



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Μελέτη και υλοποίηση περιπτώσεων χρήσης για συστήματα ηλεκτρονικής υγείας

ΤΣΟΠΑΝΑΚΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ
ΔΙΔΑΣΚΩΝ – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΛΑΜΙΑ 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

UNIVERSITY OF
THESSALY

Μελέτη και υλοποίηση περιπτώσεων χρήσης για συστήματα ηλεκτρονικής υγείας

ΤΣΟΠΑΝΑΚΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ
ΔΙΔΑΣΚΩΝ – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΛΑΜΙΑ 2024

SCHOOL OF SCIENCE
DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

Study and implementation of use cases for e-health systems

TSOPANAKI AGGELIKI

FINAL THESIS

ADVISOR

DR. THEOFILOS CHRYSIKOS
TEACHER - SCIENTIFIC COLLABORATOR
UNIVERSITY OF THESSALY

LAMIA 2024

«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 επεξεργάσθηκαν, 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: 30/..10../2024.....

Η Δηλούσα
Τσοπανάκη Αγγελική

(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

Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας εξετάζουμε τα συστήματα ηλεκτρονικής υγείας, τις λύσεις και τις εφαρμογές που παρέχονται και δίνουμε ιδιαίτερη έμφαση σε ζητήματα ιδιωτικότητας, διαχείρισης και προστασίας ασθενών καθώς σε προκλήσεις και αντίμετρα για την ασφάλεια. Εξετάζουμε τον ευεργετικό αντίκτυπο των συστημάτων 5G σε εφαρμογές έξυπνης υγείας και κάνουμε αναφορά στο αναδυόμενο Διαδίκτυο των Ιατρικών Πραγμάτων. Τέλος, παρουσιάζουμε καινοτόμο σενάριο εργασίας βασισμένο σε μοντελοποίηση ενδο-σωματικού δικτύου με σκοπό την διερεύνηση φυσικών παραμέτρων για βιο-αισθητήρα παρακολούθησης του παγκρέατος σε πραγματικό χρόνο.

ABSTRACT

In the context of the thesis we examine eHealth systems, solutions and applications provided and we pay special attention to privacy, patient management and protection issues as well as security challenges and countermeasures. We consider the beneficial impact of 5G systems in smart health applications and make reference to the emerging Internet of Medical Things. Finally, we present an innovative work scenario based on intra-body network modeling to investigate physical parameters for real-time pancreas bio-sensor monitoring.

Table of Contents

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ABSTRACT	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Περιπτώσεις χρήσης για συστήματα ηλεκτρονικής υγείας.....	11
1.1 Εισαγωγή	11
1.1.1 Η έννοια του συστήματος	11
1.1.2 Χαρακτηριστικά συστημάτων	14
1.1.3 Ντετερμινιστικά και στοχαστικά συστήματα	18
1.2 Κλινική φροντίδα	23
1.3 Διοικητικές διαδικασίες.....	24
1.4 Δημόσια υγεία	25
1.5 Έρευνα.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Έξυπνα συστήματα υγείας και διαχείριση ασθενών και ιδιωτικότητας.....	28
2.1 Διαχείριση ασθενών	28
2.2 Έξυπνα συστήματα υγείας και προκλήσεις ιδιωτικότητας	31
2.3 Επιπτώσεις των παραβιάσεων της ιδιωτικής ζωής στους ασθενείς και τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Αντίκτυπος του 5G στα ηλεκτρονικά συστήματα υγείας και Διαδίκτυο των Ιατρικών Πραγμάτων	44
3.1 Εισαγωγή	44
3.2 Τεχνολογικές βελτιώσεις που επιφέρει το 5G	47
3.3 Αντίκτυπος 5G στα συστήματα ηλεκτρονικής υγείας.....	48
3.4 Προηγμένες εφαρμογές και καινοτομίες.....	51
3.5 Διαδίκτυο των Ιατρικών Πραγμάτων	52
3.6 Προκλήσεις και προβληματισμοί.....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Σενάριο εργασίας.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Συμπεράσματα.....	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	68

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Περιπτώσεις χρήσης για συστήματα ηλεκτρονικής υγείας

1.1 Εισαγωγή

Τα ηλεκτρονικά συστήματα υγείας (EHS), που περιλαμβάνουν τα ηλεκτρονικά αρχεία υγείας (EHR), τα ηλεκτρονικά ιατρικά αρχεία (EMR) και τις ανταλλαγές πληροφοριών υγείας (ΑΠΥ), έχουν φέρει επανάσταση στον κλάδο της υγειονομικής περίθαλψης. Αυτά τα ψηφιακά συστήματα διευκολύνουν τη συλλογή, την αποθήκευση, την ανάκτηση και την ανταλλαγή πληροφοριών υγείας των ασθενών, επιτρέποντας έτσι την αποτελεσματικότερη, ακριβέστερη και πληρέστερη παροχή περίθαλψης. Το παρόν κείμενο διερευνά διάφορες περιπτώσεις χρήσης των ηλεκτρονικών συστημάτων υγείας, καταδεικνύοντας τον αντίκτυπό τους σε διάφορες πτυχές της υγειονομικής περίθαλψης, συμπεριλαμβανομένης της κλινικής περίθαλψης, των διοικητικών διαδικασιών, της δημόσιας υγείας, της έρευνας και της δέσμευσης των ασθενών [1].

1.1.1 Η έννοια του συστήματος

Ένα σύστημα είναι ένα σύνολο διασυνδεδεμένων συστατικών ή στοιχείων που συνεργάζονται για να σχηματίσουν ένα πολύπλοκο σύνολο, επιτυγχάνοντας έναν συγκεκριμένο σκοπό ή λειτουργία. Τα συστήματα μπορούν να υπάρχουν σε διάφορους τομείς, όπως φυσικά, τεχνολογικά, βιολογικά, κοινωνικά ή οικονομικά συστήματα. Συνήθως περιλαμβάνουν εισροές, διεργασίες, εκροές και μηχανισμούς ανατροφοδότησης για τη διατήρηση της ισορροπίας ή την προσαρμογή στις αλλαγές [2].

Βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων:

- **Διασυνδεσιμότητα:** Τα στοιχεία εντός ενός συστήματος αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και επηρεάζουν τη συμπεριφορά του άλλου.
- **Σκοπός ή λειτουργία:** Τα συστήματα είναι σχεδιασμένα ή προκύπτουν από τη φύση τους για να εκπληρώνουν συγκεκριμένους ρόλους ή λειτουργίες.
- **Όρια:** Τα συστήματα έχουν όρια που καθορίζουν τι είναι εντός του συστήματος σε σχέση με το τι είναι εξωτερικό.
- **Ανατροφοδότηση:** Πολλά συστήματα χρησιμοποιούν ανατροφοδότηση για να προσαρμόσουν τις διαδικασίες τους και να επιτύχουν ισορροπία ή να βελτιστοποιήσουν την απόδοση.

Παραδείγματα συστημάτων

Ακολουθούν διάφοροι τύποι συστημάτων, μαζί με παραδείγματα από διάφορους τομείς [3]:

1. Βιολογικό σύστημα

Ένα βιολογικό σύστημα είναι μια ομάδα οργάνων ή διεργασιών εντός ενός ζωντανού οργανισμού που συνεργάζονται για να επιτελέσουν συγκεκριμένες λειτουργίες.

- Παράδειγμα:
 - ο Το νευρικό σύστημα στον άνθρωπο, το οποίο αποτελείται από τον εγκέφαλο, τον νωτιαίο μυελό και τα νεύρα, είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο εκούσιων και ακούσιων ενεργειών και τη μετάδοση σημάτων σε όλο το σώμα.
 - ο Το πεπτικό σύστημα περιλαμβάνει όργανα όπως το στομάχι, τα έντερα, το συκώτι και το πάγκρεας, που συνεργάζονται για να διασπάσουν την τροφή, να απορροφήσουν θρεπτικά συστατικά και να αποβάλουν τα απόβλητα.

2. Μηχανικό σύστημα

Ένα μηχανικό σύστημα αποτελείται από φυσικά εξαρτήματα που έχουν σχεδιαστεί για να μετατρέπουν ενέργεια, να μεταδίδουν κίνηση ή να εκτελούν μηχανικές λειτουργίες.

- Παράδειγμα:
 - ο Ένας κινητήρας αυτοκινήτου είναι ένα μηχανικό σύστημα όπου εξαρτήματα όπως έμβολα, κύλινδροι και μπεκ καυσίμου συνεργάζονται για να μετατρέψουν το καύσιμο σε μηχανική ενέργεια που κινεί το όχημα.
 - ο Ένα ποδήλατο είναι ένα απλούστερο μηχανικό σύστημα, όπου η αλυσίδα, τα γρανάζια και οι τροχοί αλληλεπιδρούν για να μετατρέψουν την κίνηση του πεντάλ σε κίνηση προς τα εμπρός.

3. Πληροφοριακό Σύστημα

Ένα πληροφοριακό σύστημα είναι ένας συνδυασμός υλικού, λογισμικού, δεδομένων, διαδικασιών και ανθρώπων που συνεργάζονται για τη διαχείριση, την επεξεργασία και τη διανομή πληροφοριών.

- Παράδειγμα:
 - ο Ένα τραπεζικό πληροφοριακό σύστημα διαχειρίζεται λογαριασμούς πελατών, επεξεργάζεται συναλλαγές και εξασφαλίζει την ασφαλή αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων.
 - ο Ένα σύστημα διαχείρισης νοσοκομείων αποθηκεύει αρχεία ασθενών, προγραμματίζει ραντεβού και διαχειρίζεται την τιμολόγηση, βελτιώνοντας την παροχή υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης.

4. Κοινωνικό σύστημα

Ένα κοινωνικό σύστημα είναι ένα δίκτυο σχέσεων μεταξύ ατόμων, ομάδων ή οργανισμών που αλληλεπιδρούν σύμφωνα με κοινές νόρμες και αξίες.

- Παράδειγμα:
 - Ένα σχολικό σύστημα περιλαμβάνει μαθητές, καθηγητές, διοικητικούς υπαλλήλους και προσωπικό υποστήριξης, οι οποίοι αλληλεπιδρούν για την παροχή εκπαίδευσης.
 - Μια κοινότητα είναι ένα κοινωνικό σύστημα όπου οι κάτοικοι συμμετέχουν σε δραστηριότητες, μοιράζονται πόρους και ακολουθούν κοινωνικούς κανόνες, συμβάλλοντας σε έναν κοινό τρόπο ζωής.

5. Οικολογικό σύστημα (Ecosystem)

Ένα οικολογικό σύστημα ή οικοσύστημα αποτελείται από ζωντανούς οργανισμούς (φυτά, ζώα, μικροοργανισμούς) που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με το φυσικό τους περιβάλλον (έδαφος, νερό, αέρας).

- Παράδειγμα:
 - Ένα δασικό οικοσύστημα περιλαμβάνει δέντρα, ζώα, μύκητες, έδαφος και νερό που αλληλεπιδρούν σε έναν ισορροπημένο κύκλο ανταλλαγής θρεπτικών ουσιών και ροής ενέργειας.
 - Ένα οικοσύστημα κοραλλιογενών υφάλων περιλαμβάνει κοράλλια, ψάρια, φύκια και άλλους θαλάσσιους οργανισμούς που σχηματίζουν ένα πολύπλοκο δίκτυο αλληλεπιδράσεων κάτω από τον ωκεανό.

6. Οικονομικό σύστημα

Ένα οικονομικό σύστημα αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο μια κοινωνία οργανώνει την παραγωγή, τη διανομή και την κατανάλωση αγαθών και υπηρεσιών.

- Παράδειγμα:
 - Η οικονομία της αγοράς είναι ένα οικονομικό σύστημα όπου οι τιμές και τα επίπεδα παραγωγής καθορίζονται από την προσφορά και τη ζήτηση, με ελάχιστη κυβερνητική παρέμβαση.
 - Μια οικονομία διοίκησης είναι όπου η κυβέρνηση ελέγχει την παραγωγή και τις αποφάσεις τιμολόγησης, όπως παρατηρείται σε κεντρικά σχεδιασμένες οικονομίες όπως η Βόρεια Κορέα.

7. Τεχνολογικό σύστημα

Ένα τεχνολογικό σύστημα περιλαμβάνει στοιχεία όπως μηχανές, λογισμικό και δίκτυα που συνεργάζονται για να εκτελέσουν μια συγκεκριμένη τεχνολογική λειτουργία.

- Παράδειγμα:
 - Το διαδίκτυο είναι ένα πολύπλοκο τεχνολογικό σύστημα διασυνδεδεμένων δικτύων, διακομιστών, δρομολογητών και πρωτοκόλλων που επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφοριών σε παγκόσμιο επίπεδο.
 - Ένα έξυπνο οικιακό σύστημα ενσωματώνει διάφορες συσκευές, όπως θερμοστάτες, φωτισμό και κάμερες ασφαλείας, οι οποίες μπορούν να

ελέγχονται εξ αποστάσεως μέσω μιας κεντρικής διεπαφής ή ενός smartphone.

8. Σύστημα ελέγχου

Ένα σύστημα ελέγχου διαχειρίζεται, δίνει εντολές, κατευθύνει ή ρυθμίζει τη συμπεριφορά άλλων συστημάτων χρησιμοποιώντας βρόχους ελέγχου.

- Παράδειγμα:
 - Ένας θερμοστάτης σε ένα σύστημα θέρμανσης σπιτιού χρησιμοποιεί ανατροφοδότηση θερμοκρασίας για να ρυθμίσει τη θέρμανση ώστε να διατηρηθεί μια επιθυμητή θερμοκρασία.
 - Ένα σύστημα αυτόματου πιλότου σε ένα αεροσκάφος ελέγχει την πορεία πτήσης προσαρμόζοντας τα χειριστήρια με βάση τα δεδομένα αισθητήρων και τις ρυθμίσεις πτήσης.

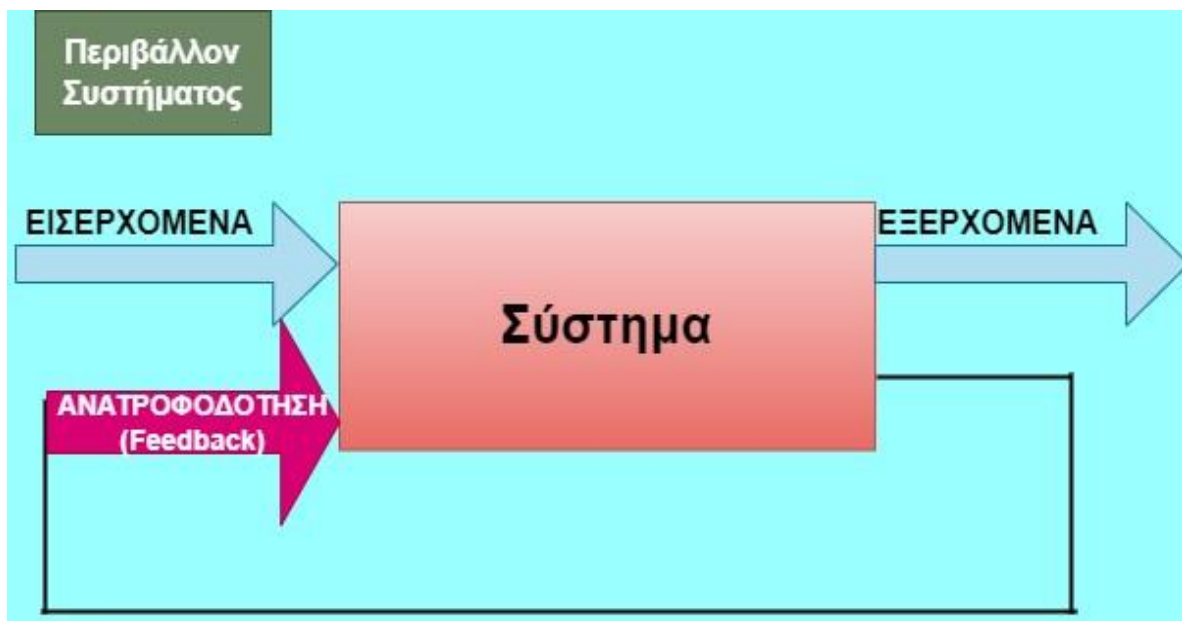
Αυτά τα παραδείγματα δείχνουν πώς η έννοια των συστημάτων μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορους τομείς, καθένα από τα οποία έχει μοναδικά συστατικά και αλληλεπιδράσεις, εξυπηρετεί συγκεκριμένες λειτουργίες και προσαρμόζεται σε διαφορετικές εισροές και περιβάλλοντα [4]-[5].

1.1.2 Χαρακτηριστικά συστημάτων

Τα συστήματα διαθέτουν ή επιδιώκουν αντικειμενικούς σκοπούς και στόχους, οι οποίοι μερικές φορές είναι δύσκολο να εντοπιστούν. Οι στόχοι αυτοί αποτελούν την έξοδο(output) του συστήματος [1]-[5].

Τα στοιχεία είναι:

1. Είσοδος(Input): με τι ή πάνω σε τι το σύστημα λειτουργεί.
2. Έξοδος(Output): τι παράγει το σύστημα.
3. Επεξεργασία/Διεργασία (process): τι κάνει το σύστημα στην είσοδο για να παραχθεί η έξοδος
4. Έλεγχος(control): οι κανόνες με τους οποίους γίνεται επεξεργασία
5. Ανατροφοδότηση(feedback): πληροφόρηση σχετική με την έξοδο ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή έξοδος



Εικόνα 1: Σχηματική Αναπαράσταση Συστήματος [6]

Τα συστήματα έχουν διάφορα βασικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας τους και την αλληλεπίδρασή τους με το περιβάλλον τους. Τα χαρακτηριστικά αυτά μας βοηθούν να κατανοήσουμε και να αναλύσουμε τα συστήματα, είτε αυτά είναι φυσικά, βιολογικά, κοινωνικά, είτε τεχνολογικά.

Ακολουθούν τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά των συστημάτων:

1. Διασυνδεσιμότητα:

- ο Οι συνιστώσες ή τα στοιχεία ενός συστήματος είναι διασυνδεδεμένα, πράγμα που σημαίνει ότι οι αλλαγές σε ένα μέρος του συστήματος μπορούν να επηρεάσουν άλλα μέρη.
- ο Αυτές οι αλληλεπιδράσεις και οι εξαρτήσεις είναι κρίσιμες για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του συστήματος στο σύνολό του.
- ο Για παράδειγμα, σε ένα οικοσύστημα, η σχέση μεταξύ θηρευτών και θηραμάτων επηρεάζει την ισορροπία του πληθυσμού.

2. Όρια και περιβάλλον:

- ο Τα συστήματα έχουν καθορισμένα όρια που τα διαχωρίζουν από το εξωτερικό τους περιβάλλον.
- ο Τα όρια βοηθούν στον καθορισμό του τι θεωρείται εντός του συστήματος (συστατικά) έναντι του τι είναι εκτός (περιβάλλον).
- ο Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα υπολογιστή, το υλικό και το λογισμικό βρίσκονται εντός των ορίων του συστήματος, ενώ το διαδίκτυο ή η παροχή ρεύματος είναι μέρος του εξωτερικού περιβάλλοντος.

3. Σκοπός ή λειτουργία:

- Κάθε σύστημα έχει έναν σκοπό ή μια λειτουργία που καθοδηγεί την ύπαρξή του.
- Αυτός ο σκοπός υπαγορεύει τη συμπεριφορά του συστήματος και επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο τα συστατικά του αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.
- Για παράδειγμα, ο σκοπός ενός συστήματος κινητήρα αυτοκινήτου είναι να μετατρέπει τα καύσιμα σε κίνηση, ενώ ο σκοπός ενός χρηματοπιστωτικού συστήματος είναι να διευκολύνει τη ροή χρημάτων και επενδύσεων.

4. Είσοδος, διεργασία και έξοδος:

- Τα συστήματα λαμβάνουν εισροές από το περιβάλλον τους, επεξεργάζονται αυτές τις εισροές και παράγουν εκροές.
- Η διαδικασία είναι ο τρόπος με τον οποίο το σύστημα μετατρέπει τις εισροές σε εκροές μέσω των εσωτερικών του μηχανισμών.
- Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα παραγωγής, οι πρώτες ύλες (εισροές) μετατρέπονται μέσω διαφόρων διαδικασιών σε τελικά προϊόντα (εκροές).

5. Μηχανισμοί ανατροφοδότησης:

- Ανατροφοδότηση είναι ένας μηχανισμός που βοηθά ένα σύστημα να αυτορυθμίζεται και να διατηρεί τη σταθερότητα.
- Η θετική ανατροφοδότηση ενισχύει τις αλλαγές, ενώ η αρνητική ανατροφοδότηση λειτουργεί για να εξουδετερώσει τις αλλαγές και να διατηρήσει την ισορροπία.
- Για παράδειγμα, σε ένα βιολογικό σύστημα όπως το ανθρώπινο σώμα, οι μηχανισμοί ανατροφοδότησης διατηρούν τη θερμοκρασία του σώματος μέσω της εφίδρωσης ή του ρίγους.

6. Πολυπλοκότητα και ανάδυση:

- Τα συστήματα συχνά παρουσιάζουν πολύπλοκη συμπεριφορά λόγω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συστατικών τους.
- Ανάδυση είναι όταν ένα σύστημα παρουσιάζει ιδιότητες ή συμπεριφορές που δεν μπορούν να κατανοηθούν μόνο με την ανάλυση των επιμέρους συστατικών.
- Για παράδειγμα, η συμπεριφορά ενός σμήνους πτηνών είναι ένα αναδυόμενο φαινόμενο που προκύπτει από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεμονωμένων πτηνών.

Για την αποτελεσματική ανάλυση και αξιολόγηση των συστημάτων, χρησιμοποιούνται διάφορες μετρικές για την ποσοτικοποίηση της απόδοσης και της συμπεριφοράς τους. Αυτές οι μετρικές βοηθούν στον προσδιορισμό της καλής λειτουργίας ενός συστήματος και στον εντοπισμό περιοχών για βελτίωση.

Η αποδοτικότητα μετρά πόσο καλά ένα σύστημα μετατρέπει τις εισροές σε χρήσιμες εκροές, συχνά εκφραζόμενη ως αναλογία ή ποσοστό. Υπολογίζεται ως ο λόγος των χρήσιμων εξόδων προς τις συνολικές εισροές. Υψηλή αποδοτικότητα σημαίνει ότι ένα σύστημα χρησιμοποιεί αποτελεσματικά τους πόρους του. Για παράδειγμα, σε ένα ενεργειακό σύστημα, η αποδοτικότητα μετράει πόσο η εισροή ενέργειας μετατρέπεται σε χρήσιμη ενεργειακή έξοδο (π.χ. ηλεκτρική ενέργεια) [1]-[5].

Η απόδοση αναφέρεται στην ποσότητα υλικού, πληροφοριών ή δεδομένων που μπορεί να επεξεργαστεί ένα σύστημα σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Αποτελεί κρίσιμη μετρική για συστήματα που διαχειρίζονται μεγάλους όγκους δεδομένων ή προϊόντων. Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα δικτύωσης, η απόδοση μετριέται σε bits ανά δευτερόλεπτο (bps), υποδεικνύοντας την ποσότητα των δεδομένων που μεταφέρονται ανά δευτερόλεπτο [6].

Η αξιοπιστία είναι το μέτρο της ικανότητας ενός συστήματος να εκτελεί την προβλεπόμενη λειτουργία του με συνέπεια σε βάθος χρόνου χωρίς βλάβες. Συχνά μετράται με μετρικές όπως ο μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών (MTBF) ή το ποσοστό βλαβών. Για παράδειγμα, ένα αξιόπιστο σύστημα μεταφορών εξασφαλίζει ότι τα οχήματα φτάνουν εγκαίρως και χωρίς βλάβες [1].

Η επεκτασιμότητα μετρά την ικανότητα ενός συστήματος να διαχειρίζεται αυξανόμενο φόρτο εργασίας ή να επεκτείνει τη χωρητικότητά του χωρίς να θυσιάζει την απόδοση. Είναι ιδιαίτερα σημαντική στα πληροφοριακά συστήματα και τα τεχνολογικά συστήματα, όπου η ζήτηση μπορεί να αυξηθεί με την πάροδο του χρόνου. Για παράδειγμα, ένα σύστημα υπολογιστικού νέφους που μπορεί εύκολα να προσθέσει περισσότερους διακομιστές για να χειριστεί περισσότερους χρήστες αποδεικνύει καλή επεκτασιμότητα [1].

Η ανθεκτικότητα αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος να ανακάμπτει από διαταραχές ή δυσμενείς συνθήκες, διατηρώντας παράλληλα τις βασικές λειτουργίες του. Ένα ανθεκτικό σύστημα μπορεί να προσαρμοστεί στις αλλαγές και να συνεχίσει να λειτουργεί υπό πίεση. Για παράδειγμα, ένα οικολογικό σύστημα που μπορεί να ανακάμψει μετά από μια φυσική καταστροφή επιδεικνύει ανθεκτικότητα [1].

Η καθυστέρηση είναι ένα μέτρο της χρονικής καθυστέρησης σε ένα σύστημα, που χρησιμοποιείται συχνά σε συστήματα επικοινωνίας και δικτύων. Μετρά το χρόνο που χρειάζεται μια είσοδος (όπως ένα πακέτο δεδομένων) για να φτάσει στην έξοδό της. Για παράδειγμα, σε ένα δίκτυο 5G, η χαμηλή καθυστέρηση είναι ζωτικής σημασίας για εφαρμογές όπως η αυτόνομη οδήγηση και η ροή βίντεο σε πραγματικό χρόνο [1].

Η χωρητικότητα είναι η μέγιστη ποσότητα που μπορεί να διαχειριστεί ή να φιλοξενήσει ένα σύστημα. Μπορεί να αναφέρεται στην αποθήκευση δεδομένων, στον αριθμό των χρηστών, στον όγκο των προϊόντων ή στην παραγωγή ενέργειας. Για παράδειγμα, η χωρητικότητα αποθήκευσης ενός συστήματος νέφους καθορίζει πόσα δεδομένα μπορεί να αποθηκεύσει και να διαχειριστεί.

Η ποιότητα υπηρεσιών (QoS) αναφέρεται στη συνολική απόδοση και την ικανοποίηση των χρηστών που παρέχει ένα σύστημα, ιδίως σε συστήματα προσανατολισμένα στο δίκτυο ή στις υπηρεσίες. Οι μετρικές QoS περιλαμβάνουν τη διαθεσιμότητα, την καθυστέρηση, το jitter, και το εύρος ζώνης. Για παράδειγμα, σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα, η υψηλή ποιότητα υπηρεσιών ποιότητας εξασφαλίζει καθαρές φωνητικές κλήσεις και αδιάλειπτες υπηρεσίες δεδομένων.

Η αποδοτικότητα κόστους μετρά πόσο οικονομικά λειτουργεί ένα σύστημα, εξισορροπώντας το κόστος με τα οφέλη ή τις εκροές που παράγει. Βοηθά να προσδιοριστεί αν το σύστημα αξίζει την επένδυση με βάση την απόδοση της επένδυσης (ROI). Για παράδειγμα, ένα σύστημα ηλιακής ενέργειας θεωρείται οικονομικά αποδοτικό εάν η εξοικονόμηση στους λογαριασμούς ενέργειας δικαιολογεί το αρχικό κόστος εγκατάστασης με την πάροδο του χρόνου.

Η προσαρμοστικότητα μετρά την ικανότητα ενός συστήματος να αλλάζει ή να προσαρμόζεται σε διαφορετικές συνθήκες, απαιτήσεις ή περιβάλλοντα. Είναι απαραίτητη για συστήματα που λειτουργούν σε δυναμικά ή απρόβλεπτα περιβάλλοντα. Για παράδειγμα, ένα ρομποτικό σύστημα παραγωγής που μπορεί να αναδιαμορφώνεται γρήγορα για την παραγωγή διαφορετικών προϊόντων αποδεικνύει προσαρμοστικότητα.

Τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά των συστημάτων, όπως η διασύνδεση, οι μηχανισμοί ανατροφοδότησης και ο σκοπός, μας βοηθούν να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο τα συστήματα λειτουργούν και αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον τους. Οι μετρικές όπως η αποδοτικότητα, η αξιοπιστία, η επεκτασιμότητα και η ανθεκτικότητα παρέχουν μετρήσιμους τρόπους μέτρησης και αξιολόγησης της απόδοσης ενός συστήματος. Μαζί, οι έννοιες αυτές αποτελούν τη βάση για την ανάλυση και τη βελτιστοποίηση συστημάτων σε διάφορους τομείς, διασφαλίζοντας ότι αυτά εκπληρώνουν τους επιδιωκόμενους στόχους τους και προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες ανάγκες.

1.1.3 Ντετερμινιστικά και στοχαστικά συστήματα

Στη μελέτη των συστημάτων σε διάφορους τομείς -όπως η μηχανική, τα μαθηματικά, η φυσική και η οικονομία- η κατανόηση της φύσης των ντετερμινιστικών και

στοχαστικών συστημάτων είναι ζωτικής σημασίας. Και οι δύο τύποι συστημάτων διαδραματίζουν ουσιαστικό ρόλο στη μοντελοποίηση φαινομένων του πραγματικού κόσμου, προσφέροντας διαφορετικές προοπτικές για τον τρόπο με τον οποίο τα συστήματα συμπεριφέρονται και εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου [6].

Ένα ντετερμινιστικό σύστημα χαρακτηρίζεται από προβλεψιμότητα, όπου ένα δεδομένο σύνολο εισροών παράγει πάντα την ίδια έξοδο. Αντίθετα, ένα στοχαστικό σύστημα ενσωματώνει την τυχαιότητα και την αβεβαιότητα, οδηγώντας σε εξόδους που μπορεί να διαφέρουν ακόμη και με τις ίδιες αρχικές συνθήκες. Αυτό το δοκίμιο διερευνά τις θεμελιώδεις διαφορές μεταξύ ντετερμινιστικών και στοχαστικών συστημάτων, παρέχοντας πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά, τις εφαρμογές και τα πλεονεκτήματά τους σε διάφορους τομείς.

Τα ντετερμινιστικά συστήματα λειτουργούν με τρόπο που είναι απολύτως προβλέψιμος. Σε τέτοια συστήματα, η συμπεριφορά διέπεται από ακριβείς νόμους ή κανόνες, πράγμα που σημαίνει ότι μια συγκεκριμένη είσοδος θα παράγει πάντα μια μοναδική και προβλέψιμη έξοδο. Η βασική αρχή είναι ότι η κατάσταση του συστήματος σε κάθε χρονική στιγμή καθορίζεται από τις αρχικές συνθήκες και τους νόμους που διέπουν την εξέλιξή του.

Ένα από τα απλούστερα παραδείγματα ενός ντετερμινιστικού συστήματος είναι μια γραμμική μαθηματική εξίσωση όπως $y=2x+3$. Για οποιαδήποτε δεδομένη τιμή του x , η τιμή του y μπορεί να υπολογιστεί με απόλυτη βεβαιότητα. Παρομοίως, μηχανικά συστήματα όπως τα εκκρεμή ή η πλανητική κίνηση ακολουθούν τους νόμους του Νεύτωνα για την κίνηση, καθιστώντας τις τροχιές και τις μελλοντικές τους θέσεις προβλέψιμες, εφόσον είναι γνωστές οι αρχικές συνθήκες, όπως η ταχύτητα και η θέση.

Τα ντετερμινιστικά συστήματα αναπαρίστανται συχνά με τη χρήση διαφορικών εξισώσεων σε τομείς όπως η φυσική και η μηχανική. Οι εξισώσεις αυτές περιγράφουν τον τρόπο με τον οποίο οι μεταβλητές μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου βάσει σταθερών κανόνων. Για παράδειγμα, στην ηλεκτρολογία, η συμπεριφορά ενός απλού κυκλώματος RC (κύκλωμα αντίστασης-πυκνωτή) μπορεί να μοντελοποιηθεί με τη χρήση διαφορικών εξισώσεων για την πρόβλεψη της τάσης στον πυκνωτή σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή. Αυτή η προβλέψιμη φύση καθιστά τα ντετερμινιστικά συστήματα χρήσιμα για προσομοίωση, συστήματα ελέγχου και προβλήματα βελτιστοποίησης, όπου είναι απαραίτητη η ακριβής πρόβλεψη.

Ωστόσο, η προβλεψιμότητα των ντετερμινιστικών συστημάτων έχει επίσης περιορισμούς. Ενώ παρέχουν ακριβή αποτελέσματα, μπορεί να αποτύχουν να συλλάβουν την εγγενή μεταβλητότητα και την τυχαιότητα που υπάρχει σε πολλά

φαινόμενα του πραγματικού κόσμου. Αυτό καθιστά τα ντετερμινιστικά συστήματα λιγότερο κατάλληλα για σενάρια όπου η αβεβαιότητα παίζει σημαντικό ρόλο.

Αντίθετα, τα στοχαστικά συστήματα αναγνωρίζουν το ρόλο της τυχαιότητας και της αβεβαιότητας στη διαμόρφωση των αποτελεσμάτων. Σε ένα στοχαστικό σύστημα, το ίδιο σύνολο αρχικών συνθηκών μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά αποτελέσματα λόγω της παρουσίας τυχαίων μεταβλητών. Η συμπεριφορά αυτών των συστημάτων περιγράφεται με τη χρήση πιθανοτικών μοντέλων που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το εύρος των πιθανών αποτελεσμάτων και τις πιθανότητες τους.

Ένα κλασικό παράδειγμα στοχαστικού συστήματος είναι η πρόγνωση του καιρού. Ακόμη και με λεπτομερή δεδομένα σχετικά με τις τρέχουσες ατμοσφαιρικές συνθήκες, οι προβλέψεις για τις μελλοντικές καιρικές συνθήκες περιέχουν πάντα κάποιο επίπεδο αβεβαιότητας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αμέτρητοι παράγοντες επηρεάζουν την ατμόσφαιρα, πολλοί από τους οποίους είναι τυχαίοι ή χαστικοί στη φύση τους. Ως αποτέλεσμα, τα μοντέλα καιρού χρησιμοποιούν κατανομές πιθανοτήτων για να παρέχουν προβλέψεις που περιλαμβάνουν περιθώρια αβεβαιότητας.

Η θεωρία της ουράς, η οποία χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση διαδικασιών όπως η εξυπηρέτηση πελατών σε τράπεζες ή οι αφίξεις πακέτων δεδομένων σε δίκτυα υπολογιστών, είναι ένα άλλο παράδειγμα στοχαστικού συστήματος. Οι χρόνοι άφιξης των πελατών ή των πακέτων είναι εγγενώς τυχαίοι και, ως εκ τούτου, το σύστημα μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας κατανομές πιθανοτήτων όπως η κατανομή Poisson. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την ανάλυση των μέσων χρόνων αναμονής, των μηκών ουράς και άλλων μετρήσεων απόδοσης.

Τα στοχαστικά συστήματα χρησιμοποιούνται συνήθως στη χρηματοοικονομική, όπου οι τιμές των μετοχών ή οι συναλλαγματικές ισοτιμίες επηρεάζονται από ένα πλήθος απρόβλεπτων παραγόντων. Μοντέλα όπως η εξίσωση Black-Scholes για την τιμολόγηση δικαιωμάτων προαίρεσης ή προσομοιώσεις Monte Carlo χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των κινήσεων των τιμών, λαμβάνοντας υπόψη την εγγενή τυχαιότητα της συμπεριφοράς της αγοράς. Η δύναμη των στοχαστικών συστημάτων έγκειται στην ικανότητά τους να μοντελοποιούν τη μεταβλητότητα και την αβεβαιότητα, καθιστώντας τα πολύτιμα εργαλεία για την αξιολόγηση κινδύνων, την πρόβλεψη και τη λήψη αποφάσεων υπό αβεβαιότητα.

Οι εφαρμογές των ντετερμινιστικών και των στοχαστικών συστημάτων εκτείνονται σε διάφορους τομείς, εξυπηρετώντας ο καθένας μοναδικούς σκοπούς. Τα ντετερμινιστικά μοντέλα πλεονεκτούν ιδιαίτερα όταν απαιτείται ακρίβεια και ακριβείς λύσεις. Στη μηχανική, τα ντετερμινιστικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για

το σχεδιασμό κυκλωμάτων, συστημάτων ελέγχου και ρομποτικής, όπου απαιτούνται ακριβείς μετρήσεις και αποτελέσματα. Για παράδειγμα, η θεωρία ελέγχου χρησιμοποιεί ντετερμινιστικά μοντέλα για τη δημιουργία βρόχων ανατροφοδότησης που διατηρούν τη σταθερότητα συστημάτων όπως οι αυτοματοποιημένες διαδικασίες παραγωγής ή ο έλεγχος ταχύτητας στα οχήματα.

Στις φυσικές επιστήμες, τα ντετερμινιστικά μοντέλα βοηθούν στην προσομοίωση πλανητικών τροχιών, τη δυναμική πληθυσμών υπό ιδανικές συνθήκες και τις χημικές αντιδράσεις όπου οι μεταβλητές μπορούν να ελεγχθούν αυστηρά. Σε αυτές τις εφαρμογές, η απουσία τυχαιότητας εξασφαλίζει ότι τα αποτελέσματα είναι αναπαραγώγιμα, επιτρέποντας στους επιστήμονες και τους μηχανικούς να σχεδιάζουν συστήματα με υψηλό βαθμό ακρίβειας.

Από την άλλη πλευρά, τα στοχαστικά μοντέλα είναι απαραίτητα σε τομείς όπου η αβεβαιότητα και τα τυχαία γεγονότα δεν μπορούν να αγνοηθούν. Στην επιδημιολογία, για παράδειγμα, τα στοχαστικά μοντέλα προσομοιώνουν την εξάπλωση των ασθενειών ενσωματώνοντας την τυχαιότητα στα ποσοστά μόλυνσης, τα πρότυπα επαφής και την κινητικότητα του πληθυσμού. Αυτό επιτρέπει στους ειδικούς της δημόσιας υγείας να εκτιμούν ένα εύρος πιθανών σεναρίων επιδημίας και να προετοιμάζονται αναλόγως.

Στα οικονομικά και τα χρηματοοικονομικά, τα στοχαστικά μοντέλα παρέχουν πληροφορίες για τη συμπεριφορά της αγοράς, βοηθώντας τους αναλυτές να διαχειριστούν τους επενδυτικούς κινδύνους και να αξιολογήσουν τις τιμές των παραγώγων. Τα στοχαστικά μοντέλα χρησιμοποιούνται επίσης στη μηχανική μάθηση και την τεχνητή νοημοσύνη για εφαρμογές όπως η ενισχυτική μάθηση, όπου οι πράκτορες μαθαίνουν να λαμβάνουν αποφάσεις σε αβέβαια περιβάλλοντα διερευνώντας τις πιθανότητες διαφορετικών ενεργειών.

Ενώ τα στοχαστικά μοντέλα υιοθετούν την τυχαιότητα, το κάνουν παρέχοντας κατανομές πιθανοτήτων που περιγράφουν την πιθανότητα διαφορετικών αποτελεσμάτων. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να κατανοήσουν όχι μόνο το πιο πιθανό αποτέλεσμα αλλά και το εύρος των σχετικών κινδύνων, κάτι που είναι κρίσιμο σε τομείς όπως η ασφάλιση, η μοντελοποίηση του κλίματος και η θεωρία παιγνίων.

Ενώ τα ντετερμινιστικά και τα στοχαστικά συστήματα μπορεί να φαίνονται θεμελιωδώς διαφορετικά, στην πράξη συχνά αλληλοσυμπληρώνονται. Μια βασική διάκριση είναι ότι τα ντετερμινιστικά συστήματα είναι κατάλληλα για προβλήματα στα οποία είναι δυνατές ακριβείς λύσεις, ενώ τα στοχαστικά συστήματα παρέχουν γνώσεις όταν πρέπει να μοντελοποιηθεί η τυχαία μεταβλητότητα. Ωστόσο, το όριο

μεταξύ των δύο δεν είναι πάντα άκαμπτο- ορισμένα συστήματα παρουσιάζουν χαρακτηριστικά και των δύο.

Για παράδειγμα, στη μοντελοποίηση του κλίματος, οι ντετερμινιστικές φυσικές εξισώσεις περιγράφουν την κίνηση των αερίων μαζών και των ωκεάνιων ρευμάτων, αλλά τα στοχαστικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για να εξηγήσουν τυχαία γεγονότα όπως ξαφνικές καταιγίδες ή ηφαιστειακές εκρήξεις. Αυτή η υβριδική προσέγγιση παρέχει μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση του συστήματος, καταγράφοντας τόσο τις προβλέψιμες τάσεις όσο και τις απρόβλεπτες αποκλίσεις.

Επιπλέον, η επιλογή μεταξύ ντετερμινιστικών και στοχαστικών μοντέλων εξαρτάται συχνά από το επιθυμητό επίπεδο αφαίρεσης και την κλίμακα του συστήματος που μελετάται. Σε μικροσκοπική κλίμακα, φυσικές διεργασίες όπως η συμπεριφορά μεμονωμένων σωματιδίων μπορεί να αναπαρασταθούν καλύτερα με στοχαστικά μοντέλα λόγω της εγγενούς τυχαιότητάς τους. Ωστόσο, σε μακροσκοπική κλίμακα, όπου μεγάλος αριθμός σωματιδίων αλληλεπιδρά, ντετερμινιστικά μοντέλα όπως οι θερμοδυναμικές εξισώσεις μπορούν να παρέχουν ακριβείς προσεγγίσεις.

Στις πρακτικές εφαρμογές, οι προσομοιώσεις Monte Carlo είναι μια κοινή μέθοδος που συνδυάζει και τις δύο προσεγγίσεις. Αυτές οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούν ντετερμινιστικές εξισώσεις για τη μοντελοποίηση της υποκείμενης διαδικασίας, αλλά ενσωματώνουν τυχαία δειγματοληψία για τη διερεύνηση διαφορετικών πιθανών αποτελεσμάτων. Αυτό επιτρέπει στους αναλυτές να εκτιμούν τις πιθανότητες γεγονότων σε πολύπλοκα συστήματα, όπως στην πυρηνική φυσική, τη χρηματοοικονομική μοντελοποίηση και τη διαχείριση έργων.

Τα ντετερμινιστικά και τα στοχαστικά συστήματα προσφέρουν μοναδικές προοπτικές για την κατανόηση και την ανάλυση του κόσμου γύρω μας. Τα ντετερμινιστικά συστήματα παρέχουν μια αίσθηση τάξης και προβλεψιμότητας, καθιστώντας τα ανεκτίμητα για προβλήματα όπου τα ακριβή αποτελέσματα είναι ζωτικής σημασίας. Από την άλλη πλευρά, τα στοχαστικά συστήματα αναγνωρίζουν την απρόβλεπτη φύση πολλών φαινομένων του πραγματικού κόσμου, προσφέροντας εργαλεία για τη μοντελοποίηση της αβεβαιότητας και του κινδύνου.

Η επιλογή μεταξύ αυτών των προσεγγίσεων εξαρτάται από το πλαίσιο του προβλήματος και τους στόχους της ανάλυσης. Καθώς οι τεχνολογικές εξελίξεις συνεχίζουν να οδηγούν σε πολύπλοκα συστήματα σε τομείς όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η επιστήμη του κλίματος και η χρηματοδότηση, η λεπτή κατανόηση τόσο των ντετερμινιστικών όσο και των στοχαστικών πλαισίων θα παραμείνει απαραίτητη για την αποτελεσματική μοντελοποίηση, ανάλυση και λήψη αποφάσεων.

1.2 Κλινική φροντίδα

Τα ηλεκτρονικά συστήματα υγείας βελτιώνουν σημαντικά την ποιότητα της περίθαλψης που παρέχεται στους ασθενείς. Διατηρώντας ολοκληρωμένους και ενημερωμένους φακέλους ασθενών, τα ΗΣΥ διασφαλίζουν ότι οι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης έχουν πρόσβαση σε κρίσιμες πληροφορίες, όπως ιατρικό ιστορικό, αλλεργίες, καταλόγους φαρμάκων και διαγνωστικά αποτελέσματα. Αυτή η ολοκληρωμένη πρόσβαση σε δεδομένα μειώνει την πιθανότητα ιατρικών σφαλμάτων, διευκολύνει τις ακριβείς διαγνώσεις και επιτρέπει εξατομικευμένα προγράμματα θεραπείας [7].

Για παράδειγμα, το EHS μπορεί να προειδοποιεί τους γιατρούς για πιθανές αλληλεπιδράσεις φαρμάκων, αλλεργίες ή άλλες αντενδείξεις, αποτρέποντας έτσι ανεπιθύμητα συμβάντα φαρμάκων. Τα εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων που ενσωματώνονται στο EHS μπορούν να παρέχουν συστάσεις βάσει στοιχείων για θεραπευτικά πρωτόκολλα, ενισχύοντας την κλινική λήψη αποφάσεων και τυποποιώντας τις πρακτικές περίθαλψης μεταξύ των παρόχων [8].

Η συνέχεια της φροντίδας είναι ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση χρόνιων παθήσεων και τον συντονισμό της φροντίδας μεταξύ πολλαπλών παρόχων υγειονομικής περίθαλψης. Το EHS διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στη διασφάλιση της απρόσκοπτης μετάβασης μεταξύ διαφορετικών περιβαλλόντων περίθαλψης, όπως η πρωτοβάθμια περίθαλψη, η εξειδικευμένη περίθαλψη, τα νοσοκομεία και η κατ' οίκον περίθαλψη. Επιτρέποντας την ασφαλή ανταλλαγή πληροφοριών ασθενών μέσω ΗΙΕs, το EHS διευκολύνει τη συντονισμένη φροντίδα και ελαχιστοποιεί τα κενά πληροφοριών [9].

Για παράδειγμα, ένας ασθενής με διαβήτη μπορεί να επισκέπτεται έναν ενδοκρινολόγο, έναν ιατρό πρωτοβάθμιας περίθαλψης και έναν διατροφολόγο. Το EHS διασφαλίζει ότι κάθε πάροχος έχει πρόσβαση στο ίδιο σύνολο δεδομένων ασθενούς, επιτρέποντας συνεκτικές και τεκμηριωμένες αποφάσεις περίθαλψης. Αυτή η συντονισμένη προσέγγιση βοηθά στην αποτελεσματικότερη διαχείριση των χρόνιων ασθενειών και μειώνει τις επανεισαγωγές στα νοσοκομεία [10].

Η ενσωμάτωση του EHS με προηγμένα διαγνωστικά εργαλεία και συστήματα απεικόνισης επιτρέπει ακριβέστερη και έγκαιρη διάγνωση και θεραπεία. Η ψηφιακή πρόσβαση σε εργαστηριακά αποτελέσματα, ακτινολογικές εικόνες και άλλες διαγνωστικές εξετάσεις επιτρέπει στους κλινικούς γιατρούς να εξετάζουν και να ερμηνεύουν γρήγορα τα ευρήματα, οδηγώντας σε ταχύτερη παρέμβαση και βελτιωμένα αποτελέσματα για τους ασθενείς [11].

Επιπλέον, το EHS μπορεί να ενσωματώσει αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης (AI) και μηχανικής μάθησης για την ανάλυση δεδομένων ασθενών και την πρόβλεψη της εξέλιξης της νόσου. Αυτά τα εργαλεία προγνωστικής ανάλυσης μπορούν να εντοπίσουν ασθενείς με υψηλό κίνδυνο εμφάνισης ορισμένων παθήσεων, επιτρέποντας την έγκαιρη παρέμβαση και την προληπτική φροντίδα. Για παράδειγμα, οι αλγόριθμοι TN μπορούν να αναλύσουν δεδομένα EHR για να εντοπίσουν ασθενείς που διατρέχουν κίνδυνο σήψης, επιτρέποντας την έγκαιρη θεραπεία και μειώνοντας τα ποσοστά θνησιμότητας [12].

Γενικά, η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στα Ηλεκτρονικά Ιατρικά Αρχεία (EHR) βελτιώνει τη διαγνωστική ακρίβεια, προβλέπει επιπλοκές, και ενισχύει τη λειτουργική αποτελεσματικότητα μέσω χαρακτηριστικών όπως NLP και έξυπνες προτάσεις. Η αγορά AI στον τομέα της υγείας αυξάνεται ραγδαία, από 22,45 δισ. δολάρια το 2023 σε 208,2 δισ. δολάρια το 2030. Η AI επιταχύνει τη διαχείριση αρχείων, αυτοματοποιεί διοικητικές εργασίες, και βελτιώνει την ποιότητα φροντίδας με ακριβή διαγνωστική βοήθεια [12].

1.3 Διοικητικές διαδικασίες

Τα ηλεκτρονικά συστήματα υγείας αυτοματοποιούν διάφορες διοικητικές εργασίες, όπως ο προγραμματισμός ραντεβού, η τιμολόγηση και η κωδικοποίηση, βελτιώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα των λειτουργιών της υγειονομικής περίθαλψης. Μειώνοντας την εξάρτηση από τα έντυπα αρχεία και τις χειροκίνητες διαδικασίες, το ΗΣΥ ελαχιστοποιεί τα διοικητικά βάρη και απελευθερώνει τους επαγγελματίες του τομέα της υγειονομικής περίθαλψης ώστε να επικεντρωθούν στη φροντίδα των ασθενών [12].

Για παράδειγμα, τα αυτοματοποιημένα συστήματα προγραμματισμού ραντεβού μπορούν να μειώσουν τα ποσοστά μη εμφάνισης, στέλνοντας υπενθυμίσεις στους ασθενείς και επιτρέποντάς τους να επιβεβαιώνουν ή να επαναπρογραμματίζουν τα ραντεβού ηλεκτρονικά. Ομοίως, τα ηλεκτρονικά συστήματα χρέωσης και κωδικοποίησης βελτιώνουν τη διαδικασία διαχείρισης του κύκλου εσόδων, μειώνοντας τα λάθη και επιταχύνοντας την επιστροφή χρημάτων από τις ασφαλιστικές εταιρείες [13].

Το EHS διευκολύνει τη συμμόρφωση με τις κανονιστικές απαιτήσεις και απλοποιεί την υποβολή εκθέσεων για πρωτοβουλίες βελτίωσης της ποιότητας. Οι οργανισμοί υγειονομικής περίθαλψης οφείλουν να συμμορφώνονται με διάφορους κανονισμούς, όπως ο νόμος περί φορητότητας και λογοδοσίας για την ασφάλιση υγείας (Health Insurance Portability and Accountability Act - HIPAA) στις Ηνωμένες Πολιτείες, ο οποίος επιβάλλει την προστασία των πληροφοριών υγείας των ασθενών. Το EHS

ενσωματώνει μέτρα ασφαλείας για τη διασφάλιση των δεδομένων των ασθενών και διασφαλίζει τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς περί απορρήτου [13].

Επιπλέον, το EHS μπορεί να παράγει αναφορές και πίνακες ελέγχου για την παρακολούθηση των βασικών δεικτών απόδοσης (KPI) και των μετρήσεων ποιότητας. Αυτές οι αναφορές επιτρέπουν στους οργανισμούς υγειονομικής περίθαλψης να παρακολουθούν τις επιδόσεις, να εντοπίζουν τομείς προς βελτίωση και να εφαρμόζουν στρατηγικές βασισμένες σε στοιχεία για τη βελτίωση της παροχής φροντίδας. Για παράδειγμα, τα νοσοκομεία μπορούν να χρησιμοποιούν τα δεδομένα EHS για την παρακολούθηση των ποσοστών λοιμώξεων, των ποσοστών επανεισδοχής και των βαθμολογιών ικανοποίησης των ασθενών, επιτρέποντας στοχευμένες παρεμβάσεις για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων [14].

1.4 Δημόσια υγεία

Τα ηλεκτρονικά συστήματα υγείας διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην επιτήρηση της δημόσιας υγείας και τη διαχείριση επιδημιών. Συγκεντρώνοντας και αναλύοντας δεδομένα από διάφορους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης, το EHS επιτρέπει την παρακολούθηση των τάσεων των ασθενειών σε πραγματικό χρόνο και την έγκαιρη ανίχνευση των επιδημιών. Οι αρχές δημόσιας υγείας μπορούν να χρησιμοποιούν αυτά τα δεδομένα για να εντοπίζουν τις αναδυόμενες απειλές, να παρακολουθούν την εξάπλωση των μολυσματικών ασθενειών και να εφαρμόζουν έγκαιρες παρεμβάσεις για τον περιορισμό των εστιών [15].

Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19, το EHS διευκόλυνε τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων σχετικά με τα κρούσματα COVID-19, τις νοσηλείες και τα ποσοστά εμβολιασμού. Οι πληροφορίες αυτές ήταν ζωτικής σημασίας για τη λήψη αποφάσεων στον τομέα της δημόσιας υγείας, την κατανομή των πόρων και την επικοινωνία με το κοινό. Το EHS επέτρεψε επίσης τον εντοπισμό επαφών και την παρακολούθηση της διανομής εμβολίων, συμβάλλοντας στη συνολική αντιμετώπιση της πανδημίας.

Το EHS υποστηρίζει τη διαχείριση της υγείας του πληθυσμού παρέχοντας πληροφορίες για την κατάσταση της υγείας και τις ανάγκες των διαφόρων πληθυσμών. Με την ανάλυση δεδομένων σχετικά με τα δημογραφικά στοιχεία, τους κοινωνικούς παράγοντες της υγείας και τα αποτελέσματα της υγείας, οι οργανισμοί υγειονομικής περίθαλψης μπορούν να αναπτύξουν στοχευμένες παρεμβάσεις για την αντιμετώπιση των ανισοτήτων υγείας και τη βελτίωση της υγείας του πληθυσμού.

Για παράδειγμα, το EHS μπορεί να εντοπίσει πληθυσμούς υψηλού κινδύνου, όπως άτομα με πολλαπλές χρόνιες παθήσεις ή άτομα με περιορισμένη πρόσβαση σε υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης. Οι οργανισμοί υγειονομικής περίθαλψης μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις πληροφορίες για την εφαρμογή προγραμμάτων προληπτικής φροντίδας, πρωτοβουλιών προσέγγισης της κοινότητας και προσπάθειών συντονισμού της φροντίδας για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων υγείας αυτών των πληθυσμών. Επιπλέον, το EHS μπορεί να υποστηρίξει την παρακολούθηση της εμβολιαστικής κάλυψης, των ποσοστών προσυμπτωματικού ελέγχου και της χρήσης της προληπτικής φροντίδας, επιτρέποντας στις αρχές δημόσιας υγείας να αντιμετωπίσουν τα κενά στις προληπτικές υπηρεσίες

1.5 Έρευνα

Τα ηλεκτρονικά συστήματα υγείας είναι ανεκτίμητα εργαλεία για την κλινική έρευνα και τις δοκιμές. Παρέχοντας πρόσβαση σε μεγάλα σύνολα δεδομένων με πληροφορίες ασθενών, τα ΗΣΥ επιτρέπουν στους ερευνητές να διεξάγουν μελέτες παρατήρησης, να εντοπίζουν πιθανούς συμμετέχοντες σε μελέτες και να παρακολουθούν τα αποτελέσματα των δοκιμών. Η δυνατότητα ανάλυσης δεδομένων πραγματικού κόσμου από τα EHS ενισχύει την εγκυρότητα και τη γενίκευση των ερευνητικών ευρημάτων [16].

Για παράδειγμα, οι ερευνητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν το EHS για να εντοπίσουν ασθενείς με συγκεκριμένες παθήσεις ή χαρακτηριστικά για να συμπεριληφθούν σε κλινικές δοκιμές. Το EHS μπορεί επίσης να διευκολύνει τη συλλογή των αποτελεσμάτων που αναφέρουν οι ασθενείς και άλλων δεδομένων των δοκιμών, μειώνοντας την επιβάρυνση των συμμετεχόντων και βελτιώνοντας την ακρίβεια των δεδομένων. Επιπλέον, το EHS μπορεί να υποστηρίξει την εποπτεία των νέων θεραπειών μετά την κυκλοφορία τους στην αγορά, επιτρέποντας την παρακολούθηση της μακροπρόθεσμης ασφάλειας και αποτελεσματικότητας [17].

Η ενσωμάτωση του EHS με προηγμένα εργαλεία ανάλυσης δεδομένων και μηχανικής μάθησης έχει ανοίξει νέους δρόμους για την έρευνα και την καινοτομία με γνώμονα τα δεδομένα. Αναλύοντας μεγάλους όγκους δεδομένων EHR, οι ερευνητές μπορούν να αποκαλύψουν μοτίβα, να εντοπίσουν παράγοντες κινδύνου και να αναπτύξουν μοντέλα πρόβλεψης για διάφορες καταστάσεις υγείας. Αυτές οι γνώσεις μπορούν να ενημερώσουν για την ανάπτυξη νέων θεραπειών, διαγνωστικών εργαλείων και μοντέλων παροχής φροντίδας [18].

Για παράδειγμα, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να αναλύσουν δεδομένα EHR για να προβλέψουν τον κίνδυνο ανεπιθύμητων συμβάντων, όπως επανεισαγωγές στο νοσοκομείο ή επιπλοκές από χειρουργική επέμβαση. Αυτά τα

μοντέλα πρόβλεψης μπορούν να βοηθήσουν τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης να εντοπίσουν ασθενείς υψηλού κινδύνου και να εφαρμόσουν προληπτικά μέτρα για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, τα δεδομένα από το EHS μπορούν να υποστηρίξουν πρωτοβουλίες ιατρικής ακριβείας με τον εντοπισμό γενετικών και περιβαλλοντικών παραγόντων που επηρεάζουν την ευαισθησία σε ασθένειες και την ανταπόκριση στη θεραπεία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Έξυπνα συστήματα υγείας και διαχείριση ασθενών και ιδιωτικότητας

2.1 Διαχείριση ασθενών

Τα έξυπνα συστήματα υγείας μετασχηματίζουν τη διαχείριση των ασθενών αξιοποιώντας ψηφιακές τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI), το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων για τη δημιουργία ενός διασυνδεδεμένου, ασθενοκεντρικού οικοσυστήματος υγειονομικής περίθαλψης. Τα συστήματα αυτά βελτιώνουν την ποιότητα της περίθαλψης, ενισχύουν τη λειτουργική αποδοτικότητα και επιτρέπουν την έγκαιρη λήψη ιατρικών αποφάσεων βάσει δεδομένων. Τα έξυπνα συστήματα υγείας αποσκοπούν στην αντιμετώπιση των αυξανόμενων απαιτήσεων υγειονομικής περίθαλψης, ιδίως καθώς οι πληθυσμοί γερνούν και το βάρος των χρόνιων ασθενειών αυξάνεται παγκοσμίως. Η τρέχουσα ενότητα διερευνά τις βαθιές επιπτώσεις των έξυπνων συστημάτων υγείας στη διαχείριση των ασθενών, συμπεριλαμβανομένης της καλύτερης δέσμευσης των ασθενών, της εξορθολογισμένης παροχής υγειονομικής περίθαλψης, των βελτιωμένων αποτελεσμάτων για τους ασθενείς, καθώς και τις προκλήσεις που συνεπάγεται η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών [19]-[25].

Μία από τις σημαντικότερες επιπτώσεις των έξυπνων συστημάτων υγείας στη διαχείριση των ασθενών είναι η βελτιωμένη δέσμευση και ενδυνάμωση των ασθενών. Οι φορητές συσκευές, όπως τα έξυπνα ρολόγια και τα μόνιτορ υγείας, επιτρέπουν στους ασθενείς να παρακολουθούν κρίσιμες μετρήσεις υγείας, όπως ο καρδιακός ρυθμός, η αρτηριακή πίεση, τα επίπεδα γλυκόζης και η σωματική δραστηριότητα σε πραγματικό χρόνο. Με τη συνεχή παρακολούθηση αυτών των δεικτών, οι ασθενείς αποκτούν πολύτιμες πληροφορίες για την κατάσταση της υγείας τους, γεγονός που προάγει μια προληπτική προσέγγιση στη διαχείριση της υγείας τους. Αυτή η ενδυνάμωση ενθαρρύνει τους ασθενείς να λαμβάνουν προληπτικά μέτρα και να ακολουθούν πιστότερα τις συστάσεις για τον τρόπο ζωής, μειώνοντας τελικά τον κίνδυνο εξέλιξης της νόσου και νοσηλείας [19].

Τα έξυπνα συστήματα υγείας χρησιμοποιούν επίσης κινητές εφαρμογές και διαδικτυακές πύλες που επιτρέπουν στους ασθενείς να προγραμματίζουν ραντεβού, να έχουν πρόσβαση σε ιατρικούς φακέλους και να επικοινωνούν με τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης από απόσταση. Αυτό το επίπεδο προσβασιμότητας και διαφάνειας βοηθά τους ασθενείς να κατανοήσουν καλύτερα τις ιατρικές τους καταστάσεις και τις θεραπευτικές τους επιλογές. Για παράδειγμα, ένας ασθενής που διαχειρίζεται διαβήτη μπορεί να λαμβάνει άμεσες ειδοποιήσεις σχετικά με τα κυμαινόμενα επίπεδα γλυκόζης και να προσαρμόζει ανάλογα τη διατροφή του ή την πρόσληψη ινσουλίνης. Δίνοντας στους ασθενείς τον έλεγχο των δεδομένων υγείας τους και ενθαρρύνοντας την ενεργό συμμετοχή στη φροντίδα τους, τα έξυπνα

συστήματα υγείας ενισχύουν την ικανοποίηση των ασθενών, τη συμμόρφωση και την εμπιστοσύνη στις υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης [20].

Τα έξυπνα συστήματα υγείας βελτιώνουν την παροχή υγειονομικής περίθαλψης με τον εξορθολογισμό των διοικητικών διαδικασιών και την αυτοματοποίηση των καθηκόντων ρουτίνας, μειώνοντας έτσι τον φόρτο εργασίας των παρόχων υγειονομικής περίθαλψης και επιτρέποντάς τους να επικεντρωθούν στη φροντίδα των ασθενών. Οι ηλεκτρονικοί φάκελοι υγείας (ΗΦΥ) αποτελούν ακρογωνιαίο λίθο των έξυπνων συστημάτων υγείας, παρέχοντας μια κεντρική βάση δεδομένων όπου οι πληροφορίες των ασθενών μπορούν να αποθηκεύονται, να ενημερώνονται και να προσπελαύνονται από εξουσιοδοτημένο προσωπικό σε πραγματικό χρόνο. Αυτό το επίπεδο συνδεσιμότητας διασφαλίζει ότι οι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης έχουν μια πλήρη, ακριβή εικόνα του ιατρικού ιστορικού κάθε ασθενούς, μειώνοντας την πιθανότητα ιατρικών σφαλμάτων και επιτρέποντας την ταχύτερη και πιο τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων [21].

Επιπλέον, τα εργαλεία που λειτουργούν με τεχνητή νοημοσύνη βοηθούν στη διάγνωση ασθενειών και στον προγραμματισμό θεραπειών αναλύοντας μεγάλους όγκους δεδομένων από τα EHR, τις ιατρικές απεικονίσεις και τα εργαστηριακά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, οι αλγόριθμοι TN μπορούν να ερμηνεύουν τα αποτελέσματα της απεικόνισης για τον εντοπισμό ανωμαλιών όπως όγκοι ή κατάγματα με μεγάλη ακρίβεια, βοηθώντας τους ακτινολόγους να κάνουν ταχύτερες και ακριβέστερες διαγνώσεις. Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης μπορούν επίσης να προβλέψουν την επιδείνωση της κατάστασης των ασθενών στις μονάδες εντατικής θεραπείας, επιτρέποντας την έγκαιρη παρέμβαση και την καλύτερη κατανομή των πόρων. Αυτές οι αποδοτικότητες όχι μόνο βελτιώνουν τη διαχείριση των ασθενών, αλλά και μειώνουν την επιβάρυνση των εγκαταστάσεων υγειονομικής περίθαλψης, βελτιώνοντας τη συνολική παραγωγικότητα και τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας [20].

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των έξυπνων συστημάτων υγείας είναι η ικανότητά τους να παρέχουν προγνωστική και εξατομικευμένη φροντίδα. Αναλύοντας μοτίβα στα δεδομένα υγείας ενός ασθενούς, τα έξυπνα συστήματα υγείας μπορούν να εντοπίζουν άτομα που διατρέχουν κίνδυνο για ορισμένες παθήσεις και να προτείνουν προληπτικές ενέργειες ή έγκαιρες παρεμβάσεις. Για παράδειγμα, τα ιστορικά δεδομένα ενός ασθενούς σε συνδυασμό με αλγόριθμους μηχανικής μάθησης μπορούν να προβλέψουν την πιθανότητα καρδιακής προσβολής ή εγκεφαλικού επεισοδίου, επιτρέποντας στους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης να εφαρμόσουν μέτρα για την πρόληψη αυτών των αποτελεσμάτων. Ομοίως, συσκευές με δυνατότητα IoT μπορούν να ειδοποιούν τους φροντιστές όταν ένας ασθενής με

χρόνια καρδιακή νόσο παρουσιάζει σημάδια επιδείνωσης της υγείας του, προτρέποντας σε άμεση δράση πριν συμβεί ένα κρίσιμο συμβάν [22].

Η εξατομικευμένη φροντίδα είναι ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα. Τα έξυπνα συστήματα υγείας μπορούν να προσαρμόζουν τα σχέδια θεραπείας στα μοναδικά δεδομένα γενετικής, τρόπου ζωής και υγείας κάθε ασθενούς, διασφαλίζοντας ότι οι θεραπείες είναι όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικές. Αυτή η προσαρμογή ελαχιστοποιεί τις προσεγγίσεις δοκιμής και λάθους στη θεραπεία και αυξάνει την πιθανότητα επιτυχημένων αποτελεσμάτων. Για παράδειγμα, η ογκολογία αξιοποιεί όλο και περισσότερο την ΤΝ για να συστήσει θεραπείες καρκίνου με βάση το γενετικό προφίλ του ασθενούς και την ανταπόκριση σε προηγούμενες θεραπείες, οδηγώντας σε πιο στοχευμένη και αποτελεσματική φροντίδα. Ως αποτέλεσμα, τα εξατομικευμένα σχέδια θεραπείας βελτιώνουν τα αποτελέσματα των ασθενών, μειώνουν τις ανεπιθύμητες ενέργειες και προωθούν μια πιο ασθενοκεντρική προσέγγιση της υγειονομικής περίθαλψης [21].

Παρά τα πολυάριθμα οφέλη, υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις στην εφαρμογή των έξυπνων συστημάτων υγείας που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητά τους στη διαχείριση των ασθενών. Μια σημαντική ανησυχία είναι το απόρρητο και η ασφάλεια των δεδομένων. Τα έξυπνα συστήματα υγείας βασίζονται σε τεράστιες ποσότητες ευαίσθητων δεδομένων ασθενών και οποιαδήποτε παραβίαση της ασφάλειας μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες για το απόρρητο των ασθενών. Οι απειλές της κυβερνοασφάλειας, όπως η πειρατεία και η κλοπή δεδομένων, θέτουν σε κίνδυνο όχι μόνο το απόρρητο των ασθενών αλλά και την ακεραιότητα των συστημάτων υγειονομικής περίθαλψης. Η διασφάλιση της ασφαλούς μετάδοσης, αποθήκευσης και πρόσβασης στα δεδομένα είναι απαραίτητη για την προστασία των πληροφοριών των ασθενών και τη διατήρηση της εμπιστοσύνης του κοινού στις έξυπνες τεχνολογίες υγείας [22].

Μια άλλη πρόκληση έγκειται στη διαλειτουργικότητα διαφορετικών συσκευών και συστημάτων. Πολλές εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης χρησιμοποιούν διάφορους τύπους λογισμικού και υλικού που ενδέχεται να μην είναι συμβατά μεταξύ τους. Η ενσωμάτωση των EHR, των φορητών συσκευών, των πλατφορμών IoT και των διαγνωστικών εργαλείων απαιτεί απρόσκοπτη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων, η οποία συχνά παρεμποδίζεται από ιδιόκτητα πρότυπα και την έλλειψη ομοιόμορφων πρωτοκόλλων. Χωρίς διαλειτουργικότητα, τα έξυπνα συστήματα υγείας δεν μπορούν να αξιοποιήσουν πλήρως τα δεδομένα από πολλαπλές πηγές, περιορίζοντας τον αντίκτυπό τους στη διαχείριση των ασθενών [21].

Επιπλέον, το υψηλό κόστος υλοποίησης και οι απαιτήσεις κατάρτισης αποτελούν εμπόδια στην ευρεία υιοθέτηση. Η ανάπτυξη, η εγκατάσταση και η συντήρηση

έξυπνων συστημάτων υγείας απαιτούν σημαντικές οικονομικές επενδύσεις, οι οποίες μπορεί να μην είναι εφικτές για όλους τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης, ιδίως σε περιβάλλοντα με περιορισμένους πόρους. Επιπλέον, το προσωπικό υγειονομικής περίθαλψης χρειάζεται εκπαίδευση για την αποτελεσματική λειτουργία αυτών των συστημάτων και η προσαρμογή σε νέες ροές εργασίας μπορεί να διαταράξει τις υπάρχουσες διαδικασίες. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί στρατηγικές επενδύσεις, κυβερνητική υποστήριξη και συνεργασία μεταξύ παρόχων τεχνολογίας και ιδρυμάτων υγειονομικής περίθαλψης.

Τα έξυπνα συστήματα υγείας αναδιαμορφώνουν τη διαχείριση των ασθενών ενισχύοντας τη δέσμευση των ασθενών, βελτιώνοντας τη λειτουργική αποτελεσματικότητα, επιτρέποντας την προγνωστική και εξατομικευμένη φροντίδα και οδηγώντας τελικά σε καλύτερα αποτελέσματα για τους ασθενείς. Ενώ η εφαρμογή αυτών των συστημάτων συνοδεύεται από σημαντικές προκλήσεις, όπως ανησυχίες σχετικά με την προστασία της ιδιωτικής ζωής των δεδομένων, ζητήματα διαλειτουργικότητας και υψηλό κόστος, τα οφέλη που προσφέρουν τα καθιστούν ανεκτίμητα για την αντιμετώπιση των σύγχρονων απαιτήσεων της υγειονομικής περίθαλψης [21].

Με την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων και τη συνέχιση της ανάπτυξης ασφαλών, διαλειτουργικών και προσβάσιμων λύσεων έξυπνης υγείας, ο κλάδος της υγειονομικής περίθαλψης μπορεί να αξιοποιήσει περαιτέρω το δυναμικό αυτών των συστημάτων για τη βελτίωση της ποιότητας και της βιωσιμότητας της περίθαλψης των ασθενών. Σε ένα ταχέως εξελισσόμενο ψηφιακό τοπίο, ο ρόλος των έξυπνων συστημάτων υγείας στη διαχείριση των ασθενών αναμένεται να αυξηθεί, σηματοδοτώντας μια μετασχηματιστική στροφή προς μια πιο συνδεδεμένη, αποτελεσματική και ασθενοκεντρική προσέγγιση της υγειονομικής περίθαλψης.

2.2 Έξυπνα συστήματα υγείας και προκλήσεις ιδιωτικότητας

Η εμφάνιση έξυπνων συστημάτων υγείας, τα οποία ενσωματώνουν προηγμένες τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, μεταμορφώνει την παροχή υγειονομικής περίθαλψης, επιτρέποντας την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, την εξατομικευμένη φροντίδα και την αποτελεσματική λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων. Ωστόσο, ενώ τα έξυπνα συστήματα υγείας προσφέρουν πολυάριθμα οφέλη, θέτουν επίσης σημαντικές προκλήσεις για την προστασία της ιδιωτικής ζωής. Η φύση των δεδομένων υγείας, που συχνά είναι ευαίσθητα και προσωπικά αναγνωρίσιμα, απαιτεί αυστηρή προστασία της ιδιωτικής ζωής. Ωστόσο, η πολύπλοκη αλληλεπίδραση των διασυνδεδεμένων συσκευών, της τεράστιας αποθήκευσης δεδομένων και της υψηλής συχνότητας ανταλλαγής πληροφοριών

αυξάνει τον κίνδυνο παραβίασης δεδομένων, κατάχρησης και μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης. Στην ενότητα αυτή εξετάζουμε τις προκλήσεις για την προστασία της ιδιωτικής ζωής που είναι εγγενείς στα έξυπνα συστήματα υγείας, τους κινδύνους που συνδέονται με την έκθεση των δεδομένων και τα απαραίτητα βήματα για την προστασία των πληροφοριών των ασθενών [22].

Τα έξυπνα συστήματα υγείας βασίζονται σε δεδομένα από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρονικών αρχείων υγείας (EHR), των φορητών συσκευών, των αισθητήρων IoT και των εφαρμογών κινητής υγείας. Τα δεδομένα αυτά καταγράφουν ένα ευρύ φάσμα πληροφοριών για τους ασθενείς, από ζωτικά σημεία έως γενετικά προφίλ και συνήθειες συμπεριφοράς, τα οποία αποτελούν τη βάση για εξατομικευμένες και προγνωστικές υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης. Η ενσωμάτωση αυτών των δεδομένων επιτρέπει ακριβέστερη διάγνωση, έγκαιρη παρέμβαση και σχέδια θεραπείας με επίκεντρο τον ασθενή. Για παράδειγμα, οι φορητές συσκευές παρακολουθούν μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο, ενώ οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης αναλύουν μοτίβα δεδομένων για την πρόβλεψη πιθανών προβλημάτων υγείας, ενισχύοντας την προληπτική φροντίδα [23].

Ωστόσο, αυτό το διασυνδεδεμένο περιβάλλον σημαίνει επίσης ότι οι ευαίσθητες πληροφορίες ρέουν μεταξύ πολλαπλών συστημάτων, συχνά μεταξύ διαφορετικών παρόχων υγειονομικής περίθαλψης και συσκευών. Αυτό ενισχύει τον κίνδυνο έκθεσης, εάν παραβιαστεί οποιοδήποτε μεμονωμένο σημείο του δικτύου. Για παράδειγμα, μια παραβίαση της βάσης δεδομένων ενός νοσοκομείου θα μπορούσε ενδεχομένως να εκθέσει όχι μόνο τους EHR αλλά και δεδομένα από εξωτερικές συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο του νοσοκομείου. Κατά συνέπεια, η ποικιλόμορφη και κατανεμημένη φύση των έξυπνων συστημάτων υγείας αποτελεί κρίσιμη πρόκληση για την προστασία της ιδιωτικής ζωής και την ασφάλεια των δεδομένων.

Οι προκλήσεις για την προστασία της ιδιωτικής ζωής που σχετίζονται με τα έξυπνα συστήματα υγείας είναι εκτεταμένες και πολύπλοκες, καθοδηγούμενες από παράγοντες όπως η ευπάθεια των δεδομένων, η συμμόρφωση με τους κανονισμούς περί προστασίας της ιδιωτικής ζωής και οι πρακτικές κοινής χρήσης δεδομένων. Οι βασικές προκλήσεις περιλαμβάνουν [24]-[25]:

1. **Τρωτότητα δεδομένων και κίνδυνοι ασφάλειας:** Τα έξυπνα συστήματα υγείας παράγουν και αποθηκεύουν τεράστιες ποσότητες ευαίσθητων πληροφοριών, γεγονός που τα καθιστά πρωταρχικούς στόχους για εγκληματίες του κυβερνοχώρου. Η διασυνδεδεμένη φύση αυτών των συστημάτων σημαίνει ότι μια ευπάθεια σε μια συσκευή μπορεί να οδηγήσει σε μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση σε ολόκληρο το δίκτυο. Επιπλέον, οι συσκευές IoT που χρησιμοποιούνται στην υγειονομική περίθαλψη συχνά δεν

διαθέτουν προηγμένα χαρακτηριστικά ασφαλείας, γεγονός που τις καθιστά ευάλωτες σε πειρατεία και κλοπή δεδομένων. Κακόβουλοι παράγοντες που αποκτούν πρόσβαση σε αυτές τις συσκευές θα μπορούσαν να υποκλέψουν ιδιωτικές πληροφορίες για την υγεία ή ακόμη και να τροποποιήσουν δεδομένα, θέτοντας σε κίνδυνο τόσο την ιδιωτικότητα των ασθενών όσο και την ποιότητα της θεραπείας.

2. **Έλλειψη τυποποιημένων κανονισμών προστασίας της ιδιωτικής ζωής:** Σε πολλές χώρες, οι κανονισμοί προστασίας της ιδιωτικής ζωής ειδικά για τα έξυπνα συστήματα υγείας είναι είτε ανεπαρκείς είτε ανύπαρκτοι. Νόμοι όπως ο Νόμος περί Φορητότητας και Λογοδοσίας της Ασφάλισης Υγείας (HIPAA) στις Ηνωμένες Πολιτείες προστατεύουν τις πληροφορίες των ασθενών στα παραδοσιακά συστήματα υγειονομικής περίθαλψης, αλλά δεν είναι πλήρως προσαρμοσμένοι στις πολυπλοκότητες των έξυπνων τεχνολογιών υγείας. Επιπλέον, οι παγκόσμιες διαφοροποιήσεις στους κανονισμούς προστασίας της ιδιωτικής ζωής περιπλέκουν την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διεθνών παρόχων υγειονομικής περίθαλψης και τεχνολογικών εταιρειών, καθιστώντας δύσκολη την εξασφάλιση ενιαίων προτύπων προστασίας της ιδιωτικής ζωής. Ως αποτέλεσμα, η έλλειψη τυποποιημένων κανονισμών δημιουργεί ασυνέπειες στον τρόπο με τον οποίο προστατεύονται και διαχειρίζονται τα δεδομένα υγείας σε διαφορετικά συστήματα και περιοχές.
3. **Προκλήσεις στην ιδιοκτησία δεδομένων και τη συγκατάθεση:** Μια άλλη ανησυχία για την προστασία της ιδιωτικής ζωής στα έξυπνα συστήματα υγείας είναι το ζήτημα της ιδιοκτησίας των δεδομένων και της συναίνεσης. Οι ασθενείς ενδέχεται να μην έχουν πλήρη επίγνωση ή έλεγχο του τρόπου με τον οποίο συλλέγονται, αποθηκεύονται ή κοινοποιούνται τα δεδομένα τους. Ενώ τα άτομα συχνά συναινούν στη συλλογή δεδομένων όταν χρησιμοποιούν φορητές συσκευές ή εφαρμογές υγείας, ενδέχεται να μην είναι πλήρως ενημερωμένοι για τον τρόπο με τον οποίο τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται ή μοιράζονται με τρίτους, όπως ασφαλιστές, ερευνητικά ιδρύματα ή προμηθευτές τεχνολογίας. Αυτό εγείρει ηθικές ανησυχίες, ιδίως εάν τα δεδομένα των ασθενών χρησιμοποιούνται για σκοπούς πέραν της περίθαλψης των ασθενών, όπως εμπορικό κέρδος ή έρευνα χωρίς ρητή συγκατάθεση.
4. **Διαλειτουργικότητα δεδομένων και πρόσβαση τρίτων:** Η διαλειτουργικότητα των δεδομένων, δηλαδή η ικανότητα των διαφορετικών συστημάτων και συσκευών να ανταλλάσσουν απρόσκοπτα πληροφορίες, είναι ζωτικής σημασίας για τα έξυπνα συστήματα υγείας. Ωστόσο, αυτό συχνά συνεπάγεται την ανταλλαγή δεδομένων με τρίτους προμηθευτές, οι οποίοι ενδέχεται να μην δεσμεύονται από τα ίδια πρότυπα προστασίας της ιδιωτικής ζωής με τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης. Για παράδειγμα, οι πάροχοι υπηρεσιών cloud που αποθηκεύουν δεδομένα υγείας ή οι εταιρείες

τεχνητής νοημοσύνης που αναλύουν δεδομένα υγείας θα μπορούσαν ενδεχομένως να κακομεταχειριστούν ή να εκθέσουν ευαίσθητες πληροφορίες. Η αυξημένη πρόσβαση σε δεδομένα από τρίτους εγείρει ερωτήματα σχετικά με τη λογοδοσία και ενισχύει την ανάγκη για αυστηρά μέτρα προστασίας των δεδομένων.

2.3 Επιπτώσεις των παραβιάσεων της ιδιωτικής ζωής στους ασθενείς και τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης

Οι συνέπειες των παραβιάσεων του απορρήτου στα έξυπνα συστήματα υγείας είναι εκτεταμένες, επηρεάζοντας τόσο τους ασθενείς όσο και τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης. Για τους ασθενείς, οι παραβιάσεις της ιδιωτικής ζωής μπορεί να έχουν σοβαρές ψυχολογικές, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις. Οι ευαίσθητες πληροφορίες υγείας, εάν εκτεθούν, θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε στιγματισμό, διακρίσεις ή προσωπική δυσφορία. Επιπλέον, οι παραβιάσεις δεδομένων υγείας συχνά περιέχουν οικονομικές πληροφορίες, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε κλοπή ταυτότητας και οικονομική απώλεια. Για παράδειγμα, μια παραβίαση της βάσης δεδομένων ενός νοσοκομείου που περιέχει πληροφορίες πληρωμής μπορεί να εκθέσει τους ασθενείς σε οικονομική απάτη [26].

Για τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης, οι παραβιάσεις δεδομένων μπορεί να οδηγήσουν σε νομικές επιπτώσεις, οικονομικές κυρώσεις και ζημιά στη φήμη τους. Τα πρόστιμα για τη μη συμμόρφωση με τους κανονισμούς περί προστασίας της ιδιωτικής ζωής μπορεί να είναι σημαντικά, όπως διαπιστώθηκε σε υποθέσεις παραβίασης του HIPAA στις Ηνωμένες Πολιτείες. Πέρα από τις νομικές και οικονομικές επιπτώσεις, οι παραβιάσεις δεδομένων μπορούν να υπονομεύσουν την εμπιστοσύνη του κοινού στα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης, αποτρέποντας τους ασθενείς από το να ασχοληθούν πλήρως με τις ψηφιακές λύσεις υγείας. Η έλλειψη εμπιστοσύνης στην ασφάλεια των έξυπνων συστημάτων υγείας θα μπορούσε να επιβραδύνει την υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών, υπονομεύοντας τις προσπάθειες βελτίωσης της παροχής υγειονομικής περίθαλψης [25].

Για τον μετριασμό των κινδύνων προστασίας της ιδιωτικής ζωής, οι οργανισμοί υγειονομικής περίθαλψης πρέπει να εφαρμόζουν ισχυρές στρατηγικές προστασίας δεδομένων που ευθυγραμμίζονται με τις κανονιστικές απαιτήσεις και τις βέλτιστες πρακτικές του κλάδου. Ακολουθούν ορισμένα κρίσιμα βήματα για τη διασφάλιση της ιδιωτικότητας στα έξυπνα συστήματα υγείας [27]-[30]:

1. **Ενισχυμένα πρωτόκολλα ασφαλείας:** Η εφαρμογή ισχυρών πρωτοκόλλων ασφαλείας, όπως η κρυπτογράφηση δεδομένων, ο έλεγχος ταυτότητας πολλαπλών παραγόντων και οι τακτικοί έλεγχοι του συστήματος, μπορούν να συμβάλουν στην προστασία των ευαίσθητων πληροφοριών. Η

κρυπτογράφηση διασφαλίζει ότι τα δεδομένα είναι μη αναγνώσιμα από μη εξουσιοδοτημένα άτομα, ακόμη και αν υποκλαπούν. Ομοίως, ο έλεγχος ταυτότητας πολλαπλών παραγόντων προσθέτει ένα επιπλέον επίπεδο ασφάλειας, καθιστώντας πιο δύσκολη την πρόσβαση σε ευαίσθητα δεδομένα για μη εξουσιοδοτημένους χρήστες.

2. **Υιοθέτηση των αρχών της προστασίας της ιδιωτικής ζωής από τον σχεδιασμό:** Η προστασία της ιδιωτικής ζωής κατά το σχεδιασμό είναι μια προληπτική προσέγγιση που ενσωματώνει την προστασία της ιδιωτικής ζωής στην ανάπτυξη συστημάτων και συσκευών από την αρχή. Αυτό περιλαμβάνει τη διενέργεια εκτιμήσεων επιπτώσεων στην ιδιωτικότητα, τον περιορισμό της συλλογής δεδομένων στα απολύτως απαραίτητα και την ανωνυμοποίηση των δεδομένων, όπου είναι δυνατόν. Για παράδειγμα, η χρήση ανωνυμοποιημένων δεδομένων στην έρευνα στον τομέα της υγείας μπορεί να συμβάλει στην προστασία της ιδιωτικής ζωής των ασθενών, ενώ παράλληλα επιτρέπει την εξαγωγή πολύτιμων συμπερασμάτων από την ανάλυση δεδομένων.
3. **Ενίσχυση των μηχανισμών ιδιοκτησίας δεδομένων και συγκατάθεσης:** Η διασφάλιση ότι οι ασθενείς έχουν τον έλεγχο των δεδομένων τους είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της ιδιωτικότητας στα έξυπνα συστήματα υγείας. Οι οργανισμοί υγειονομικής περίθαλψης μπορούν να εφαρμόσουν σαφείς μηχανισμούς συγκατάθεσης που επιτρέπουν στους ασθενείς να επιλέγουν τον τρόπο χρήσης και κοινοποίησης των δεδομένων τους. Επιπλέον, η εφαρμογή αρχείων καταγραφής πρόσβασης στα δεδομένα μπορεί να δώσει στους ασθενείς διαφάνεια ως προς το ποιος έχει πρόσβαση στις πληροφορίες τους, ενισχύοντας την αίσθηση της ιδιοκτησίας και του ελέγχου των προσωπικών τους δεδομένων.
4. **Ανάπτυξη τυποποιημένων κανονισμών και συμμόρφωσης:** Οι κυβερνήσεις και οι ρυθμιστικοί φορείς πρέπει να θεσπίσουν ολοκληρωμένους, τυποποιημένους κανονισμούς ειδικά για τα έξυπνα συστήματα υγείας. Τα παγκόσμια πρότυπα μπορούν να διασφαλίσουν ότι όλοι οι εμπλεκόμενοι στα έξυπνα συστήματα υγείας τηρούν συνεπή προστασία της ιδιωτικής ζωής, ανεξαρτήτως γεωγραφικής θέσης. Τα ρυθμιστικά πλαίσια θα πρέπει να επιβάλλουν πρακτικές προστασίας δεδομένων και να περιγράφουν σαφείς κατευθυντήριες γραμμές για την κοινή χρήση δεδομένων, την πρόσβαση τρίτων και την παρακολούθηση της συμμόρφωσης.

Εξετάζουμε διάφορες τεχνικές για την προστασία της ιδιωτικότητας στην ηλεκτρονική υγεία:

1. Ασφαλές Περιβάλλον Εκτέλεσης: Χρησιμοποιεί εικονικές μηχανές (VMs) για να διασφαλίσει την απομόνωση και ασφάλεια του κώδικα και των δεδομένων, αποτρέποντας την αλληλεπίδραση με επικίνδυνες εφαρμογές.

2. Στατική Ανάλυση: Εξετάζει τον πηγαίο κώδικα για τον εντοπισμό σφαλμάτων και αδυναμιών. Εργαλεία όπως το CodeSonar χρησιμοποιούνται για την αυτόματη ανίχνευση προβλημάτων, αλλά απαιτούν διαθέσιμο πηγαίο κώδικα.

3. Κρυπτογράφηση: Ασφαλίζει τη μετάδοση ευαίσθητων δεδομένων, ειδικά σε ασύρματα κανάλια. Οι συμμετρικές μέθοδοι, όπως PRESENT και KATAN, είναι κατάλληλες για ιατρικές συσκευές με περιορισμένους πόρους λόγω της χαμηλότερης ενεργειακής κατανάλωσης.

4. Τεχνικές Βασισμένες σε Μηχανική Μάθηση (ML): Χρησιμοποιούνται για ανίχνευση ανωμαλιών και κακόβουλων επιθέσεων μέσω ανάλυσης δεδομένων από ιατρικές συσκευές. Παραδείγματα περιλαμβάνουν το HealthGuard, το οποίο ενσωματώνει αλγορίθμους ML για την παρακολούθηση και ανάλυση των ζωτικών σημείων του ασθενούς.

5. Ανάλυση Χρόνου Εκτέλεσης: Εντοπίζει κακόβουλες συμπεριφορές κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος. Το πλαίσιο DBI χρησιμοποιεί δύο εικονικά περιβάλλοντα (δοκιμής και πραγματικό) για να παρακολουθεί και να συγκρίνει τη συμπεριφορά του προγράμματος με πολιτικές ασφαλείας πριν την τελική εκτέλεση στη συσκευή υγείας.

Αυτές οι τεχνικές συνδυάζονται για την ενίσχυση της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας στις εφαρμογές και συσκευές υγείας.

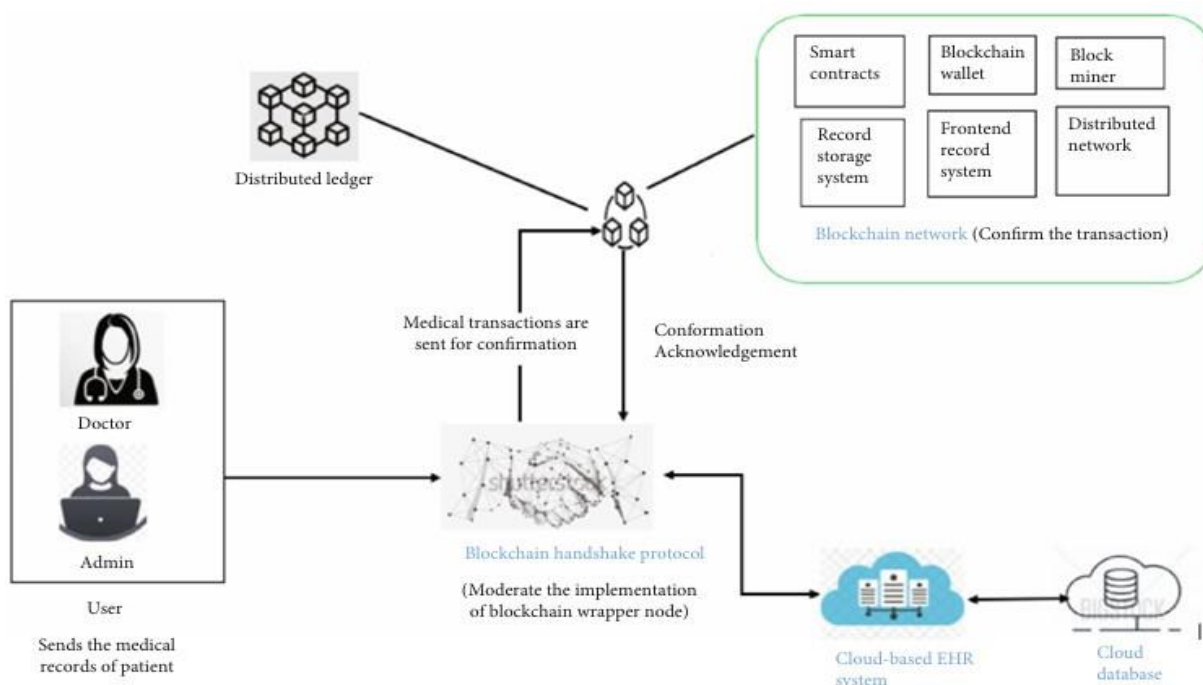
Blockchain στην ασφάλεια

Η τεχνολογία blockchain προσφέρει ένα ισχυρό εργαλείο για την προστασία και ιδιωτικότητα των ιατρικών δεδομένων, αξιοποιώντας το δίκτυο Ethereum και εργαλεία όπως το Solidity και το web3.js για τη δημιουργία αποκεντρωμένων εφαρμογών και έξυπνων συμβολαίων. Με την ενσωμάτωσή του IPFS (Interplanetary File System), η αποθήκευση των δεδομένων ασθενών γίνεται μέσω κρυπτογραφικών hashes, εξασφαλίζοντας ασφαλή και αξιόπιστη αποθήκευση.

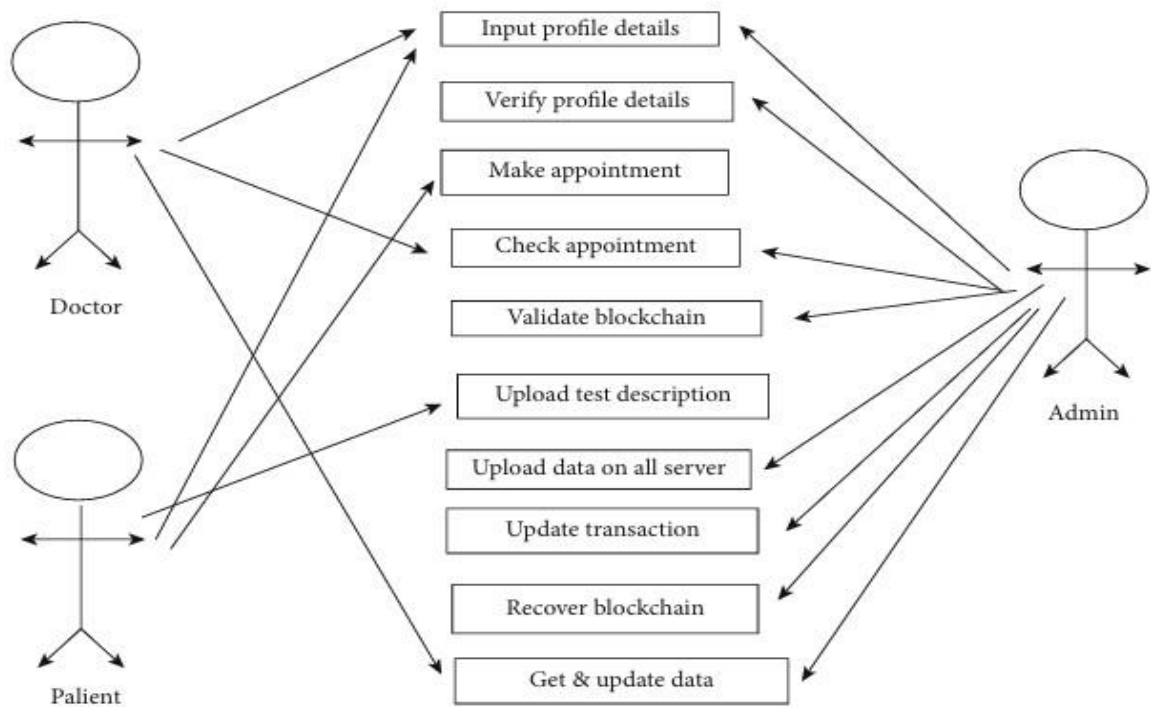
Η χρήση έξυπνων συμβολαίων σε συνδυασμό με το πορτοφόλι MetaMask προσφέρει στους γιατρούς και ασθενείς ασφαλή πρόσβαση και διαχείριση των ιατρικών τους αρχείων. Αυτή η καινοτόμος τεχνολογία ενισχύει την αποδοτικότητα, την αξιοπιστία και τη διαφάνεια, ενώ ταυτόχρονα προάγει την ασφάλεια και την ιδιοκτησία των ευαίσθητων δεδομένων.

Η blockchain τεχνολογία, με το peer-to-peer δίκτυο του Ethereum, εξαλείφει την ανάγκη για κεντρική αρχή και διασφαλίζει την ασφάλεια των συναλλαγών μέσω κρυπτογραφημένων καταχωρήσεων. Αυτός ο μηχανισμός αντιμετωπίζει προβλήματα του παραδοσιακού συστήματος υγείας, όπως καθυστερήσεις στην πρόσβαση δεδομένων και κίνδυνοι κλοπής, προσφέροντας μια αποκεντρωμένη λύση για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ ασθενών, γιατρών και άλλων φορέων.

Το σύστημα αξιοποιεί εργαλεία ανάπτυξης όπως το Ganache για τοπική ανάπτυξη blockchain, το Truffle για τη διαχείριση έξυπνων συμβολαίων και τη σύνδεση front-end και back-end μέσω της βιβλιοθήκης Web3.js. Τα διαγράμματα που περιγράφονται αναδεικνύουν τη δομή και τη διαδικασία διαχείρισης ιατρικών αρχείων, διασφαλίζοντας ασφαλή και διαφοροποιημένη πρόσβαση στα δεδομένα.



Εικόνα 2: Σχηματική Αναπαράσταση blockchain-based EHR Συστήματος [6]



Εικόνα 3: Περίπτωση χρήσης EHR Συστήματος [6]

Σύστημα Διαχείρισης Ιατρικών Δεδομένων:

1. Επεξεργασία Συναλλαγών μέσω EVM: Η Ethereum Virtual Machine (EVM) χρησιμοποιείται για την εκτέλεση και επεξεργασία έξυπνων συμβολαίων στο Ethereum, όπου όλοι οι κόμβοι του δικτύου επιβεβαιώνουν τις συναλλαγές και τηρούν την ιστορία του blockchain.

2. Πίνακας Ελέγχου Διαχειριστή: Ο διαχειριστής έχει πρόσβαση μέσω ιδιωτικού κλειδιού από το Ganache Ethereum. Μπορεί να προσθέσει/διαγράψει χρήστες, να επιβεβαιώσει ενημερώσεις, να παρακολουθεί ραντεβού και να απαντά σε ερωτήσεις μέσω του chatbot.

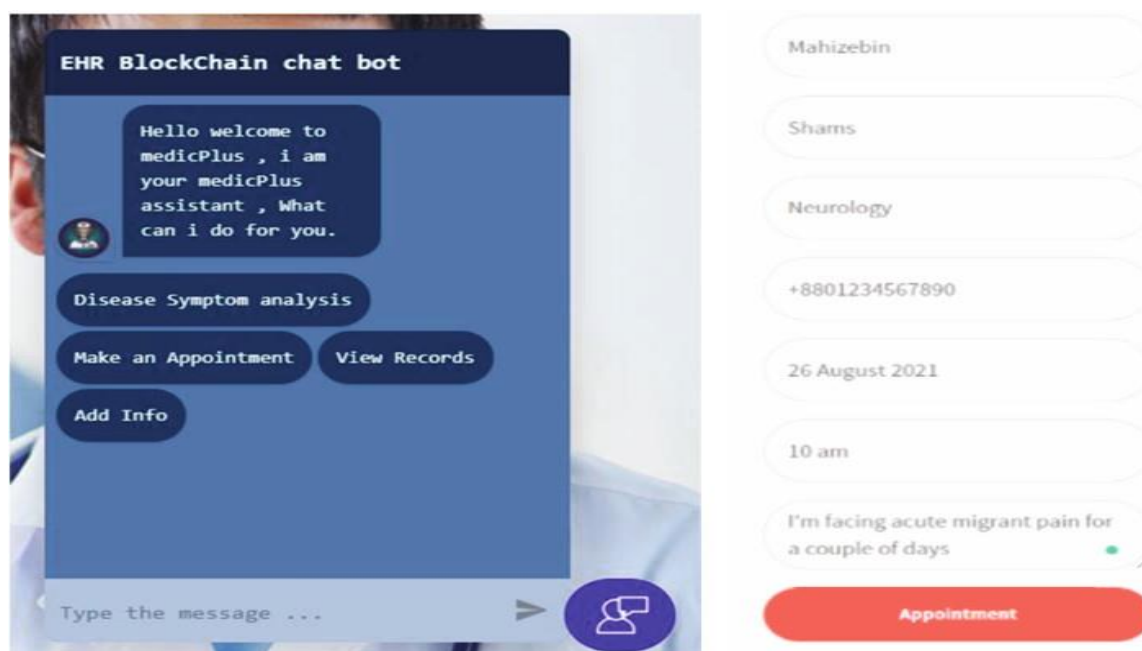
3. Πίνακας Ελέγχου Γιατρού: Ο γιατρός μπορεί να έχει πρόσβαση με αναγνωριστικό συναλλαγής. Μπορεί να δει και να ενημερώσει τις προσωπικές του πληροφορίες, να διαχειριστεί ιατρικά αρχεία ασθενών, και να προσθέσει ή να διαγράψει δεδομένα.

4. Πίνακας Ελέγχου Ασθενούς: Ο ασθενής χρησιμοποιεί αναγνωριστικό και έγκυρες πληροφορίες για να δει και να επεξεργαστεί τα προσωπικά του δεδομένα και ιατρικά αρχεία.

5. Αποτελέσματα και Ανάλυση: Το σύστημα χρησιμοποιεί Truffle και Ganache για τη δημιουργία τοπικών blockchains Ethereum, και η πρόσβαση γίνεται μέσω MetaMask, Truffle, Yarn, Ganache και Local Web3.

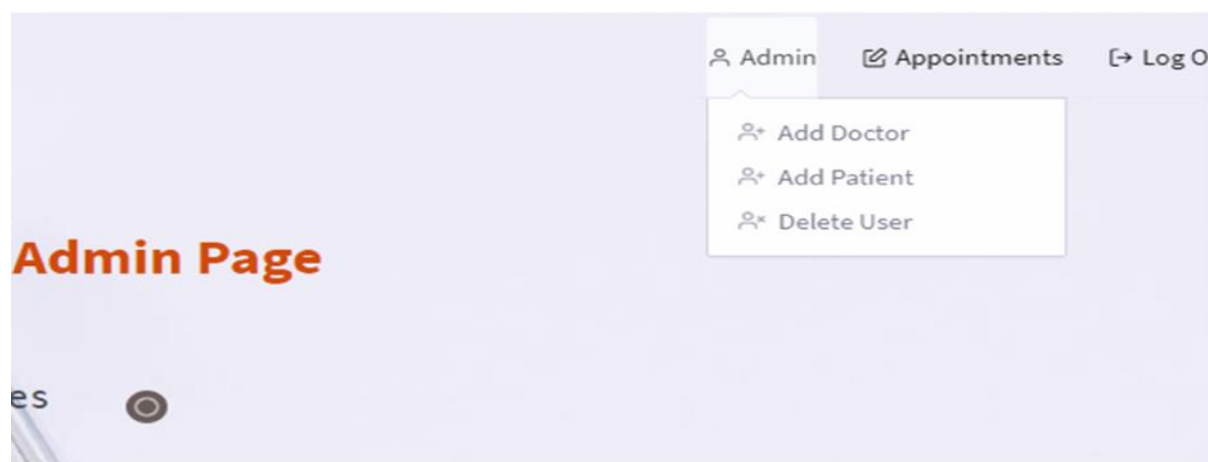
Front-End

Αρχική Σελίδα: Απαιτεί λογαριασμό για πρόσβαση και περιλαμβάνει portals για διαχειριστές, γιατρούς, και ασθενείς, μαζί με μπάρα ραντεβού και chatbot.



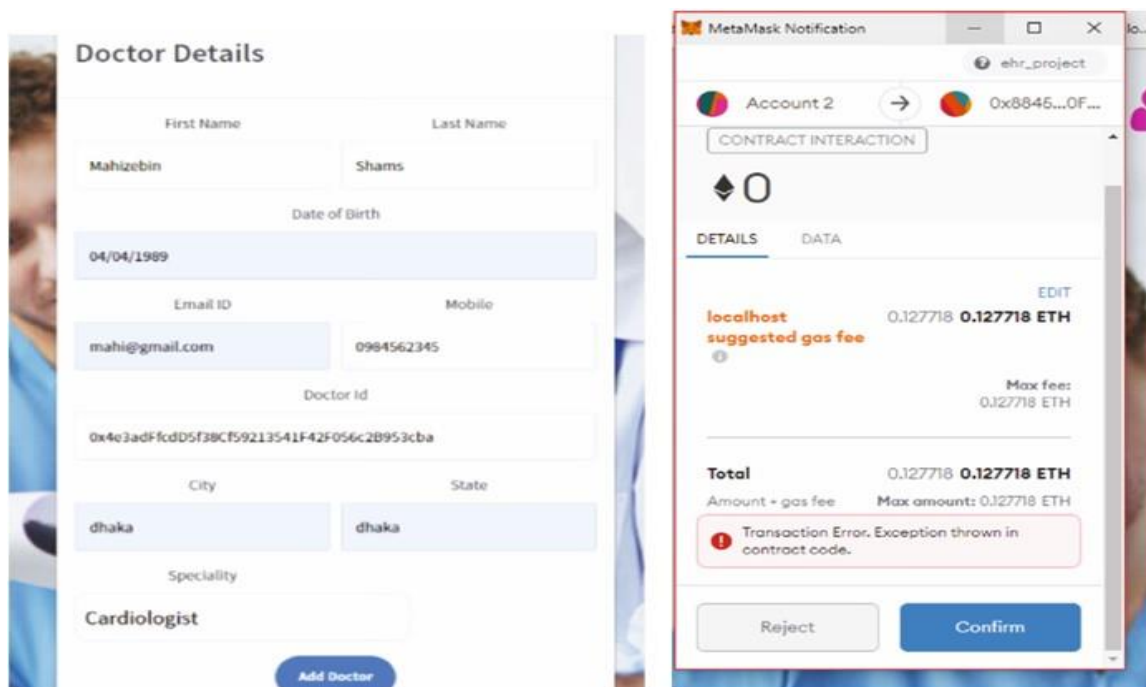
Εικόνα 4: Chatbot [6]

Πίνακας Διαχειριστή: Επιτρέπει τη διαχείριση χρηστών και ραντεβού.



Εικόνα 5: Admin panel [84]

Πίνακας Γιατρού: Δίνει δυνατότητες για προβολή και ενημέρωση προσωπικών και ιατρικών δεδομένων.



Εικόνα 6: Doctor registration form and the confirmation message from the smart contract(MetaMask) [70]

Πίνακας Ασθενούς: Επιτρέπει στους ασθενείς να δουν και να τροποποιήσουν τις προσωπικές τους πληροφορίες και ιατρικά αρχεία.
Το σύστημα εξασφαλίζει την ασφάλεια και ιδιωτικότητα μέσω της τεχνολογίας blockchain.

Λαδιδκασία Πρόσβασης στο Πρότεινόμενο Σύστημα (Μέρος Back-End)

Ανάπτυξη Συναλλαγών με την Blockchain του Ethereum

Για την ανάπτυξη και δοκιμή του συστήματος χρησιμοποιείται το Ganache, το οποίο προσφέρει εικονικούς λογαριασμούς με 100ETH για τοπική χρήση. Το Ganache μιμείται τις δυνατότητες του κύριου δικτύου του Ethereum, επιτρέποντας την καταγραφή και εκτέλεση ψευδών συναλλαγών με τα αντίστοιχα hashes και διευθύνσεις συμβολαίων.

Η διαδικασία ξεκινά με την εγκατάσταση του Ganache μέσω του Truffle Suite, το οποίο αποτελεί ένα εξειδικευμένο περιβάλλον ανάπτυξης για αποκεντρωμένες εφαρμογές και έξυπνα συμβολαία. Αφού εγκατασταθεί το Ganache, δημιουργείται ένας νέος χώρος εργασίας με την ονομασία `ehr_project` και το Truffle προστίθεται μέσω του `truffle-config.js`, αποκαλύπτοντας ασφαλείς διευθύνσεις, υπόλοιπα και ιδιωτικά κλειδιά για τη διαχείριση των λογαριασμών.

Σύνδεση με τον Διακομιστή μέσω Έξυπνων Συμβολαίων(συμβάσεων)

Η σύνδεση με τον διακομιστή γίνεται μέσω έξυπνων συμβολαίων, τα οποία περιλαμβάνουν μεταδεδομένα για τη διαχείριση των αρχείων, την πρόσβαση και την ακεραιότητα των δεδομένων. Οι κρυπτογραφικά υπογεγραμμένες εντολές ελέγχουν αυτές τις παραμέτρους μέσω συναλλαγών στην blockchain, διασφαλίζοντας την εφαρμογή των πολιτικών.

Τα έξυπνα συμβολαία περιλαμβάνουν όλους τους απαραίτητους όρους για τη διαχείριση αδειών και πρόσβασης, διευκολύνοντας την επικοινωνία μεταξύ γιατρών και ασθενών. Παρέχουν κανόνες εξουσιοδότησης δεδομένων και επιτρέπουν την παρακολούθηση των δραστηριοτήτων από την προέλευση έως την υποβολή. Η παρακολούθηση και έγκριση των διαδικασιών γίνεται μέσω των έξυπνων συμβολαίων, μειώνοντας την ανάγκη για κεντρική αρχή και το κόστος διαχείρισης, με τα ιατρικά δεδομένα να αποθηκεύονται τοπικά για αυξημένη αποδοτικότητα.

Διαδικασία δημιουργίας λογαριασμού σε αποκεντρωμένο σύστημα

- Χρήση Ganache για παροχή πληροφοριών λογαριασμού χωρίς πλήρη κόμβο blockchain.
- Το MetaMask (πορτοφόλι Ethereum) εισάγει και διαχειρίζεται ιδιωτικά κλειδιά με ασφάλεια.
- Εξασφαλίζεται γρήγορη και ασφαλής εκτέλεση έξυπνων συμβολαίων.
- Το MetaMask συνδέεται με το σύστημα, παρέχοντας άμεση πρόσβαση στον διαχειριστή.

Διαδικασίες για τη λειτουργία ενός συστήματος σε τοπικό διακομιστή

1. **Εγκατάσταση Εξαρτήσεων με Yarn:** Χρησιμοποιείται η διαχείριση πακέτων Yarn για την εγκατάσταση και εκτέλεση των απαραίτητων πακέτων από τη γραμμή εντολών. Η διαδικασία είναι γρήγορη, ασφαλής και ολοκληρώνει τη σύνδεση του συστήματος με τον τοπικό διακομιστή.

```

Windows PowerShell
Copyright (C) Microsoft Corporation. All rights reserved.

Try the new cross-platform PowerShell https://aka.ms/pscore6

PS C:\Users\farja\Desktop\ehr-blockchain> yarn start
yarn run v1.22.5
$ react-scripts start
i [wds]: Project is running at http://192.168.0.6/
i [wds]: webpack output is served from /home
i [wds]: Content not from webpack is served from C:\Users\farja\Desktop\ehr-blockchain\public
i [wds]: 404s will fallback to /home/
Starting the development server...
Compiled with warnings.

```

Yarn Package Installation

2. Μεταφορά και Ανάπτυξη Συμβολαίων με Truffle: Το Truffle

χρησιμοποιείται για τη μεταφορά και ανάπτυξη έξυπνων συμβολαίων στο τοπικό blockchain Ethereum. Περιλαμβάνει επίσης τη δυνατότητα προσθήκης νέων συμβολαίων μέσω μεταφοράς, επιτρέποντας την εκτέλεση των έξυπνων συμβολαίων

```

Windows PowerShell
Copyright (C) Microsoft Corporation. All rights reserved.

Try the new cross-platform PowerShell https://aka.ms/pscore6

PS C:\Users\farja\Desktop\ehr-blockchain> truffle migrate

Compiling your contracts...
=====
> Everything is up to date, there is nothing to compile.

Starting migrations...
=====
> Network name:      'ganache'
> Network id:        5777
> Block gas limit: 6721975 (0x6691b7)

1_initial_migration.js
=====

  Replacing 'Contract'

  > transaction hash:      0xebcbf30305fab177f0ea36a13821d42fc421c9a40
  > Blocks: 0
  > contract address:      0x8F12e0444fAc8c8e30cA5D746e29D95545F78467
  > block number:          1
  > block timestamp:        1629479093
  > account:                0x4f178359b444123374524F5e91d6EFef694dd2A1
  > balance:                99.9601719
  > gas used:               1991405 (0x1e62ed)
  > gas price:              20 gwei
  > value sent:             0 ETH
  > total cost:            0.0398281 ETH

```

στο σύστημα.

Σχεδιασμός με επίκεντρο τον ασθενή

Για τη μεγιστοποίηση των οφελών της ΕΥΥ, είναι σημαντικό να σχεδιάζονται τα συστήματα αυτά με μια ασθενοκεντρική προσέγγιση. Αυτό περιλαμβάνει τη συμμετοχή των ασθενών στη διαδικασία σχεδιασμού και ανάπτυξης, ώστε να διασφαλιστεί ότι το EHS ανταποκρίνεται στις ανάγκες και τις προτιμήσεις τους. Οι φιλικές προς τον χρήστη διεπαφές, η σαφής επικοινωνία και η υποστήριξη διαφορετικών πληθυσμών ασθενών αποτελούν βασικά στοιχεία για τον ασθενοκεντρικό σχεδιασμό των EHS.

Επιπλέον, οι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης πρέπει να εκπαιδεύονται ώστε να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά το EHS και να εμπλέκουν τους ασθενείς στη φροντίδα τους. Αυτό περιλαμβάνει την εκπαίδευση των ασθενών σχετικά με τα οφέλη του EHS, την αντιμετώπιση των ανησυχιών τους και την προώθηση της χρήσης των πυλών ασθενών και άλλων ψηφιακών εργαλείων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Αντίκτυπος του 5G στα ηλεκτρονικά συστήματα υγείας και Διαδίκτυο των Ιατρικών Πραγμάτων

3.1 Εισαγωγή

Η έλευση της τεχνολογίας 5G σηματοδοτεί ένα σημαντικό ορόσημο στην εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών, υποσχόμενη ταχύτερες ταχύτητες δεδομένων, χαμηλότερη καθυστέρηση και τη δυνατότητα ταυτόχρονης σύνδεσης πλήθους συσκευών. Οι εξελίξεις αυτές έχουν βαθιές επιπτώσεις σε διάφορους τομείς, ιδίως στην υγειονομική περίθαλψη. Τα συστήματα κινητής υγείας (mHealth) και τα ηλεκτρονικά συστήματα υγείας (EHS) πρόκειται να επωφεληθούν σε τεράστιο βαθμό από τις δυνατότητες του 5G, προωθώντας καινοτομίες που μπορούν να βελτιώσουν τη φροντίδα των ασθενών, να εξορθολογήσουν την παροχή υγειονομικής περίθαλψης και να προωθήσουν την αποτελεσματικότερη διαχείριση της υγείας.

Οι υπολογιστικές τεχνολογίες και οι Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) αποτελούν τη βάση της ηλεκτρονικής υγείας, ενώ η κινητή υγεία εστιάζει στις κινητές επικοινωνίες και τις φορητές συσκευές. Οι τεχνολογίες M2M και D2D θα αναπτυχθούν περαιτέρω, επιτρέποντας τη σύνδεση δισεκατομμυρίων συσκευών στο Διαδίκτυο. Αυτές οι εξελίξεις είναι κρίσιμες για την περαιτέρω ανάπτυξη των λύσεων m-health, καθιστώντας τα δίκτυα 5G θεμελιώδη για το μέλλον της υγειονομικής περίθαλψης. Το παρόν δοκίμιο διερευνά τον μετασχηματιστικό αντίκτυπο του 5G στα συστήματα κινητής υγείας και στα ηλεκτρονικά συστήματα υγείας, εξετάζοντας τις τεχνολογικές βελτιώσεις, τις πιθανές εφαρμογές και τις προκλήσεις που σχετίζονται με αυτό το δίκτυο επόμενης γενιάς [26]-[30].

Η εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών ξεκίνησε από το πρώτο πείραμα ασύρματης τηλεγραφίας του Γ. Μαρκόνι τη δεκαετία του 1890, που απέδειξε τη δυνατότητα ασύρματης μετάδοσης σημάτων με ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Μετά από περίπου 80 χρόνια, αυτή η τεχνολογία οδήγησε σε εμπορικές εφαρμογές που επέτρεψαν τη σύνδεση ανθρώπων σε πραγματικό χρόνο. Από τη δεκαετία του 1980, οι τεχνολογίες των κινητών επικοινωνιών αναπτύσσονται γρήγορα, καλύπτοντας ποικίλες ανάγκες χρηστών και δικτύων [26]-[30].

Μηδενική Γενιά Κινητών Επικοινωνιών 0G

Η «μηδενική γενιά» (0G) των δικτύων κινητής επικοινωνίας, πριν από τη δεκαετία του 1980, αποτέλεσε τον προάγγελο της σύγχρονης κινητής τηλεφωνίας. Αυτά τα πρώιμα συστήματα, γνωστά και ως ασύρματα τηλεφωνικά συστήματα, προσέφεραν βασική ραδιοεπικοινωνία μέσω συσκευών όπως οι χειροπομποδέκτες (walkie-talkies) και ήταν ενταγμένα στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο με ξεχωριστούς αριθμούς

τηλεφώνου. Συνήθως τοποθετημένες σε οχήματα, αυτές οι συσκευές επέτρεπαν την επικοινωνία εν κινήσει και αποτέλεσαν σημαντικό βήμα στην εξέλιξη της κινητής τηλεφωνίας.

Πρώτη Γενιά Κινητών Επικοινωνιών 1G

Η Πρώτη Γενιά Κινητών Επικοινωνιών (1G) ξεκίνησε τη δεκαετία του 1980, εισάγοντας τα πρώτα αναλογικά κυψελοειδή συστήματα που επέτρεπαν φωνητικές κλήσεις, όπως το Nordic Mobile Telephone στην Ευρώπη και το Advanced Mobile Phone System στις ΗΠΑ. Η αρχιτεκτονική τους περιλάμβανε το κινητό τηλέφωνο, τις τοποθεσίες κυψελών και το κέντρο μεταγωγής κινητής τηλεφωνίας (MSC), συνδεδεμένα με το Δημόσιο Τηλεφωνικό Δίκτυο Μεταγωγής (PSTN). Ωστόσο, λόγω έλλειψης ασύρματου προτύπου, προέκυψαν προβλήματα απόδοσης και ασφάλειας, καθώς οι κλήσεις δεν ήταν κρυπτογραφημένες και ήταν ευάλωτες σε υποκλοπές.

Δεύτερη Γενιά Κινητών Επικοινωνιών 2G

Η Δεύτερη Γενιά Κινητών Επικοινωνιών (2G), που εμφανίστηκε γύρω στο 1990, μετέβαλε τις κινητές επικοινωνίες από αναλογικές σε ψηφιακές, εισάγοντας τεχνολογίες όπως το TDMA και το CDMA. Το πρότυπο GSM κυριάρχησε, επιτρέποντας φωνητικές κλήσεις, ανταλλαγή μηνυμάτων κειμένου και πολυμέσων (MMS), εξυπηρετώντας πάνω από ένα δισεκατομμύριο χρήστες παγκοσμίως. Το GPRS και το EDGE βελτίωσαν τις ταχύτητες δεδομένων, ενώ η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας των συστημάτων 2G έκανε τα κινητά τηλέφωνα πιο προσιτά, επιταχύνοντας τη διάδοση της κινητής επικοινωνίας παγκοσμίως.

Τρίτη Γενιά Κινητών Επικοινωνιών 3G

Η Τρίτη Γενιά Κινητών Επικοινωνιών (3G), που εισήχθη το 2001, διεύρυνε τις δυνατότητες των ασύρματων επικοινωνιών πέρα από τη φωνητική τηλεφωνία, υποστηρίζοντας ευρυζωνικές υπηρεσίες όπως πρόσβαση στο Διαδίκτυο, κινητή τηλεόραση, βιντεοκλήσεις και μεταφορά πολυμέσων. Με ταχύτητες δεδομένων έως 2 Mbps και σύγχρονες τεχνολογίες όπως οι στροβιλοκώδικες, το 3G επαναπροσδιόρισε την εμπειρία της κινητής τηλεφωνίας, προσφέροντας γρήγορη και εύκολη πρόσβαση σε πληροφορίες και ψυχαγωγία.

Τέταρτη Γενιά Κινητών Επικοινωνιών 4G

Η Τέταρτη Γενιά Κινητών Επικοινωνιών (4G), που ξεκίνησε το 2009 με τα εμπορικά δίκτυα LTE, ανέβασε την κινητή ευρυζωνική υπηρεσία σε νέα επίπεδα, υποστηρίζοντας τη μαζική υιοθέτηση έξυπνων συσκευών όπως smartphones και tablets. Με προηγμένες τεχνολογίες όπως το MIMO και το OFDM, τα δίκτυα 4G προσέφεραν εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες δεδομένων, έως 1 Gbit/s downlink και 500 Mbit/s uplink, ενώ το LTE-A αύξησε περαιτέρω τις ταχύτητες. Η 4G εισήγαγε επίσης βελτιωμένες υπηρεσίες όπως VoIP και βίντεο εξαιρετικά υψηλής ευκρίνειας,

αλλά δεν μπορεί να καλύψει πλήρως τις μελλοντικές ανάγκες ασύρματης επικοινωνίας.

Πέμπτη Γενιά Κινητών Επικοινωνιών 5G

Η Πέμπτη Γενιά Κινητών Επικοινωνιών (5G) εισήχθη τον Απρίλιο του 2019, σηματοδοτώντας την αρχή μιας νέας εποχής στην τεχνολογία και τις επικοινωνίες. Το 5G κέρδισε αμέσως παγκόσμια προσοχή, με διαμάχες για την ηγετική θέση των παρόχων υπηρεσιών. Το δίκτυο αυτό δεν είναι απλά μια εξέλιξη των προηγούμενων γενιών, αλλά προσφέρει επαναστατικές δυνατότητες, όπως σημαντική βελτίωση στην ταχύτητα, την κινητικότητα, την ενεργειακή αποδοτικότητα και την καθυστέρηση.

Η 5G επεκτείνει τις επικοινωνίες πέρα από την απλή ανθρώπινη αλληλεπίδραση, επιτρέποντας μια ευρύτερη συνδεσιμότητα με αντικείμενα και συσκευές, και ανοίγει το δρόμο για την ψηφιακή κοινωνία του μέλλοντος. Υποστηρίζει μεγάλο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών και προσφέρει υπηρεσίες όπως η Βιομηχανία 4.0, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), η εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα (VR και AR), καθώς και η αυτόματη οδήγηση.

Τα τρία βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του 5G είναι: η Βελτιωμένη Κινητή Ευρυζωνική Πρόσβαση (eMBB) με ταχύτητες δεδομένων έως 10 Gbps, η Μαζική Επικοινωνία Τύπου Μηχανής (mMTC) που υποστηρίζει πάνω από 100 συσκευές ανά μονάδα επιφάνειας, και οι Εξαιρετικά Αξιόπιστες, Χαμηλής Καθυστέρησης Επικοινωνίες (URLLC) με καθυστέρηση μόλις 1 ms. Αυτά τα χαρακτηριστικά καθιστούν το 5G κρίσιμο για την Κοινωνία της Πληροφορίας, προετοιμάζοντας το έδαφος για την ανάπτυξη του IoT και τη μελλοντική μετάβαση στην εποχή του 6G, όπου η επικοινωνία θα επεκταθεί σε υπολογιστές, οχήματα και ρομπότ, υπερβαίνοντας τις ανθρώπινες ικανότητες και οδηγώντας σε μια πλήρως συνδεδεμένη κοινωνία.

Η ενσωμάτωση υπηρεσιών cloud στα δίκτυα 5G επιφέρει σημαντικές καινοτομίες, καθιστώντας την υποδομή επικοινωνιών πιο αποδοτική και ευέλικτη. Τα δίκτυα 5G χρησιμοποιούν λογισμικό για τη διαχείριση των λειτουργιών τους, επιτρέποντας εικονικοποίηση και αποδοτικότερη διαχείριση πόρων. Η τεχνολογία cloud storage ενισχύει την ευχρηστία και αποτελεσματικότητα του δικτύου, παρέχοντας πρόσβαση σε δεδομένα ανά πάσα στιγμή και από οποιοδήποτε σημείο.

Η προηγμένη διαμόρφωση στο 5G βελτιώνει την αποδοτικότητα και ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων μέσω τεχνικών όπως [25]-[32]:

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM): Διαιρεί το φάσμα σε μικρότερα κανάλια, μειώνοντας παρεμβολές και βελτιώνοντας τη χρήση του φάσματος.

Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA): Εξυπηρετεί πολλούς χρήστες στην ίδια ζώνη συχνοτήτων με διαφορετικά επίπεδα ισχύος, προσφέροντας βελτιωμένη φασματική απόδοση.

Filter-Bank Multi-Carrier (FBMC): Χρησιμοποιεί φίλτρα για τη μείωση παρεμβολών μεταξύ καναλιών, ενισχύοντας τη χωρητικότητα του συστήματος.

3.2 Τεχνολογικές βελτιώσεις που επιφέρει το 5G

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του 5G είναι η ανώτερη ταχύτητα και το εύρος ζώνης σε σύγκριση με τους προκατόχους του. Τα δίκτυα 5G μπορούν να παρέχουν ταχύτητες δεδομένων έως και 100 φορές ταχύτερες από το 4G LTE, φτάνοντας δυνητικά τα 10 Gbps. Αυτή η αυξημένη ταχύτητα διευκολύνει την ταχεία μετάδοση μεγάλων συνόλων δεδομένων, όπως οι ιατρικές εικόνες υψηλής ανάλυσης, οι οποίες είναι απαραίτητες για διαγνωστικούς και θεραπευτικούς σκοπούς [30].

Στις εφαρμογές mHealth, η μεταφορά δεδομένων υψηλής ταχύτητας εξασφαλίζει ότι οι τηλεϊατρικές διαβουλεύσεις, οι τηλεδιασκέψεις και η απομακρυσμένη παρακολούθηση των ασθενών πραγματοποιούνται απρόσκοπτα και χωρίς καθυστέρηση. Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για την παροχή έγκαιρης φροντίδας και τη λήψη τεκμηριωμένων κλινικών αποφάσεων [25]-[32].

Χαμηλή καθυστέρηση

Η καθυστέρηση αναφέρεται στην καθυστέρηση πριν από την έναρξη της μεταφοράς δεδομένων μετά από μια εντολή. Η τεχνολογία 5G μειώνει σημαντικά την καθυστέρηση σε μόλις 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου, σε σύγκριση με τα 50 χιλιοστά του δευτερολέπτου που είναι τυπικά για τα δίκτυα 4G. Αυτή η μετάδοση δεδομένων σχεδόν σε πραγματικό χρόνο είναι κρίσιμη σε σενάρια υγειονομικής περίθαλψης όπου απαιτείται άμεση ανταπόκριση, όπως απομακρυσμένες χειρουργικές επεμβάσεις, παρακολούθηση ζωτικών σημείων σε πραγματικό χρόνο και υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης.

Για παράδειγμα, στις χειρουργικές επεμβάσεις με ρομποτική υποβοήθηση, η χαμηλή καθυστέρηση εξασφαλίζει ότι οι κινήσεις των ρομποτικών εργαλείων, που ελέγχονται εξ αποστάσεως από έναν χειρουργό, είναι άμεσες, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο σφαλμάτων και βελτιώνοντας τη χειρουργική ακρίβεια.

Χωρητικότητα και συνδεσιμότητα

Η ικανότητα του 5G να συνδέει ταυτόχρονα έναν τεράστιο αριθμό συσκευών, γνωστή ως μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής (mMTC), είναι μια άλλη βασική βελτίωση. Αυτό είναι ιδιαίτερα επωφελές για το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) στην υγειονομική περίθαλψη, όπου ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων συσκευών, όπως φορητές οθόνες παρακολούθησης της υγείας, έξυπνα εμφυτεύματα και ιατρικοί αισθητήρες, συλλέγουν και μεταδίδουν συνεχώς δεδομένα ασθενών. Αυτή η εκτεταμένη συνδεσιμότητα επιτρέπει την ολοκληρωμένη παρακολούθηση των ασθενών, ιδίως εκείνων με χρόνιες παθήσεις, επιτρέποντας τη συνεχή αξιολόγηση της υγείας και την έγκαιρη παρέμβαση με βάση δεδομένα σε πραγματικό χρόνο [30].

3.3 Αντίκτυπος 5G στα συστήματα ηλεκτρονικής υγείας

Ενισχυμένη τηλεϊατρική

Η τηλεϊατρική, η παροχή υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης μέσω τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών, πρόκειται να επωφεληθεί σημαντικά από το 5G. Η αυξημένη ταχύτητα και η μειωμένη καθυστέρηση των δικτύων 5G εξασφαλίζουν υψηλής ποιότητας επικοινωνία βίντεο και ήχου, απαραίτητη για εικονικές διαβουλεύσεις μεταξύ ασθενών και παρόχων υγειονομικής περίθαλψης. Αυτό βελτιώνει την εμπειρία των ασθενών και διασφαλίζει ότι οι διαβουλεύσεις είναι εξίσου αποτελεσματικές με τις προσωπικές επισκέψεις. Επιπλέον, το 5G διευκολύνει τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών στην τηλεϊατρική, όπως η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) και η εικονική πραγματικότητα (VR), οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εξ αποστάσεως διαγνώσεις, εικονικές επισκέψεις υγείας, ακόμη και για εκπαίδευση και προσομοιώσεις για τους επαγγελματίες του ιατρικού κλάδου.

Απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών

Η απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών (RPM) αποτελεί κρίσιμο στοιχείο της mHealth, επιτρέποντας στους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης να παρακολουθούν τα δεδομένα υγείας των ασθενών εκτός των παραδοσιακών κλινικών ρυθμίσεων. Οι δυνατότητες του 5G επιτρέπουν τη συνεχή και αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων από φορητές συσκευές και αισθητήρες, παρέχοντας σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες για την κατάσταση της υγείας των ασθενών.

Για παράδειγμα, οι ασθενείς με χρόνιες ασθένειες όπως ο διαβήτης ή οι καρδιακές παθήσεις μπορούν να χρησιμοποιούν φορητές συσκευές για την παρακολούθηση των ζωτικών τους σημείων. Αυτές οι συσκευές μεταδίδουν δεδομένα σε παρόχους υγειονομικής περίθαλψης, οι οποίοι μπορούν να αναλύσουν τις πληροφορίες και να προσαρμόσουν τα σχέδια θεραπείας ανάλογα με τις ανάγκες. Η υψηλή αξιοπιστία και η ταχύτητα του 5G διασφαλίζουν ότι τα δεδομένα μεταδίδονται χωρίς

καθυστέρηση, επιτρέποντας έγκαιρες παρεμβάσεις και μειώνοντας την ανάγκη για επισκέψεις στο νοσοκομείο.

Εφαρμογές κινητής υγείας(M-health)

Η ανάπτυξη κινητών εφαρμογών υγείας είναι ένας άλλος τομέας όπου το 5G μπορεί να έχει μετασχηματιστικό αντίκτυπο. Οι εφαρμογές αυτές, οι οποίες μπορεί να κυμαίνονται από συσκευές παρακολούθησης φυσικής κατάστασης έως σύνθετα διαγνωστικά εργαλεία, βασίζονται στην αποτελεσματική επεξεργασία και μετάδοση δεδομένων. Οι δυνατότητες του 5G βελτιώνουν τη λειτουργικότητα αυτών των εφαρμογών, επιτρέποντας ταχύτερη επεξεργασία δεδομένων και αναλύσεις σε πραγματικό χρόνο. Οι εφαρμογές m-health απευθύνονται σε γιατρούς, νοσηλευτές, ασθενείς και υγιείς ανθρώπους, ενθαρρύνοντας την υιοθέτηση υγιεινών συνηθειών και τη συμμόρφωση με θεραπευτικά πλάνα. Οι λύσεις αυτές συμβάλλουν στη μείωση ιατρικών σφαλμάτων, στην αύξηση της αποδοτικότητας των υπηρεσιών υγείας και στη μείωση των λειτουργικών κόστη.

Επιπλέον, το 5G υποστηρίζει την ενσωμάτωση αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης στις εφαρμογές mHealth, επιτρέποντας πιο εξελιγμένες αξιολογήσεις υγείας, προγνωστικές αναλύσεις και εξατομικευμένες συστάσεις υγείας. Για παράδειγμα, οι εφαρμογές με βάση την τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να αναλύουν τα δεδομένα των χρηστών για να προβλέπουν πιθανούς κινδύνους για την υγεία και να προτείνουν προληπτικά μέτρα, προωθώντας έτσι την προληπτική διαχείριση της υγείας.

M2M/D2D Communication for M-Health Solutions

Οι τεχνολογίες M2M/D2D(machine to machine, device to device) επιτρέπουν την αυτόνομη επικοινωνία μεταξύ συσκευών, χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης, και συμβάλλουν στη δημιουργία ενός ετερογενούς δικτύου επικοινωνιών για την υγεία.

Η αρχιτεκτονική των λύσεων m-health χωρίζεται σε τρεις τομείς: τον τομέα συσκευών (M2M συσκευές), τον τομέα δικτύου (μετάδοση μηνυμάτων) και τον τομέα εφαρμογών (επεξεργασία δεδομένων). Η M2M τεχνολογία ανοίγει νέες δυνατότητες στον ιατρικό τομέα, αλλά υπάρχουν προκλήσεις όπως η τυποποίηση και η διαλειτουργικότητα. Η πρωτοβουλία oneM2M είναι μια παγκόσμια προσπάθεια για τη δημιουργία ενός κοινού επιπέδου υπηρεσιών για M2M.

Στον τομέα της υγείας, εξετάζονται διάφορες περιπτώσεις χρήσης, όπως η διαχείριση ασθενειών, οι υπηρεσίες ευεξίας, και η ασφαλής απομακρυσμένη παρακολούθηση ασθενών. Επίσης, η τεχνολογία D2D προσφέρει δυνατότητες για απευθείας επικοινωνία μεταξύ συσκευών, κάτι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις έκτακτης

ανάγκης. Η υιοθέτηση των λύσεων m-health εξαρτάται από την ανάπτυξη δικτύων 5G, τα οποία θα πρέπει να καλύπτουν τις απαιτήσεις των ιατρικών συσκευών, τόσο τώρα όσο και στο μέλλον.

Πρόσβαση και κοινή χρήση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του 5G για τα ηλεκτρονικά συστήματα υγείας είναι η δυνατότητα πρόσβασης και διαμοιρασμού δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Τα ηλεκτρονικά συστήματα υγείας, τα οποία περιλαμβάνουν ηλεκτρονικούς φακέλους υγείας (EHR), ηλεκτρονικούς ιατρικούς φακέλους (EMR) και ανταλλαγές πληροφοριών υγείας (HIE), είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση ολοκληρωμένων και ενημερωμένων πληροφοριών για τους ασθενείς. Το 5G διευκολύνει την ταχεία μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων υγείας, διασφαλίζοντας ότι οι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης έχουν άμεση πρόσβαση σε κρίσιμες πληροφορίες για τους ασθενείς.

Αυτή η πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο είναι ιδιαίτερα επωφελής σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπου η έγκαιρη πληροφόρηση μπορεί να αποβεί σωτήρια για τη ζωή. Για παράδειγμα, οι τραυματισμοί μπορούν να έχουν πρόσβαση στο ιατρικό ιστορικό ενός ασθενούς καθ' οδόν προς το νοσοκομείο, επιτρέποντάς τους να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να παρέχουν την κατάλληλη φροντίδα καθ' οδόν.

Ενισχυμένη ανάλυση δεδομένων και ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης

Η ενσωμάτωση των προηγμένων αναλύσεων δεδομένων και της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στο EHS μπορεί να ενισχυθεί σημαντικά από την τεχνολογία 5G. Η ικανότητα γρήγορης επεξεργασίας και ανάλυσης μεγάλων συνόλων δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων, τον εντοπισμό τάσεων και τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων στην υγειονομική περίθαλψη.

Για παράδειγμα, οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να αναλύουν δεδομένα EHR για να προβλέπουν τα αποτελέσματα των ασθενών, να εντοπίζουν ασθενείς υψηλού κινδύνου και να προτείνουν εξατομικευμένα σχέδια θεραπείας. Η συνδεσιμότητα υψηλής ταχύτητας του 5G διασφαλίζει ότι αυτές οι αναλύσεις πραγματοποιούνται σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης να ενεργούν άμεσα βάσει των πληροφοριών και να βελτιώνουν τα αποτελέσματα των ασθενών.

Διαλειτουργικότητα και συνεργασία

Η διαλειτουργικότητα, η ικανότητα διαφορετικών συστημάτων και οργανισμών να συνεργάζονται απρόσκοπτα, αποτελεί μακροχρόνια πρόκληση στην υγειονομική περίθαλψη. Το 5G μπορεί να διευκολύνει την καλύτερη διαλειτουργικότητα,

επιτρέποντας την απρόσκοπτη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφορετικών πλατφορμών EHS και παρόχων υγειονομικής περίθαλψης.

Αυτή η βελτιωμένη συνδεσιμότητα υποστηρίζει μοντέλα συνεργατικής φροντίδας, όπου πολλαπλοί επαγγελματίες και οργανισμοί υγείας συνεργάζονται για τη διαχείριση της υγείας ενός ασθενούς. Για παράδειγμα, οι γιατροί πρωτοβάθμιας περίθαλψης, οι ειδικοί και οι φαρμακοποιοί μπορούν να μοιράζονται πληροφορίες για τον ασθενή χωρίς κόπο, διασφαλίζοντας ότι όλοι όσοι εμπλέκονται στη φροντίδα του ασθενούς έχουν πλήρη και ακριβή εικόνα της κατάστασης της υγείας του.

3.4 Προηγμένες εφαρμογές και καινοτομίες

Μία από τις πιο συναρπαστικές εφαρμογές του 5G στην υγειονομική περίθαλψη είναι οι δυνατότητες για απομακρυσμένες και ρομποτικές χειρουργικές επεμβάσεις. Οι χειρουργοί μπορούν να εκτελούν επεμβάσεις σε ασθενείς που βρίσκονται σε διαφορετικά μέρη του κόσμου χρησιμοποιώντας ρομποτικά όργανα που ελέγχονται από απόσταση. Η χαμηλή καθυστέρηση και η υψηλή αξιοπιστία των δικτύων 5G είναι ζωτικής σημασίας για τον ακριβή έλεγχο και την άμεση ανατροφοδότηση που απαιτούνται σε τέτοιες χειρουργικές επεμβάσεις.

Για παράδειγμα, ένας ειδικός σε ένα μητροπολιτικό νοσοκομείο μπορεί να εκτελέσει μια πολύπλοκη επέμβαση σε έναν ασθενή σε μια αγροτική περιοχή, χωρίς να χρειάζεται ο ασθενής να ταξιδέψει. Αυτό μπορεί να διευρύνει την πρόσβαση σε υψηλής ποιότητας χειρουργική περίθαλψη, ιδίως σε υποεξυπηρετούμενες περιοχές, και να μειώσει το χρόνο και το κόστος που σχετίζονται με τα ταξίδια των ασθενών.

Η γενιά υποδομής κινητής ευρυζωνικότητας (5G) υποστηρίζει ευρύτερα σενάρια χρήσης και εφαρμογές σε σύγκριση με τις προηγούμενες γενιές δικτύων. Τα κύρια σενάρια περιλαμβάνουν α) την ενισχυμένη κινητή ευρυζωνικότητα (eMBB) για ανθρωποκεντρικές εφαρμογές όπως η πρόσβαση σε πολυμέσα και δεδομένα β) Υπεραξιοπιστες επικοινωνίες χαμηλής καθυστέρησης (URLLC) για εφαρμογές με αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης και αξιοπιστίας γ) Μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής (mMTC) για τη σύνδεση πολλών συσκευών με χαμηλές απαιτήσεις σε όγκο δεδομένων και καθυστέρηση. Παρακάτω παρουσιάζονται εφαρμογές στις URLLC για τη σύνδεση απομακρυσμένων ρομπότ ή αυτόνομων ρομποτικών πλατφορμών με νοημοσύνη στο άκρο του cloud.

Η πρώτη περίπτωση χρήσης αφορά τη Χειρουργική Τηλεχειρουργική μέσω Ασύρματης Σύνδεσης (WTS), όπου οι χειρουργοί σε μια τοποθεσία εκτελούν μια επέμβαση σε μια άλλη με τη βοήθεια ενός ρομπότ, με την υποστήριξη δικτύων 5G. Με το 5G, οι χειρουργοί μπορούν να εκτελούν απομακρυσμένα χειρουργικές

επεμβάσεις χρησιμοποιώντας ρομποτικά συστήματα, παρέχοντας καλύτερη πρόσβαση σε υπηρεσίες υγείας και εξοικονομώντας χρόνο. Η τεχνολογία 5G είναι απαραίτητη για να διασφαλίσει χαμηλή καθυστέρηση και σταθερή επικοινωνία, που επιτρέπει ακριβή απτική ανάδραση και βελτιωμένη οπτικοποίηση, υπερβαίνοντας τις δυνατότητες των σημερινών συστημάτων όπως το Da Vinci. Τα πλεονεκτήματα της ρομποτικής χειρουργικής περιλαμβάνουν μικρότερες τομές, λιγότερο πόνο, ταχύτερη ανάρρωση και μειωμένο κίνδυνο μόλυνσης.

Η δεύτερη περίπτωση χρήσης αφορά τη σύνδεση Ασύρματων Ρομπότ Υπηρεσιών (WSR) με την υποστήριξη της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) στο άκρο του υπολογιστικού νέφους (cloud). Ο στόχος αυτής της τεχνολογικής λύσης είναι να διασφαλιστεί η απόδοση και η αξιοπιστία της σύνδεσης μεταξύ των ασύρματων ρομποτικών πλατφορμών και των cloud servers, διατηρώντας την καθυστέρηση σε χαμηλά επίπεδα. Τα ρομπότ αυτά θα αναλάβουν σημαντικό ρόλο στη φροντίδα ασθενών και ηλικιωμένων, είτε σε νοσοκομεία, ιδρύματα, είτε στο σπίτι τους, εκτελώντας πολύπλοκες και σημαντικές εργασίες, όπως η αλληλεπίδραση με τους ανθρώπους και η παροχή βοήθειας σε καθημερινές ανάγκες.

Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει στα ρομπότ να ερμηνεύουν ανθρώπινα συναισθήματα και να αλληλεπιδρούν φυσικά με τους χρήστες, εκτελώντας ποικίλες εργασίες που αφορούν τη φροντίδα και το νοικοκυριό. Ο απώτερος στόχος είναι η μείωση του κόστους φροντίδας, προσφέροντας παράλληλα στους ανθρώπους τη δυνατότητα να παραμείνουν ενεργοί, ανεξάρτητοι, και με υψηλή ποιότητα ζωής. Η ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων 5G θα αποτελέσει το κλειδί για την πλήρη υιοθέτηση αυτών των ρομποτικών πλατφορμών σε παγκόσμιο επίπεδο, καθιστώντας τα καλώδια παρελθόν και ανοίγοντας το δρόμο για μαζική χρήση των τεχνολογιών αυτών.[5]

3.5 Διαδίκτυο των Ιατρικών Πραγμάτων

Το Διαδίκτυο των ιατρικών πραγμάτων (IoMT) αναφέρεται στο δίκτυο ιατρικών συσκευών και εφαρμογών που συνδέονται με συστήματα πληροφορικής υγείας μέσω διαδικτυακών δικτύων υπολογιστών. Η ικανότητα του 5G να υποστηρίζει ταυτόχρονα μεγάλο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα για το IoMT συμβάλλοντας στην ακριβή διάγνωση των ασθενειών και την αποφυγή ανθρώπινων λαθών. Το Διαδίκτυο Ιατρικών Πραγμάτων (IoMT) περιλαμβάνει ιατρικά αντικείμενα που μεταφέρουν δεδομένα χωρίς αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή ή ανθρώπου-ανθρώπου [30]-[40].

Για παράδειγμα, τα έξυπνα νοσοκομειακά κρεβάτια μπορούν να παρακολουθούν τα ζωτικά σημεία των ασθενών και να ρυθμίζουν αυτόματα τις θέσεις τους για την αποφυγή πληγών στο κρεβάτι. Οι εμφυτεύσιμες συσκευές μπορούν να

παρακολουθούν συνεχώς συνθήκες όπως τα επίπεδα γλυκόζης σε διαβητικούς ασθενείς και να χορηγούν ινσουλίνη ανάλογα με τις ανάγκες. Τα δεδομένα από αυτές τις συσκευές μπορούν να μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο στους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης, επιτρέποντας τη συνεχή παρακολούθηση και την προληπτική φροντίδα.

Πώς λειτουργεί το IoMT:

- Απομακρυσμένη Παρακολούθηση Ασθενών (RPM): Συνεχής παρακολούθηση χρόνιων παθήσεων.
- Παρακολούθηση Φαρμάκων: Διαχείριση συνταγών και συμμόρφωσης.
- Παρακολούθηση Τοποθεσίας Ασθενών: Βελτίωση της ασφάλειας σε νοσοκομεία.
- Φορητές Συσκευές Υγείας: Συλλογή δεδομένων μέσω έξυπνων ρολογιών και βραχιολιών.
- Συνδεδεμένα Ασθενοφόρα: Επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο με ιατρικές μονάδες κατά τη διάρκεια μεταφοράς ασθενών.

Οι συσκευές IoMT συνδέονται με πλατφόρμες cloud για την αποθήκευση και ανάλυση δεδομένων, ενώ η χρήση τους διευκολύνει την τηλεϊατρική, επιτρέποντας απομακρυσμένες διαβουλεύσεις και παρακολούθηση χωρίς φυσική παρουσία.

Μετάδοση Δεδομένων σε Έξυπνα Ασθενοφόρα

Η ικανότητα μετάδοσης δεδομένων (όπως βίντεο, εικόνες και ζωτικές ενδείξεις) σε πραγματικό χρόνο από τα ασθενοφόρα είναι ζωτικής σημασίας για τη σωστή διαχείριση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης και τη διάσωση ατόμων με απειλητική για τη ζωή κατάσταση. Οι διασώστες μπορούν να λαμβάνουν καθοδήγηση και επίβλεψη από γιατρούς εξ αποστάσεως, γεγονός που τους επιτρέπει να παρέχουν την απαραίτητη φροντίδα και να αποφεύγουν περιττές νοσηλείες. Αυτό απαιτεί αξιόπιστη συνδεσιμότητα και γρήγορη μετάδοση δεδομένων.

Το προτεινόμενο σύστημα λειτουργεί ως κινητό διαγνωστικό κέντρο, επιτρέποντας τη μετάδοση ζωτικών ενδείξεων και εικόνας σε πραγματικό χρόνο μέσω αισθητήρων σώματος και υψηλής ανάλυσης κάμερας. Οι διασώστες μπορούν να έχουν πρόσβαση στο ιατρικό ιστορικό του ασθενούς και να επικοινωνούν με ειδικούς κατά τη διάρκεια της μεταφοράς στο νοσοκομείο.

Σύστημα απομακρυσμένης παρακολούθησης για καρδιαγγειακές παθήσεις

Το σύστημα απομακρυσμένης παρακολούθησης καρδιαγγειακών παθήσεων είναι κρίσιμο, καθώς τα ζωτικά σημεία, όπως αυτά που καταγράφονται μέσω ηλεκτροδίων ΗΚΓ στο στήθος των ασθενών, μπορούν να αποκαλύψουν κρυφές ασθένειες όπως η

αρρυθμία. Μετά την επεξεργασία και ψηφιοποίηση των σημάτων, αυτά αποστέλλονται σε έναν κεντρικό ή cloud-based διακομιστή, όπου οι γιατροί μπορούν να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο την κατάσταση των ασθενών μέσω μιας εφαρμογής ή ιστοσελίδας και να λαμβάνουν άμεσα δράση. Διάφορες έρευνες έχουν αναπτύξει συστήματα ανίχνευσης ζωτικών σημάτων με δυνατότητες διαδικτυακής σύνδεσης, όπως πλατφόρμες με αισθητήρες Παλμογράφου, Βηματομετρητή ή ΗΚΓ.

Η απομακρυσμένη παρακολούθηση εγκεφαλικών και νευρολογικών ασθενειών

Οι εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στην παρακολούθηση εγκεφαλικών και νευρολογικών σημάτων έχουν φέρει σημαντική ανακούφιση στους ασθενείς με ασθένειες όπως η επιληψία, το Αλτσχάιμερ, η άνοια, το εγκεφαλικό και ο Πάρκινσον. Επιπλέον, αναπτύσσονται IoT συστήματα για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς ψυχιατρικών ασθενών, ενισχύοντας την έρευνα και διευκολύνοντας την ανάπτυξη εξειδικευμένων προσεγγίσεων. Οι αισθητήρες, είτε επαφής είτε μη επαφής, περιλαμβάνουν EEG, γαλβανικούς αισθητήρες δέρματος, έξυπνα ρολόγια με πολυαισθητήρες, βιοαισθητήρες σιελικής αμυλάσης, καθώς και συστήματα όπως το Kinect για αναγνώριση χειρονομιών. Σημαντικά παραδείγματα περιλαμβάνουν την ανάπτυξη συστήματος παρακολούθησης νευροεκφυλιστικών ασθενειών μέσω κάμερας υψηλής ευκρίνειας, τη μέτρηση επιπέδων άγχους μέσω αρτηριακής πίεσης, και την αξιοποίηση κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων με ενσωματωμένους αισθητήρες.

Απομακρυσμένο Σύστημα Παρακολούθησης για Διαβητικούς Ασθενείς

Οι διαβητικοί ασθενείς χρειάζονται συχνό έλεγχο της γλυκόζης για να διατηρούν υπό έλεγχο τα επίπεδά τους. Ενώ υπάρχουν συσκευές για οικιακή χρήση, δεν παρέχουν παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο από γιατρούς. Το IoMT καθιστά αυτό εφικτό με την ανάπτυξη έξυπνων κόμβων που μετρούν τα επίπεδα γλυκόζης και τα μεταδίδουν σε πραγματικό χρόνο μέσω εφαρμογών.

Παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- Σύστημα με Bluetooth που συνδέει αισθητήρα γλυκόζης με smartphone για οπτικοποίηση δεδομένων.
- Μακροχρόνια παρακολούθηση με εμφυτευμένο αισθητήρα που ενημερώνει τα επίπεδα γλυκόζης κάθε 2 λεπτά.
- Μη επεμβατικό σύστημα παρακολούθησης γλυκόζης με χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Απομακρυσμένη Παρακολούθηση Πτώσεων Ηλικιωμένων

Η απομακρυσμένη παρακολούθηση πτώσεων ηλικιωμένων μέσω IoMT χρησιμοποιεί αισθητήρες όπως γυροσκόπια, επιταχυνσιόμετρα, αισθητήρες κραδασμών και κάμερες για την ανίχνευση πτώσεων σε πραγματικό χρόνο. Αυτοί οι αισθητήρες

στέλνουν δεδομένα σε κεντρικό διακομιστή που ενεργοποιεί συναγερμούς, επιτρέποντας στις αρμόδιες αρχές να δράσουν άμεσα.

Σημαντικά παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- Σύστημα ανίχνευσης πτώσεων με ασύρματους αισθητήρες.
- Τοπική συσκευή επεξεργασίας με επιταχυνσιόμετρο για παρακολούθηση κινήσεων στο σπίτι.
- Συστήματα παρακολούθησης για αναπηρικά καροτσάκια.

Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν την έγκαιρη ειδοποίηση για πτώσεις, προσφέροντας ασφάλεια για τους ηλικιωμένους ασθενείς.

3.6 Προκλήσεις και προβληματισμοί

Η εφαρμογή του 5G στην υγειονομική περίθαλψη απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε υποδομές. Οι εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης πρέπει να αναβαθμίσουν τα υφιστάμενα δίκτυά τους και να επενδύσουν σε νέες συσκευές και συστήματα συμβατά με το 5G. Αυτό μπορεί να αποτελέσει σημαντική οικονομική επιβάρυνση, ιδίως για μικρότερα νοσοκομεία και κλινικές με περιορισμένο προϋπολογισμό.

Επιπλέον, η ανάπτυξη των δικτύων 5G βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη και η κάλυψη μπορεί να είναι άνιση, ιδίως σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές. Η εξασφάλιση ισοτίμης πρόσβασης σε υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης με δυνατότητα 5G είναι μια πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπιστεί μέσω στρατηγικού σχεδιασμού και επενδύσεων στην ανάπτυξη υποδομών.

Η αυξημένη συνδεσιμότητα και οι δυνατότητες μετάδοσης δεδομένων του 5G εγείρουν επίσης ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο και την ασφάλεια των δεδομένων. Τα δεδομένα υγειονομικής περίθαλψης είναι εξαιρετικά ευαίσθητα και τυχόν παραβιάσεις ή μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση μπορεί να έχουν σοβαρές συνέπειες για τους ασθενείς και τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης.

Οι οργανισμοί υγειονομικής περίθαλψης πρέπει να εφαρμόσουν ισχυρά μέτρα ασφαλείας για την προστασία των δεδομένων που μεταδίδονται μέσω δικτύων 5G. Αυτό περιλαμβάνει κρυπτογράφηση, ασφαλείς ελέγχους πρόσβασης και τακτικούς ελέγχους ασφαλείας. Η συμμόρφωση με κανονισμούς όπως ο νόμος περί φορητότητας και ευθύνης της ασφάλισης υγείας (HIPAA) στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι επίσης ζωτικής σημασίας για να διασφαλιστεί ότι τα δεδομένα των ασθενών αντιμετωπίζονται υπεύθυνα και ηθικά.

Η υιοθέτηση του 5G στην υγειονομική περίθαλψη εγείρει επίσης ρυθμιστικά και ηθικά ζητήματα. Οι ρυθμιστικοί φορείς πρέπει να θεσπίσουν κατευθυντήριες γραμμές και πρότυπα για τη χρήση τεχνολογιών υγειονομικής περίθαλψης με

δυνατότητα 5G, ώστε να διασφαλιστεί η ασφάλεια των ασθενών και η ακεραιότητα των δεδομένων. Αυτό περιλαμβάνει τον καθορισμό προτύπων για τις πρακτικές τηλεϊατρικής, τις συσκευές απομακρυσμένης παρακολούθησης και τους αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης που χρησιμοποιούνται στην υγειονομική περίθαλψη.

Οι δεοντολογικές εκτιμήσεις περιλαμβάνουν τη διασφάλιση ότι τα οφέλη του 5G στην υγειονομική περίθαλψη είναι προσβάσιμα σε όλους τους ασθενείς, ανεξάρτητα από την κοινωνικοοικονομική κατάσταση ή τη γεωγραφική θέση. Πρέπει να καταβληθούν προσπάθειες για την αποφυγή ανισοτήτων στην πρόσβαση σε προηγμένες τεχνολογίες υγειονομικής περίθαλψης και να διασφαλιστεί ότι όλοι οι ασθενείς λαμβάνουν ισότιμη περίθαλψη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Σενάριο εργασίας

Η Wheamo υποστηρίζει την ανάπτυξη εξελιγμένης βάσης γνώσεων που μπορεί να ανακτήσει, να αποθηκεύσει και να διανείμει τις πληροφορίες που παρέχονται από το ιατρικό εμφύτευμα εντός του σώματος μέσω του διαύλου διάδοσης από το πάγκρεας προς το δέρμα και ενός συμπληρωματικού σεναρίου διάδοσης από το δέρμα προς το τερματικό CM2/CM3/CM4, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα εξατομικευμένο, προσαρμοσμένο προφίλ χρήστη που θα χειρίζεται κατάλληλα από το ιατρικό προσωπικό και τους βοηθούς υγείας.

Η καινοτόμος πλατφόρμα παρουσιάστηκε στο Falling Walls Greek Lab 2016, που πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 2016 στη Θεσσαλονίκη, κερδίζοντας το πρώτο βραβείο και μπαίνοντας στον τελικό του Falling Walls Lab που πραγματοποιήθηκε στο Βερολίνο, τον Νοέμβριο του 2016 [32].

Στο [33], διερευνήθηκε η εξασθένιση μικρής κλίμακας του καναλιού παγκρέατος-δέρματος εντός του σώματος και για τις δύο ζώνες συχνότητας. Μελετήθηκαν οι διακυμάνσεις των στιγμιαίων τιμών του πεδίου E και της πυκνότητας ισχύος και παρατηρήθηκαν αποκλίσεις από τις συμβατικές κατανομές Rayleigh (πλάτος) και εκθετική (ισχύς).

Στο [34]-[35], συζητήθηκε η προτεινόμενη αρχιτεκτονική του συστήματος της πλατφόρμας WHEAMO. Το Σχήμα 1 παρουσιάζει μια απεικόνιση των βασικών εννοιών που εμπλέκονται με το WHEAMO. Καθώς η ασύρματη σύνδεση, αποτελούμενη από το κανάλι εντός του σώματος από το πάγκρεας προς το δέρμα, τις απώλειες διείσδυσης στο δέρμα, το κανάλι εντός του σώματος γύρω από τον ασθενή και τη διάδοση του σήματος στο ιατρικό δωμάτιο παρέχει άφθονη λήψη από ένα κατάλληλα εξοπλισμένο τερματικό, τα κωδικοποιημένα δεδομένα πρέπει να ανακτηθούν στην αρχική τους αναλογική μορφή και να αποτελέσουν τη βάση για μια βάση γνώσεων, την οποία χειρίζεται το ιατρικό προσωπικό.

Η πλατφόρμα WHEAMO αποτελείται από 5 οριζόντια στρώματα και ένα κάθετο στρώμα. Κάθε οριζόντιο στρώμα παρέχει λειτουργικότητα στα ανώτερα οριζόντια στρώματα. Το κάθετο στρώμα παρέχει μηχανισμούς στα οριζόντια στρώματα για να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Οριζόντια διαστρώματωση

- **Πηγές δεδομένων και στρώμα εναρμόνισης** Οι πηγές δεδομένων παρέχουν πληροφορίες που απαιτούνται από την πλατφόρμα. Χρησιμοποιώντας αυτή την κλάση, ο πάροχος δεδομένων περιγράφει τα δεδομένα, τις λειτουργίες χειρισμού και τις διαδικασίες διαχείρισης δεδομένων. Περιλαμβάνονται επίσης μετα-δεδομένα, τα

οποία παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την ασφάλεια των μεταφερόμενων δεδομένων.

- **Στρώμα ολοκλήρωσης δεδομένων και σημασιολογικής ολοκλήρωσης** Το στρώμα αυτό περιλαμβάνει τις λειτουργίες που απαιτούνται για την ενοποίηση των πληροφοριών που έχουν συλλεχθεί από τους παρόχους δεδομένων και τη δημιουργία μιας πλούσιας και αποτελεσματικής αποθήκευσης δεδομένων, η οποία υποστηρίζει μια σειρά λειτουργιών (Συγκομιδή, ενοποίηση, αποθήκευση, ευρετηρίαση).

- **Μοντέλο δεδομένων με βάση την οντολογία** Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε ένα σχήμα με βάση την οντολογία, το οποίο επιτρέπει την ολοκλήρωση της σημασιολογίας και των ορίων της σημασιολογίας και εξασφαλίζει την ακεραιότητα και τη συνοχή των δεδομένων. Η κατανοητότητα του σχήματος είναι ένα κρίσιμο σημείο για τους τελικούς χρήστες, ώστε να μπορούν να περιηγηθούν στην πλατφόρμα, να κάνουν drill-down και να θέτουν ad-hoc ερωτήματα.

- **Στρώμα διεργασιών** Μέσω αυτού του στρώματος, οι τελικοί χρήστες μπορούν να αναζητούν και να ανακαλύπτουν πληροφορίες- οι ανακτημένες πληροφορίες αναλύονται μέσω τεχνικών εξόρυξης- γίνονται εξατομικευμένες συστάσεις στους χρήστες- οι πληροφορίες οπτικοποιούνται για καλύτερη αντίληψη.

- **Στρώμα εφαρμογής** Το στρώμα αυτό παρέχει την εφαρμογή η οποία θα παρέχει πρόσβαση στην πλατφόρμα στους τελικούς χρήστες (π.χ. ιατρικό προσωπικό, ασθενείς). Κάθε τελικός χρήστης θα πρέπει να δημιουργήσει έναν λογαριασμό και να βλέπει και να χειρίζεται δεδομένα με βάση τα προνόμια και τον ρόλο του.

Κάθετη διαστρωμάτωση

Το κάθετο στρώμα παρέχει τις ακόλουθες υπηρεσίες:

- **Διαχείριση και παρακολούθηση**: Αυτή η υπηρεσία επιτρέπει τη διαχείριση της πλατφόρμας από χρήστες με τα κατάλληλα προνόμια και ρόλους (π.χ. διαχειριστές και συντονιστές). Οι ενέργειες που εκτελούνται και οι πόροι που χρησιμοποιούνται παρακολουθούνται και διαχειρίζονται μέσω αυτής της υπηρεσίας.

- **Αυθεντικοποίηση και εξουσιοδότηση**: Η υπηρεσία αυτή διασφαλίζει ότι μόνο τα μέλη του συστήματος έχουν πρόσβαση σε συγκεκριμένα τμήματα των πλατφορμών, ανάλογα με τα προνόμια και το ρόλο τους.

- **Μητρώο**: Αυτή η υπηρεσία καταγράφει τους διαθέσιμους πόρους στο σύστημα, συμπεριλαμβανομένων των παρόχων δεδομένων. Οι πόροι επεξεργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά παραγγελία για απαιτητικές εργασίες, όπως η εξόρυξη δεδομένων.



Εικόνα 7: Wheamo: A monitoring solution for pancreas-related diseases [39]

Μοντελοποίηση καναλιού μέσα στο σώμα

Η τεχνική μοντελοποίησης Πεπερασμένων Διαφορών στο Χρονικό Πεδίο (FDTD) χρησιμοποιείται σε αυτή τη μελέτη για την αριθμητική ανάλυση του ασύρματου καναλιού εντός του σώματος, μεταξύ της πηγής στον ιστό του παγκρέατος και ενός δέκτη-ανιχνευτή που τοποθετείται σε διαφορετικά σημεία στο ανθρώπινο φάντασμα, τόσο σε άνδρες όσο και σε γυναίκες [36]. Διερευνήθηκαν οι ζώνες MICS (402,5 MHz) και ISM (2,45 GHz).

Ως εκ τούτου, η απόσταση αναφοράς για τη ζώνη MICs επιλέχθηκε στα 50 mm, ενώ για τη ζώνη ISM η απόσταση αναφοράς ορίστηκε στα 10 mm. Το διάστημα μέτρησης ορίστηκε στα 5 mm. Σε κάθε θέση μέτρησης καταγράφηκαν συνολικά 70 τιμές για το χρονικά μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο και το διάνυσμα *roynting*, σε οριζόντιο άξονα κίνησης προς το δέρμα.

Στην παρούσα εργασία, εστιάζουμε στην αριστερή κατεύθυνση κίνησης από το πάγκρεας προς το δέρμα, η οποία είναι η συντομότερη διαδρομή διάδοσης. Η πιο απομακρυσμένη θέση από την κεραία εκπομπής, 145 mm στην περίπτωση του ανδρικού φαντάσματος και 142 mm για το γυναικείο φάντασμα. Συνολικά μετρήθηκαν 19 θέσεις για το ανδρικό φάντασμα στο MICS, με 18 θέσεις για τη γυναικεία μελέτη περίπτωσης αντίστοιχα. Για τη ζώνη ISM, πραγματοποιήθηκαν 27 μετρήσεις για το ανδρικό φάντασμα και 26 για το γυναικείο.

Οι μεταβολές εξασθένισης μεγάλης κλίμακας έχουν διερευνηθεί στο [30]. Όπως αναφέρεται στο εν λόγω *work*, ωστόσο, η προσαρμογή των μετρούμενων τιμών στην απώλεια διαδρομής αναφοράς και στον εκθέτη απώλειας διαδρομής, που

πραγματοποιήθηκε με εργασία προσαρμογής καμπυλών που παρέχονται από το MATLAB, δεν επέλυσε το από πρόβλημα της: (α) την παροχή μιας βάσης για «γενικές» διαπιστώσεις βάσει των εμπειρικών δεδομένων και (β) την παροχή μιας σταθερής διάκρισης της εξαρτώμενης από την απόσταση εξασθένησης από την υπερβολική απώλεια διαδρομής. Έτσι, παρόλο που η εξασθένηση μεγάλης κλίμακας χαρακτηρίστηκε σύμφωνα με το μοντέλο Log-normal, η απόκλιση από τις συμβατικές τοπολογίες διάδοσης δεν επέτρεψε τη σωστή επικύρωση των μοντέλων απώλειας διαδρομής.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια τέτοια αξιολόγηση, χρησιμοποιήθηκαν το μοντέλο γραμμικής εξασθένησης και το μοντέλο λογαριθμικής απόστασης, μαζί με το μοντέλο μιας κλίσης και το μοντέλο αναφοράς Free Space [37], το οποίο είναι το πιο θεμελιώδες και ιδεαλιστικό μοντέλο απώλειας διαδρομής:

$$P_r(dBm) = P_t(dBm) + K(dB) - 10n \log_{10}(d/d_0) \quad (1)$$

Όπου $K(dB)$ συμβολίζει την απώλεια διαδρομής αναφοράς στην απόσταση αναφοράς. Ο εκθέτης απωλειών διαδρομής n ισούται με 2 για το μοντέλο ελεύθερου χώρου. Για τις τροποποιημένες εκδόσεις αυτής της λογαριθμικής έκφρασης, δηλαδή το μοντέλο μιας κλίσης, το n παίρνει τιμές που προκύπτουν από τα εμπειρικά δεδομένα.

Η εξασθένηση σε απόσταση (dB/m) είναι μια βασική παράμετρος στις ασύρματες επικοινωνίες, ιδίως στη μοντελοποίηση εσωτερικών χώρων, καθώς είναι μια μετρική της πλεονάζουσας απώλειας διαδρομής. Η εξασθένηση σε σχέση με την απόσταση μπορεί να υπολογιστεί μέσω του γραμμικού μοντέλου εξασθένησης (LAM), επίσης γνωστού ως μοντέλο Devasirvatham [37]:

$$P_L(dB) = P_{L0}(dB) + 10n \log_{10}(d) + ad \quad (2)$$

Στο [30], τόσο ο εκθέτης απώλειας διαδρομής όσο και η απώλεια διαδρομής αναφοράς για κάθε σενάριο προσομοίωσης δόθηκαν με μαθηματική προσαρμογή καμπύλης. Στην παρούσα εργασία, ωστόσο, υπολογίζουμε αυτές τις μετρικές απευθείας από τις μετρούμενες τιμές της τοπικής μέσης ισχύος.

Ως μετρική αναφοράς για τις επακόλουθες απώλειες καθώς αυξάνεται η απόσταση μεταξύ της κεραίας του ασύρματου εμφυτεύματος και του δέκτη του ανιχνευτή, οι απώλειες διαδρομής στην απόσταση αναφοράς δεν θα πρέπει να είναι προϊόν «τυφλής» μαθηματικής προσαρμογής, αλλά να παρέχουν ένα φυσικό νόημα που να συμφωνεί με τις εμπειρικά παραγόμενες τιμές. Αυτές οι εμπειρικές τιμές του εκθέτη απώλειας διαδρομής χρησιμοποιούνται για το μοντέλο One-Slope προκειμένου να ληφθεί υπόψη και η υπερβολική απώλεια διαδρομής.

Η εξασθένηση σε σχέση με την απόσταση κατέχει εξέχουσα θέση στην κλασική βιβλιογραφία για τη μοντελοποίηση καναλιών UHF/RF [37]-[38]. Ως μια καθολική μετρική που παρέχει το ποσοστό εξασθένησης για μια συγκεκριμένη μονάδα απόστασης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιοδήποτε σενάριο διάδοσης τόσο ως παράμετρος καναλιού όσο και ως είσοδος για προβλέψεις μοντέλων: το μοντέλο γραμμικής εξασθένησης.

Ο Πίνακας 1 διαθέτει την εμπειρικά υπολογισμένη μέση τιμή της εξασθένησης σε σχέση με την απόσταση (εκφρασμένη σε dB/cm) για όλα τα σενάρια προσομοίωσης και τις αντίστοιχες προβλέψεις του μοντέλου γραμμικής εξασθένησης. Είναι προφανές ότι το μοντέλο Linear Attenuation παρέχει τις πιο αξιόπιστες προβλέψεις, έχοντας αξιοσημείωτα καλές επιδόσεις στη ζώνη ISM, όπου τα άλλα μοντέλα παρουσιάζουν το μεγαλύτερο μέσο σχετικό σφάλμα. Ταυτόχρονα, οι τιμές της εξασθένησης σε σχέση με την απόσταση για τη ζώνη ISM επιβεβαιώνουν τον εξαρτώμενο από τη συχνότητα ρυθμό εξασθένησης.

Πίνακας 1. Εμπειρικά υπολογισμένη μέση τιμή της εξασθένησης σε σχέση με την απόσταση (εκφρασμένη σε dB/cm) για όλα τα σενάρια προσομοίωσης και τις αντίστοιχες προβλέψεις του μοντέλου γραμμικής εξασθένησης [40]

Simulation Scenarios	LAM model (%)	a (dB/cm)
Female 402.5 MHz	8.03	1.07
Male 402.5 MHz	6.00	0.87
Female 2.45 GHz	4.23	5.21
Male 2.45 GHz	4.75	5.66

Πρότυποι υπολογισμοί

Πίνακας 2. Εξασθένηση ανά απόσταση για male phantom (MICS band)

T-R distance (mm)	Received power (dBm)	a(dB/cm)
50	-30	0,00
55	-32	0,21
60	-34	0,40
65	-34	0,26
70	-37	0,58
75	-39	0,73
80	-41	0,86

85	-41	0,75
90	-43	0,88
95	-46	1,10
100	-45	0,90
105	-48	1,10
110	-50	1,20
115	-50	1,11
120	-53	1,28
125	-52	1,12
130	-55	1,28
142	-58	1,33

Πίνακας 3. Εξασθένιση ανά απόσταση για female phantom (MICS band)

T-R distance (mm)	Received power (dBm)	a(dB/cm)
50	-28	0,01
55	-28	0,00
60	-35	0,94
65	-39	1,29
70	-33	0,36
75	-36	0,64
80	-39	0,81
85	-44	1,33
90	-45	1,34
95	-46	1,32
100	-48	1,40
105	-51	1,62
110	-52	1,53

115	-54	1,61
120	-53	1,43
125	-55	1,50
130	-54	1,36
142	-49	0,85

Πίνακας 4. Εξασθένηση ανά απόσταση για male phantom (ISM band)

T-R distance (mm)	Received power (dBm)	a(dB/cm)
10	-31	0,22
15	-36	1,20
20	-44	3,72
25	-55	6,26
30	-62	6,99
35	-71	8,29
40	-74	7,74
45	-75	6,95
50	-78	6,66
55	-81	6,38
60	-83	6,12
65	-86	5,93
70	-87	5,63
75	-89	5,41
80	-89	4,96
85	-96	5,44
90	-97	5,26
95	-104	5,59
100	-108	5,74

105	-114	5,93
110	-118	5,97
115	-124	6,22
120	-127	6,18
125	-129	6,07
130	-134	6,18
142	-138	5,90
145	-141	5,98

Πίνακας 5. Εξασθένηση ανά απόσταση για female phantom (ISM band)

T-R distance (mm)	Received power (dBm)	a(dB/cm)
10	-29	0,00
15	-36	2,37
20	-43	4,08
25	-45	3,13
30	-58	6,58
35	-62	6,27
40	-67	6,42
45	-71	6,34
50	-76	6,62
55	-80	6,58
60	-82	6,25
65	-84	5,94
70	-83	5,29
75	-86	5,30
80	-89	5,20
85	-93	5,38

90	-98	5,52
95	-103	5,69
100	-101	5,24
105	-104	5,22
110	-107	5,24
115	-110	5,16
120	-115	5,39
125	-119	5,43
130	-126	5,74
142	-125	5,14

Πίνακας 6. Εξασθένιση ανά απόσταση για το σύνολο των σεναρίων εργασίας

Case study	a(dB/cm)
male/MICS	0,87
female/MICS	1,07
male / ISM	5,66
female/ISM	5,21

Το μοντέλο γραμμικής εξασθένισης αποδίδει καλύτερα από οποιοδήποτε άλλο μοντέλο, με ευρωστία που είναι συμβατή με τη φυσική σημασία των εμπλεκόμενων παραμέτρων, όπως η εξασθένιση σε σχέση με την απόσταση. Παρόλο που η τιμή της εν λόγω μεταβλητής αυξάνεται σημαντικά για τη ζώνη ISM (όπως αναμενόταν), οι προβλέψεις του μοντέλου είναι πιο αξιόπιστες από οποιαδήποτε άλλη που παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία [39]-[40].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Συμπεράσματα

Η τεχνολογία 5G μπορεί να προωθήσει σημαντικά τον τομέα της εξατομικευμένης ιατρικής, όπου οι θεραπείες και οι παρεμβάσεις προσαρμόζονται σε μεμονωμένους ασθενείς με βάση τη γενετική τους σύνθεση, τον τρόπο ζωής τους και τα δεδομένα υγείας τους. Η δυνατότητα γρήγορης επεξεργασίας και ανάλυσης μεγάλου όγκου δεδομένων επιτρέπει ακριβέστερα και εξατομικευμένα πλάνα θεραπείας.

Το 5G μπορεί επίσης να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στις πρωτοβουλίες για την παγκόσμια υγεία, βελτιώνοντας την πρόσβαση σε υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης σε περιβάλλοντα χαμηλών πόρων. Η τηλεϊατρική και η τηλεπαρακολούθηση μπορούν να γεφυρώσουν το χάσμα μεταξύ αστικής και αγροτικής υγειονομικής περίθαλψης, παρέχοντας πρόσβαση σε συμβουλές ειδικών και συνεχή παρακολούθηση της υγείας σε απομακρυσμένες περιοχές.

Οι διεθνείς συνεργασίες μπορούν να αξιοποιήσουν την τεχνολογία 5G για την ανταλλαγή ιατρικής τεχνογνωσίας και πόρων πέρα από τα σύνορα. Για παράδειγμα, οι παγκόσμιοι οργανισμοί υγείας μπορούν να χρησιμοποιήσουν την τηλεϊατρική με δυνατότητα 5G για να παρέχουν συμβουλές εμπειρογνομόνων και εκπαίδευση σε εργαζόμενους στον τομέα της υγείας σε αναπτυσσόμενες χώρες, βελτιώνοντας την ποιότητα της περίθαλψης και αντιμετωπίζοντας τις ανισότητες στην υγεία.

Η ενσωμάτωση του 5G στην υγειονομική περίθαλψη ανοίγει νέους δρόμους για την έρευνα και την καινοτομία. Οι ερευνητές μπορούν να αξιοποιήσουν τις τεράστιες ποσότητες δεδομένων που παράγονται από συσκευές και συστήματα με δυνατότητα 5G για να αποκτήσουν νέες γνώσεις σχετικά με τα πρότυπα ασθενειών, τα αποτελέσματα της θεραπείας και τις συμπεριφορές υγείας.

Ως προς το σενάριο εργασίας, βασισμένο στην περίπτωση χρήσης βιο-αισθητήρων για παρακολούθηση του παγκρέατος, παραθέτουμε τα εξής βασικά συμπεράσματα σχετικά με τη σημασία της εξασθένησης σε σχέση με την απόσταση για τα δίκτυα περιοχής σώματος (BAN):

1. Τα σήματα εξασθενούν καθώς ταξιδεύουν μέσα από τους ιστούς, τον αέρα και γύρω από τις δομές του σώματος. Αυτό περιορίζει το εύρος της αξιόπιστης επικοινωνίας, επηρεάζοντας την ποιότητα της μεταφοράς δεδομένων και την κατανάλωση ενέργειας.
2. Η υψηλότερη εξασθένηση απαιτεί περισσότερη ισχύ για τη διατήρηση της ισχύος του σήματος, πράγμα κρίσιμο για τα BAN, όπου οι συσκευές έχουν συχνά περιορισμένη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Η κατανόηση της εξασθένησης συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της χρήσης ισχύος για την παράταση της διάρκειας ζωής της συσκευής.

3. Η εξασθένιση επηρεάζει τον τρόπο τοποθέτησης των συσκευών πάνω ή γύρω από το σώμα για να διασφαλιστεί συνεπής συνδεσιμότητα. Τα μέρη του σώματος που δημιουργούν φυσικά εμπόδια (όπως τα χέρια ή τα πόδια) μπορούν να αυξήσουν την εξασθένιση, καθιστώντας τη στρατηγική τοποθέτηση της συσκευής απαραίτητη.
4. Οι χαμηλότερες συχνότητες παρουσιάζουν γενικά μικρότερη εξασθένιση και διαπερνούν τους ιστούς του σώματος πιο αποτελεσματικά, ενώ οι υψηλότερες συχνότητες έχουν μικρότερη εμβέλεια αλλά μπορούν να μεταφέρουν περισσότερα δεδομένα. Η επιλογή της συχνότητας πρέπει να εξισορροπεί τις απαιτήσεις δεδομένων και τους περιορισμούς ισχύος.
5. Η κατανόηση της εξασθένισης βοηθά στο σχεδιασμό συστημάτων που ελαχιστοποιούν τις παρεμβολές από σήματα που ανακλώνται από επιφάνειες του σώματος ή άλλα αντικείμενα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε πολυσύχναστους χώρους με πολλά BAN, όπου οι παρεμβολές θα μπορούσαν να διαταράξουν την επικοινωνία.
6. Για τα BAN παρακολούθησης της υγείας, η αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας. Λαμβάνοντας υπόψη την εξασθένιση, οι σχεδιαστές μπορούν να ενισχύσουν την ανθεκτικότητα του σήματος, εξασφαλίζοντας συνεχή ροή δεδομένων για εφαρμογές όπως η παρακολούθηση της καρδιάς ή οι αισθητήρες γλυκόζης.
7. Η εξασθένιση του σήματος σε σχέση με την απόσταση μπορεί επίσης να χρησιμεύσει ως φυσικό επίπεδο ασφαλείας, περιορίζοντας το εύρος στο οποίο μπορούν να υποκλαπούν τα δεδομένα. Αυτό μειώνει τον κίνδυνο υποκλοπής ευαίσθητων δεδομένων υγείας.

Βελτιστοποιώντας την εξασθένιση, οι σχεδιαστές μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση, την αποδοτικότητα ισχύος, την αξιοπιστία και την ασφάλεια του BAN, τα οποία είναι απαραίτητα για την αποτελεσματική, μακροπρόθεσμη ανάπτυξη σε εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης και προσωπικής παρακολούθησης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. G. Yang, et al, “A health-iot platform based on the integration of intelligent packaging, unobtrusive bio-sensor, and intelligent medicine box”, *IEEE Transactions on industrial informatics* 10.4 (2014), pp. 2180-2191.
2. G. Muhammad, S. M. M. Rahman, A. Alelaiwi, and A. Alamri, “Smart health solution integrating IoT and cloud: a case study of voice pathology monitoring”, *IEEE Communications Magazine* 55.1 (2017), pp. 69-73.
3. K. Ullah, M. A. Shah, and S. Zhang, “Effective ways to use Internet of Things in the field of medical and smart health care”, 2016 International Conference on Intelligent Systems Engineering (ICISE), Islamabad, Pakistan, January 15-17, 2016.
4. B. M. Steinhaus, R. E. Smith, and P. Crosby, “The role of telecommunications in future implantable device systems”, 16th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS), Baltimore, USA, November 3-6, 1994, pp. 1013–1014.
5. K. Natarajan, B. Prasath, and P. Kokila, “Smart health care system using internet of things”, *Journal of Network Communications and Emerging Technologies (JNCET)*, Volume 6, Issue 3, March (2016).
6. Electronic Healthcare Data Record Security Using Blockchain and Smart Contract, Farjana Khanam Nishi, Mahizebin Shams-E-Mofiz, Mohammad Monirujjaman Khan, Abdulmajeed Alsufyani, Sami Bourouis Punit Gupta, Dinesh Kumar Saini
7. IEEE 802.15 WPAN Task Group 6 (TG6) Body Area Networks. <http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html>.
8. A. Alomainy and Y. Hao, “Modeling and characterization of biotelemetric radio channel from ingested implants considering organ contents”, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 57, pp. 999–1005, April 2009.
9. A. Alomainy, Y. Hao, Y. Yuan, and Y. Liu, “Modelling and characterisation of radio propagation from wireless implants at different frequencies”, 9th European Conference on Wireless Technology, Manchester, UK, September 10-12, 2006, pp. 119–122.
10. K. Sayrafian-Pour, W. B. Yang, J. Hagedron, J. Terrill, and K. Y. Yazdandoost, “A statistical path loss model for medical implant communication channels”, *IEEE 20th Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Symposium (PIMRC)*, Tokyo, Japan, September 13-16, 2009.
11. V. D. Santis and M. Feliziani, “Intra-Body Channel Characterization of Medical Implant Devices”, 10th International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe), York, UK, September 26-30, 2011.

12. A. Sani, Alomainy and Y. Hao, "Numerical characterization and link budget evaluation of wireless implants considering different digital human phantoms", *IEEE. Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 57, no. 10, pp. 2605-2613, 2009.
13. K. Lopez-Linares Roman, G. Vermeeren, A. Thielens, W. Joseph, and L. Martens, "Characterization of path loss and absorption for a wireless radio frequency link between an in-body endoscopy capsule and a receiver outside the body", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Vol. 21, 2014.
14. A. J. Johansson, "Performance of a radio link between a base station and a medical implant utilising the MICS standard", 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS), San Francisco, USA, September 1-5, 2004, pp. 2113–2116.
15. K. I. Ziri-Castro, W. G. Scanlon, and N. E. Evans, "Indoor radio channel characterization and modeling for a 5.2-GHz bodyworn receiver", *Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 3, no. 1, pp. 219–222, 2004.
16. A. Robin, *Electromagnetic modelling of human tissues and its application on the interaction between antenna and human body in the BAN context*. Phd Thesis: Universite Paris-Est, 2009.
17. C. J. Panagamuwa, W. G. Whittow, R. M. Edwards and J. C. Vardaxoglou, "Experimental Verification of a Modified Specific Anthropomorphic Mannequin (SAM) Head used for SAR Measurements", 2007 Antennas and Propagation Conference (LAPC), Loughborough, UK, April 2-3, 2007, no. 2-3, pp. 261 -264.
18. H. B. Lim, D. Baumann and L. Er-Ping , "A Human Body Model for Efficient Numerical Characterization of UWB Signal Propagation in Wireless Body Area Networks", *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 58, no. 3, pp.689 -697, 2011.
19. I. Aoyagi, T. M. Kim and J. Takada, "The utilization of body skeleton model for modeling the dynamic BAN channels", 6th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), Prague, Czech Republic, March 26-30, 2012, no. 26, pp. 540-543.
20. M. Grimm and D. Manteuffel, "Electromagnetic wave propagation on human trunk models excited by half-wavelength dipoles", 2010 Antennas and Propagation Conference (LAPC), Loughborough, UK, November 8-9, 2010, no. 8-9, pp. 493 -496.
21. M. J. Ackerman, "The visible human project", *Proc. IEEE*, vol. 86, no.3, pp. 504–511, Mar. 1998.
22. Calculation of the dielectric properties of body tissues, Institute for Applied Physics, Italian National Research Council, Florence, Italy. <http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop>.

23. ITIS Database for thermal and electromagnetic parameters of biological tissues, Version 3.0, September 1st, 2015, DOI: 10.13099/VIP21000-03-0. www.itis.ethz.ch/database.
24. C. Li, et al, "Identification of pancreatic cancer stem cells", *Cancer research* 67.3 (2007), pp. 1030-1037.
25. M. H. Kaiser, and S. S. Ellenberg, "Pancreatic cancer: adjuvant combined radiation and chemotherapy following curative resection", *Archives of surgery* 120.8 (1985), pp. 899-903.
26. D. Li, K. Xie, R. Wolff, and J. L. Abbruzzese, "Pancreatic cancer", *The Lancet* 363.9414 (2004), pp. 1049-1057.
27. E. L. Bradley, "A clinically based classification system for acute pancreatitis: summary of the International Symposium on Acute Pancreatitis, Atlanta, Ga, September 11 through 13, 1992", *Archives of surgery* 128.5 (1993), pp. 586-590.
28. E. J. Balthazar, D. L. Robinson, A. J. Megibow, and J. H. Ranson, "Acute pancreatitis: value of CT in establishing prognosis", *Radiology* 174.2 (1990), pp. 331-336.
29. K. Yoshida, F. Toki, T. Takeuchi, S. I. Watanabe, K. Shiratori, and N. Hayashi, "Chronic pancreatitis caused by an autoimmune abnormality", *Digestive diseases and sciences* 40.7 (1995), pp. 1561-1568.
30. T. Chrysikos, I. Zisi and S. Kotsopoulos, "Channel modeling and path loss characterization for in-body propagation at MICS and ISM bands", *Wireless Telecommunications Symposium 2016 (WTS 2016)*, London, UK, April 18-20, 2016.
31. W. C. Jakes (Ed.), *Microwave mobile communications*. New York, NY: Wiley Interscience, 1974.
32. Falling Walls Lab: <http://www.falling-walls.com>.
33. T. Chrysikos, I. Zisi, and S. Kotsopoulos, "Investigation of small-scale fading for pancreas-to-skin in-body propagation", *Wireless Telecommunications Symposium (WTS 2017)*, Chicago, USA, April 26-28, 2017.
34. T. Chrysikos, Iliana Zisi, C. Katsini, G. Raptis and S. Kotsopoulos, "Monitoring, Tracking, and Recording Pancreas-Related Health Issues in Real Time", *Journal of Physics: Conference Series*. 1. 931. No. 1. IOP Publishing, 2017.
35. T. Chrysikos, I. Zisi, C. Katsini, G. Raptis and S. Kotsopoulos, "WHEAMO: A Wireless Health Platform for Monitoring Pancreas-Related Diseases", *7th Conference on Biomedical Technology (ELEVIT 2017)*, Athens, Greece, April 7, 2017.
36. A. Taflove, *Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method*. Norwood, MA: Artech House, 1995.

37. T. Rappaport, *Wireless Communications: Principles & Practice*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.
38. J. Seybold, *Introduction to RF Propagation*. Hoboken, NJ: Wiley Interscience, 2005.
39. Chrysikos, Theofilos, et al. "Measurement-based characterization of the 3.5 GHz channel for 5G-enabled IoT at complex industrial and office topologies." *2018 Wireless Telecommunications Symposium (WTS)*. IEEE, 2018.
40. Tyrovolas, Dimitrios, Theofilos Chrysikos, and Stavros Kotsopoulos. "A New Proposed Fuzzy Medical Care System For Remote Health Monitoring Using Wearable Antennas." *Wireless Telecommunications Symposium (WTS 2019), New York City, USA*. 2019.