora, Unsupervised Analysis of Arrhythmias using K-means Clustering, *Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol.* 1 (2010) 417–419.
- 66) M. Wu, C. Lin, C. Chang, Brain Tumor Detection Using Color-Based K-Means Clustering Segmentation, in: Third Int. Conf. Intell. Inf. Hiding Multimed. Signal

- Process. IHH-MSP 2007, 2007: pp. 245–250.
<https://doi.org/10.1109/IHMSMSP.2007.4457697>.
- 67) U. Orhan, M. Hekim, M. Ozer, EEG signals classification using the K-means clustering and a multilayer perceptron neural network model, *Expert Syst. Appl.* 38 (2011) 13475–13481. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.149>.
- 68) İ. Güler, E.D. Übeyli, ECG beat classifier designed by combined neural network model, *Pattern Recognit.* 38 (2005) 199–208.
- 69) Y. Özbay, R. Ceylan, B. Karlik, A fuzzy clustering neural network architecture for classification of ECG arrhythmias, *Comput. Biol. Med.* 36 (2006) 376–388.
- 70) S. Pereira, A. Pinto, V. Alves, C.A. Silva, Brain tumor segmentation using convolutional neural networks in MRI images, *IEEE Trans. Med. Imaging.* 35 (2016) 1240–1251.
- 71) A.M. Zbinden, P. Feigenwinter, S. Petersen-Felix, S. Hacisalihzade, Arterial pressure control with isoflurane using fuzzy logic, *BJA Br. J. Anaesth.* 74 (1995) 66–72.
- 72) H. Ying, L.C. Sheppard, Regulating mean arterial pressure in postsurgical cardiac patients. A fuzzy logic system to control administration of sodium nitroprusside, *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.* 13 (1994) 671–677.
- 73) D.A. Linkens, M. Mahfouf, Fuzzy Logic Knowledge-Based Control for Muscle Relaxant Anaesthesia, *IFAC Proc. Vol.* 21 (1988) 185–190.
[https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)57554-0](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)57554-0).
- 74) J. Schäublin, M. Derighetti, P. Feigenwinter, S. Petersen-Felix, A.M. Zbinden, Fuzzy logic control of mechanical ventilation during anaesthesia, *Br. J. Anaesth.* 77 (1996) 636–641. [96] *Medtech and the Internet of Medical Things*, Deloitte U. S. (n.d.).
- 75) <https://itrexgroup.com/blog/smart-hospitals-market-overview-trends-considerations/#>
- 76) <https://www.healthcareitnews.com/news/asia/kt-and-samsung-medical-center-develop-5g-medical-service>
- 77) <https://www.ablymed.com/news/the-next-generation-hospital-bed>
- 78) Benefits and drawbacks of electronic health record systems
<https://doi.org/10.2147/RMHP.S12985>
- 79) *Medtech and the Internet of Medical Things*, Deloitte U. S. (n.d.).
<https://www2.deloitte.com/global/en/pages/life-sciences-and-healthcare/articles/medtechinternet-of-medical-things.html>

- 80) L. Di Matteo, The macro determinants of health expenditure in the United States and Canada: assessing the impact of income, age distribution and time, *Health Policy*. 71 (2005) 23–42. <https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2004.05.007>.
- 81) M. Haghi, K. Thurow, R. Stoll, Wearable Devices in Medical Internet of Things: Scientific Research and Commercially Available Devices, *Healthc. Inform. Res.* 23 (2017) 4–15. <https://doi.org/10.4258/hir.2017.23.1.4>.
- 82) Using analytics to prevent deadly infections, (n.d.). https://www.sas.com/en_us/insights/articles/analytics/using-analytics-to-preventsepsis.html
- 83) N. van Deursen, W.J. Buchanan, A. Duff, Monitoring information security risks within health care, *Comput. Secur.* 37 (2013) 31–45. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2013.04.005>
- 84) U.D. Ulusar, F. Al-Turjman, G. Celik, An overview of Internet of things and wireless communications, in: 2017 Int. Conf. Comput. Sci. Eng. UBMK, 2017: pp. 506–509. <https://doi.org/10.1109/UBMK.2017.8093446>
- 85) T. Zhang, J. Zhao, L. An, D. Liu, Energy Efficiency of Base Station Deployment in Ultra Dense HetNets: A Stochastic Geometry Analysis, *IEEE Wirel. Commun. Lett.* 5 (2016) 184–187. <https://doi.org/10.1109/LWC.2016.2516010>
- 86) Energy-performance trade-off in dense WLANs: A queuing study | Elsevier Enhanced Reader, (n.d.). <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2012.03.017>
- 87) Y.S. Soh, S. Member, T.Q.S. Quek, S. Member, H. Shin, S. Member, Energy Efficient Heterogeneous Cellular Networks, n.d
- 88) Y. Chong, W. Ismail, K. Ko, C. Lee, Energy Harvesting For Wearable Devices: A Review, *IEEE Sens. J.* 19 (2019) 9047–9062. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2925638>
- 89) B. Middleton, M. Bloomrosen, M.A. Dente, B. Hashmat, R. Koppel, J.M. Overhage, T.H. Payne, S.T. Rosenbloom, C. Weaver, J. Zhang, Enhancing patient safety and quality of care by improving the usability of electronic health record systems: recommendations from AMIA, *J. Am. Med. Inform. Assoc. JAMIA*. 20 (2013) e2–e8. <https://doi.org/10.1136/amiajnl-2012-001458>.
- 90) <https://www.qualcomm.com/5g/what-is-5g>
- 91) Darrell M. West (2016), “How 5G Technology Enables the Health Internet of Things”, Brookings Center for Technology Innovation, Report.
- 92) Benjamin Sarda, “Vision from Orange Healthcare on 5G”
- 93) Jeroen Tas, Philips Healthcare, comments at CES 2017.

- 94) NASA Tech Briefs, “How IOT is Enabling the Next Generation of Medical Devices.”
- 95) House of Commons Health Committee (2014), “Managing the Care of People with Long-Term Conditions”
- 96) Andrew Ward, “Companies Wake Up to Cost of Ill Employees”, Financial Times, October 14th, 2014
- 97) World Economic Forum, cited in note 3, supra.
- 98) 7 Goldman Sachs Global Investment Research, “Healthcare’s Holy Grail: Better Outcomes at Lower Costs”, February 2017
- 99) IHS Economics/IHS Technology, “The 5G Economy: How 5G Technology Will Contribute to the Global Economy”, January 2017
- 100) Chrysikos, T., Zisi, I., Katsini, C., Raptis, G. E., & Kotsopoulos, S. (2017, November). Monitoring, Tracking, and Recording Pancreas-Related Health Issues in Real Time. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 931, No. 1, p. 012016). IOP Publishing.