



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ

Συστήματα Υποστήριξης Διαβίωσης σε  
Έξυπνα Περιβάλλοντα

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

της

ΕΛΕΝΗΣ ΜΠΟΥΜΠΙΑ

Επιβλέπων: Αθανάσιος Κακαρούνας

Λαμία, Σεπτέμβριος 2023





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ

# Συστήματα Υποστήριξης Διαβίωσης σε Έξυπνα Περιβάλλοντα

## ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

της

**ΕΛΕΝΗΣ ΜΠΟΥΜΠΑ**

**Επιβλέπων:** Αθανάσιος Κακαρούνας

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 19 Σεπτεμβρίου 2023.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....

Αθανάσιος Κακαρούνας

Αναπληρωτής Καθηγητής

.....

Βασίλειος Πλαγιανάκος

Καθηγητής

.....

Ηλίας Μαγκλογιάννης

Καθηγητής

Λαμία, Σεπτέμβριος 2023





Copyright ©–All rights reserved Ελένη Α. Μπούμπα, 2023.

### Υπεύθυνη Δήλωση

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

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

(Υπογραφή)

Ελένη Α. Μπούμπα



# Περίληψη

Η παρούσα διατριβή ασχολείται με ζητήματα της Ενεργούς και Υποβοηθούμενης Διαβίωσης, μελετώντας και αναπτύσσοντας λύσεις για την υποστήριξη της Ενεργούς και Υποβοηθούμενης Διαβίωσης τόσο σε οικιακό, όσο και σε αστικό περιβάλλον. Η παρουσίαση των επιμέρους ζητημάτων και αποτελεσμάτων της διατριβής οργανώνονται ως ακολούθως:

Στο Κεφάλαιο 1 παρέχονται οι βασικές έννοιες που αφορούν την Ενεργό και Υποβοηθούμενη Διαβίωση. Έπειτα αναπτύσσονται τα προκύπτοντα ερευνητικά ζητήματα σχετικά με το θέμα προς μελέτη, καθώς και οι τεχνολογικές λύσεις διαβίωσης που παρέχονται στο πλαίσιο των έξυπνων περιβάλλοντων.

Το Κεφάλαιο 2 μας εισάγει στα συστήματα υποστήριξης για ηλικιωμένα άτομα εντός του οικιακού τους περιβάλλοντος, μέσω μια εκτενούς βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Η συγκεκριμένη ανασκόπηση αποσκοπεί στην αποσαφήνιση τόσο των βασικών ορισμών, όσο και των δομικών τεχνολογικών στοιχείων τα οποία απαιτούνται για την ανάπτυξη ενός τέτοιου είδους συστήματος.

Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 3 προτείνεται ένα σύστημα, το οποίο στοχεύει στην παροχή υποβοήθησης και υποστήριξης σε ηλικιωμένους ανθρώπους. Σκοπός του προτεινόμενου συστήματος, είναι η υγιής γήρανση των ηλικιωμένων ατόμων στο οικιακό τους περιβάλλον, η οποία εξασφαλίζεται μέσω της υποστήριξης, της προστασίας, της ευεξίας και της διατήρηση της υγείας και των λειτουργικών τους ικανοτήτων.

Στο επόμενο Κεφάλαιο, το ζήτημα της υποστήριξης των ατόμων στο οικιακό τους περιβάλλον επικεντρώνεται στα άτομα που πάσχουν από άνοια. Το σύστημα που παρουσιάζεται είναι ένα οικιακό σύστημα υποβοήθησης για τα άτομα που πάσχουν από άνοια. Το εν λόγω σύστημα αξιοποιεί τα ηχητικά ερεθίσματα, μέσω των οποίων αποσκοπεί στη διέγερση της μνήμης των πασχόντων, στην ανάκληση των αναμνήσεών τους και στην επιτυχή αναγνώριση των συγγενικών και οικείων τους προσώπων.

Τα επόμενα δύο Κεφάλαια, ασχολούνται με την επέκταση της Ενεργούς και Υποβοηθούμενης Διαβίωσης εκτός των ορίων μιας οικίας, και συγκεκριμένα στα όρια του αστικού περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο 5 προτείνονται ορισμένοι τρόποι, με τους οποίους μπορούν να επιτευχθεί η επέκταση της Ενεργούς και Υποβοηθούμενης Διαβίωσης σε ένα αστικό περιβάλλον. Στη συνέχεια, προτείνεται ένα

ολιστικό σύστημα για την εξυπηρέτηση των αναγκών διαφόρων χρηστών σχετικά το Πρόβλημα της Δρομολόγησης των Οχημάτων σε ένα αστικό περιβάλλον, καθώς είναι ένα ζήτημα το οποίο επηρεάζει ποικιλοτρόπως την Ενεργό και Υποβοηθούμενη Διαβίωση των κατοίκων μιας πόλης.

Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 7, συζητούνται ορισμένα σημαντικά ζητήματα και ανησυχίες τα οποία προέκυψαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διατριβής. Οι ανησυχίες αυτές αφορούν στην ασφάλεια και το απόρρητο των συλλεγόμενων δεδομένων από τις διάφορες φορητές συσκευές υγειονομικής περίθαλψης. Επίσης, μελετώνται ορισμένες αναδυόμενες τεχνολογίες στο ζήτημα της ασφάλειας και του απορρήτου των δεδομένων, οι οποίες φαίνεται πως μπορούν να προσφέρουν λύσεις σε ορισμένα από αυτά τα ζητήματα.

Τέλος, η παρουσίαση της διατριβής ολοκληρώνεται με το Κεφάλαιο 8. Στο συγκεκριμένο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η συνεισφορά και τα γενικά συμπεράσματα της παρούσας διατριβής, καθώς και ορισμένες μελλοντικές της επεκτάσεις.



# Abstract

This thesis investigates Active and Assisted Living issues, studying and developing solutions to support Active and Assisted Living in both domestic and urban environments. The structure of the individual issues and results of the thesis is organized as follows:

In Chapter 1 the basic concepts regarding Active and Assisted Living are provided. The questions related to this research topic, as well as the technological solutions that are provided in the context of smart environments, are discussed.

Chapter 2 is introducing the support systems for older people within their home environment through an extensive literature review. This review aims to clarify both the basic definitions and the structural technological elements that are required to develop such systems.

The proposed system in Chapter 3, aims to provide assistance and support to older people. The purpose of this system is the healthy aging of elderly people in their home environment, which is achieved through the support, safety, well-being, and preservation of their health and functional abilities.

In the next Chapter, the topic of people's assisted living in their home environment focuses on people suffering from dementia. The presented system is a home assistive system for people with dementia. The system utilizes sound stimuli through which it aims to stimulate the memory of the sufferers, to recall their memories, and to recognize their relatives and familiar persons successfully.

The next two Chapters deal with the expansion of the term Active and Assisted Living out of the environment of a home, such as the urban environment. More specifically, in Chapter 5 some solutions for the expansion of Active and Assisted Living in an urban environment are proposed. Then, a holistic system to serve the needs of various users regarding the Vehicle Routing Problem in an urban environment is presented, as the Vehicle Routing Problem is an issue that affects in various ways the Active and Assisted Living of a city's residents.

Furthermore, in Chapter 7, some important issues and concerns that arose during this thesis are discussed. These concerns relate to the safety, security, and privacy of the collected data by various wearable healthcare devices. Also, some emerging

technologies in the topic of data security and privacy are being studied, which seem to be able to offer solutions to some of these problems.

Finally, this thesis is concluded with Chapter 8. This Chapter presents the contribution and general conclusions of this thesis, as well as some future extensions.

# Ευχαριστίες

*Τα καλά μας έρχονται με δυσκολία κι έπειτα από αναζήτηση  
Δημόκριτος*

Η αναζήτηση της Γνώσης είναι αέναη. Γι' αυτό το λόγο, δεν είμαι σίγουρη εάν με την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής έχω τη Γνώση ή τώρα ξεκινάει το ταξίδι μου προς εκείνη. Όπως και να έχει, η ολοκλήρωση του διδακτορικού κύκλου σπουδών μου ήταν ένα συναρπαστικό ταξίδι που έγινε ακόμη πιο όμορφο εξαιτίας ορισμένων ανθρώπων τους οποίους κι ευχαριστώ θερμά. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Αθανάσιο Κακαρούντα ο οποίος μου έδωσε τη δυνατότητα και το κουράγιο ώστε να ξεκινήσω, αλλά και την καθοδήγηση και την υπομονή του ώστε να ολοκληρώσω αυτό τον κύκλο σπουδών.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον κ. Βασίλειο Κόκκινο, ο οποίος ήταν διαρκώς δίπλα μου - από την πρώτη μέρα της γνωριμίας μας - για να με συμβουλέψει και να με καθοδηγήσει. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα. Μαρία Αδάμ και τον κ. Γιώργο Σπαθούλα, για τις πολύτιμες συμβουλές τους και τη διαρκή τους υποστήριξη και ενθάρρυνση για την επίτευξη των στόχων μου.

Φυσικά δεν θα μπορούσα να παραλείψω τους συναδέλφους μου, για όλα όσα με δίδαξαν όλα αυτά τα χρόνια μέσα από τη συνεργασία μας, καθώς και τους φίλους μου, οι οποίοι είναι στο πλάι μου, υπομένοντας πολλές φορές την κούραση και την απογοήτευσή μου και δίνοντας μου κουράγιο ώστε να συνεχίσω και να επιτύχω το σκοπό μου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, καθώς δίχως εκείνη δεν θα ήμουν ο άνθρωπος που είμαι σήμερα και γιατί με την υποστήριξή της συνεχίζω να αγωνίζομαι για την εκπλήρωση των ονείρων μου.



# Περιεχόμενα

Περίληψη	i
Abstract	iii
Ευχαριστίες	v
Περιεχόμενα	x
Κατάλογος Σχημάτων	xiii
Κατάλογος Πινάκων	xvi
<b>I Εισαγωγικές Έννοιες</b>	<b>1</b>
<b>1 Εισαγωγή</b>	<b>3</b>
1.1 Η Ενεργή και Υποβοηθούμενη Διαβίωση . . . . .	3
1.1.1 Ομάδα στόχος . . . . .	4
1.1.2 Πλαίσια εφαρμογής . . . . .	5
1.1.3 Λειτουργίες . . . . .	7
1.2 Προκύπτοντα ερευνητικά ζητήματα . . . . .	8
1.2.1 Τα συλλεγόμενα δεδομένα . . . . .	8
1.2.2 Ασφάλεια . . . . .	9
1.2.3 Τεχνητή Νοημοσύνη . . . . .	9
1.2.4 Υλικό . . . . .	9
1.3 Τεχνολογικές λύσεις . . . . .	10
<b>II Η Υποστηριζόμενη Διαβίωση εντός του Οικιακού Περιβάλλοντος</b>	<b>13</b>
<b>2 Οικιακά συστήματα υποστήριξης για ηλικιωμένους ανθρώπους</b>	<b>15</b>

2.1	Εισαγωγή . . . . .	15
2.2	Υφιστάμενες λύσεις έξυπνων σπιτιών για ηλικιωμένους ανθρώπους . . .	18
2.2.1	Εμπορικές λύσεις . . . . .	18
2.2.2	Ερευνητικές εργασίες . . . . .	19
2.3	Προκλήσεις . . . . .	26
2.4	Τεχνολογία Αιχμής . . . . .	29
2.5	Τεχνολογίες . . . . .	32
2.5.1	Αισθητήρες . . . . .	33
2.5.2	Επικοινωνία . . . . .	34
2.5.3	Η αποθήκευση των δεδομένων . . . . .	36
2.6	Τεχνολογικές προκλήσεις στα έξυπνα σπίτια . . . . .	36
2.6.1	Ρομποτικά συστήματα . . . . .	37
2.6.2	Τεχνητή Νοημοσύνη . . . . .	37
2.6.3	Μηχανική Μάθηση . . . . .	38
2.7	Συμπεράσματα . . . . .	38
<b>3</b>	<b>Έξυπνο σύστημα υποστήριξης ηλικιωμένων στο οικιακό τους περιβάλλον</b>	<b>41</b>
3.1	Εισαγωγή . . . . .	41
3.2	Το προτεινόμενο σύστημα . . . . .	42
3.2.1	Υποσύστημα ασφαλείας . . . . .	43
3.2.2	Υποσύστημα ευημερίας . . . . .	44
3.2.3	Υποσύστημα υποστήριξης . . . . .	44
3.3	Υλοποίηση του συστήματος . . . . .	45
3.3.1	Υποσύστημα ασφαλείας . . . . .	45
3.3.2	Υποσύστημα ευημερίας . . . . .	46
3.3.3	Υποσύστημα υποστήριξης . . . . .	47
3.4	Αποτελέσματα . . . . .	48
3.4.1	Υποσύστημα ασφαλείας . . . . .	48
3.4.2	Υποσύστημα ευημερίας . . . . .	49
3.4.3	Υποσύστημα υποστήριξης . . . . .	54
3.5	Συμπεράσματα . . . . .	55
<b>4</b>	<b>Οικιακό σύστημα υποβοήθησης για άτομα που πάσχουν από άνοια</b>	<b>57</b>
4.1	Εισαγωγή . . . . .	57
4.2	Βιβλιογραφική ανασκόπηση υφιστάμενων προσεγγίσεων για άτομα που πάσχουν από άνοια . . . . .	60

4.2.1	Οικιακά συστήματα υποστήριξης για άτομα που πάσχουν από άνοια . . . . .	60
4.2.2	Οικιακά συστήματα επιτήρησης για άτομα που πάσχουν από άνοια . . . . .	62
4.2.3	Άλλα συστήματα για άτομα με άνοια . . . . .	66
4.3	Περιπτώσεις χρήσης του προτεινόμενου συστήματος . . . . .	68
4.3.1	Σενάριο λειτουργίας του προτεινόμενου συστήματος σε ένα τυπικό σπίτι . . . . .	70
4.4	Η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου συστήματος . . . . .	72
4.4.1	Η cloud αρχιτεκτονική του συστήματος . . . . .	74
4.4.2	Δικτυακή υποδομή στο έξυπνο σπίτι . . . . .	75
4.5	Η υλοποίηση του προτεινόμενου συστήματος . . . . .	77
4.5.1	Cloud/Διακομιστής . . . . .	77
4.5.2	Το Έξυπνο Σπίτι . . . . .	78
4.5.3	Η εφαρμογή για το κινητό τηλέφωνο . . . . .	80
4.6	Αποτελέσματα αξιολόγησης . . . . .	80
4.6.1	Το σύνολο των δοκιμών . . . . .	82
4.6.2	Η θέση του πάσχοντα στον χώρο . . . . .	85
4.6.3	Η αναπαραγωγή του ήχου από το κατάλληλο ηχείο . . . . .	86
4.7	Μελλοντικές επεκτάσεις . . . . .	86
4.8	Συμπεράσματα . . . . .	91

### **III Η Υποστηριζόμενη Διαβίωση εκτός του Οικιακού Περιβάλλοντος** **93**

<b>5</b>	<b>Η επέκταση της Ενεργού και Υποστηριζόμενης Διαβίωσης στο αστικό περιβάλλον</b>	<b>95</b>
5.1	Εισαγωγή . . . . .	95
5.2	Η αξιοποίηση ενός συστήματος δρομολόγησης οχημάτων στην ενεργό και υποβοηθούμενη διαβίωση . . . . .	96
5.2.1	Έγκαιρη παροχή βοήθειας . . . . .	97
5.2.2	Αποτελεσματική διανομή φαρμάκων . . . . .	97
5.3	Συμπεράσματα . . . . .	98
<b>6</b>	<b>Σύστημα έγκαιρης δρομολόγησης σε αστικό περιβάλλον</b>	<b>99</b>
6.1	Εισαγωγή . . . . .	99
6.2	Το πρόβλημα της δρομολόγησης των οχημάτων . . . . .	100

6.3	Οι υφιστάμενες υπηρεσίες δρομολόγησης . . . . .	102
6.4	Προσδιορισμός των βασικών σημείων των υφιστάμενων λύσεων δρομολόγησης των οχημάτων . . . . .	108
6.5	Ανασκόπηση των υπηρεσιών δρομολόγησης οχημάτων με ενσωματωμένες τεχνικές Μηχανικής Μάθησης . . . . .	112
6.6	Προσδιορισμός των βασικών σημείων των υπηρεσιών δρομολόγησης οχημάτων που βασίζονται στη Μηχανική Μάθηση . . . . .	116
6.7	Το προτεινόμενο σύστημα για τη δρομολόγηση οχημάτων σε αστικό περιβάλλον . . . . .	119
6.7.1	Αξιολόγηση του προτεινόμενου συστήματος . . . . .	121
6.8	Συμπεράσματα . . . . .	126
 <b>IV Οι Τεχνολογικές Προκλήσεις στην Υποστηριζόμενη Διαβίωση</b>		<b>129</b>
7	<b>Ζητήματα ασφάλειας και απορρήτου στις φορητές συσκευές υγειονομικής περίθαλψης και οι αναδυόμενες εναλλακτικές προσεγγίσεις</b>	<b>131</b>
7.1	Εισαγωγή . . . . .	132
7.2	Τα προβλήματα απορρήτου και ασφάλειας στις φορητές συσκευές . . . . .	135
7.2.1	Η συμπεριφορά του χρήστη . . . . .	136
7.2.2	Η μεταφορά των δεδομένων . . . . .	137
7.2.3	Η αποθήκευση των δεδομένων . . . . .	137
7.3	Απειλές και επιθέσεις . . . . .	138
7.4	Ανασκόπηση σχετικών εργασιών . . . . .	142
7.5	Τεχνολογικά αναδυόμενες προσεγγίσεις . . . . .	144
7.5.1	Federated Learning . . . . .	145
7.5.2	Ομορφική Κρυπτογράφηση . . . . .	147
7.5.3	Tiny Machine Learning . . . . .	149
7.6	Συμπεράσματα . . . . .	151
 <b>V Συμπεράσματα</b>		<b>153</b>
8	<b>Συμπεράσματα Διατριβής</b>	<b>155</b>



# Κατάλογος Σχημάτων

1.1	Οι θεμελιώδεις πτυχές οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός συστήματος Ενεργούς και Υποβοηθούμενης Διαβίωσης. . . . .	4
1.2	Οι θεμελιώδεις πτυχές ενός έξυπνου σπιτιού Ενεργούς και Υποβοηθούμενης Διαβίωσης. . . . .	6
2.1	Η κατηγοριοποίηση των αισθητήρων που μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα έξυπνο σπίτι, όπως έχει προταθεί στην εργασία [9]. . . . .	33
2.2	Η κατηγοριοποίηση του δικτύου επικοινωνίας μιας υποδομής έξυπνου σπιτιού, όπως έχει προταθεί στην εργασία [9]. . . . .	34
3.1	Γραφική αναπαράσταση των μετρήσεων της θερμοκρασίας της συσκευής D3. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η μέση τιμή της θερμοκρασίας του συνόλου των μετρήσεων, με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι μέγιστες τιμές της θερμοκρασίας, ενώ με κίτρινο χρώμα φαίνονται οι ελάχιστες τιμές της θερμοκρασίας. . . . .	51
3.2	Γραφική αναπαράσταση των μετρήσεων της υγρασίας της συσκευής D3. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η μέση τιμή της υγρασίας του συνόλου των μετρήσεων, με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι μέγιστες τιμές της υγρασίας, ενώ με κίτρινο χρώμα φαίνονται οι ελάχιστες τιμές της υγρασίας. . . . .	52
3.3	Γραφική αναπαράσταση των μετρήσεων της διαρροής αερίου της συσκευής D3. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η μέση τιμή της μέση τιμή της διαρροής αερίου του συνόλου των μετρήσεων, με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι μέγιστες τιμές της διαρροής αερίου, ενώ με κίτρινο χρώμα φαίνονται οι ελάχιστες τιμές της διαρροής αερίου. . . . .	53

3.4	Γραφική αναπαράσταση των μετρήσεων της D4 συσκευής. Η μπλε γραμμή στο γράφημα απεικονίζει τη μέση τιμή των συνολικών μετρήσεων της θερμοκρασίας του μαγειρικού σκεύους που ήταν υπό επίβλεψη (π.χ. εστία μαγειρέματος και μαγειρικό σκεύος), ενώ οι κόκκινες κουκκίδες αντιστοιχούν στις μέγιστες τιμές της θερμοκρασίας, και με κίτρινες κουκκίδες αντιπροσωπεύουν τις ελάχιστες τιμές της θερμοκρασίας του αντικειμένου-στόχου. . . . .	54
4.1	Η κάτοψη ενός τυπικού σπιτιού για ένα πάσχοντα άτομο από άνοια. . .	71
4.2	Αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής του προτεινόμενου συστήματος στο επίπεδο της επικοινωνίας του χρήστη. . . . .	73
4.3	Η cloud αρχιτεκτονική του συστήματος και τα στοιχεία που την απαρτίζουν. . . . .	75
4.4	Η επικοινωνία του συστήματος από τη στιγμή της εισόδου ενός οικείου ατόμου στο σπίτι ενός ανθρώπου που πάσχει από άνοια, μέχρι τη στιγμή της αναπαραγωγής του σχετικού ήχου. . . . .	76
4.5	Η τοπολογία του δικτύου των έξυπνων ηχείων μέσα στο έξυπνο σπίτι. .	76
4.6	Ο πίνακας ελέγχου του <i>Πάσχοντα</i> , όπως εμφανίζεται στο <i>Διαχειριστή</i> του συστήματος. . . . .	77
4.7	Η διαχείριση της συσχέτισης ενός <i>Οικείου ατόμου</i> με έναν χαρακτηριστικό ήχο, όπως εμφανίζεται στο <i>Διαχειριστή</i> του συστήματος. . . . .	78
4.8	Απεικόνιση της αναζήτησης της τιμής RSSI. . . . .	79
4.9	(a) Η επιλογή του συσχετισμένου πάσχοντα ατόμου, (b) Η διαχείριση του έξυπνου ηχείου του σπιτιού, και (c) Η ρύθμιση της ασύρματης σύνδεσης Wi-Fi για το έξυπνο ηχείο. . . . .	81
4.10	Η τοπολογία των έξυπνων ηχείων στον χώρο στον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι πειραματικές δοκιμές. . . . .	82
6.1	Κατηγοριοποίηση των αναφερόμενων πολυπαραγοντικών και ενός παράγοντα προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων. . . . .	103
6.2	Η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου συστήματος, η οποία διασυνδέει όλα τα στάδια της διαδικασίας παράδοσης. . . . .	120
6.3	Στιγμιότυπο από τη διεπαφή του προτεινόμενου συστήματος για τον υπολογισμό μιας βέλτιστης διαδρομής. . . . .	124
6.4	Ο συνολικός χρόνος διάρκειας κάθε διαδρομής όπως υπολογίστηκε από την προτεινόμενη υλοποίηση και όπως διήρκτησε υπό πραγματικές συνθήκες. . . . .	125
6.5	Η συνολική απόσταση κάθε διαδρομής όπως υπολογίστηκε από το προτεινόμενο σύστημα και όπως διανύθηκε υπό πραγματικές συνθήκες. . .	126

6.6	Το ποσοστό της χρονικής βελτίωσης της διάρκειας διαδρομής από το προτεινόμενο σύστημα, για κάθε διαδρομή. . . . .	126
6.7	Το ποσοστό βελτίωσης της απόστασης διαδρομής από το προτεινόμενο σύστημα, για κάθε διαδρομή. . . . .	127
7.1	Η ροή μετάδοσης και μεταφοράς των συλλεγόμενων δεδομένων στα πλαίσια μιας έξυπνης πόλης. . . . .	132
7.2	Η ταξινόμηση των φορετών συσκευών παρακολούθησης της υγιεινομικής περιθάλψης όπως προτείνεται από τους συγγραφείς της εργασίας [235].	134



# Κατάλογος Πινάκων

2.1	Οι βασικές προδιαγραφές και απαιτήσεις για να καταστεί ένα έξυπνο σπίτι ασφαλές. . . . .	28
3.1	Αποτελέσματα των δοκιμών του υποσυστήματος ασφαλείας. . . . .	49
3.2	Αποτελέσματα των δοκιμών του υποσυστήματος υποστήριξης. . . . .	56
4.1	Εργασίες που αναφέρονται στην επιστημονική βιβλιογραφία σχετικά με την άνοια και την αξιοποίηση του ήχου ως ερέθισμα για την ανθρώπινη μνήμη. . . . .	84
4.2	Ανίχνευση της θέσης του πάσχοντα ατόμου, με βάση το RSSI της συσκευής Bluetooth του, όπως μετράται από τα έξυπνα ηχεία. Οι τιμές αντιστοιχούν στο πρώτο σετ δοκιμής (χρήστης = Οικείο άτομο No.1). 85	
4.3	Ανίχνευση της θέσης του πάσχοντα ατόμου, με βάση το RSSI της συσκευής Bluetooth του, όπως μετράται από τα έξυπνα ηχεία. Οι τιμές αντιστοιχούν στο δεύτερο σετ δοκιμών (χρήστης = Οικείο άτομο No.2). 86	
4.4	Σύγκριση του προτεινόμενου συστήματος με άλλες εργασίες που παρουσιάστηκαν τα τελευταία χρόνια στην ερευνητική βιβλιογραφία. Οι εργασίες που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1 έχουν επίσης προστεθεί, για να περιλαμβάνονται οι εργασίες που αξιοποιούν τον ήχο ως ερέθισμα ή ως βοήθημα για την ενδυνάμωση της ανθρώπινης μνήμης. 90	
6.1	Πίνακας σύγκρισης των χαρακτηριστικών των υπηρεσιών δρομολόγησης των οχημάτων. . . . .	110
6.2	Πίνακας σύγκρισης των δυνατοτήτων των υπηρεσιών δρομολόγησης οχημάτων που βασίζονται στη μηχανική μάθηση. . . . .	118

---

6.3	Ο συνολικός χρόνος και η συνολική απόσταση της βέλτιστης διαδρομής και για τις εννέα ενδεικτικές Διαδρομές, όπως υπολογίστηκαν από το προτεινόμενο σύστημα και όπως διήρκησαν κάτω από τις πραγματικές συνθήκες της διαδρομής. . . . .	124
7.1	Ταξινόμηση των απειλών και των επιθέσεων στις φορετές συσκευές. . .	142
7.2	Ταξινόμηση των αναδυόμενων προσεγγίσεων σε θέματα που αφορούν την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα των φορετών συσκευών υγειονομικής περίθαλψης. . . . .	151

# Μέρος Ι

## Εισαγωγικές Έννοιες





# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

Έξυπνο περιβάλλον είναι κάθε περιβάλλον στο οποίο συμπεριλαμβάνονται συστήματα, υπηρεσίες και συσκευές, με σκοπό να γίνει η ζωή των κατοίκων του πιο άνετη [65]. Η τεχνολογία η οποία έχει αναπτυχθεί γύρω από τα έξυπνα περιβάλλοντα, έχει βρει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών σε διάφορα πλαίσια, όπως η εκπαίδευση, η αποκατάσταση και η υποστήριξη ατόμων με προβλήματα υγείας, κ.ά. Στο πλαίσιο του έξυπνου σπιτιού, η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα της καθημερινής ζωής των κατοίκων του [165, 274]. Η αξιοποίηση της τεχνολογικής ανάπτυξης στο τομέα των έξυπνων περιβάλλοντων οδήγησαν και στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εποπτεία των ηλικιωμένων ατόμων, με κυριότερο σκοπό να παραταθεί η αυτόνομη ζωή τους. Επιπροσθέτως, η εποπτεία ατόμων που πάσχουν από ιδιαίτερες παθολογίες είναι μία στρατηγική για τον εντοπισμό ενδεχόμενων αλλαγών στον τρόπο ζωής και ύποπτων συμπεριφορών τους, οι οποίες θα μπορούσαν να προειδοποιήσουν για την εμφάνιση νευροεμφυλιστικών ασθενειών σε πολύ πρώιμο στάδιο. Έτσι, με απώτερο σκοπό την υποστήριξη των προαναφερθέντων ομάδων ατόμων, αναπτύχθηκαν προϊόντα και υπηρεσίες Ενεργούς και Υποβοηθούμενης Διαβίωσης - ΕΥΔ (Active and Assisted Living - AAL) προκειμένου να διατηρήσουν τους ανθρώπους υγιείς, αυτόνομους, δραστήριους και χαρούμενους στο επιθυμητό τους περιβάλλον διαβίωσης.

### 1.1 Η Ενεργή και Υποβοηθούμενη Διαβίωση

Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός συστήματος ΕΥΔ περιλαμβάνει διαφορετικές πτυχές που μπορούν να συνοψιστούν στις εξής τρεις κύριες λέξεις: *Ποιος*, *Που* και *Τι*. Τα άτομα-στόχος (*Ποιος*) είναι άτομα με διαφορετικές ανάγκες και ικανότητες, τα οποία πρέπει να παρακολουθούνται από το σύστημα. Τα πλαίσια εφαρμογής (*Που*) ποικίλουν από το εσωτερικό στο εξωτερικό περιβάλλον και κατ' επέκταση συμπεριλαμβάνουν διαφορετικές λύσεις τόσο από τεχνολογική, όσο κι από μεθοδολογική άποψη. Τέλος, ένα

σύστημα ΕΥΔ μπορεί να παρέχει ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών ( $T_i$ ), οι οποίες εκτείνονται από απλές ειδοποιήσεις, όταν συμβαίνουν ορισμένα επικίνδυνα γεγονότα, έως και την πιο σύνθετη συμπεριφορική ανάλυση. Στο Σχήμα 1.1 απεικονίζονται οι τρεις θεμελιώδεις πτυχές ενός συστήματος ΕΥΔ.

	Ποιος	Που	Τι
Ενεργή και Υποβοηθούμενη Διαβίωση	Άτομα ηλικίας 65-74 ετών	Χώρος διαμονής	Παρακολούθηση ζωτικών ενδείξεων
	Άτομα ηλικίας 75-84 ετών	Γραφεία και δημόσιοι χώροι	Διαχείριση αλλαγής συμπεριφοράς
	Άτομα ηλικίας >85 ετών	Πάρκα, δρόμοι, γειτονιές	Παρακολούθηση περιβαλλοντικών συνθηκών Παρακολούθηση κοινωνικής συμπεριφοράς

Σχήμα 1.1: Οι θεμελιώδεις πτυχές οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός συστήματος Ενεργούς και Υποβοηθούμενης Διαβίωσης.

### 1.1.1 Ομάδα στόχος

Τα συστήματα ΕΥΔ σχεδιάστηκαν για να απευθύνονται κυρίως σε ηλικιωμένους ενήλικες, με στόχο τη διατήρηση της συνεχούς υποστήριξης και την παράταση της αυτονομίας στη ζωή τους, με ενεργό και υγιή τρόπο. Τα ηλικιωμένα άτομα κατηγοριοποιούνται σε τρεις ομάδες, με βάση την ηλικία τους. Η ηλικιακή ομάδα μεταξύ 65 και 74 ετών ταξινομούνται ως νεότεροι ηλικιωμένοι, η ομάδα μεταξύ 75 και 84 ετών ως μεσαίοι ηλικιωμένοι και όσοι είναι άνω των 85 ετών, ως υπερήλικες [145]. Για όλες τις κατηγορίες ηλικιωμένων ανθρώπων, οι πρακτικές υγείας στοχεύουν στη διαχείριση των ασθενειών και παθήσεων τους, στην ειδοποίηση σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης και στη διαχείριση της συμπεριφορικής αλλαγής.

Σε ό,τι αφορά τη διαχείριση των ασθενειών και παθήσεων, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί ποικίλες εφαρμογές, όπως για τον έλεγχο του διαβήτη [201], τον έλεγχο της υπέρτασης [25], την τήρηση του προγράμματος της φαρμακευτικής αγωγής [74], κ.ά., με σκοπό να επιτρέψουν στους ανθρώπους να ζουν αυτόνομοι και ανε-

ξάρτητοι, έχοντας παράλληλα τη δυνατότητα του καθημερινού ελέγχου της κατάστασης της υγείας τους. Οι εφαρμογές ειδοποίησης σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης μπορούν να σώσουν μια ανθρώπινη ζωή, καθώς εντοπίζονται κρίσιμα γεγονότα, όπως είναι η περίπτωση μιας πτώσης, η παρατεταμένη αδράνεια ή οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι [140, 161, 163]. Επίσης, η έγκαιρη ανίχνευση των αλλαγών στη συμπεριφορά των ανθρώπων είναι απαραίτητη τόσο πριν από μια αξιοσημείωτη επιδείνωση των βασικών δραστηριοτήτων της καθημερινής ζωής του ατόμου, όσο και στον έγκαιρο εντοπισμό εκδήλωσης μιας νευροεκφυλιστικής πάθησης [49, 248, 258].

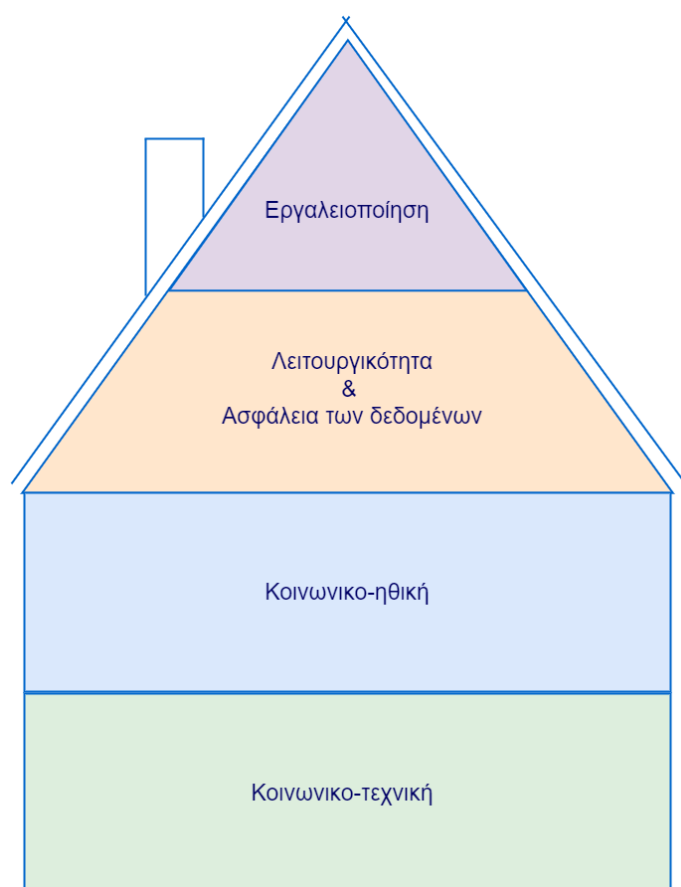
Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια επέκταση στην ομάδα στόχος των συστημάτων ΕΥΔ, καθώς πλέον στοχεύει στην εξασφάλιση της καλύτερης διαβίωσης για όλους, τόσο για τα εμπόδια που προκαλούνται λόγω της γήρανσης, όσο και για εκείνα που εμφανίζονται ως αποτέλεσμα συγκεκριμένων παθήσεων ή/και συνδρόμων. Έτσι, πλέον ένα σύστημα ΕΥΔ προσφέρει χρονική παράταση στην ανεξάρτητη διαβίωση των ατόμων στο περιβάλλον του σπιτιού τους, ενώ παράλληλα έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν διάφορες από τις καθημερινές τους εργασίες με πλήρη αυτονομία και ασφάλεια [46].

### 1.1.2 Πλαίσια εφαρμογής

Παρά όλο που ο ορισμός της ΕΥΔ αποσκοπεί στην κάλυψη όλου του εύρους των περιβάλλοντων - εσωτερικών και εξωτερικών - στη βιβλιογραφία οι περισσότερες έρευνες επικεντρώνονται σε συστήματα εσωτερικών περιβάλλοντων, και κυρίως στο περιβάλλον του σπιτιού. Ένα από τα κύρια πλαίσια εφαρμογών σχετίζονται με ιατρικές και δημόσιας υγείας πρακτικές, οι οποίες υποστηρίζονται από συσκευές παροχής υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης, μέσω των κινητών επικοινωνιών [161]. Έχουν αναπτυχθεί νέα συστήματα και μέθοδοι για τη συνεχή παρακολούθηση βιολογικών, συμπεριφορικών ή/και περιβαλλοντικών δεδομένων, την παροχή παρεμβάσεων και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους [58]. Μέσω της ανάπτυξης συστημάτων συλλογής δεδομένων - τα οποία προέρχονται από ετερογενείς αισθητήρες - μπορούν να προκύψουν νέες πληροφορίες σχετικά με τις φυσιολογικές, ψυχολογικές, συναισθηματικές και περιβαλλοντικές καταστάσεις του εποπτευόμενου ατόμου.

Καθώς η έρευνα επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη συστημάτων ΕΥΔ τα οποία αφορούν στην υποστήριξη, στην παρακολούθηση της υγείας και στην ασφάλεια των κατοίκων ενός σπιτιού, εφεξής έξυπνο σπίτι (smart home), οι πτυχές της ΕΥΔ χρειάστηκαν να επεκταθούν. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρθηκαν οι τέσσερις πιο σημαντικές πτυχές, οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη σε ένα έξυπνο σπίτι ΕΥΔ, όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 1.2, με στόχο την ευημερία, την παρακολούθηση της υγειονομικής περίθαλψης και τη διασφάλιση της καλύτερης δυνατής ποιότητας ζωής των κατοίκων του σπιτιού. Η κοινωνικο-τεχνική πτυχή είναι η πιο κρίσιμη συνιστώσα ενός έξυπνου σπιτιού ΕΥΔ

για τη διασφάλιση της βέλτιστης παρακολούθησης της υγειονομικής περιθαλψής των κατοίκων του. Η κοινωνικο-ηθική πτυχή αντιπροσωπεύεται από τη σημασία του να επιτρέπεται στους κατοίκους να ζουν σε ένα τεχνολογικά προηγμένο σπίτι, με ελάχιστες παρεμβάσεις στην ιδιωτική ζωή και την καθημερινή τους ζωή. Η πτυχή της λειτουργικότητας και της ασφάλειας των δεδομένων απεικονίζει στο διάγραμμα την ανάγκη για απλή και ασφαλή διαχείριση των δεδομένων που συλλέγονται από τους κατοίκους ενός έξυπνου σπιτιού. Ενώ, η εργαλειοποίηση αντιπροσωπεύει τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα του σπιτιού (Indoor Air Quality - IAQ) και της ενεργειακής απόδοσης, καθώς και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για την προώθηση της βιωσιμότητας και ενός πιο υγιούς περιβάλλοντος διαβίωσης [230, 273, 164].



Σχήμα 1.2: Οι θεμελιώδεις πτυχές ενός έξυπνου σπιτιού Ενεργούς και Υποβοηθούμενης Διαβίωσης.

Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια η ερευνητική κοινότητα έχει στραφεί και στην ανάπτυξη λύσεων για την επέκταση της ΕΥΔ από το εσωτερικό περιβάλλον, σε εξωτερικούς και δημόσιους χώρους - στο πλαίσιο της ανάπτυξης των έξυπνων πόλεων (smart cities) - με στόχο τη δημιουργία διαφόρων υπηρεσιών για τη βελτίωση της ευημερίας των αν-

θρώπων. Η πλειοψηφία των συγκεκριμένων εργασιών επικεντρώνονται στη συλλογή δεδομένων μέσω της παρατήρησης των ανθρώπων, την ασφαλή αποθήκευση των συλλεγόμενων δεδομένων και την ανάλυσή τους. Τα συστήματα παρέμβασης τα οποία έχει αναπτυχθεί, μπορούν να εφαρμοστούν τόσο για γενικά, όσο και για ειδικά σενάρια επόπτευσης. Αυτού του είδους τα συστήματα μπορούν να υποστηρίξουν τους κατοίκους μιας έξυπνης πόλης, παρέχοντάς τους διάφορες υποδείξεις και προτάσεις, οι οποίες βασίζονται στην ανάλυση των συλλεγόμενων δεδομένων [109], προκειμένου κυρίως να επιβραδύνουν την εξέλιξη της γνωστικής και συμπεριφορικής τους έκπτωσης [4, 48].

### 1.1.3 Λειτουργίες

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την πρόοδο της έρευνας, πλέον ένα σύστημα ΕΥΔ μπορεί να παρέχει τις υπηρεσίες του τόσο σε ηλικιωμένους ανθρώπους, όσο και σε άλλες ομάδες ατόμων, οι οποίες χρειάζονται την υποστήριξη από ένα σύστημα αυτού του είδους. Το πλήθος των προτεινόμενων συστημάτων ΕΥΔ είναι αρκετά μεγάλο και ποικίλο. Ωστόσο θα μπορούσαμε να τα κατηγοριοποιήσουμε σε τέσσερις ομάδες, με βάση την κύρια λειτουργία τους:

1. ΕΥΔ για την παρακολούθηση των ζωτικών ενδείξεων,
2. ΕΥΔ για τη διαχείριση των συμπεριφορικών αλλαγών,
3. ΕΥΔ για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών, και
4. ΕΥΔ για την παρακολούθηση της κοινωνικής συμπεριφοράς.

Για την κατηγορία των συστημάτων ΕΥΔ για την παρακολούθηση των ζωτικών ενδείξεων έχουν παρουσιαστεί και αναπτυχθεί μια πληθώρα συστημάτων, τα οποία για τη συλλογή των ζωτικών ενδείξεων έχουν αξιοποιήσει τη τεχνολογία της κινητής τηλεφωνίας, όπως τα smartphones, καθώς και τη τεχνολογία των φορετών συσκευών (wearable devices), όπως είναι τα έξυπνα ρολόγια (smart watches) και τα βραχιολάκια (wristbands) [160, 228]. Τα συστήματα ΕΥΔ για τη διαχείριση των συμπεριφορικών αλλαγών στοχεύουν στη διατήρηση της νοητικής ευεξίας των εποπτευόμενων ατόμων (κυρίως ηλικιωμένα άτομα και χρόνιοι πάσχοντες), καθώς και την ανίχνευση κάποιας ασυνήθιστης συμπεριφοράς, η οποία μπορεί να είναι ακόμη και κάποιο πρώιμο σύμπτωμα μιας πάθησης [248]. Στην κατηγορία των συστημάτων ΕΥΔ για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών έχουν προταθεί διάφορα συστήματα αισθητήρων για την παρακολούθηση της ατμόσφαιρας και της ποιότητας του αέρα τόσο στο εσωτερικό, όσο και στο εξωτερικό περιβάλλον [3, 246]. Ενώ, τα συστήματα ΕΥΔ για την παρακολούθηση της κοινωνικής συμπεριφοράς επικεντρώθηκαν τόσο στην παρακολούθηση

ορισμένων ποιοτικών χαρακτηριστικών των εποπτευόμενων ανθρώπων, όσο και στη διατήρηση της κοινωνικότητάς τους [19, 23].

Κλείνοντας, θα πρέπει να αναφερθούν ορισμένες παρατηρήσεις, όπως το γεγονός ότι όλα τα συστήματα ΕΥΔ - ανεξάρτητα από τις λειτουργίες τους και την κατηγορία στην οποία ανήκουν - έχουν αξιοποιήσει στο έπακρο την τεχνολογία του Διαδικτύου των Αντικειμένων (Internet of Things - IoT), και τις δυνατότητες που προσφέρει. Επιπλέον, ένα ακόμη κοινό χαρακτηριστικό όλων των συστημάτων ΕΥΔ είναι ότι είναι ανθρωποκεντρικές προσεγγίσεις, δηλαδή έχουν ως επίκεντρό τους τον άνθρωπο. Παράλληλα, είναι όσο το δυνατό λιγότερο επεμβατικές στο χώρο τον οποίο εγκαθίσταται, με απώτερο σκοπό την ηρεμία και τη μη διατάραξη του περιβάλλοντος διαβίωσης του εποπτευόμενου ατόμου.

## 1.2 Προκύπτοντα ερευνητικά ζητήματα

Η διαρκής ανάπτυξη και εξέλιξη των συστημάτων ΕΥΔ έχουν δημιουργήσει αρκετά ζητήματα τα οποία εγείρουν το ενδιαφέρον της ερευνητικής κοινότητας. Αυτά τα προκύπτοντα ζητήματα έχουν μεγάλο εύρος και πεδίο έρευνας και αναζήτησης. Για τον λόγο αυτό, ακολούθως θα γίνει μια συνοπτική αναφορά των πιο κρίσιμων και ενδιαφερόντων ερευνητικών ζητημάτων, όπως αυτά προέκυψαν κατά την εκπόνηση της παρούσας διατριβής.

### 1.2.1 Τα συλλεγόμενα δεδομένα

Τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται από τα συστήματα ΕΥΔ είναι ποικίλα και μπορούν να προέρχονται από οποιαδήποτε μορφή πηγής, π.χ. ενσωματωμένες συσκευές αισθητήρων (embedded devices), φορητές συσκευές, κινητές συσκευές, κ.ά. Έτσι, το πρώτο ζήτημα που θα μπορούσε κανείς να αναγνωρίσει εξ αρχής, είναι η ετερογένεια των δεδομένων εξαιτίας των διαφορετικών πηγών συλλογής τους. Επίσης, χάρη των διαφόρων πηγών συλλογής των δεδομένων προκύπτει και το ζήτημα του όγκου των δεδομένων. Η συλλογή μεγάλης ποικιλίας σύνθετων δεδομένων, σε αυξημένο όγκο και με μεγάλη ταχύτητα οδήγησε στην ανάγκη για την αντιμετώπιση των προκλήσεων των δεδομένων μεγάλου όγκου (big data). Επιπλέον, η μεταφορά, η αποθήκευση, η διαχείριση, η ανάλυση και η επεξεργασία των IoT δεδομένων ποικίλει ανάλογα με το είδος του εκάστοτε συστήματος και του πεδίου εφαρμογής του. Επίσης, η εκάστοτε ανεπτυγμένη λύση θα πρέπει να αποφέρει λειτουργική αποτελεσματικότητα, κοινωνικό αντίκτυπο και οικονομική αξία - στον κλάδο της βιομηχανίας [30].

### 1.2.2 Ασφάλεια

Η αρχιτεκτονική των συστημάτων ΕΥΔ ακολουθεί την αρχιτεκτονική ενός τυπικού ΙοΤ συστήματος σε ένα οποιοδήποτε έξυπνο περιβάλλον (έξυπνο σπίτι, έξυπνη πόλη, κλπ.). Τα επίπεδα της αρχιτεκτονικής αυτού του είδους συστημάτων είναι τα εξής:

- Το επίπεδο των συσκευών (sensing layer).
- Το επίπεδο της μετάδοσης (transmission layer).
- Το επίπεδο της διαχείρισης των δεδομένων (data management layer).
- Το επίπεδο της εφαρμογής των παρεχόμενων υπηρεσιών (application layer).

Τα συστήματα ΕΥΔ παρακολουθούν ζωτικές ενδείξεις και συλλέγουν πολύ προσωπικά και εμπιστευτικά δεδομένα των εποπτευόμενων ανθρώπων. Για το λόγο αυτό, υπάρχει η αναγκαιότητα για ασφάλεια σε όλα τα επίπεδα της υλοποίησης, καθώς η οποιαδήποτε αστοχία στην ασφάλεια μπορεί να επιφέρει πολύ σοβαρά προβλήματα [241].

### 1.2.3 Τεχνητή Νοημοσύνη

Η ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης - ΤΝ (Artificial Intelligence - AI) στα συστήματα ΕΥΔ θεωρείται ως ένα πολύ σημαντικό εργαλείο στην υποστήριξη και τη υποβοήθηση της ομάδας-στόχο. Δεδομένου των δυνατοτήτων των οποίων προσδίδει η ΤΝ σε αυτά τα συστήματα, οι έννοιες της ανεξαρτησίας, της αυτοδιάθεσης, καθώς και της ιδιωτικής ζωής επεκτείνονται και ενισχύονται χάρη της δυνατότητας συλλογής και επεξεργασίας μεγάλου όγκου προσωπικών δεδομένων. Συνδυάζοντας και ενσωματώνοντας δεδομένα από διάφορες πηγές, παρέχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζουν τις υπηρεσίες υγείας στις ατομικές ανάγκες και τους διαθέσιμους πόρους του εκάστοτε εποπτευόμενου ατόμου. Έτσι, αντί για έτοιμες υπηρεσίες υγείας, οι οποίες εξαρτώνται από μια προκαθορισμένη έννοια, τα συστήματα τα οποία βασίζονται στην ΤΝ προσδίδουν ευελιξία και προσαρμοστικότητα στις ατομικές ανάγκες [107].

### 1.2.4 Υλικό

Οι απαιτήσεις για τα συλλεγόμενα δεδομένα, την ασφάλεια των συστημάτων και την ενσωμάτωση της ΤΝ στα συστήματα, οδήγησε στην αναγκαιότητα για την ανάπτυξη νέου εξειδικευμένου υλικού (hardware). Πλέον οι καινούριες αρχιτεκτονικές των μικροεπεξεργαστών ενσωματώνουν γλώσσες προγραμματισμού υψηλού επιπέδου και τεχνικές ΤΝ, ώστε να μπορέσουν να αντεπεξέλθουν στις σύγχρονες απαιτήσεις των συστημάτων. Παράλληλα, η τάση στην ανάπτυξη νέου υλικού, οδηγεί στη μετατόπιση των λειτουργιών του συστήματος τοπικά στη συσκευή (on edge), καθώς έτσι

επιτυγχάνεται η ενίσχυση της ασφάλειας και της απόδοσης, καθώς και η μείωση του κόστους και της ενέργειάς της [111, 224].

### 1.3 Τεχνολογικές λύσεις

Η ανάπτυξη και η πρόοδος των συστημάτων ΕΥΔ έφερε στο επίκεντρο των ερευνητικών και τεχνολογικών εξελίξεων την εξατομικευμένη υγειονομική περίθαλψη, η οποία σε συνδυασμό με τη διερεύνηση των ερευνητικών ζητημάτων που προέκυψαν, οδήγησε σε μία νέα ευκαιρία επιδίωξης καλύτερων υπηρεσιών. Η εξατομικευση της υγειονομικής περίθαλψης φέρνει στο επίκεντρο των παρεχόμενων υπηρεσιών τον ίδιο τον πάσχοντα και τον εξατομικευμένο σχεδιασμό για την περίθαλψή του. Επιπλέον, η ετερογένεια των πασχόντων, σε συνδυασμό με τη μεταβλητότητα των αναγκών στις υπηρεσίες υποστήριξής τους, παρέχει την ευκαιρία να προσφέρει περισσότερη αξία στους πάσχοντες, μέσω της εξατομικευσης των υπηρεσιών υποστήριξής τους.

Μία έξυπνη πόλη μπορεί να συμβάλει αρκετά στην εξατομικευμένη υγειονομική περίθαλψη - και κατ' επέκταση στη διαβίωση - των πολιτών της. Μία έξυπνη πόλη προσφέρει τη δυνατότητα εισαγωγής έξυπνων συστημάτων διαχείρισης, τα οποία υποστηρίζουν την ψηφιακή συλλογή, επεξεργασία, αποθήκευση, μετάδοση και κοινή χρήση πληροφοριών των πολιτών της, όπως οι προσωπικές και κοινωνικές πληροφορίες. Ενώ, οι πηγές συλλογής δεδομένων μιας έξυπνης πόλης συμπεριλαμβάνουν βιομετρικούς αισθητήρες, (π.χ. καρδιακό ρυθμό), γονιδιωματικά δεδομένα (έκφραση γονιδίου, δεδομένα αλληλουχίας), δεδομένα πληρωτή-παρόχου (συνταγή φαρμακείου, αρχεία ασφάλισης) και ενεργοποιητές δεδομένων μέσω κοινωνικής δικτύωσης (κατάσταση ασθενών, ανατροφοδότηση), για την παρακολούθηση και την πρόβλεψη της βελτίωσης της ποιότητας των πολιτών [202].

Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να κατατάξουμε σε τρεις κατηγορίες τις παρεχόμενες λύσεις διαβίωσης, είτε αυτές αφορούν το ευρύτερο πλαίσιο μιας έξυπνης πόλης, είτε ένα πιο στενό πλαίσιο ενός μικρότερου περιβάλλοντος, όπως π.χ. το έξυπνο σπίτι. Ως εκ τούτου, οι κατηγορίες των παρεχόμενων τεχνολογικών λύσεων υποστηριζόμενης διαβίωσης είναι οι εξής ακόλουθες:

1. Προσωποποιημένες (Personalized),
2. Συσκευές (Devices), και
3. Υποδομές (Infrastructures).

Στην κατηγορία των προσωποποιημένων λύσεων κατατάσσονται όλα τα είδη έξυπνων συσκευών που μπορούν να φέρουν πάνω τους οι χρήστες (φορετές) με σκοπό την παρακολούθηση της υγειονομικής τους περίθαλψης. Αυτό το είδος των συσκευών



συλλέγει και παρακολουθεί διάφορους βιοδείκτες των χρηστών, όπως η θερμοκρασία του σώματός τους, η αρτηριακή πίεση, ο καρδιακός ρυθμός, κ.ά., καθώς και διάφορα συμπεριφορικά μοτίβα όπως το περπάτημα, η στάση του σώματός τους, κ.ά. Οι συγκεκριμένες συσκευές μπορούν να φορευθούν τόσο στο σώμα του χρήστη, όπως για παράδειγμα ένα ρολόι στον καρπό, ένα έμπλαστρο στο σώμα, παπούτσια στα πόδια, κ.ά., όσο και να τις μεταφέρουν πάνω τους οι χρήστες, όπως ένα (smartphone).

Η δεύτερη κατηγορία συμπεριλαμβάνει τις επονομαζόμενες ηλεκτρονικές συσκευές καταναλωτών (consumer electronic devices), οι οποίες έχουν ενσωματωμένους διάφορους αισθητήρες για την καταγραφή δεδομένων από το περιβάλλον. Αυτές οι συσκευές δεν φοριούνται από τον χρήστη, αλλά καταλαμβάνουν μια σταθερή θέση, με σκοπό την καταγραφή διαφόρων δεδομένων όπως κίνηση, πίεση, βίντεο, ήχο, κ.ά. Η συγκεκριμένη κατηγορία είναι πολύ σημαντική και κρίσιμης σημασίας, καθώς συλλέγονται πολύ σημαντικές πληροφορίες που αφορούν τα εποπτευόμενα άτομα. Επιπλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις τα εποπτευόμενα άτομα είτε ξεχνούν να φορέσουν τη φορητή συσκευή τους, είτε το κάνουν εσφαλμένα - ιδιαίτερα στην περίπτωση που πάσχουν από κάποια χρόνια ασθένεια/σύνδρομο.

Η κατηγορία των υποδομών περιλαμβάνει την παρακολούθηση διαφόρων παραμέτρων των χρηστών, την απόκτηση, την επεξεργασία και την ανάλυση των δεδομένων. Σε αυτή την κατηγορία αξιοποιείται περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη κατηγορία η ΤΝ, με σκοπό την ανάλυση των συλλεχθέντων δεδομένων, τη διεξαγωγή συμπερασμάτων, την αυτοματοποίηση ορισμένων διαδικασιών, την εξόρυξη γνώσης, κ.ά., τα οποία αφορούν στην υγειονομική παρακολούθηση του εποπτευόμενου ατόμου. Σε αυτή την κατηγορία απαραίτητη προϋπόθεση είναι η συμπερίληψη τουλάχιστον μίας από των δύο προηγούμενων κατηγοριών. Κι αυτό, διότι οι δύο προαναφερθέντες κατηγορίες επικεντρώνονται κυρίως στη συλλογή των δεδομένων από το εποπτευόμενο άτομο (sensing), ενώ εδώ δίνεται περισσότερη βαρύτητα στην ανάλυση των συλλεχθέντων δεδομένων και την αξιοποίησή τους για την εξόρυξη γνώσης και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Εν κατακλείδι, οι δύο από τις τρεις κατηγορίες των παρεχόμενων λύσεων διαβίωσης μπορούν μεμονωμένα να υποστηρίξουν την υγειονομική περίθαλψη - και κατ' επέκταση στη διαβίωση - των εποπτευόμενων ατόμων. Ωστόσο, οι παρεχόμενες υπηρεσίες υποστηριζόμενης διαβίωσης μπορεί να είναι είτε περιορισμένες ως προς το εύρος των αναγκών του ατόμου, είτε περιορισμένες στον χώρο, δηλαδή μόνο στο πλαίσιο της οικίας του εποπτευόμενου ατόμου. Έτσι, η υιοθέτηση μιας αρχιτεκτονικής η οποία να συμπεριλαμβάνει και τις τρεις κατηγορίες των λύσεων υποστηριζόμενης διαβίωσης, φαίνεται να είναι η πιο ολοκληρωμένη μέθοδος τόσο για τη κάλυψη των αναγκών του εποπτευόμενου ατόμου, όσο και για τη δυνατότητα εφαρμογής τους ανεξαρτήτως χωρικών ορίων.



## Μέρος II

# Η Υποστηριζόμενη Διαβίωση εντός του Οικιακού Περιβάλλοντος



## Κεφάλαιο 2

# Οικιακά συστήματα υποστήριξης για ηλικιωμένους ανθρώπους

Στο παρόν Κεφάλαιο παρέχεται μια εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση για τα συστήματα υποστήριξης ηλικιωμένων ατόμων στο οικιακό τους περιβάλλον. Αρχικά, αποσαφηνίζονται ορισμένοι βασικοί ορισμοί, οι οποίοι αφορούν το συγκεκριμένο ερευνητικό πεδίο. Στη συνέχεια, με επίκεντρο την εποπτεία των ηλικιωμένων ατόμων στο οικιακό τους περιβάλλον, παρουσιάζονται τόσο ερευνητικές, όσο και εμπορικές λύσεις. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα δομικά τεχνολογικά στοιχεία για να υλοποιηθεί ένα οικιακό σύστημα υποστήριξης ηλικιωμένων ανθρώπων, καθώς και οι τεχνολογικές προκλήσεις και τάσεις που έχουν γεννηθεί και αναπτύσσονται επί του συγκεκριμένου ερευνητικού πεδίου.

### 2.1 Εισαγωγή

Η γήρανση του πληθυσμού είναι ένα πρόβλημα που απασχολεί την κοινωνία σε παγκόσμιο επίπεδο. Η αύξηση του πληθυσμού των ηλικιωμένων είναι μια βεβαιότητα που επηρεάζει κάθε κοινωνία, αγορά και κλάδο, ωθώντας τους να προσαρμοστούν σε μια νέα πραγματικότητα. Από την άλλη πλευρά, οι ίδιοι οι ηλικιωμένοι άνθρωποι αναζητούν λύσεις οι οποίες να μπορούν να τους υποστηρίξουν ώστε ζουν ανεξάρτητοι στο περιβάλλον που οι ίδιοι προτιμούν. Έτσι, αναπτύχθηκε η λεγόμενη Αργυρή Οικονομία (Silver Economy), η οποία σχετίζεται με την υποστήριξη της ευημερίας των ηλικιωμένων ατόμων, με στόχο την παρακολούθηση της υγείας και της κοινωνικής φροντίδας τους, τις υπηρεσίες υγείας καθώς και τη διαχείριση της αυτο-φροντίδας των ηλικιωμένων [292]. Σε αυτό το Κεφάλαιο στόχος είναι να δοθεί μια ανασκόπηση σε κάθε ερευνητή/τρια, ο/η οποίος/α επιθυμεί να κατανοήσει και να ερευνήσει το πεδίο των συστημάτων υποστήριξης των ηλικιωμένων ανθρώπων στο περιβάλλον της οικίας τους. Έχει δοθεί ιδιαίτερη προσπάθεια ώστε να παρουσιαστεί λεπτομερώς κάθε εργασία, με σκοπό να

διευκολυνθούν όσοι ενδιαφέρονται να μελετήσουν και να κατανοήσουν την εξέλιξη του συγκεκριμένου ερευνητικού θέματος. Επιπλέον, αναφέρονται οι ορισμένες από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες σχετικές τεχνολογίες, το απαιτούμενο τεχνικό υπόβαθρο, καθώς και οι τεχνικές για την αλληλεπίδραση και την παροχή υποβοήθησης και υποστήριξης στους ηλικιωμένους ανθρώπους.

Ως έξυπνο σπίτι ορίζεται ένα σπίτι το οποίο διαθέτει ένα δίκτυο επικοινωνίας και μπορεί να διασυνδέει τις βασικές ηλεκτρικές συσκευές του, με σκοπό τον απομακρυσμένο χειρισμό και την απομακρυσμένη προσέγγισή του. Για να καταστεί ένα σπίτι έξυπνο θα πρέπει να πληροί τα εξής τρία βασικά χαρακτηριστικά:

1. εσωτερικό ενσύρματο ή ασύρματο δίκτυο,
2. μία πύλη (gateway) για τον έλεγχο και τη διαχείριση του συστήματος, και
3. τον αυτοματισμό του σπιτιού, δηλαδή τη διασύνδεση των οικιακών συσκευών με συστήματα και υπηρεσίες εκτός αυτού [127].

Ωστόσο, από μόνα τους τα τρία παραπάνω βασικά χαρακτηριστικά δεν καταστούν ένα σπίτι, ως έξυπνο σπίτι. Απαιτείται επιπλέον να ενσωματωθούν αισθητήρες - για τη μέτρηση και συλλογή περιβαλλοντικών και άλλων παραμέτρων που σχετίζονται με τη διαβίωση - ενεργοποιητές - προκειμένου να αντιδρούν στα γεγονότα/συμβάντα - καθώς κι ένα σύστημα για την αναφορά της κατάστασης - όπως αυτή ορίζεται από το σύστημα ή τον χρήστη. Όλες οι προαναφερθείσες συσκευές, προσδίδουν την ευφυΐα σε ένα σπίτι, ώστε να καταστεί τελικά έξυπνο σπίτι, ενώ έχουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά, όπως:

- Αίσθηση και Αντίδραση: ανίχνευση των περιβαλλοντικών παραμέτρων και ενεργοποίηση ενεργειών υπό ορισμένες συνθήκες,
- Απομνημόνευση: αποθήκευση των συλλεγόμενων δεδομένων,
- Επεξεργασία: επεξεργασία των συλλεγόμενων δεδομένων, και
- Επικοινωνία: μεταφορά των δεδομένων από και προς το δίκτυο.

Πιο συγκεκριμένα, όταν οι έξυπνες συσκευές ανιχνεύουν συμβάντα ή αλλαγές στις παραμέτρους του περιβάλλοντος, τότε αποθηκεύονται τα συλλεγόμενα δεδομένα και ενεργοποιούνται οι ενεργοποιητές. Ενώ, η πύλη είναι εκείνη η οποία διαχειρίζεται την επικοινωνία μεταξύ των έξυπνων συσκευών, μέσω του δικτύου. Η επικοινωνία των συσκευών επιτυγχάνεται μέσω των διαφορετικών πρωτοκόλλων επικοινωνίας που υπάρχουν, όπως το Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi, κλπ. Ενώ, το δίκτυο του σπιτιού μπορεί να είναι είτε τοπικό (μοντέλο πελάτη-διακομιστή), είτε στο νέφος (cloud) (λογισμικό ως υπηρεσία (Software as a Service - SaaS), λογισμικό ως πλατφόρμα (Software as

a Platform - SaaS), κλπ.), είτε και ως συνδυασμός και των δύο προαναφερθέντων (Edge Computing και Fog Computing). Τέλος, μια αποκλειστική πλατφόρμα παρέχει διάφορες υπηρεσίες στο σύστημα, όπως η υποστήριξη της συνδεσιμότητας, υπηρεσίες ενεργοποίησης, επεξεργασία των δεδομένων, υποστήριξη των εφαρμογών διαχείρισης των συσκευών, και υπηρεσίες λύσεων του παρόχου σχετικά με τις περιπτώσεις χρήσης και τα οφέλη του εκάστοτε χρήστη [122].

Επιπλέον, τα έξυπνα σπίτια μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση τα χαρακτηριστικά τους, ως εξής:

1. Το *Αυτόνομο Σπίτι*, το οποίο περιέχει έξυπνες και αυτόνομες συσκευές και έξυπνα αντικείμενα που ενεργούν με έξυπνο τρόπο,
2. Το *Δικτυωμένο Σπίτι*, το οποίο περιέχει διασυνδεδεμένα έξυπνα αντικείμενα, μέσω του ενσύρματου ή του ασύρματου δικτύου, για την ανταλλαγή των πληροφοριών μεταξύ τους,
3. Το *Πανταχού Παρόν Σπίτι*, το οποίο διαθέτει εσωτερικά και εξωτερικά δίκτυα για την αλληλεπίδραση και τον απομακρυσμένο έλεγχο των συστημάτων και των συσκευών, καθώς και πρόσβαση σε υπηρεσίες και πληροφορίες εντός κι εκτός του σπιτιού, και
4. Το *Προσεκτικό Σπίτι*, το οποίο έχει τη δυνατότητα να καταγράφει συνεχώς τη δραστηριότητα και τη θέση τόσο των προσώπων, όσο και των αντικειμένων εντός του σπιτιού για τις ανάγκες των κατοίκων του [13].

Ωστόσο, η επιθυμία των ηλικιωμένων ατόμων για ΕΥΔ οδήγησε στην εισαγωγή της ορολογίας του έξυπνου σπίτι με σκοπό την υποστήριξή τους. Ένα έξυπνο σπίτι για τα ηλικιωμένα άτομα θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μια υποκατηγορία του έξυπνου σπιτιού, το οποίο αποσκοπεί κυρίως στην κάλυψη των αναγκών των ηλικιωμένων κατοίκων του. Έτσι, ένα έξυπνο σπίτι αυτής της κατηγορίας πρέπει να είναι εξοπλισμένο με τεχνολογικά εργαλεία τα οποία να παρακολουθούν, να διευκολύνουν και να βοηθούν στην ανεξαρτησία των ηλικιωμένων ανθρώπων. Παράλληλα, θα πρέπει να ενισχύει την ανεξάρτητη διαβίωσή τους, να παρέχει τόσο σωματική όσο και ψυχική παρακολούθηση της υγείας τους, να προσφέρει ασφάλεια με μη παρεμβατικό τρόπο και να βελτιώνει την κοινωνική επαφή τους [73]. Έτσι, ο σκοπός ενός έξυπνου σπιτιού για ηλικιωμένους ανθρώπους είναι να παρέχει:

- Υποστήριξη και υποβοήθηση τόσο στις καθημερινές τους δραστηριότητες, όσο και σε έκτακτες περιπτώσεις,
- Εξ αποστάσεως υποστήριξη και παρακολούθηση από τους περιθάλποντες ιατρούς τους, και

- Εξ αποστάσεως παρακολούθηση από τους οικείους τους, καθώς και ειδοποίηση αυτών σε περιπτώσεις ανάγκης.

## 2.2 Υφιστάμενες λύσεις έξυπνων σπιτιών για ηλικιωμένους ανθρώπους

Η συνολική πρόοδος, τόσο στις εμπορικές λύσεις, όσο και στις ερευνητικές εργασίες των έξυπνων σπιτιών, έχει βελτιώσει την καθημερινή ζωή των κατοίκων ενός έξυπνου σπιτιού. Πιο συγκεκριμένα, τα έξυπνα σπίτια για ηλικιωμένους ανθρώπους προσφέρουν υποβοήθηση, υποστήριξη και φροντίδα, ενώ παράλληλα επεκτείνουν τον χρόνο της ανεξάρτητης διαβίωσής τους. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένες εμπορικές λύσεις έξυπνων σπιτιών, καθώς και διάφορα έργα και εφαρμογές που έχουν προταθεί παγκοσμίως, για την κάλυψη των αναγκών των ηλικιωμένων ατόμων.

### 2.2.1 Εμπορικές λύσεις

Διάφορες υπηρεσίες ασφάλειας για ένα έξυπνο σπίτι παρουσιάζονται στη λύση [245]. Οι υπηρεσίες αυτές περιλαμβάνουν έξυπνες κλειδαριές που παρέχουν ειδοποιήσεις στο κινητό τηλέφωνο όταν ανοίγει μια πόρτα του σπιτιού, κάμερες εσωτερικού χώρου για αμφίδρομη επικοινωνία, θερμοστάτες που προσαρμόζουν αυτόματα τη θερμοκρασία του σπιτιού στις προτιμήσεις των κατοίκων του, κάμερες στα κουδούνια των εισόδων του σπιτιού, τα οποία επιτρέπουν στους κατοίκους του να ελέγχουν και να απαντούν στο άτομο που βρίσκεται στην πόρτα του σπιτιού τους, είτε εκείνοι βρίσκονται εντός του σπιτιού τους, είτε όχι. Η επικοινωνία μεταξύ όλων των έξυπνων συσκευών του σπιτιού, και των κατοίκων του, επιτυγχάνεται μέσω ενός διαισθητικού πίνακα οργάνων με οθόνη αφής, μέσω μιας εφαρμογής και μέσω των έξυπνων ηχείων της Google που είναι διάχυτα στους χώρους της οικίας. Έτσι, η συγκεκριμένη λύση μπορεί να προσφέρει στους ηλικιωμένους ανθρώπους σιγουριά και ασφάλεια, καθώς και εξατομικευμένο έλεγχο των εσωτερικών συνθηκών του σπιτιού τους.

Στην εργασία [68] παρουσιάζονται οι υπηρεσίες ενός άλλου εμπορικού έξυπνου σπιτιού. Στο συγκεκριμένο έξυπνο σπίτι, οι κάτοικοι μπορούν να ελέγχουν τις έξυπνες συσκευές τους μέσω φωνητικού ελέγχου, ενώ προσφέρεται και μια εφαρμογή για smartphones και tablets. Έτσι, κάθε συνδεδεμένη συσκευή του έξυπνου σπιτιού μπορεί να ελέγχεται εξ αποστάσεως. Ενώ, ο απομακρυσμένος έλεγχος των οικιακών συσκευών προσφέρει στους κατοίκους του έξυπνου σπιτιού παρακολούθηση, προειδοποιήσεις, σιγουριά και ασφάλεια.

Το έξυπνο σπίτι που παρουσιάζεται στο [185] παρέχει στους ηλικιωμένους κατοίκους του απομακρυσμένο χειρισμό της θέρμανσης, απομακρυσμένη παρακολούθηση του



σπιτιού τους, μέτρηση των εσωτερικών και εξωτερικών συνθηκών του οικιακού τους περιβάλλοντος και βελτιστοποίηση της άνεσης και της ευεξίας τους εντός της κατοικίας τους. Όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, επιτυγχάνονται με τη χρήση έξυπνων θερμοστατών, έξυπνων βαλβίδων καλοριφέρ, έξυπνων αισθητήρων πόρτας και παραθύρων, έξυπνης σειρήνας εσωτερικού χώρου, έξυπνου κουδουνιού με τη χρήση βίντεο, έξυπνου συναγερμού καπνού, έξυπνης κάμερας εξωτερικού χώρου, έξυπνης κάμερας εσωτερικού χώρου, έξυπνου μετεωρολογικού σταθμού, και έξυπνων αισθητήρων εσωτερικού χώρου για μετρήσεις διαφόρων συνθηκών όπως η υγρασία, η ποιότητα του αέρα, ο θόρυβος και η θερμοκρασία.

Το προτεινόμενο έξυπνο σπίτι [114] παρέχει υπηρεσίες έξυπνου σπιτιού με τη χρήση διαφορετικών ειδών αισθητήρων και ενεργοποιητών που είναι εγκατεστημένοι σε αυτό. Οι παρεχόμενες υπηρεσίες επικεντρώνονται κυρίως στην παροχή σιγουριάς και ασφάλειας των ηλικιωμένων ατόμων, με τη χρήση συναγερμών και συστημάτων ελέγχου των εισόδων του σπιτιού, καθώς και τη βελτίωση της ευημερίας των κατοίκων του, μέσω της παρακολούθησης των συνθηκών εντός του οικιακού τους περιβάλλοντος, αλλά και της απομακρυσμένης παρακολούθησης του φωτισμού της κατοικίας τους.

Στην προτεινόμενη λύση [120], το συγκεκριμένο έξυπνο σπίτι αξιοποιεί διάφορες έξυπνες συσκευές, όπως είναι οι ενεργοποιητές και τα ενσωματωμένα συστήματα, μέσω ενός μόνο κουμπιού και μιας εφαρμογής για smartphones και tablets, επιτρέποντας στους κατοίκους του να έχουν τον απομακρυσμένο έλεγχο μέσω του ασύρματου δικτύου. Το συγκεκριμένο έξυπνο σπίτι μέσω του ελέγχου του φωτισμού, των περσίδων, των διακοπών, της θέρμανσης και των καμερών παρέχει στους ηλικιωμένους κατοίκους του υπηρεσίες που τους εξασφαλίζουν ευεξία, ασφάλεια και σιγουριά.

Παρατηρείτε ότι όλες οι εμπορικές λύσεις έξυπνων σπιτιών που αναφέρθηκαν παραπάνω καλύπτουν και υποστηρίζουν εν μέρει ορισμένες από τις ανάγκες και τις απαιτήσεις των ηλικιωμένων ατόμων. Ωστόσο, τα συγκεκριμένα έξυπνα σπίτια μπορούν να προσφέρουν άνεση και αυτονομία σε άτομα όλων των ηλικιών. Ως εκ τούτου, θεωρείτε πλέον επιτακτική ανάγκη να δημιουργηθούν εμπορικές λύσεις, ειδικά σχεδιασμένων έξυπνων σπιτιών με σκοπό να καλύπτουν τις ανάγκες των ηλικιωμένων ατόμων. Τα συγκεκριμένα έξυπνα σπίτια θα πρέπει να παρέχουν βασικές λειτουργίες και υπηρεσίες για την υποστήριξη της συγκεκριμένης κοινωνικής ομάδας, όπως είναι η παροχή υποβοήθησης για την καθημερινή τους ρουτίνα, υπενθυμίσεις για την εκτέλεση του καθημερινού τους προγράμματος, υπενθυμίσεις για τη λήψη της φαρμακευτικής τους αγωγής, κ.ά., διασφαλίζοντας έτσι την ασφάλεια και ευημερία τους.

## 2.2.2 Ερευνητικές εργασίες

Ένα έξυπνο οικιακό σύστημα για ηλικιωμένους ανθρώπους, το οποίο εισάγει την ενοποίηση των τεχνολογιών των αισθητήρων και την ανάπτυξη ενός πλαισίου (frame-

work) για την απόκτηση, την επεξεργασία και την ανταλλαγή των εξαγόμενων πληροφοριών από τις συνήθειες διαβίωσης των κατοίκων του, παρουσιάζεται στην εργασία [20]. Η λειτουργία του προτεινόμενου συστήματος επιτυγχάνεται με τη χρήση διαφόρων τύπων αισθητήρων. Επιπλέον, το συγκεκριμένο σύστημα έξυπνου σπιτιού αποτελείται κι από ένα ειδικά σχεδιασμένο σύστημα TN που συσχετίζει τις πληροφορίες που ανακτώνται από τους διάφορους αισθητήρες και λαμβάνει αποφάσεις σχετικά με την κατάσταση της υγείας των ηλικιωμένων ανθρώπων.

Στην εργασία [188] προτάθηκε ένα έξυπνο σπίτι κατανεμημένου συστήματος τηλεοικιακής φροντίδας, το οποίο έχει ως επίκεντρο το ηλικιωμένο άτομο. Το σύστημα επιτρέπει σε όλους τους χρήστες του να αλληλεπιδρούν με αυτό, π.χ. οι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης, οι περιθάλποντες ιατροί, οι φροντιστές, τα ιατρικά τηλεφωνικά κέντρα, τα ηλικιωμένα άτομα και οι οικείοι. Το προτεινόμενο σύστημα προσφέρει σε όλους τους προαναφερθέντες χρήστες του, την παρακολούθηση της δραστηριότητας των ηλικιωμένων ανθρώπων, μέσω του οικιακού αυτοματισμού και του δικτύου των αισθητήρων, καθώς και υπηρεσίες τηλε-υγειονομικής περίθαλψης μεταξύ των ηλικιωμένων, των περιθάλποντων ιατρών τους και των μελών της οικογένειάς τους - μέσω ενός φιλικού προς τον χρήστη συστήματος τηλεδιάσκεψης, Επιπλέον, παρέχει και τη δυνατότητα ενσωμάτωσής του και σε άλλα συστήματα σπιτιού και υγείας.

Ένα πειραματικό σύστημα τηλε-ιατρικής παρακολούθησης προτείνεται στην εργασία [58]. Σκοπός του συγκεκριμένου συστήματος είναι η παράταση του χρόνου παραμονής των ηλικιωμένων ατόμων στο σπίτι τους. Το προτεινόμενο σύστημα αποτελείται από πέντε επίπεδα, i) το επίπεδο των αισθητήρων, ii) το επίπεδο της μετάδοσης των συλλεγόμενων δεδομένων, iii) το επίπεδο του λογισμικού, iv) το επίπεδο του δικτύου, και v) το ανθρώπινο επίπεδο. Στο επίπεδο των αισθητήρων, συλλέγονται τα δεδομένα και οι μετρήσεις διαφόρων παραμέτρων που σχετίζονται με το ηλικιωμένο άτομο της οικίας. Στο επίπεδο της μετάδοσης, υπάρχουν δύο τύποι κυκλωμάτων, το ένα για τη μετάδοση και το δεύτερο για τη λήψη των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί από τους αισθητήρες. Στο επίπεδο του λογισμικού, είναι διαθέσιμη μια εφαρμογή για τους υπολογιστές τόσο των ηλικιωμένων ατόμων, όσο και των οικείων τους προσώπων για την απόκτηση των πληροφοριών, την καταγραφή και την ανάλυση των συλλεγόμενων δεδομένων. Επιπρόσθετα, στο ίδιο επίπεδο, εντοπίζεται ακόμη μια εφαρμογή για το ιατρικό κέντρο το οποίο επιβλέπει και περιθάλπει τα ηλικιωμένα άτομα, μέσω της οποίας το ιατρικό προσωπικό έχει πρόσβαση στην έκθεση της φαρμακευτικής τους αγωγής. Στο επίπεδο του δικτύου πραγματοποιείται η μετάδοση της πληροφορίας από τον υπολογιστή των ηλικιωμένων ατόμων στο ιατρικό κέντρο, και αντίστροφα. Τέλος, στο ανθρώπινο επίπεδο ορίζονται τέσσερα διαφορετικά προφίλ χρηστών: ο διαχειριστής του συστήματος, ο περιθάλπων ιατρός, το οικείο πρόσωπο και το ηλικιωμένο άτομο.

Το έξυπνο σπίτι U-Health [138] εστιάζει στη χρήση ενός αυτόνομου υπολογιστικού

συστήματος για ηλικιωμένους ανθρώπους, το οποίο βασίζεται σε μία αρχιτεκτονική γνώσης (Knowledge-Based - KB). Έτσι, οι πληροφορίες οι οποίες συλλέγονται από τους διάφορους αισθητήρες - τόσο από βιοαισθητήρες, όσο και από περιβαλλοντικούς - αποστέλλονται στο αυτόνομο σύστημα. Στη συνέχεια, τα δεδομένα μεταφέρονται στη KB, η οποία αποφασίζει μόνη της - ανεξάρτητα αν απαιτείται παρέμβαση από κάποιον φροντιστή, ή όχι - για την κατάσταση της υγείας των ηλικιωμένων ατόμων.

Στη μελέτη [140] παρουσιάστηκε ένα δάπεδο το οποίο βασίζεται σε αισθητήρες, με σκοπό την ενσωμάτωσή του σε οικιακά περιβάλλοντα, ώστε να βοηθά τους ηλικιωμένους ανθρώπους να ζουν ανεξάρτητοι στο ίδιο τους το σπίτι. Ένα πλέγμα από πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες ενσωματώνεται στο δάπεδο του σπιτιού, επιτρέποντας έτσι την ανίχνευση της θέσης του χρήστη εντός της οικίας του και ορισμένες από τις ποιοτικές πτυχές των κινητικών συμπεριφορών του, όπως πτώσεις κ.ά. Η δομή του δαπέδου μπορεί να καθορίσει παραμέτρους, όπως τη θέση του χρήστη μέσα σε ένα δωμάτιο, τη στάση του χρήστη (όρθιος, καθισμένος, ξαπλωμένος), το βάρος του, την είσοδο ή την έξοδο του σε ένα δωμάτιο και τη συμπεριφορά της κίνησης του, δηλαδή την ταχύτητα του βηματισμού του, την κατεύθυνση της κίνησης του, καθώς και την αναγνώρισή αυτού.

Το AmIVital [257] είναι μια πλατφόρμα παρακολούθησης της υγείας και της ευημερίας σε έξυπνα περιβάλλοντα τεχνολογικών υπηρεσιών. Η προτεινόμενη πλατφόρμα απευθύνεται σε ηλικιωμένους ανθρώπους, άτομα που πάσχουν από χρόνιες ασθένειες και εξαρτώμενα άτομα. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα αναπτύσσει εξατομικευμένες υπηρεσίες και εφαρμογές για τον έλεγχο και τη βελτίωση της υγείας, των καθημερινών συνηθειών, της κοινωνικής κατάστασης, κλπ. των ηλικιωμένων ανθρώπων. Τέλος, η αρχιτεκτονική της προτεινόμενης πλατφόρμας αποτελείται τόσο από σταθερές, όσο και από κινητές πύλες, όπως λειτουργικές υπηρεσίες, τεχνολογικές υπηρεσίες και υπηρεσίες υποδομής.

Στην εργασία [248] προτείνεται μια διαδικασία προσδιορισμού της ευεξίας των ηλικιωμένων ατόμων, οι οποίοι ζουν ανεξάρτητοι σε ένα έξυπνο σπίτι εποπτείας. Το προτεινόμενο framework μπορεί να επαληθεύσει τη συμπεριφορά των ηλικιωμένων ανθρώπων, όπως για παράδειγμα τη χρήση των συσκευών του σπιτιού τους, την αναγνώριση της δραστηριότητάς τους και τα επίπεδα πρόβλεψης. Το πρωτότυπο το οποίο έχει αναπτυχθεί είναι εύκολο στην εγκατάσταση και συντήρησή του στο σπίτι των ηλικιωμένων ανθρώπων, ενώ είναι σταθερό για την εκτέλεση πολλαπλών εργασιών, όπως είναι η διαδικασία της συλλογής των δεδομένων και η ανάλυσή τους σε πραγματικό χρόνο.

Οι συγγραφείς της εργασίας [262] παρουσίασαν την επικύρωση ενός καταναμημένου δικτύου ακουστικών αισθητήρων, το οποίο εποπτεύει τις καθημερινές δραστηριότητες διαβίωσης των ηλικιωμένων ατόμων εντός του σπιτιού τους. Οι αισθητήρες που χρησι-

μοποιήθηκαν για την καταγραφή των καθημερινών δραστηριοτήτων ήταν δέκτες ήχου και υπερήχων. Οι καθημερινές δραστηριότητες διαβίωσης των ηλικιωμένων ανθρώπων που επιτηρήθηκαν με επιτυχία ήταν το μαγείρεμα, το γευμάτισμα, η ανάγνωση, η χρήση φορητού υπολογιστή, η χρήση ηλεκτρικής σκούπας, το βάδισμα και η παρακολούθηση τηλεόρασης.

Το bioAssist [198] είναι μια κατ' οίκον πλατφόρμα φροντίδας, η οποία παρέχει υπηρεσίες παρακολούθησης και επικοινωνίας τόσο μεταξύ των ασθενών και των επαγγελματιών υγείας, όσο και των συγγενών και των φίλων τους. Το περιβάλλον της πλατφόρμας αποτελείται από μια εφαρμογή για έξυπνες συσκευές, η οποία ενσωματώνει τις λειτουργίες για την επικοινωνία με την πλατφόρμα που βασίζεται στο νέφος, με τους αισθητήρες και τα έξυπνα ρολόγια, μια εφαρμογή που βασίζεται στον Ιστό (Web), η οποία αλληλεπιδρά με όλους τους χρήστες της πλατφόρμας, μια εφαρμογή υποστήριξης, η οποία είναι προσβάσιμη από τους φορείς παροχής υγειονομικής περίθαλψης για τη λήψη των αιτημάτων έκτακτης ανάγκης από τον ασθενή, και μια πλατφόρμα υποστήριξης που είναι το σύνολο όλων των υπηρεσιών και των στοιχείων που βασίζονται στο νέφος. Κάθε ασθενής χρησιμοποιεί μια έξυπνη συσκευή για την καταγραφή των βιοσημάτων του. Ο περιθάλπων ιατρός έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει τα εργαλεία της εν λόγω πλατφόρμας, με σκοπό να αποκτήσει πρόσβαση στο ιατρικό ιστορικό του ασθενή, στα αποτελέσματα των εργαστηριακών του εξετάσεων, στη φαρμακευτική αγωγή του, στις αλλεργίες του, στην κατάσταση της υγείας του, καθώς και να καθορίσει ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα παρακολούθησης, αλλά και θεραπείας.

Το UbiCare [70] είναι ένα χαμηλού κόστους σύστημα ΕΥΔ, το οποίο βασίζεται στην πλατφόρμα ανοικτού κώδικα Arduino. Σκοπός του προτεινόμενου συστήματος είναι να υποστηρίξει τη δραστηριότητα και την ανίχνευση μιας ενδεχόμενης πτώσης και να προάγει την ευημερία των ηλικιωμένων ανθρώπων εντός του σπιτιού τους. Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων του προτεινόμενου συστήματος είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων του σπιτιού, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία κλπ., καθώς και για τις καθημερινές δραστηριότητες των ηλικιωμένων ατόμων, όπως είναι η κίνησή τους, η ξεκούρασή τους, ο ύπνος τους, η χρήση των ηλεκτρικών συσκευών της οικίας τους, κ.ά. Επιπλέον, το σύστημα UbiCare παρέχει διάφορες ειδοποιήσεις, όπως μηνύματα στο κινητό τηλέφωνο, μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και φωνητικές κλήσεις, σε όλους τους φροντιστές, συγγενείς και περιθάλποντες ιατρούς των ηλικιωμένων ατόμων.

Μια IoT λύση ανοικτού κώδικα και χαμηλού κόστους με στόχο την οικιακή παρακολούθηση των ηλικιωμένων ανθρώπων παρουσιάζεται στο άρθρο [143]. Η συγκεκριμένη λύση παρέχει την ασύρματη συλλογή και αποθήκευση των βιοσημάτων από τα ηλικιωμένα άτομα, την επικοινωνία μεταξύ των ηλικιωμένων με τους συγγενείς, τους φροντιστές και τους περιθάλποντες ιατρούς τους, καθώς και την παρακολούθηση της

κατάστασης της υγείας τους με επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο, μέσω τηλεδιάσκεψης και κοινής χρήσης των δεδομένων της υγείας τους. Το προτεινόμενο σύστημα αποτελείται από μια πύλη τηλεφροντίδας, η οποία έχει υλοποιηθεί με την πλατφόρμα Raspberry Pi και αποτελεί την πύλη επικοινωνίας μεταξύ του ηλικιωμένου ατόμου και των αισθητήρων που λαμβάνουν τα βιοσήματά του, καθώς και μια πλατφόρμα επικοινωνίας η οποία βασίζεται στο νέφος και πραγματοποιεί την επικοινωνία μεταξύ του ηλικιωμένου ανθρώπου και των οικείων του.

Στην εργασία [31], προτείνεται η αρχιτεκτονική για ένα οικιακό σύστημα παρακολούθησης, το οποίο βασίζεται σε αισθητήρες συνδεδεμένους στο Διαδίκτυο μέσω ενός Wi-Fi δρομολογητή. Γι' αυτό το σύστημα παρακολούθησης, αναπτύχθηκαν ειδικά πρωτότυπα αισθητήρων. Τα πρωτότυπα αυτά περιλαμβάνουν αισθητήρες παθητικών υπέρυθρων (passive infrared - PIR) για την παρακολούθηση των κινήσεων εντός της οικίας, αισθητήρα τουαλέτας ο οποίος παρακολουθεί την πρόσβαση στην τουαλέτα και ανιχνευτή μαγνητικής επαφής θυρών και παραθύρων για το άνοιγμα και το κλείσιμό τους. Τα συλλεγόμενα δεδομένα των αισθητήρων αποστέλλονται σε μια IoT πλατφόρμα, στο νέφος. Έτσι, η συγκεκριμένη εργασία συμβάλλει στην εξάλειψη της ανάγκης για μια αποκλειστική οικιακή πύλη για την εφαρμογή ενός συστήματος οικιακής παρακολούθησης.

Οι συγγραφείς της εργασίας [280] ανέπτυξαν μια μέθοδο εντοπισμού για την παρακολούθηση της θέσης των ανθρώπων σε εσωτερικούς χώρους με τη χρήση αισθητήρων PIR, ένα χάρτη προσβασιμότητας και έναν A-star αλγόριθμο. Η προτεινόμενη μέθοδος μπορεί να επιβλέπει το ηλικιωμένο άτομο εντός της οικίας του και να παρέχει μια λύση για τον εντοπισμό του. Τα βήματα της λειτουργικότητας του συστήματος είναι τρία. Στο πρώτο βήμα, δημιουργείται ο χάρτης προσβασιμότητας βάσει του πλέγματος, ο οποίος αντικατοπτρίζει τις προτιμήσεις της ανθρώπινης επισκεψιμότητας και τη φυσική διάταξη του σπιτιού. Στο δεύτερο βήμα, οι αισθητήρες PIR παρέχουν τη θέση του ηλικιωμένου ανθρώπου εντός του σπιτιού, σύμφωνα με τον χάρτη προσβασιμότητας. Στο τρίτο και τελευταίο βήμα, ο A-star αλγόριθμος εκτιμά την πορεία και μειώνει τα σφάλματα, μετά τη συγχώνευση των συλλεγόμενων δεδομένων από τους PIR αισθητήρες και του χάρτη προσβασιμότητας που έχει δημιουργηθεί.

Ένα ακόμη σύστημα αναγνώρισης της ανθρώπινης φυσικής δραστηριότητας που βασίζεται στα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες ενός smartphone προτείνεται στην εργασία [261]. Οι αισθητήρες που έχει ένα smartphone, όπως είναι το επιταχυνσιόμετρο, το γυροσκόπιο και ο αισθητήρας βαρύτητας, μέσω πρακτικών Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning - ML), χρησιμοποιούνται για τη στόχευση διαφόρων δραστηριοτήτων των ηλικιωμένων ατόμων, όπως είναι το περπάτημα, το τρέξιμο, η ξεκούραση, η ορθοστασία, η άνοδος και η κάθοδος σκαλοπατιών.

Το προτεινόμενο σύστημα [197] επιβλέπει και βοηθά τους ηλικιωμένους ανθρώπους

να διατηρήσουν το επίπεδο της φυσικής τους δραστηριότητας στο σπίτι τους ισορροπημένο, καθώς και να εκτελούν τις ασκήσεις αποκατάστασης τους έπειτα από μια σοβαρή ασθένεια, όπως η καρδιοπάθεια. Το σύστημα αποτελείται από δύο ξεχωριστά εννοιολογικά μέρη: i) την απόκτηση των πληροφοριών και ii) τη διαχείριση αυτών. Η απόκτηση των πληροφοριών βασίζεται σε ένα δίκτυο αισθητήρων, όπως οι μικροσκοπικοί αισθητήρες αδράνειας, κ.ά., τους οποίους φοράνε τα ηλικιωμένα άτομα για να μετρούν τις κινήσεις τους και άλλα ζωτικά τους σημεία. Στη συνέχεια, χρησιμοποιείται καινοτόμος τεχνολογία για την επεξεργασία των πληροφοριών που συλλέχθηκαν, με σκοπό την εξαγωγή των σχετικών παραμέτρων της φυσικής δραστηριότητας. Το σύστημα διαχείρισης των πληροφοριών αποτελείται από την υποδομή και τις εφαρμογές που επιτρέπουν στους χρήστες του συστήματος – το εποπτευόμενο άτομο, την οικογένεια, τους φίλους και τους κλινικούς ιατρούς του – να μοιράζονται, να ελέγχουν και να αναλύουν τα συλλεγόμενα δεδομένα δραστηριότητας, να ανταλλάσσουν πληροφορίες, να επικοινωνούν και να αλληλεπιδρούν.

Η πλατφόρμα [267] προσφέρει διάφορες υπηρεσίες και επιτρέπει στους ηλικιωμένους ανθρώπους να συμμετέχουν στα κοινωνικά δίκτυα με σκοπό την πρόληψη της απομόνωσης και της μοναξιάς τους, καθώς και τη βελτίωση της ευημερίας τους. Οι υπηρεσίες που προσφέρει στα ηλικιωμένα άτομα η προτεινόμενη πλατφόρμα, είναι πρόσβαση σε εξατομικευμένο ημερολόγιο, εύκολη και άμεση πρόσβαση σε τοπικές ειδήσεις και εκδηλώσεις και υπενθυμίσεις για τη λήψη φαρμάκων, οι οποίες ρυθμίζονται μέσω του Διαδικτύου και αποστέλλονται με μηνύματα κειμένου (SMS) στο κινητό τηλέφωνο του χρήστη.

Στο έργο [260] προτείνεται μια αφθρωτή και επεκτάσιμη λύση ανοικτού υλικού και λογισμικού, η οποία περιλαμβάνει ένα οικιακό σύστημα που αποτελείται από μια σειρά αισθητήρων, συσκευών IoT, έναν κοινωνικό σύντροφο - ο οποίος παρουσιάζεται ως ρομπότ ή ως εικονικό άνθρωπο - και ένα σύνολο εφαρμογών που επιτρέπουν στους ηλικιωμένους ανθρώπους την πρόσβαση σε υπάρχουσες δημοφιλείς αλλά δύσχρηστες διαδικτυακές και IoT τεχνολογίες. Η προτεινόμενη λύση στοχεύει να εντοπίσει τις πιο δημοφιλείς διαδικτυακές υπηρεσίες και τις πιο προσιτές συσκευές IoT, οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν τους ηλικιωμένους ανθρώπους στην καθημερινή τους ζωή και να αναπτυχθεί μια καινοτόμος λύση με στόχο να καταστούν αυτές τις τεχνολογίες προσβάσιμες στα ηλικιωμένα άτομα, ώστε να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής τους.

Το προτεινόμενο σύστημα στην εργασία [121] στοχεύει στη διατήρηση της ανεξαρτησίας των ηλικιωμένων ατόμων. Τα τεχνικά στοιχεία του έργου χωρίζονται σε τρεις καινοτόμες έννοιες ανάλογα με το ποιες από τις τρεις δραστηριότητες φροντίδας - με επίκεντρο τον άνθρωπο - πρόκειται να χρησιμοποιηθούν: i) η παρακολούθηση της φυσικής δραστηριότητας, μέσω των φορητών και φορετών συσκευών, ii) η αξιολόγηση της νευρολογικής κατάστασης, με τη βοήθεια της χρήσης των smartphones, και iii)

το δίκτυο αυτοδιαχείρισης φροντίδας. Όλα τα καινοτόμα στοιχεία συνδέονται σε μια κοινή ανοικτή πλατφόρμα, η οποία προσφέρεται ως υπηρεσία, επιτρέποντας τη δυναμική σύνθεση πακέτων υπηρεσιών.

Η λύση [158] στοχεύει στη βελτίωση της παρακολούθησης της υγείας για τους ηλικιωμένους ηλικιωμένους ανθρώπους, εστιάζοντας στις υφιστάμενες συνδεδεμένες συσκευές παρακολούθησης που υπάρχουν ήδη στην αγορά. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα μέσω των συλλεγόμενων δεδομένων από τις διάφορες συσκευές, παρέχει τόσο στα ηλικιωμένα άτομα, όσο και φροντιστές τους ένα σύνολο υπηρεσιών για την οργάνωση της καθημερινής τους ρουτίνας και την παρακολούθηση της υγείας τους, μέσω μιας εύχρηστης διαδικτυακής πλατφόρμας.

Η προτεινόμενη υλοποίηση [189] μεσολαβεί και διευκολύνει την αλληλεπίδραση μεταξύ των ηλικιωμένων ατόμων και των άτυπων φροντιστών τους ή/και άλλων υπηρεσιών ή επαγγελματιών υγείας, με τη χρήση διαφόρων συσκευών, όπως είναι οι προσωπικοί υπολογιστές, οι φορητές συσκευές (π.χ. tablet, κ.ά.) και οι μονάδες οικιακού αυτοματισμού. Οι συσκευές αυτές βασίζονται σε μια καινοτόμο προσέγγιση αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή, η οποία περιλαμβάνει διάφορα φυσικά, υγειονομικά και γνωστικά χαρακτηριστικά των ηλικιωμένων ατόμων. Η προτεινόμενη προσέγγιση είναι προσανατολισμένη στην αύξηση του επιπέδου της ανεξαρτησίας των ηλικιωμένων ανθρώπων, υποστηρίζοντας τη δυνατότητα απομακρυσμένης παροχής βοήθειας και βελτιώνοντας την προσβασιμότητα στις ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες στο Διαδίκτυο.

Μια προηγμένη τεχνολογική πλατφόρμα λογισμικού, η οποία παρακολουθεί τη συμπεριφορά των ηλικιωμένων ανθρώπων μέσω κατάλληλων αισθητήρων και αποδίδει προσωποστικά πληροφορίες και προτάσεις σχετικά με την κατάσταση της υγείας τους σε διάφορες συσκευές διεπαφής που υπάρχουν στο σπίτι παρουσιάζεται στο έργο [203]. Η συγκεκριμένη ιδέα παρέχει καινοτόμες λύσεις, οι οποίες προβλέπουν τις ανάγκες των ηλικιωμένων ατόμων και προσαρμόζονται δυναμικά στις διάφορες αλλαγές στο εκάστοτε πλαίσιο ανάγκης χρήσης. Στόχος είναι να εφαρμοστούν οι έννοιες αυτές σε ένα σύνολο εφαρμογών φροντίδας, όπως είναι η απομακρυσμένη βοήθεια, η παρακολούθηση της φαρμακευτικής αγωγής και η φυσιοθεραπεία αποκατάστασης, προκειμένου να επικυρωθούν τα αποτελέσματα σε ρεαλιστικά περιβάλλοντα. Έτσι, προσφέρεται η δυνατότητα στους χρήστες να λαμβάνουν εξατομικευμένη βοήθεια απευθείας στο σπίτι τους, χρησιμοποιώντας τις τεχνολογίες Διαδικτύου, με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας ζωής τους και τη μείωση του κόστους παροχής της υγειονομικής τους περίθαλψης.

Στην εργασία [244] προτείνεται μια ολοκληρωμένη, κινητή και προσαρμοστική λύση για την απομακρυσμένη υποστήριξη τόσο των ασθενών με καρδιακή ανεπάρκεια, όσο και των συγγενών και των φίλων τους, καθώς και των περιθάλποντων καρδιολόγων και επαγγελματιών υγείας τους. Η προτεινόμενη λύση απαρτίζεται από τρεις κύριες ενότητες: i) ένα κινητό στοιχείο για την παρακολούθηση των ζωτικών σημάτων με

σκοπό να καταγράψει όλες τις φυσιολογικές μετρήσεις που απαιτούνται για την επαρκή παρακολούθηση της κατάστασης της υγείας των ασθενών, i) ένα πλαίσιο εφαρμογών για την υποστήριξη των πασχόντων, το οποίο είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία με τους χρήστες και τους φροντιστές τους, και iii) ένα καινοτόμο στοιχείο νοημοσύνης, το οποίο επεξεργάζεται όλα τα αποκτηθέντα και περιβαλλοντικά δεδομένα για την παραγωγή σχετικής γνώσης. Η προτεινόμενη λύση προσφέρει μια συνολική προσέγγιση, μέσω της οποίας τόσο οι ασθενείς όσο οι φροντιστές τους μπορούν να καθορίσουν τα πεδία ενδιαφέροντός τους και να λάβουν επιμελημένες και πολύτιμες πληροφορίες από διάφορες πηγές πληροφοριών.

Τέλος, στην εργασία [157] παρουσιάζεται η ανάπτυξη διαφόρων εργαλείων ψυχικής υγείας για τους ηλικιωμένους ανθρώπους και τις οικογένειές τους, καθώς και για τους ειδικούς υγείας, με σκοπό την επίβλεψη και την απεικόνιση των ψυχικών αλλαγών των ηλικιωμένων ατόμων. Το εν λόγω έργο αξιοποιεί το γεγονός ότι τα διαδικτυακά παιχνίδια είναι σε θέση να συλλέγουν δεδομένα συμπεριφοράς, προκειμένου να μετρήσουν τις νοητικές και κινητικές ικανότητες των ηλικιωμένων ατόμων και ιδιαίτερα τις αλλαγές τους με την πάροδο του χρόνου. Κύριος στόχος του έργου είναι να αναπτύξει ένα σύνολο εργαλείων ψυχικής ευεξίας για να χρησιμοποιούνται τόσο από τα ίδια τα ηλικιωμένα άτομα, όσο και από τις οικογένειές τους και σε μικρότερο βαθμό και από τους ειδικούς ιατρούς τους (ψυχίατρος, ψυχολόγους, φροντιστές, κλπ.). Επιπλέον, ένας ακόμη στόχος του συγκεκριμένου έργου είναι να καταγραφούν και να απεικονιστούν οι ψυχικές αλλαγές και τάσεις με διασκεδαστικό τρόπο και να δοθούν ορισμένες ενδείξεις, προειδοποιήσεις, συναγερμοί ή αναφορές στους ηλικιωμένους ανθρώπους και στους συγγενείς και φίλους τους ότι είναι σκόπιμο να επισκεφτούν έναν ιατρό.

## 2.3 Προκλήσεις

Τα ζητήματα με τις μεγαλύτερες προκλήσεις στην υλοποίηση IoT περιβάλλοντων, όπως η περίπτωση ενός έξυπνου σπιτιού, είναι η διατήρηση της ασφάλεια, της ιδιωτικότητας και του απορρήτου. Αυτά τα ζητήματα απασχολούν πολύ την επιστημονική κοινότητα, λόγω του συνεχώς αυξανόμενου αριθμού των συσκευών και των αντικειμένων που μπορούν να συνδεθούν στο Διαδίκτυο (IoT και Internet of Everything - IoE). Γενικότερα, είναι ένα ζήτημα που χρήζει μεγάλης ευαισθησίας και προσοχής, τόσο από την επιστημονική κοινότητα και από τις εμπορικές εταιρείες που ασχολούνται με το συγκεκριμένο θέμα, όσο και από τους ίδιους τους χρήστες. Συγκεκριμένα, τα έξυπνα σπίτια έχουν εγείρει σημαντικές ανησυχίες σχετικά με την προστασία της ιδιωτικής ζωής των ανθρώπων, καθώς οι υπηρεσίες που παρέχουν διαχειρίζονται πολύ ευαίσθητα και προσωπικά δεδομένα των ενοίκων τους.

Οι συγγραφείς της εργασίας [199] κατέγραψαν τις βασικότερες προδιαγραφές και



απαιτήσεις που απαιτούνται για να καταστεί ένα έξυπνο σπίτι όσο το δυνατόν πιο ασφαλές και ιδιωτικό. Αυτές οι προδιαγραφές παρουσιάζονται και αναλύονται περαιτέρω στον Πίνακα 2.1.

Επιπλέον, αρκετές σοβαρές επιθέσεις στα δίκτυα απειλούν τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Wireless Sensor Networks - WSNs), τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στην υλοποίηση ενός έξυπνου σπιτιού. Σε ένα σύστημα που βασίζεται στο IoT και χρησιμοποιεί WSNs, τα συλλεγόμενα δεδομένα πρέπει να μεταδίδονται με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Έτσι, ένα έξυπνο σπίτι απαιτεί ρητά καθορισμένους περιορισμούς ασφάλειας, καθώς και οι κόμβοι προορισμού των δεδομένων πρέπει να είναι ασφαλείς για τη μετάδοση αυτών.

Στην εργασία [205] προτάθηκε μια κατηγοριοποίηση όλων των περιορισμών ασφαλείας σε δύο κύριες κατηγορίες, ως εξής:

1. *Η ασφάλεια του δικτύου που περιλαμβάνει την ασφαλή τοπική προσαρμογή, τη μη απόρριψη, τη διαθεσιμότητα, τον έλεγχο πρόσβασης, την αξιοπιστία και τον έλεγχο ταυτότητας.*

Οι παραδοσιακές αρχές ασφάλειας του δικτύου ισχύουν επίσης και για τον τομέα του IoT. Απαιτούνται μηχανισμοί ελέγχου ταυτότητας και ελέγχου πρόσβασης για την αποτροπή της κακόβουλης πρόσβασης στις εγκατεστημένες συσκευές. Επιπλέον, πρέπει να καλυφθούν κι άλλες ιδιότητες ασφάλειας, όπως είναι η μη απόρριψη ή η διαθεσιμότητα, προκειμένου να παρέχεται μια πιο ισχυρά ασφαλής υπηρεσία. Η κύρια διαφορά σε σχέση με τους παραδοσιακούς υπολογιστές είναι ότι οι πόροι των συσκευών είναι σημαντικά περιορισμένοι, ενώ δεν είναι πάντα εφικτό να εφαρμόζονται τα ίδια αντίμετρα στο περιβάλλον περιορισμών ενός συστήματος IoT.

2. *Η ασφάλεια των δεδομένων που περιλαμβάνει την εμπιστευτικότητα, το απόρρητο, την ακεραιότητα και τη «φρεσκάδα» των δεδομένων.*

Οι IoT συσκευές επεξεργάζονται κυρίως προσωπικά δεδομένα των υποκειμένων που βρίσκονται στην τοποθεσία εγκατάστασής του. Οι μετρήσεις που προέρχονται από δεδομένα υγείας, τοποθεσίας ή/και δραστηριότητας είναι χαρακτηριστικές περιπτώσεις προσωπικών δεδομένων που συλλέγονται από IoT συσκευές και υποβάλλονται σε επεξεργασία από τα IoT συστήματα. Ο χειρισμός τέτοιου είδους δεδομένων απαιτεί μέτρα εμπιστευτικότητας και ακεραιότητας, προκειμένου να μην επηρεάζεται το απόρρητο των υποκειμένων και ταυτόχρονα να παρέχεται μια πραγματικά χρήσιμη υπηρεσία. Στην εν λόγω περίπτωση, εφαρμόζονται κρυπτογραφικές τεχνικές προκειμένου να διασφαλιστεί ότι κανένα μη εξουσιοδοτημένο μέρος της επικοινωνίας δεν θα έχει πρόσβαση στα προσωπικά δεδομένα

Πίνακας 2.1: Οι βασικές προδιαγραφές και απαιτήσεις για να καταστεί ένα έξυπνο σπίτι ασφαλές.

Απαίτηση	Περιγραφή
Αυθεντικοποίηση	<p>Η επιβεβαίωση της ταυτότητας των συμμετεχόντων σε μια επικοινωνία.</p> <p><u>Μέσα:</u> Ψηφιακές υπογραφές, ασφαλής μετάδοση ταυτότητας, φυσικά μη κλωνοποιήσιμες λειτουργίες (PUFs) και κλειδί ασφαλείας.</p>
Εξουσιοδότηση	<p>Η παροχή δικαιωμάτων σε πιστοποιημένο χρήστη.</p> <p><u>Μέσα:</u> Λεπτή διαχείριση πολιτικής και διαφορετικές μεθόδους ελέγχου πρόσβασης.</p>
Εμπιστευτικότητα	<p>Η αποκάλυψη των μηνυμάτων σε έναν εξουσιοδοτημένο χρήστη και η απόκρυψή τους από έναν «εχθρό».</p> <p><u>Μέσα:</u> Κρυπτογράφηση, κοινή χρήση μυστικών, traffic padding, αποδείξεις μηδενικής γνώσης, απόδειξη γνώσης, ομαδικές υπογραφές, συστήματα ψευδωνύμων.</p>
Ακεραιότητα	<p>Η διασφάλιση της συνέπειας και της ταυτότητας των μηνυμάτων.</p> <p><u>Μέσα:</u> Κρυπτογραφικός κατακερματισμός, υδατογράφιση, ολόγραφες αποδείξεις, υπολογισμοί πολλαπλών μερών, χρονοσφραγίδα, nonce, ακολουθία αριθμών.</p>
Διαθεσιμότητα	<p>Η εγγύηση της δίκαιης λειτουργίας των πόρων και των υπηρεσιών προς τον εξουσιοδοτημένο χρήστη.</p> <p><u>Μέσα:</u> Ανίχνευση ανωμαλιών, τείχη προστασίας και ειδικά σχεδιασμένο υλικό επικοινωνίας που εμποδίζει την πρόσβαση στο δίκτυο από εξωτερική κακόβουλη κίνηση.</p>
Μη αποκήρυξη	<p>Η παρεμπόδιση του αποστολέα ή/και του παραλήπτη να αρνηθεί ένα μήνυμα.</p> <p><u>Μέσα:</u> Ψηφιακές υπογραφές.</p>
Λογοδότηση ή Έλεγχος	<p>Η διαδικασία διατήρησης της ενέργειας του αποστολέα, του παραλήπτη ή του δικτύου για την επαλήθευση της ενέργειας στο μέλλον.</p>
Διαψεύσιμη επικοινωνία	<p>Η εξουσιοδότηση ενός αποδεικνύων να αρνηθεί εύλογα ότι εκτελέστηκε ποτέ μια περίπτωση πρωτοκόλλου, στην οποία ο ίδιος αποδεικνύων ήταν ενεργός συμμετέχων.</p>
Αποσύνδεση	<p>Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί πολλαπλά ψευδώνυμα, αλλά δεν είναι δυνατό να συνδέσει δύο ψευδώνυμα που χρησιμοποιούνται από τον ίδιο ιδιοκτήτη για δύο διαφορετικές υπηρεσίες.</p>
Μη μεταβίβαση	<p>Μόνο ένας χρήστης είναι ο διαχειριστής, ο οποίος έχει μοναδικά προνόμια.</p>
Πρώθηση μυστικότητας	<p>Οι εγγυήσεις ότι ένα κλειδί λειτουργίας που προέρχεται από ένα μακροπρόθεσμο ζεύγος δημόσιου-ιδιωτικού κλειδιού είναι ασφαλές.</p>

των υποκειμένων και ότι τα δεδομένα είναι αμετάβλητα σε όλη τη ροή εργασιών ενός IoT συστήματος.

## 2.4 Τεχνολογία Αιχμής

Πιο πάνω, παρουσιάστηκαν αρκετά διαφορετικά έργα υποστήριξης για ηλικιωμένους ανθρώπους στο σπίτι, τα οποία έχουν προταθεί όλα αυτά τα χρόνια. Στόχος όλων αυτών των εργασιών είναι η υποστήριξη των ηλικιωμένων ατόμων εντός του σπιτιού τους, μέσω διαφορετικών προσεγγίσεων και χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνολογίες και τεχνολογικά μέσα. Ωστόσο, η τελευταία λέξη της τεχνολογίας των έξυπνων συστημάτων οικιακής υποστήριξης για ηλικιωμένους ανθρώπους φαίνεται να κινείται προς τα πανταχού παρόντα και εξαφανιζόμενα υπολογιστικά συστήματα με σκοπό τη φυσική τους αλληλεπίδραση με τους χρήστες.

Το έργο Sthenos [159] είναι ένα αξιόπιστο σύστημα περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης για την αναγνώριση και την απόδοση της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Το συγκεκριμένο σύστημα προσφέρει υποστήριξη σε ηλικιωμένους ανθρώπους και χρόνιους ασθενείς στο σπίτι τους. Η προτεινόμενη εργασία στοχεύει στην ανάπτυξη μεθοδολογιών και εργαλείων για τη σύνθεση διάχυτων ανθρωποκεντρικών συστημάτων και την κατανόηση της ανθρώπινης κατάστασης σε υποστηρικτικά περιβάλλοντα, χρησιμοποιώντας οπτικοακουστικά και βιολογικά σήματα. Επιπλέον, η παρούσα εργασία προτείνει έναν επιτυχημένο τρόπο αναγνώρισης της ανθρώπινης συμπεριφοράς από οπτικοακουστικό περιεχόμενο, χρησιμοποιώντας τη συγχώνευση μη επεμβατικών αισθητήρων και εργαλείων για την αναγνώριση της συμπεριφοράς και των συναισθημάτων μέσω οπτικοακουστικών δεδομένων με μη επεμβατικό τρόπο, εργαλεία για την ανάλυση των νευροφυσιολογικών δεδομένων και εργαλεία για τη δυναμική πολυτροπική αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής.

Οι συγγραφείς της εργασίας [162] παρουσίασαν ένα ηλεκτρονικό σύστημα υπενθύμισης για χρήση σε έξυπνες συσκευές, όπως ένα έξυπνο ρολόι Pebble και συσκευές με λογισμικό Android. Η λειτουργικότητα του συστήματος είναι να ειδοποιεί τους ασθενείς την επιλεγμένη ώρα, τόσο με ηχητικές, όσο και με οπτικές ειδοποιήσεις, με σκοπό να τηρούν τη ρουτίνα της θεραπείας τους. Οι ειδοποιήσεις υπενθύμισης για τους ασθενείς προωθούνται στο έξυπνο ρολόι Pebble, το οποίο φέρουν πάνω τους. Επίσης, οι συγγενείς, ο παριθάλπων ιατρός ή/και ο φαρμακοποιός των ασθενών μπορούν να χρησιμοποιήσουν μια διαδικτυακή εφαρμογή για τη δημιουργία νέων ή την ενημέρωση των ήδη υπάρχοντων υπενθυμίσεων και την παρακολούθηση της τήρησης της θεραπείας των ασθενών. Το προτεινόμενο σύστημα είναι μια υπηρεσία που βασίζεται στο νέφος, η οποία αποτελείται από τρεις ενότητες λογισμικού: i) μια διαδικτυακή εφαρμογή για τη δημιουργία των υπενθυμίσεων και την παρακολούθηση της συμμόρφωσης των

ασθενών, ii) μια Android εφαρμογή για τους ασθενείς και για τη διαχείριση των υπενθυμίσεών τους, και iii) μια εφαρμογή για το έξυπνο ρολόι Pebble, η οποία χειρίζεται τις ειδοποιήσεις που λαμβάνονται από τη συσκευή Android.

Στην εργασία [130] παρουσιάζεται ένα εξαφανιζόμενο υπολογιστικό σύστημα για την υποστηριζόμενη διαβίωση ηλικιωμένων ατόμων. Το σύστημα αυτό, σχεδιάστηκε με βάση τα εμπορικά προϊόντα (commercial off-the-shelf - COTS). Η καινοτομία του συγκεκριμένου συστήματος είναι ότι οι τροποποιημένες οικιακές συσκευές, με τις οποίες είναι ήδη εξοικειωμένοι οι ηλικιωμένοι, όπως η τηλεόραση και η συσκευή του τηλεφώνου τους, χρησιμοποιούνται ως διεπαφή ανθρώπου-υπολογιστή (Human-Computer Interface - HCI). Το προτεινόμενο σύστημα, είναι ένα ανοικτό σύστημα, το οποίο μετατρέπει τις τυπικές οικιακές συσκευές και δίνει τη δυνατότητα στους ηλικιωμένους ανθρώπους να επικοινωνούν με τους συγγενείς, τους φροντιστές και τους περιθάλποντες ιατρούς τους μέσω τηλεδιάσκεψης, να διαβάζουν τις ειδήσεις, να στέλνουν και να διαβάζουν τα emails τους, απλώς επιλέγοντας ένα αποκλειστικό τηλεοπτικό κανάλι στην τηλεόρασή του σπιτιού τους. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η ΕΥΔ στα ηλικιωμένα άτομα, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται ο βαθμός της κατάθλιψης και της μοναξιάς τους που προέρχεται από την κοινωνική τους απομόνωση.

Ένα οικιακό σύστημα για τον εντοπισμό της τοποθεσίας του χρήστη προτείνεται στο άρθρο [9]. Η καινοτομία του εν λόγω συστήματος βασίζεται στο γεγονός ότι ο χρήστης δεν είναι αναγκασμένος να μεταφέρει διαρκώς μαζί του μια συσκευή. Επίσης, οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση του συστήματος περιορίζονται σε απλούς αισθητήρες και όχι σε συσκευές, όπως είναι οι κάμερες και τα μικρόφωνα, οι οποίες επηρεάζουν άμεσα την ιδιωτικότητα του χρήστη. Όταν κάποιος από τους αισθητήρες του συστήματος εντοπίσει τον χρήστη εντός του σπιτιού του, στέλνει το κατάλληλο σήμα στην πύλη (gateway) του σπιτιού. Στη συνέχεια, ένας μεσολαβητής εντοπισμού περιβάλλοντος της τοποθεσίας του χρήστη, ο οποίος βρίσκεται στην πύλη, επεξεργάζεται όλες τις πληροφορίες και τις αποθηκεύει στον χώρο αποθήκευσης των πληροφοριών περιβάλλοντος της πύλης. Τέλος, ο Main Context Broker του συστήματος αποφασίζει για ποια υπηρεσία θα προσφερθεί στον χρήστη, μέσω του οικιακού δικτύου επικοινωνίας.

Στην εργασία [27] εξετάστηκε η σκοπιμότητα μιας τεχνολογίας για την αναγνώριση της φωνής, η οποία βασίζεται στο νέφος, ως ένα μέσο φροντίδας στο σπίτι, για τη χρήση υποστήριξης κλινικών αποφάσεων. Για την υποστήριξη της κατ' οίκον φροντίδας, υλοποιήθηκε μια προσαρμοσμένη εφαρμογή με τη χρήση της υπηρεσίας Amazon Echo. Η λειτουργία του συστήματος έχει ως εξής: ο ασθενής ενεργοποιεί τη συσκευή Amazon Echo του σπιτιού του με τη φωνή του. Το μήνυμα εισαγωγής του ασθενή πηγαίνει σε μια υπηρεσία στο νέφος, το οποίο υποβάλλεται σε επεξεργασία και μετατροπή. Στη συνέχεια, χρησιμοποιείται από την προσαρμοσμένη εφαρμογή και αποφασίζει εάν

θα δώσει κάποια ανατροφοδότηση στον ασθενή ή θα ενεργοποιήσει ορισμένες παρεμβάσεις. Επίσης, η εφαρμογή μπορεί να προσφέρει διάφορους πίνακες εργαλείων με τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από τον ασθενή.

Μια υπηρεσία ενδιάμεσου λογισμικού (middleware) για την επίβλεψη του κινδύνου για την υγεία των ηλικιωμένων ατόμων, με βάση τη δραστηριότητα και τη θέση τους εντός του σπιτιού, παρουσιάζεται στην εργασία [128]. Η προτεινόμενη υπηρεσία παρέχει οικιακή παρακολούθηση των βιομετρικών δεδομένων και των δεδομένων ανίχνευσης του περιβάλλοντος, μέσω αισθητήρων, παρακολούθηση της θέσης με επίγνωση ζώνης, παρακολούθηση της δραστηριότητας με επίγνωση του περιβάλλοντος και θεραπεία λήψης αποφάσεων, χρησιμοποιώντας την αναλογία κινδύνου για την υγεία των ηλικιωμένων ατόμων. Ένας έξυπνος οικιακός διακομιστής στο νέφος συλλέγει τα δεδομένα από τους αισθητήρες - βιοαισθητήρες και περιβαλλοντικούς - εποπτεύει τη δραστηριότητα, εντοπίζει τη θέση των ηλικιωμένων, καθώς επίσης, αναλύει και λαμβάνει την απόφαση με βάση τους διάφορους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης.

Στο έργο [40], προτείνεται ένα κυβερνοφυσικό σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για την υποβοηθούμενη παρακολούθηση της κατ' οίκον διαβίωσης. Το σύστημα παρέχει εποπτεία στο οικιακό περιβάλλον, εντοπισμό της θέσης του εποπτευόμενου ατόμου και ειδοποίηση σε πραγματικό χρόνο τόσο στο εποπτευόμενο άτομο, όσο και στους συγγενείς του. Το σύστημα αποτελείται από δύο επιμέρους υποσυστήματα. Το πρώτο υποσύστημα παρακολουθεί μέσω ασύρματων αισθητήρων τις συνθήκες του εσωτερικού χώρου του σπιτιού, για παραβιάσεις των ορίων. Στη συνέχεια, επικοινωνεί με έναν διακομιστή, ο οποίος με τη σειρά του στέλνει τις ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο στο εποπτευόμενο άτομο και τους συγγενείς του. Το δεύτερο υποσύστημα εντοπίζει τις μελλοντικές τοποθεσίες που ενδεχομένως να κινηθεί το εποπτευόμενο άτομο, με τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Ο σκοπός της προτεινόμενης εφαρμογής του προτεινόμενου συστήματος είναι να βοηθήσει τους ηλικιωμένους ανθρώπους να διατηρήσουν έναν αυτόνομο τρόπο ζωής.

Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός κυβερνοφυσικού συστήματος για την οικιακή παρακολούθηση ηλικιωμένων ατόμων παρουσιάζεται στην εργασία [163]. Το προτεινόμενο σύστημα αποτελείται από ένα δίκτυο αισθητήρων παρακολούθησης του περιβάλλοντος, διάφορες συσκευές και εφαρμογές λογισμικού πολλαπλών πλατφορμών. Τα εξαρτήματα του συστήματος παρέχουν προηγμένες λειτουργίες, όπως είναι η συνεχής επίβλεψη των ηλικιωμένων ατόμων σε εσωτερικούς χώρους, η παρακολούθηση των συνθηκών εντός του σπιτιού, οι ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο για τους φροντιστές των ηλικιωμένων ατόμων, καθώς και η διαλειτουργικότητα με διάφορες ιατρικές συσκευές για σκοπούς τηλε-υγείας. Το πλεονέκτημα του παρόντος συστήματος σε σύγκριση με άλλα παρόμοια συστήματα είναι η χρήση των λαμπτήρων φωτισμού. Οι λαμπτήρες μπορούν να είναι είτε έξυπνοι, είτε κοινοί λαμπτήρες, οι οποίοι μπορούν να

παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τον εσωτερικό εντοπισμό και την ανίχνευση στο οικιακό περιβάλλον, καθώς επίσης και τη λήψη δεδομένων από διάφορες ιατρικές συσκευές.

Στην εργασία [44] προτείνεται μια πλατφόρμα βασισμένη στο IoT για έξυπνα σπίτια. Στόχος αυτής της πλατφόρμας είναι να παρέχει βοήθεια στους ηλικιωμένους ανθρώπους, ώστε να ζουν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στο σπίτι τους. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση διαφορετικών τεχνολογιών, όπως η αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (Radio-Frequency Identification - RFID), οι φορητές ηλεκτρονικές συσκευές, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και τη TN. Έτσι, η συγκεκριμένη πλατφόρμα υλοποιείται με τη χρήση διαφόρων αισθητήρων, ενεργοποιητών και συσκευών - όπως τα φώτα τοίχου - με σκοπό τον εντοπισμό των ηλικιωμένων ατόμων σε εσωτερικό χώρο, οι πολυθρόνες για την παρακολούθηση της στάσης του σώματός τους, η φορητή ζώνη για τις πληροφορίες κίνησής τους και τα πάνελ στον τοίχο και οι κινητές συσκευές ως τη διεπαφή του χρήστη.

Παρατηρείται ότι η τελευταία λέξη της τεχνολογίας στην οικιακή υποστήριξη των έξυπνων συστημάτων για ηλικιωμένους ανθρώπους κινείται προς τα ανθρωποκεντρικά συστήματα. Αυτά τα συστήματα είναι προσαρμοσμένα στις ανάγκες των απαιτήσεων του ανθρώπου-χρήστη, και όχι το αντίστροφο. Επιπλέον, μια άλλη τάση υπαγορεύει την προσθήκη ευφυΐας στο περιβάλλον του σπιτιού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την αξιοποίηση των τεχνολογιών της μηχανικής μάθησης, της Βαθιάς Μάθησης (Deep Learning - DL), της TN και της ενσωμάτωσή τους στο εκάστοτε σύστημα υποστήριξης. Επίσης, χρειάζονται τεχνολογίες που προσθέτουν και εξελίσσουν τη νοημοσύνη των συστημάτων του οικιακού περιβάλλοντος, ενώ απαλλάσσουν τον άνθρωπο-χρήστη από το να φέρει πάνω του πολλές και διαφορετικές συσκευές. Επιπλέον, η φυσική αλληλεπίδραση του χρήστη με το σύστημα ενισχύεται, κάνοντας την εμπειρία του και την αλληλεπίδρασή του με το σύστημα πιο φυσική. Αυτό εξαλείφει το τυπικό HCI, μεταβαίνοντας έτσι σε μια πιο φυσική προσέγγιση αλληλεπίδρασης. Παράλληλα, τα οφέλη είναι η απουσία της ανάγκης για ειδική εκπαίδευση του χρήστη, η οργάνωση του σπιτιού και η οποιαδήποτε παρέμβαση στα έπιπλα, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει αναστάτωση στους μεγαλύτερους ηλικιακά ανθρώπους. Τέλος, κάνει αυτές τις λύσεις πιο ελκυστικές για τους ηλικιωμένους ανθρώπους, καθώς προσαρμόζονται στις ανάγκες τους, αντί να απαιτούν από εκείνους να ακολουθούν νέους κανόνες εντός της οικίας τους.

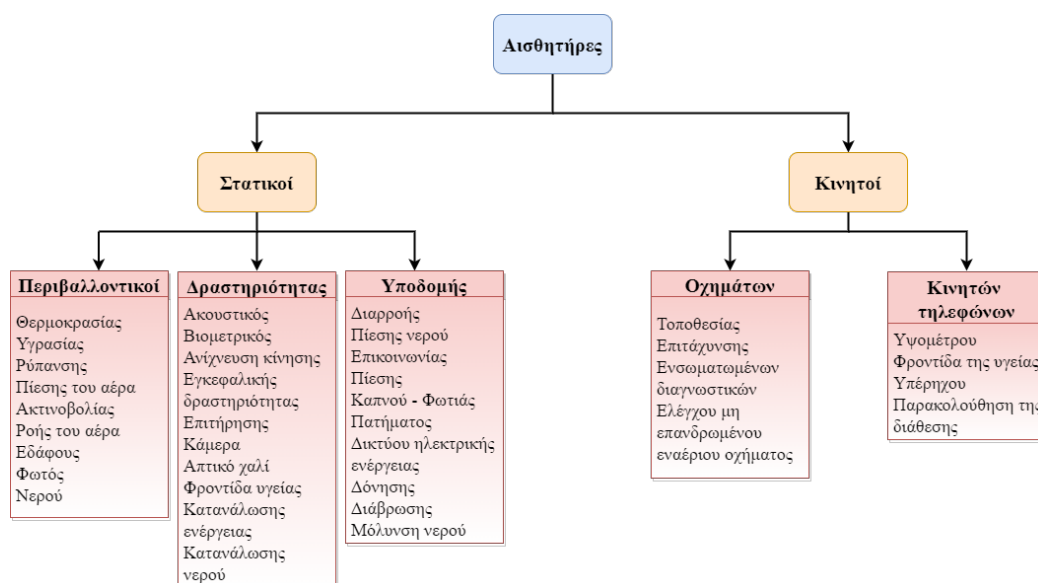
## 2.5 Τεχνολογίες

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για την υλοποίηση ενός έξυπνου σπιτιού απαιτείται η χρήση διαφόρων τεχνολογιών. Ωστόσο, υπάρχουν τρία δομικά στοιχεία, τα οποία

χωρίς αυτά δεν μπορούν να υλοποιηθούν τα συστήματα οικιακής υποστήριξης. Αυτά τα στοιχεία είναι οι αισθητήρες για τη συλλογή των δεδομένων, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας για τη μετάδοση των συλλεγόμενων δεδομένων και την επικοινωνία των συσκευών ή/και υποδομών, καθώς και η αποθήκευση των συλλεγόμενων δεδομένων, τα οποία αποτελούν τη βασική υποδομή για ένα έξυπνο σπίτι.

## 2.5.1 Αισθητήρες

Ως αισθητήρας, ορίζεται κάθε αντικείμενο που έχει την δυνατότητα να ανιχνεύει και να μετράει δραστηριότητες ή/και αλλαγές στο περιβάλλον στο οποίο έχει εγκατασταθεί. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αισθητήρων, οι οποίοι μπορούν να ενσωματωθούν σε μια έξυπνη οικιακή υποδομή. Στο Σχήμα 2.1, παρουσιάζεται μια κατηγοριοποίηση των αισθητήρων όπως έχει προταθεί στην εργασία [9]. Οι αισθητήρες αρχικά κατηγοριοποιούνται σε δύο κύριες κλάσεις, τους στατικούς και τους κινητούς αισθητήρες. Στην κατηγορία των στατικών αισθητήρων, οι αισθητήρες είναι ενσωματωμένοι στο εκάστοτε οικιακό περιβάλλον (π.χ. θερμοστάτης). Ενώ, στην κατηγορία των κινητών αισθητήρων, οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται συνήθως σε φορητές συσκευές (π.χ. smartwatch). Στη συνέχεια, γίνεται μια επιπλέον υποκατηγοριοποίηση των δύο βασικών κλάσεων, με βάση τον τύπο των δεδομένων που συλλέγονται από κάθε αισθητήρα.



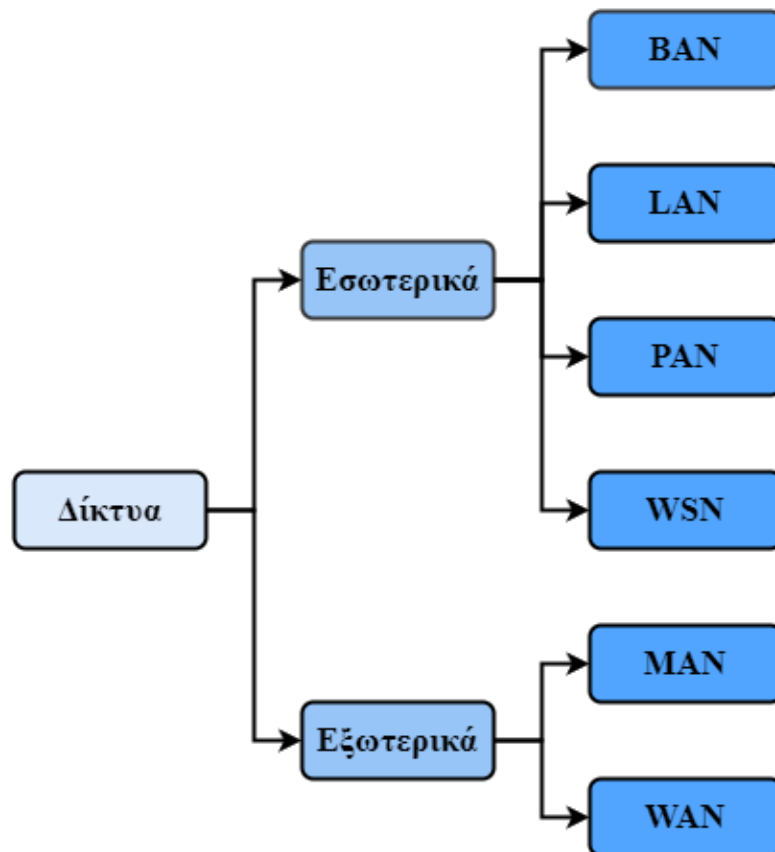
Σχήμα 2.1: Η κατηγοριοποίηση των αισθητήρων που μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα έξυπνο σπίτι, όπως έχει προταθεί στην εργασία [9].

Μια περαιτέρω κατηγοριοποίηση των αισθητήρων μπορεί να γίνει με βάση τη δυνατότητα επικοινωνίας τους, για τη μεταφορά των συλλεγόμενων δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται δύο κατηγορίες αισθητήρων, οι έξυπνοι αισθητήρες, οι ο-

ποίοι έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν απευθείας με την υπόλοιπη υποδομή του έξυπνου σπιτιού. Ενώ, η δεύτερη κατηγορία αισθητήρων απαιτεί τη μεσολάβηση μιας ενδιάμεσης πλατφόρμας με σκοπό να επιτευχθεί η επικοινωνία των αισθητήρων με την υπόλοιπη υποδομή του σπιτιού.

### 2.5.2 Επικοινωνία

Η επικοινωνία σε ένα έξυπνο σπίτι διαχωρίζεται σε δύο ομάδες βάσει τον τύπο λειτουργίας, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.2. Ο πρώτος τύπος αφορά στην επικοινωνία των αντικειμένων εντός μιας υποδομής έξυπνου σπιτιού. Ενώ, το δεύτερο είδος επικοινωνίας σχετίζεται με τη διασύνδεση του ίδιου του έξυπνου σπιτιού με τον υπόλοιπο κόσμο.



Σχήμα 2.2: Η κατηγοριοποίηση του δικτύου επικοινωνίας μιας υποδομής έξυπνου σπιτιού, όπως έχει προταθεί στην εργασία [9].

Η επικοινωνία μέσα σε ένα έξυπνο σπίτι χωρίζεται σε τέσσερα διαφορετικά δίκτυα περιοχής:



- Το δίκτυο της περιοχής του σώματος (Body Area Network - BAN), το οποίο είναι το ασύρματο δίκτυο για τις φορητές συσκευές ή άλλες συσκευές που μπορεί να φέρει πάνω του ένας χρήστης. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε συσκευές που παρακολουθούν και συλλέγουν δεδομένα για σκοπούς υγειονομικής περίθαλψης. Μερικές από τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται σε αυτό τον τύπο δικτύου περιλαμβάνουν το NFC, το RFID και το Ultra-WideBand - UWB, δηλαδή η ασύρματη εκδοχή του USB.
- Το τοπικό δίκτυο (Local Area Network - LAN) είναι το δίκτυο το οποίο καλύπτει μια ακτίνα εμβέλειας περίπου 1 χλμ. Μερικές από τα πρωτόκολλα που εφαρμόζονται σε αυτόν τον τύπο δικτύου περιλαμβάνουν το Wi-Fi και το Wi-Fi HaLow, το ETSI HyperLAN και το WirelessHART.
- Το προσωπικό δίκτυο (Personal Area Network - PAN), στο οποίο ορισμένες από τις τεχνολογίες που ισχύουν γι' αυτό τον τύπο δικτύου περιλαμβάνουν το Bluetooth και το Bluetooth Low Energy - BLE, το ZigBee, το Z-Wave και το 6LoWPAN.
- Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN), το οποίο είναι ένας εναλλακτικός και ο πιο οικονομικός τρόπος διασύνδεσης μεταξύ των αισθητήρων. Το εν λόγω δίκτυο, έχει αρκετά χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις σε σύγκριση με τα υπόλοιπα δίκτυα επικοινωνίας. Επιπλέον, το WSN είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος επικοινωνίας για σκοπούς παροχής υπηρεσιών έξυπνης διαβίωσης, καθώς χρησιμοποιείται σε συστήματα επιτήρησης, ελέγχου και ασφάλειας, καθώς και στη διαχείριση της ενέργειας ενός έξυπνου σπιτιού.

Επιπρόσθετα, η επικοινωνία του σπιτιού με τον υπόλοιπο «έξω» κόσμο χωρίζεται κατηγοριοποιείται κι αυτή σε δύο διαφορετικά δίκτυα περιοχής.

- Το δίκτυο μητροπολιτικής περιοχής (Metropolitan Area Network - MAN), το οποίο μπορεί να μεταδώσει πληροφορίες σε ακτίνα απόστασης έως και 20 χλμ. Μερικές από τα πρωτόκολλα που ισχύουν γι' αυτό τον τύπο δικτύου είναι τα WiMAX, ETSI HiperMAN, ZigBee-NAN (6LoWPAN), WiSUN (6LoWPAN) και το NWave.
- Το δίκτυο ευρείας περιοχής (Wide Area Network - WAN) είναι ικανό να μεταδίδει τις συλλεγόμενες πληροφορίες σε αρκετά μεγάλη γεωγραφική εμβέλεια. Έτσι, το Διαδίκτυο μπορεί να θεωρηθεί ως ένα δίκτυο WAN. Επιπλέον, σε αυτή την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται τα 2G/3G/4G/5G, NarrowBand-IoT (NB-IoT), το δίκτυο ευρείας περιοχής χαμηλής κατανάλωσης (Low-Power Wide-Area Network - LPWAN), το ασύρματο περιφερειακό δίκτυο (Wireless Regional Area Network - WRAN – IEEE 802.22), και η δορυφορική επικοινωνία [218, 171, 62].

### 2.5.3 Η αποθήκευση των δεδομένων

Ένα από τα πιο σημαντικά και πολύτιμα ζητήματα σε μία υποδομή έξυπνου σπιτιού είναι τα συλλεγόμενα δεδομένα. Τα δεδομένα που συλλέγονται θα πρέπει να αποθηκεύονται και να χρησιμοποιούνται με έξυπνο τρόπο για την εποπτεία και την υποστήριξη των ηλικιωμένων ατόμων. Σε μια έξυπνη υποδομή, όπως ένα έξυπνο σπίτι, η αποθήκευση των δεδομένων μπορεί να υλοποιηθεί με δύο τρόπους, είτε τοπικά είτε σε μια υποδομή που βασίζεται στο νέφος.

1. Μια τοπική υποδομή για τη διαχείριση και την αποθήκευση των συλλεγόμενων δεδομένων συμβάλλει στη διαθεσιμότητα, την αξιοπιστία, την ασφάλεια και το απόρρητο των δεδομένων που συλλέγονται. Αυτή η επιλογή συμβάλλει γενικά στην ασφάλεια ολόκληρου του οικιακού συστήματος. Παραδείγματα τοπικής υποδομής αποτελούν το Mobile Cloud Computing - MCC, το Mobile Edge Computing - MEC, το Cloudlet και το Fog Computing. Αυτού του είδους οι υποδομές έχουν τη δυνατότητα να επεξεργάζονται ακατέργαστα τα συλλεγόμενα δεδομένα, ώστε να μειώνουν την κίνηση των δεδομένων και τη συμφόρηση που τελικά θα μεταφερθεί στο Διαδίκτυο.
2. Ο συνεχώς αυξανόμενος αριθμός των συσκευών που συνδέονται στο Διαδίκτυο έχει ως αποτέλεσμα τον ολοένα και αυξανόμενο όγκο των δεδομένων που καλούμαστε να διαχειριστούμε και να αποθηκεύσουμε. Η τεχνολογία της υποδομής νέφους φαίνεται να είναι μια ιδανική λύση για να καλύψει αυτές τις απαιτήσεις, καθώς προσφέρει διάφορες επιλογές όπως είναι το χαμηλό κόστος, η επεκτασιμότητα, οι φιλικές προς το χρήστη διεπαφές, ο καλός βαθμός ασφάλειας και οι υπό ορισμένες συνθήκες, υψηλού επιπέδου διαθεσιμότητα και αξιοπιστία. Έτσι, για τη διαχείριση και την αποθήκευση των συλλεγόμενων δεδομένων μεγάλου όγκου, έχουν αναπτυχθεί διάφορες πλατφόρμες που βασίζονται στο νέφος. Οι πλατφόρμες αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση τα τρία μοντέλα υπηρεσιών που παρέχονται στο νέφος: (i) SaaS, (ii) SaaSP και (iii) Infrastructure-as-a-Service - IaaS. Ενώ, ορισμένες από τις πλατφόρμες που παρέχουν αυτές τις υπηρεσίες είναι οι OpenIoT, Amazon, Google Cloud, Libellium, IBM Watson, FIWARE, Arkessa, OnePlatform, SensorCloud, SmartThings, ThinkWorx, Oracle IoT, Piotly, Nimbits, ThinkSpeak, Xively, κ.ά. [62].

## 2.6 Τεχνολογικές προκλήσεις στα έξυπνα σπίτια

Πολλοί ερευνητές, κατά καιρούς, έχουν ασχοληθεί με ζητήματα που αφορούν στο σχεδιασμό και την εφαρμογή διαφόρων οικιακών συστημάτων υποστήριξης για ηλικιωμένους ανθρώπους. Επιπλέον, υπάρχουν αρκετές - αλλά γεννιούνται και νέες -

προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι μελλοντικοί ερευνητές και κατ' επέκταση να προτείνουν λύσεις γι' αυτές. Παρακάτω, παρουσιάζονται και αναλύονται ενδεικτικά οι μελλοντικές τάσεις και οι προκλήσεις σχετικά με τα έξυπνα οικιακά συστήματα υποστήριξης για τους ηλικιωμένους ανθρώπους.

## 2.6.1 Ρομποτικά συστήματα

Τα ρομποτικά συστήματα είναι μια αναδυόμενη τάση αυτόματων συστημάτων που εισάγονται στα πιο σύγχρονα οικιακά περιβάλλοντα για να συλλέγουν πληροφορίες, να υποστηρίζουν και να αλληλεπιδρούν με τους ηλικιωμένους ανθρώπους και να εκτελούν διάφορες ενέργειες αντί εκείνων. Ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η εκτεταμένη χρήση των ρομποτικών συστημάτων είναι μια πολλά υποσχόμενη πρόκληση για την οικιακή υποβοήθηση και υποστήριξη των ηλικιωμένων ατόμων. Τα σύγχρονα ρομποτικά συστήματα έχουν πλέον τη δυνατότητα να εκτελέσουν πολλές εργασίες και δραστηριότητες, όπως το μαγείρεμα, το καθάρισμα, κλπ., αλλά μπορούν επίσης να χρησιμεύσουν και ως έξυπνοι πράκτορες. Οι εν λόγω έξυπνοι πράκτορες παρέχουν υποβοήθηση στις καθημερινές δραστηριότητες και τη ρουτίνα των ηλικιωμένων ατόμων και ενεργούν σαν κοινωνικοί σύντροφοι, μειώνοντας έτσι το βαθμό μοναξιάς των ηλικιωμένων ανθρώπων.

## 2.6.2 Τεχνητή Νοημοσύνη

Μια ακόμη τεχνολογική πρόκληση είναι η TN. Η TN είναι το μέσο και ο τρόπος με τον οποίο ένα υπολογιστικό σύστημα αποκτά νοημοσύνη. Έτσι, σε ένα έξυπνο σπίτι, και ειδικά σε ένα που είναι αφιερωμένο στην υποστήριξη ευάλωτων ανθρώπινων ομάδων, όπως είναι τα ηλικιωμένα άτομα, απαιτείται να διαθέτει ευφυΐα. Ένα τέτοιου είδους σπίτι θα πρέπει να μπορεί να μαθαίνει και να προσαρμόζεται στις ανάγκες και τις απαιτήσεις των ηλικιωμένων ατόμων, να συνάγει συμπεράσματα και να κατανοεί τη συμπεριφορά και την αντίδρασή τους, καθώς ακόμη και να λύνει προβλήματα. Η ενσωμάτωση της TN σε φυσικά περιβάλλοντα δημιουργήσε το πεδίο έρευνας της Περιβάλλουσας Νοημοσύνης - ΠΝ (Ambient Intelligent - AmI) [213]. Έτσι, ένα έξυπνο οικιακό σύστημα υποστήριξης θα πρέπει να ενσωματώνει την ΠΝ, επιτρέποντας τη συνεχή εκμάθηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς και την εκτέλεση ενεργειών που ενεργοποιούνται από αναγνωρισμένα γεγονότα. Αυτός ο τύπος συστήματος μπορεί να βοηθήσει και να υποστηρίξει τους ηλικιωμένους ανθρώπους τόσο στις δραστηριότητες και τη ρουτίνα τους, όσο και σε συναισθηματικό επίπεδο.

### 2.6.3 Μηχανική Μάθηση

Η μηχανική μάθηση είναι μια αρκετά μεγάλη υποκατηγορία της ΤΝ, και γι' αυτό γίνεται ξεχωριστή αναφορά σε αυτή. Παράλληλα, είναι ένα πολλά υποσχόμενο και συνεχώς αναδυόμενο θέμα για έρευνα, προσελκύοντας ολοένα και περισσότερους ερευνητές παγκοσμίως. Είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλούς διαφορετικούς κλάδους και σε ένα μεγάλο εύρος υπηρεσιών και εφαρμογών. Σε ό,τι αφορά το πεδίο εφαρμογής αυτού του κεφαλαίου, η μηχανική μάθηση είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στη βιομηχανία των έξυπνων σπιτιών. Με την χρήση της μηχανικής μάθησης στις συσκευές και τα συστήματα ενός έξυπνου σπιτιού, επιτυγχάνονται εξατομικευμένες υπηρεσίες, όπως είναι η αναγνώριση των καθημερινών δραστηριοτήτων και η επίβλεψη των κατοίκων ενός σπιτιού [66]. Επομένως, η μηχανική μάθηση θεωρείται πλέον επιβεβλημένη στην εφαρμογή συστημάτων οικιακής υποστήριξης ηλικιωμένων ατόμων, καθώς μέσω αυτής το σπίτι «μαθαίνει» τους κατοίκους του. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να επιτευχθεί η συνεχής υποστήριξη των ηλικιωμένων ανθρώπων στην καθημερινότητά τους, αλλά και η παρέμβαση και η λήψη αποφάσεων από το ίδιο το σπίτι σε περιπτώσεις ανάγκης.

## 2.7 Συμπεράσματα

Σε αυτό το Κεφάλαιο, παρουσιάστηκε μια ανασκόπηση του ερευνητικού θέματος των οικιακών συστημάτων υποστήριξης για ηλικιωμένους ηλικιωμένους, αξιοποιώντας τις έξυπνες τεχνολογίες. Στόχος ήταν να προσφερθεί μια έρευνα για κάθε ερευνητή/τρια ο/η οποίος/α επιθυμεί να ασχοληθεί με αυτό το ερευνητικό πεδίο και να βρει συγκεντρωμένα σε ένα έγγραφο τα τελευταίας τεχνολογίας ερευνητικά αποτελέσματα, που υπάρχουν έως τώρα. Επιπλέον, υπάρχει η επιθυμία για παρακίνηση των ερευνητών/τριών στο ερευνητικό πεδίο της ονομαζόμενης Αργυρής Οικονομίας, η οποία προτρέπει στην υιοθέτηση και τη χρήση καινοτόμων λύσεων λόγω του συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού των ηλικιωμένων ατόμων.

Εστιάζοντας στην έξυπνη οικιακή εποπτεία των ηλικιωμένων ανθρώπων, δόθηκαν τα αποτελέσματα επιστημονικών ερευνών και οι διαθέσιμες εμπορικές λύσεις. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε, αποκάλυψε ότι ελάχιστα έργα και εργασίες έχουν παρουσιαστεί από τον ακαδημαϊκό κόσμο και τη βιομηχανία με στοχοπροσήλωση στη συγκεκριμένη ομάδα ανθρώπων, αν και η τεχνολογία και τα κύρια στοιχεία για το σχεδιασμό ενός έξυπνου συστήματος οικιακής υποστήριξης για ηλικιωμένα άτομα είναι ήδη αρκετά ώριμη.

Η πεποίθηση της συγγραφέως είναι ότι η παρούσα ανασκόπηση της ερευνητικής βιβλιογραφίας και των εμπορικών λύσεων γι' αυτό το κρίσιμο θέμα της Αργυρής Οικονομίας, θα βοηθήσει αρκετά τους/τις μελλοντικούς ερευνητές/τριες να ασχοληθούν πιο

αποτελεσματικά με το συγκεκριμένο ερευνητικό πεδίο. Οι προκλήσεις για την έρευνα είναι σε ορισμένες περιπτώσεις αμέτρητες, αλλά οι δυνατότητες για την ανάπτυξη έξυπνων σπιτιών για ηλικιωμένους ανθρώπους είναι απεριόριστες, λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των επιστημονικών κλάδων και τα θέματα που εμπλέκονται σε αυτό το κρίσιμο ζήτημα.



## Κεφάλαιο 3

# Έξυπνο σύστημα υποστήριξης ηλικιωμένων στο οικιακό τους περιβάλλον

Η συνεχής πρόοδος και εξέλιξη της τεχνολογίας έχει συνδράμει στην ανάπτυξη πολλών και διαφορετικών πεδίων της έρευνας. Ένα από αυτά τα πεδία αφορά και τις διάφορες λύσεις που προσφέρονται σε ένα οικιακό περιβάλλον το οποίο παρέχει διευκολύνσεις, όπως ασφάλεια, υποστήριξη, κλπ., στην καθημερινή ζωή των ηλικιωμένων ανθρώπων. Σε αυτό το Κεφάλαιο προτείνεται ένα σύστημα ανοικτού λογισμικού και υλισμικού με σκοπό την παροχή υποστήριξης και υποβοήθησης στους ηλικιωμένους ανθρώπους, εντός του περιβάλλοντος του σπιτιού τους. Σκοπός του προτεινόμενου συστήματος, είναι η υποστήριξη, η προστασία, η ευεξία και η διατήρηση της υγείας και των λειτουργικών τους ικανοτήτων των ηλικιωμένων ατόμων, χωρίς διάκριση ανάμεσα σε ένα πάσχοντα άτομο ή σε κάποιο άτομο που γερνά υγιές. Το προτεινόμενο σύστημα αποτελείται από μεμονωμένα υποσυστήματα, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν και ανεξάρτητα το ένα με το άλλο, αλλά μπορούν και να επικοινωνούν μεταξύ τους. Τα υποσυστήματα αφορούν στην ασφάλεια, στην ευημερία και στην υποστήριξη των ηλικιωμένων ατόμων εντός των ορίων της κατοικίας τους.

### 3.1 Εισαγωγή

Οι παγκόσμιες δημογραφικές τάσεις δείχνουν ότι η γήρανση του πληθυσμού είναι γρήγορη. Σύμφωνα με έκθεση της Eurostat [80], ο πληθυσμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης την 1η Ιανουαρίου 2021 ανήλθε σε 447,2 εκατομμύρια, εκ των οποίων το 20,8% αποτελούνταν από άτομα άνω των 65 ετών. Το ποσοστό του πληθυσμού άνω των 65 ετών αυξήθηκε σε όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς αυξήθηκε κατά

0,2% σε σύγκριση με το αντίστοιχο του 2020 και κατά 3% σε σύγκριση με πριν από 10 χρόνια.

Επιπλέον, η άνοια είναι μια συλλογική ονομασία για τα προοδευτικά εγκεφαλικά σύνδρομα που επηρεάζουν τη μνήμη, τη σκέψη, τη συμπεριφορά και τα συναισθήματα, ως επί το πλείστον των ηλικιωμένων ανθρώπων. Η άνοια επηρεάζει περίπου 50 εκατομμύρια ανθρώπους παγκοσμίως, με ένα νέο κρούσμα άνοιας να συμβαίνει κάθε 3 δευτερόλεπτα παγκοσμίως. Μέχρι και σήμερα δεν υπάρχει θεραπεία για τους περισσότερους τύπους άνοιας, αλλά υπάρχουν διάφορες θεραπείες και μέθοδοι υποστήριξης των πασχόντων [16].

Επίσης, επιθυμία των ηλικιωμένων ατόμων είναι να παρατείνουν το χρόνο διαμονής τους στο περιβάλλον διαβίωσης που προτιμούν, δηλαδή στο σπίτι τους, αυξάνοντας έτσι την αυτονομία, την αυτοπεποίθηση, ακόμη και την κινητικότητα τους. Αυτοί οι λόγοι οδήγησαν την επιστημονική κοινότητα να στραφεί ερευνητικά και να αναπτύξει λύσεις για την ΕΥΔ των ηλικιωμένων ατόμων, καθώς η ανεξάρτητη ζωή στο σπίτι τους αποτελεί σημαντικό στόχο για αυτή την ολοένα αυξανόμενη μερίδα του παγκόσμιου πληθυσμού.

Το προτεινόμενο σύστημα παρουσιάζεται λεπτομερώς ακολούθως. Αποτελείται από τρία μεμονωμένα υποσυστήματα, τα οποία μπορούν να λειτουργούν συλλογικά και να επικοινωνούν μεταξύ τους, αλλά μπορούν να είναι κι εντελώς ανεξάρτητα κι αυτόνομα. Τα υποσυστήματα έχουν ως σκοπό την ασφάλεια, την ευημερία και την υποστήριξη των ηλικιωμένων ατόμων στο πλαίσιο των ορίων της κατοικίας τους.

## 3.2 Το προτεινόμενο σύστημα

Η ενότητα αυτή έχει ως στόχο την πρόταση ενός συστήματος φροντίδας ηλικιωμένων ατόμων για χρήση στο οικιακό τους περιβάλλον, με σκοπό την υποστήριξη, την προστασία, την ευημερία και τη διατήρηση της υγείας και των λειτουργικών τους ικανοτήτων, το οποίο να βασίζεται σε ανοικτές τεχνολογίες (open software, open hardware). Σύμφωνα με την έρευνα [15], οι κύριες ανάγκες των ηλικιωμένων ατόμων είναι η ασφάλεια και η ευημερία εντός του σπιτιού τους, καθώς και η υποστήριξη της καθημερινής ρουτίνας της ζωής τους. Η συμβολή του προτεινόμενου συστήματος είναι να βοηθήσει σε αυτές τις ανάγκες - είτε των ηλικιωμένων ατόμων γενικά, είτε ειδικότερα των ηλικιωμένων ατόμων που πάσχουν από άνοια - με τη χρήση λύσεων Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών - ΤΠΕ χαμηλού κόστους και μικρής κλίμακας. Έτσι, η προτεινόμενη λύση αποτελείται από αυτόνομα υποσυστήματα, τα οποία λειτουργούν ανεξάρτητα, αλλά μπορούν να επικοινωνούν και μεταξύ τους. Το κύριο σύστημα απαρτίζεται από τρία υποσυστήματα: *το υποσύστημα ασφαλείας, το υποσύστημα ευημερίας και το υποσύστημα υποστήριξης.*



### 3.2.1 Υποσύστημα ασφαλείας

Σκοπός του υποσυστήματος ασφαλείας είναι η ανίχνευση των κινήσεων των ηλικιωμένων ατόμων εντός στο εσωτερικό της οικίας τους. Για να επιτευχθεί αυτό, μπορούν να τοποθετηθούν διάφοροι αισθητήρες, σε συγκεκριμένα σημεία εντός του σπιτιού, με σκοπό την ανίχνευση οποιασδήποτε δραστηριότητα των ηλικιωμένων ανθρώπων. Έτσι, σε περιπτώσεις όπως η έλλειψη κίνησης από το επιβλεπόμενο άτομο για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα - στην περίπτωση μας ένα ηλικιωμένο άτομο - το υποσύστημα αναλαμβάνει να επικοινωνήσει μαζί του, ώστε να επιβεβαιώσει ότι είναι ασφαλής.

Η επικοινωνία μεταξύ του υποσυστήματος και του ηλικιωμένου ατόμου επιτυγχάνεται με τη χρήση των έξυπνων ηχείων που βρίσκονται διάσπαρτα στους χώρους του σπιτιού του. Έτσι, η επικοινωνία πραγματοποιείται μέσω της φυσικής γλώσσας και δεν απαιτείται κάποια επιπλέον εκπαίδευση. Μέσω των έξυπνων ηχείων, το υποσύστημα έχει δυνατότητα να θέτει στο ηλικιωμένο άτομο συγκεκριμένες και προκαθορισμένες ερωτήσεις σχετικά με την παρούσα κατάσταση της υγείας του. Εάν το ηλικιωμένο πρόσωπο ανταποκριθεί στις ερωτήσεις ότι όλα είναι καλά, με προκαθορισμένες αποκρίσεις για το υποσύστημα, τότε το υποσύστημα δεν εκτελεί καμία ενέργεια. Στην περίπτωση όπου το ηλικιωμένο πρόσωπο ανταποκριθεί ότι δεν είναι καλά στην υγεία του, με προκαθορισμένες για το σύστημα απαντήσεις ή δεν ανταποκριθεί καθόλου, τότε το υποσύστημα αναλαμβάνει να ενημερώσει τα συγγενικά ή/και οικεία του πρόσωπα ότι κάτι του συνέβη.

Επιπλέον, για την αποφυγή λανθασμένων συναγερωμών από το υποσύστημα, κατά την εγκατάστασή του θα πραγματοποιείται μια κατηγοριοποίηση των χώρων του σπιτιού, ως προς την ασφάλειά τους και τη δυνητική επικινδυνότητά τους. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες κίνησης μπορεί να μην καταγράφουν κάποια κίνηση για μεγάλο χρονικό διάστημα σε ένα από τα δωμάτια που ταξινομούνται ως «χαμηλής επικινδυνότητας», όπως ένα υπνοδωμάτιο, γεγονός που θα οδηγήσει το υποσύστημα να μην προβεί σε κάποια ειδοποίηση των συγγενών/οικείων του ηλικιωμένου ατόμου, καθώς το πιθανότερο είναι ότι θα είναι ξαπλωμένο. Από την άλλη πλευρά, εάν οι αισθητήρες κίνησης δεν καταγράψουν καμία κίνηση σε χώρο του σπιτιού που χαρακτηρίζεται ως «υψηλής επικινδυνότητας», όπως είναι το δωμάτιο του μπάνιου ενός σπιτιού, τότε το υποσύστημα θα ενημερώσει έγκαιρα τους συγγενείς του ηλικιωμένου ανθρώπου.

Επίσης, αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν και στις εισόδους της κατοικίας, με σκοπό την ενημέρωση των συγγενών/οικείων προσώπων ότι το ηλικιωμένο άτομο έχει βγει εκτός των ορίων του σπιτιού του (geofencing), ώστε να μπορεί να εντοπιστεί άμεσα από τους συγγενείς/οικείους του (geolocation). Επιπλέον, το ηλικιωμένο άτομο θα φέρει πάνω του μια φορητή συσκευή, η οποία μπορεί να λειτουργεί ως κουμπί πανικού, για να καλεί αμέσως την οικογένειά του σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας υλοποιήθηκαν μόνο οι τυπικές υποδομές και

οι βασικές λειτουργίες του υποσυστήματος, όπως η υποδομή του geofencing και του geolocation για τα ηλικιωμένα άτομα. Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την εφαρμογή τους, παρέχονται στη συνέχεια.

### 3.2.2 Υποσύστημα ευημερίας

Ο σκοπός του υποσυστήματος ευημερίας είναι να παρέχει το αίσθημα εμπιστοσύνη και να εμψυχήσει το αίσθημα ασφάλειας στους ηλικιωμένους ανθρώπους, αλλά και στους συγγενείς/οικείους τους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί τόσο με την τοποθέτηση συγκεκριμένων αισθητήρων σε κρίσιμα σημεία εντός του σπιτιού, όσο και με τη χρήση διαφόρων φορητών συσκευών που θα φέρουν πάνω τους τα ηλικιωμένα άτομα.

Οι φορητές συσκευές που απευθύνονται σε ηλικιωμένους ανθρώπους παρέχουν κυρίως πληροφορίες σχετικά με τη θέση τους, δηλαδή τη γεωγραφική τους τοποθεσία. Αυτού του είδους οι συσκευές συνδράμουν στον γρήγορο, εύκολο και ακριβή εντοπισμό των ηλικιωμένων ατόμων, σε περιπτώσεις που λείπουν από το σπίτι τους και αναζητούνται από τους συγγενείς ή/και τους οικείους τους.

Η τοποθέτηση των αισθητήρων του συγκεκριμένου υποσυστήματος, μπορεί να γίνει σε διάφορους χώρους του σπιτιού και με διαφορετικές παραλλαγές. Στην παρούσα υλοποίηση, οι αισθητήρες επιλέχθηκαν να τοποθετηθούν στον χώρο της κουζίνας και του μπάνιου του σπιτιού. Κριτήριο επιλογής των συγκεκριμένων δωματίων ήταν η κατάταξή τους σε χώρους «υψηλής επικινδυνότητας», με σκοπό την εύκολη διαχείριση των ηλεκτρικών συσκευών και των βρυσών αυτών των δωματίων. Συγκεκριμένα, μπορούν να τοποθετηθούν αισθητήρες για να ανιχνεύουν εάν η συσκευή της ηλεκτρικής κουζίνας έχει παραμείνει σε λειτουργία, δίχως να απαιτείται και δίχως να έχει πάνω της κάποιο σκεύος ή ακόμη κι αν έχει κάποιο σκεύος σε αυτή και έχει υπερθερμανθεί. Στην περίπτωση της άσκοπης λειτουργίας της συσκευής της ηλεκτρικής κουζίνας, το υποσύστημα έχει τη δυνατότητα είτε να ειδοποιήσει τους ιδιοκτήτες του σπιτιού ότι μια ηλεκτρική συσκευή παραμένει άσκοπα σε λειτουργία, ή ακόμα και να κλείσει αυτόματα το υποσύστημα τη συσκευή. Παρόμοια περίπτωση μπορεί να πραγματοποιηθεί και για τις οικιακές βρύσες μιας κατοικίας. Εάν μια βρύση παραμένει άσκοπα ανοιχτή, το υποσύστημα θα έχει τη δυνατότητα είτε να ειδοποιήσει τους ενοίκους του σπιτιού, είτε να την κλείσει αυτόματα.

### 3.2.3 Υποσύστημα υποστήριξης

Οι στόχοι του υποσυστήματος υποστήριξης είναι δύο: i) να υπενθυμίζει στους ηλικιωμένους ανθρώπους να λαμβάνουν στην ώρα τους τη φαρμακευτική τους αγωγή, και ii) η αναγνώριση των οικείων τους προσώπων, στην περίπτωση που τα ηλικιωμένα άτομα πάσχουν από κάποια μορφή άνοιας.

Η υπενθύμιση για τη λήψη της φαρμακευτικής αγωγής των ηλικιωμένων ατόμων, επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας συσκευής που θα προσαρμόζεται ανάλογα με τις ανάγκες και απαιτήσεις των ηλικιωμένων ανθρώπων. Η συγκεκριμένη συσκευή έχει τη δυνατότητα αναπαραγωγής ενός χαρακτηριστικού ήχου την απαιτούμενη ημέρα και ώρα, ώστε να πραγματοποιηθεί η λήψη της απαραίτητης φαρμακευτικής αγωγής τους.

Η αναγνώριση των οικείων ατόμων από τους ηλικιωμένους ανθρώπους που πάσχουν από άνοια επιτυγχάνεται μέσω μιας ειδικά σχεδιασμένης υποδομής, η οποία εστιάζει στον πάσχοντα και χρησιμοποιεί τα ηχητικά ερεθίσματα. Συγκεκριμένα, η λειτουργία του συγκεκριμένου συστήματος, είναι να αναπαράγει χαρακτηριστικούς ήχους για κάθε ένα από τα οικεία πρόσωπα του ηλικιωμένου πάσχοντα, έτσι ώστε οι ήχοι να βοηθούν τον πάσχοντα να αναγνωρίζει πιο εύκολα ποιο είναι το αγαπημένο πρόσωπο που έχει μπει στον χώρο του σπιτιού του. Η αναπαραγωγή του χαρακτηριστικού ήχου για κάθε ένα από τα οικεία πρόσωπα του ηλικιωμένου προσώπου γίνεται με τη χρήση των έξυπνων ηχείων, τα οποία βρίσκονται διάσπαρτα στους χώρους του σπιτιού του, και με τη χρήση μιας φορητής συσκευής αναγνώρισης που θα φέρει επάνω του κάθε οικείο πρόσωπο των ηλικιωμένων ανθρώπων. Η φορητή συσκευή αναγνώρισης λειτουργεί ως το μοναδικό αναγνωριστικό για κάθε ένα από τα οικεία πρόσωπα. Έτσι, κάθε φορά που ένα από τα οικεία πρόσωπα εισέρχεται στο σπίτι του ηλικιωμένου ατόμου, η συσκευή αναγνώρισής του θα αναγνωρίζεται από το έξυπνο ηχείο του σπιτιού. Έπειτα, το έξυπνο ηχείο θα αναπαράγει τον αντίστοιχο χαρακτηριστικό ήχο για το συγκεκριμένο άτομο, ο οποίος ήχος θα λειτουργήσει ως ερεθίσματα για το ηλικιωμένο πρόσωπο που πάσχει από άνοια, ώστε να αναγνωρίσει το αγαπημένο του πρόσωπο, το οποίο μόλις έχει μπει στο σπίτι του.

### 3.3 Υλοποίηση του συστήματος

Στην υλοποίηση του προτεινόμενου συστήματος, αρχικά εγκαταστάθηκε η βασική υποδομή κάθε υποσυστήματος, καθώς πρωταρχικός σκοπός ήταν η διατήρηση του κόστους και της πολυπλοκότητας ολόκληρου του συστήματος σε χαμηλά επίπεδα. Η βασική υποδομή κάθε υποσυστήματος περιγράφεται λεπτομερώς ακολούθως.

#### 3.3.1 Υποσύστημα ασφαλείας

Το υποσύστημα ασφαλείας αποτελείται από δύο συσκευές. Η πρώτη συσκευή (D1) εγκαθίσταται εντός της οικίας και ελέγχει την ανίχνευση ή μη των ηλικιωμένων ανθρώπων εντός του σπιτιού τους. Ενώ, η δεύτερη συσκευή (D2) είναι η φορητή συσκευή που φέρει πάνω τους το ηλικιωμένο άτομο, ώστε να μπορεί να εντοπιστεί από την D1 συσκευή. Η συσκευή D1 αναζητά τη συσκευή D2, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, με

σκοπό τη δημιουργία επικοινωνίας μεταξύ τους. Όταν η συσκευή D2 δεν ανιχνεύεται από τη συσκευή D1, δηλαδή όταν είναι εκτός του εύρους εμβέλειάς της, τότε η συσκευή D1 δημιουργεί μια προειδοποίηση για τον μη εντοπισμό της συσκευής D2, και κατ'επέκταση του ηλικιωμένου ατόμου που τη φέρει πάνω του.

Με σκοπό τη διατήρηση του χαμηλού κόστους και της χαμηλής πολυπλοκότητας του υποσυστήματος, οι δύο συσκευές του υποσυστήματος υλοποιήθηκαν με τη χρήση υλικού ειδικού σκοπού, όπως οι μικροϋπολογιστές Raspberry Pi [214]. Για τη συσκευή D1, χρησιμοποιήθηκε ο μικροϋπολογιστής Raspberry Pi 3 B+ [215], εξαιτίας των δυνατοτήτων προγραμματισμού, της διαθεσιμότητας του λειτουργικού συστήματος και των ενσωματωμένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας που διαθέτει. Ενώ, για τη συσκευή D2 χρησιμοποιήθηκε το Raspberry Pi Zero W [216], λόγω του μικρού μεγέθους και των δυνατοτήτων που έχει, όπως είναι η διαθεσιμότητα λειτουργικού συστήματος, η δυνατότητα προγραμματισμού του και η δυνατότητα σύνδεσής του με το ασύρματα δίκτυο LAN και το ασύρματο πρωτόκολλο Bluetooth.

Η επικοινωνία μεταξύ των δύο συσκευών επιτυγχάνεται με τη χρήση του πρωτοκόλλου επικοινωνίας Bluetooth, ενώ η αναγνώριση της συσκευής D2 από τη συσκευή D1 επιτυγχάνεται με βάση το μοναδικό αναγνωριστικό της διεύθυνσης MAC της κάθε συσκευής. Στην περίπτωση που η συσκευή D1 συζευχθεί με τη συσκευή D2, τότε δεν εκτελείται καμία ενέργεια. Διαφορετικά, όταν δηλαδή δεν επιτευχθεί σύζευξη μεταξύ των συσκευών D1 και D2, αποστέλλεται ένα μήνυμα ότι η συσκευή D2, και κατ'επέκταση και το ηλικιωμένο άτομο που τη φέρει πάνω του, είναι εκτός εμβέλειας και ενδεχομένως και εκτός των ορίων του σπιτιού.

### 3.3.2 Υποσύστημα ευημερίας

Το υποσύστημα ευημερίας αποτελείται κι αυτό από δύο συσκευές. Η συσκευή D3 σχεδιάστηκε για να παρακολουθεί και να ελέγχει τις περιβαλλοντικές συνθήκες οι οποίες επικρατούν εντός του σπίτι των ηλικιωμένων ατόμων, χρησιμοποιώντας διάφορους αισθητήρες, όπως αισθητήρα θερμοκρασίας, υγρασίας και αερίου. Ενώ, η συσκευή D4 σχεδιάστηκε για να επιβλέπει τις εστίες της συσκευής της ηλεκτρικής κουζίνας, στην περίπτωση που κάποια από τις εστίες της ηλεκτρικής συσκευής έχει παραμείνει άσκοπα σε λειτουργία. Η λειτουργικότητα της συσκευής D4 επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός αισθητήρα, ο οποίος παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη θερμοκρασία του εξ αποστάσεως αντικειμένου που επιβλέπει.

Για την υλοποίηση και των δύο συσκευών του υποσυστήματος ευημερίας επιλέχθηκε η πλακέτα Arduino Uno [21], μια ανοικτή πλακέτα λογισμικού και υλικού, στην οποία συνδέθηκαν οι αισθητήρες για τη συλλογή των μετρήσεων και των περιβαλλοντικών δεδομένων. Οι αισθητήρες που επιλέχθηκαν για τις συσκευές D3 και D4 συλλέγουν, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, συγκεκριμένα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, τα οποί-

α συχνά αναφέρονται σε κρίσιμες καταστάσεις, οι οποίες οδηγούν σε ατυχήματα μέσα σε ένα σπίτι. Τα χαρακτηριστικά της υγρασίας και της θερμοκρασίας είναι ορισμένα από τα πιο κρίσιμα χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζουν την ποιότητα ζωής εντός του σπιτιού, ενώ το αέριο - και συγκεκριμένα η διαρροή αυτού - σχετίζεται με διάφορες αναφορές θανάτων ηλικιωμένων ατόμων από αναθυμιάσεις ή διαρροή αερίου. Επιπλέον, συχνή είναι και η περίπτωση αστοχίας ή παράλειψης απενεργοποίησης των εστιών της συσκευής της ηλεκτρικής κουζίνας, η οποία μπορεί να οδηγήσει μέχρι και σε εκδήλωση πυρκαγιάς. Έτσι, για τη συσκευή D3 χρησιμοποιείται ένας αισθητήρας, ο οποίος συλλέγει δεδομένα θερμοκρασίας και υγρασίας εντός του περιβάλλοντος του σπιτιού κι ένας αισθητήρας για την ανίχνευση πιθανής διαρροής φυσικού αερίου και οξειδίων του άνθρακα ( $CO_x$ ) σε ένα δωμάτιο. Ενώ, η συσκευή D4 αποτελείται από έναν υπέρυθρο αισθητήρα θερμοκρασίας, για την εξ αποστάσεως μέτρηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του αντικειμένου-στόχου που εποπτεύει, ενώ παράλληλα μετρά και τη μέση θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου.

Η επικοινωνία των συσκευών D3 και D4 του υποσυστήματος ευημερίας με το κεντρικό σύστημα, καθώς και η μετάδοση των συλλεγόμενων δεδομένων πραγματοποιείται μέσω ενός ασύρματου καναλιού επικοινωνίας, προκειμένου να μειωθεί η πολυπλοκότητα της σύνδεσης των συσκευών και να καταστεί το υποσύστημα πιο ασφαλές στη χρήση. Σκοπός της συγκεκριμένης υλοποίησης είναι να επιτρέπεται η χρήση της συσκευής στον χώρο της κουζίνας όπου δεν είναι και ο πιο ασφαλής χώρος για να υπάρχουν εκτεθειμένα καλώδια. Έτσι, επιλέχθηκε η μονάδα Bluetooth HC-05 για να επιτευχθεί η ασύρματη επικοινωνία και η μετάδοση των συλλεγόμενων δεδομένων των συσκευών D3 και D4 στο υπόλοιπο σύστημα. Η μετάδοση των δεδομένων ακολουθεί μια δομημένη μορφή πακέτου πληροφοριών, που αξιοποιεί τα μηνύματα της μορφής JSON. Κάθε συσκευή, αρχικά μεταδίδει το αναγνωριστικό της ID, επιτρέποντας έτσι την εύκολη ανάλυση των πληροφοριών της και στη συνέχεια τα πεδία μαζί με τις αντίστοιχες τιμές των μετρήσεων. Ένα παράδειγμα μετάδοσης ενός πακέτου πληροφοριών έχει την εξής μορφή: *ID: 1, θερμοκρασία: 25.0, υγρασία: 56.5, αέριο: 0, leak: no leakage.*

### 3.3.3 Υποσύστημα υποστήριξης

Το υποσύστημα υποστήριξης είναι ένα πληροφοριακό σύστημα στο σπίτι για την υποστήριξη των ηλικιωμένων ατόμων που πάσχουν από άνοια και των συγγενών/οικείων τους. Το πληροφοριακό σύστημα αποτελείται από δύο κύριες εφαρμογές: i) την εφαρμογή του πελάτη (client application) και ii) την εφαρμογή του διακομιστή (server application).

Η εφαρμογή του πελάτη εκτελείται στη συσκευή αναγνώρισης των συγγενών/οικείων ατόμων, την οποία φέρουν πάνω τους, π.χ. smartphone. Η επικοινωνία της συσκευής αναγνώρισης με τον διακομιστή επιτυγχάνεται μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας

Bluetooth. Στον διακομιστή, το αναγνωριστικό που συλλέγεται αντιστοιχίζεται σε έναν προκαθορισμένο ήχο. Στη συνέχεια, αναπαράγεται ο αντίστοιχος χαρακτηριστικός ήχος, ο οποίος λειτουργεί ως ερέθισμα για να αναγνωρίσει το άτομο που πάσχει από άνοια το αγαπημένο του πρόσωπο. Η αναγνώριση κάθε συσκευής αναγνώρισης, που κατ'επέκταση οδηγεί και στην αναγνώριση του σωστού συγγενικού/οικείου προσώπου και τελικά στην αναπαραγωγή του σωστού χαρακτηριστικού ήχου, επιτυγχάνεται μέσω της μοναδικής διεύθυνσης MAC που έχει κάθε συσκευή αναγνώρισης και μεταδίδει στον διακομιστή.

Η εφαρμογή του διακομιστή είναι ενσωματωμένη σε έναν μικροϋπολογιστή Raspberry Pi 3 B+, ο οποίος λειτουργεί ως έξυπνο ηχείο στο σπίτι του πάσχοντα. Ο ρόλος του διακομιστή είναι να διαχειρίζεται την επικοινωνία με τις συσκευές αναγνώρισης. Επιπλέον, ο διακομιστής έχει μια λίστα με όλες τις συσκευές αναγνώρισης και τον ήχο που αντιστοιχεί σε καθεμιά από αυτές, ο οποίος μπορεί να αναθεωρηθεί όποτε θεωρηθεί αναγκαίο. Έτσι, ο διακομιστής αναζητά τις συσκευές αναγνώρισης - μέσω της μοναδικής διεύθυνσης MAC που έχει κάθε συσκευή - ανά τακτά χρονικά διαστήματα, και δημιουργεί επικοινωνία μεταξύ τους, με τη χρήση του Bluetooth. Όταν επιτευχθεί η επικοινωνία των δύο εφαρμογών, η εφαρμογή του διακομιστή αναζητά στη λίστα ήχων που έχει στη διάθεσή της τον αντίστοιχο συσχετισμένο ήχο με τη συγκεκριμένη συσκευή αναγνώρισης και τον αναπαράγει. Ο ακριβής τρόπος λειτουργίας του υποσυστήματος υποστήριξης θα παρουσιαστεί λεπτομερώς σε επόμενο Κεφάλαιο (βλ. Κεφάλαιο 5).

## 3.4 Αποτελέσματα

Στην παρούσα ενότητα ελέγχεται και αξιολογείται η λειτουργικότητα του συστήματος που υλοποιήθηκε. Συγκεκριμένα, για την αξιολόγηση της σωστής λειτουργικότητας του συστήματος, πραγματοποιήθηκαν πειραματικοί έλεγχοι για κάθε ένα υποσύστημα ξεχωριστά, με σκοπό να επικαιροποιηθεί η ορθότητα της λειτουργίας τους.

### 3.4.1 Υποσύστημα ασφαλείας

Οι πειραματικοί έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν για το υποσύστημα ασφαλείας είχαν ως στόχο να εξετάσουν την ικανότητα της D1 συσκευής να αναζητά και να εντοπίζει τη D2 συσκευή, στην περίπτωση που η D2 συσκευή βρισκόταν στην εμβέλεια της D1. Οι έλεγχοι του υποσυστήματος ασφαλείας πραγματοποιήθηκαν σε διάφορους χώρους του κτηρίου του Τμήματος Πληροφορικής με Εφαρμογές στη Βιοϊατρική του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, το οποίο έχει έδρα στην πόλη της Λαμίας, προκειμένου να μελετηθούν όλες τα πιθανά ενδεχόμενα αποστάσεων μεταξύ των συσκευών D1 και

D2, όπως τα διαφορετικά δωμάτια, οι διαφορετικοί όροφοι, κ.ά. Τα αποτελέσματα των ελέγχων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα των δοκιμών του υποσυστήματος ασφαλείας.

Αριθμός ελέγχου	Εντοπισμός της D2 συσκευής	Απόσταση μεταξύ των δύο συσκευών
1	Ναι	3.7 μ.
2	Ναι	5.2 μ.
3	Όχι	19.5 μ.
4	Όχι	13.0 μ.
5	Ναι	1.9 μ.
6	Ναι	3.1 μ.
7	Όχι	2.1 μ.
8	Ναι	3.0 μ.
9	Όχι	13.9 μ.
10	Όχι	16.3 μ.

Οι πρώτοι έξι έλεγχοι, όπως φαίνονται και στον Πίνακα 3.1 παραπάνω, πραγματοποιήθηκαν και με τις δύο συσκευές D1 και D2 να βρίσκονται στον ίδιο όροφο του κτηρίου. Ενώ, οι υπόλοιποι τέσσερις έλεγχοι (έλεγχος 7 - έλεγχος 10) πραγματοποιήθηκαν όσο η D1 συσκευή βρισκόταν στον πρώτο όροφο και η D2 συσκευή στο ισόγειο του ίδιου κτηρίου. Το γεγονός αυτό, εξηγεί το αποτέλεσμα της δοκιμής 7 έναντι των δοκιμών 1 και 2, στις οποίες αν και η απόσταση των συσκευών D1 και D2 είναι μικρότερη, η συσκευή D2 δεν μπόρεσε να εντοπιστεί από τη συσκευή D1, εξαιτίας της διαφοράς ορόφου. Από την άλλη πλευρά, στον έλεγχο 8, αν και η διαφορά ορόφου μεταξύ των δύο συσκευών συνέχιζε να υφίσταται, οι συσκευές D1 και D2 ήταν σχεδόν η μία κάτω από την άλλη, επομένως η συσκευή D2 μπόρεσε να εντοπιστεί από τη συσκευή D1. Να σημειωθεί πως η συσκευή D1 σε όλες τις δοκιμές βρισκόταν σε ένα συγκεκριμένο σταθερό σημείο του κτηρίου, ενώ η συσκευή D2 ήταν εκείνη που τοποθετούνταν διαρκώς σε διαφορετικές τοποθεσίες μέσα στο κτήριο. Τέλος, η απόσταση μεταξύ των δύο συσκευών σε κάθε έλεγχο υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας το παγκόσμιο σύστημα στιγματοθέτησης (Global Positioning System - GPS), λαμβάνοντας υπόψη σε κάθε έλεγχο τις διαφορετικές συντεταγμένες της D2 συσκευής, αφού οι συντεταγμένες της D1 συσκευής παρέμεναν σταθερές.

### 3.4.2 Υποσύστημα ευημερίας

Οι πειραματικοί έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν για το υποσύστημα ευημερίας είχαν ως σκοπό την αξιολόγηση της D3 συσκευής για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών στο εσωτερικό μιας κατοικίας, όπως η υγρασία και η θερμοκρασία

ενός δωματίου. Ενώ, η D4 συσκευή αξιολογήθηκε ως προς τη δυνατότητά της να ανιχνεύει τις διαφορετικές θερμοκρασίες μιας συσκευής ηλεκτρικής κουζίνας, στις περιπτώσεις που είτε υπάρχει πάνω σε κάποια από τις εστίες της ηλεκτρικής συσκευής κάποιο σκεύος, είτε όχι και ενώ η ηλεκτρική συσκευή βρίσκεται σε λειτουργία.

Για τους ελέγχους της D3 συσκευής, η συσκευή τοποθετήθηκε σε ένα δωμάτιο για να μετρηθούν οι επικρατούσες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και διαρροής αερίου στο χρονικό διάστημα 1 ώρας. Κάθε 15 λεπτά, εσκεμμένα επηρεαζόταν οι συνθήκες του δωματίου για να αξιολογηθούν και να επικαιροποιηθούν οι διακυμάνσεις των τιμών των μετρήσεων. Οι μετρήσεις και η συλλογή των δεδομένων διήρκησαν συνολικά 1 ώρα και πραγματοποιήθηκαν συνολικά για 5 ημέρες σε δύο διαφορετικά δωμάτια ενός σπιτιού. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της θερμοκρασίας απεικονίζονται στο γράφημα του Σχήματος 3.1, οι μετρήσεις της υγρασίας φαίνονται στο γράφημα του Σχήματος 3.2, ενώ οι μετρήσεις της διαρροής αερίου απεικονίζονται στο γράφημα του Σχήματος 3.3.

Κάθε 5 λεπτά της ώρας αντιστοιχούν στο γράφημα σε μία χρονική στιγμή (σημεία A–M), με το σημείο A του γραφήματος να είναι το λεπτό 0 και το σημείο M το 60ο λεπτό για κάθε μέτρηση. Η μπλε γραμμή αναπαράστασης του γραφήματος αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή της θερμοκρασίας των συνολικών μετρήσεων, οι κόκκινες κουκκίδες του γραφήματος αντιστοιχούν στις μέγιστες τιμές των συνολικών μετρήσεων της θερμοκρασίας, ενώ οι κίτρινες κουκκίδες στις ελάχιστες τιμές των συνολικών μετρήσεων της θερμοκρασίας.

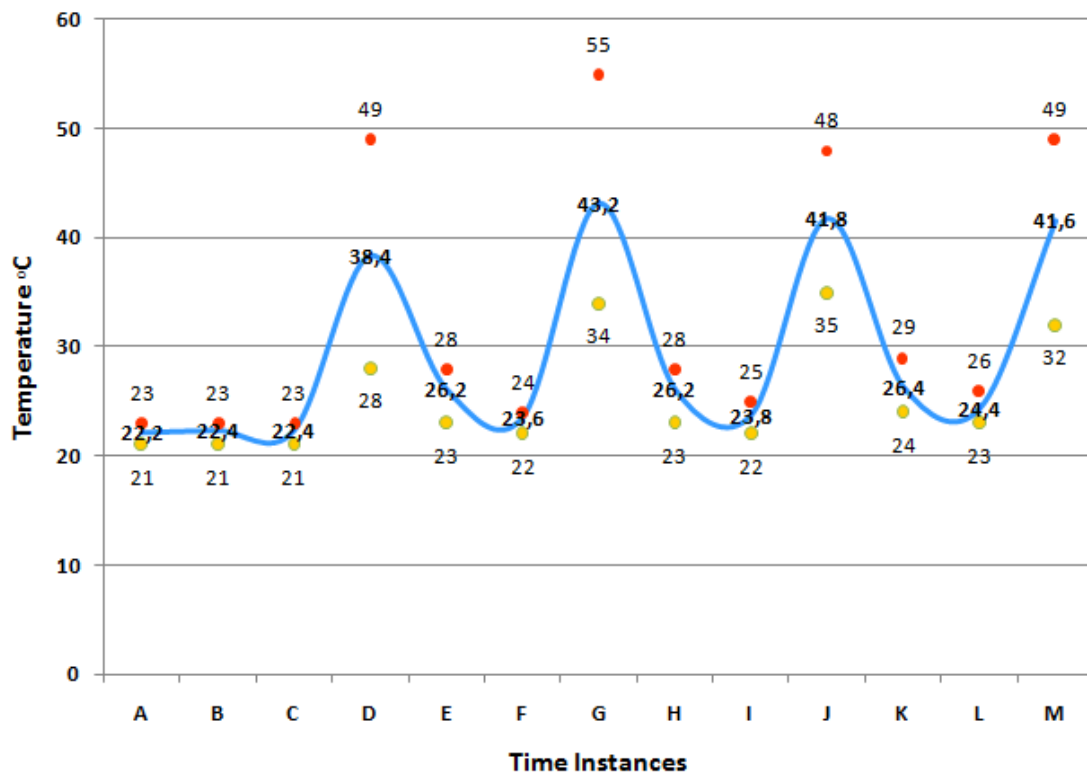
Στις χρονικές στιγμές D, G, J και M του γραφήματος, παρατηρείται μία αύξηση στις τιμές της θερμοκρασίας, καθώς αντιστοιχούν στο 15ο, 30ο, 45ο και 60ο λεπτό, αντίστοιχα, κατά τα οποία εσκεμμένα επηρεάστηκε η θερμοκρασία του δωματίου.

Όπως στο γράφημα θερμοκρασίας, έτσι και για την υγρασία, κάθε 5 λεπτά της ώρας αντιστοιχούν στο γράφημα σε μία χρονική στιγμή (σημεία A–M). Η μπλε γραμμή αναπαράστασης του γραφήματος αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή της υγρασίας στο σύνολο όλων των μετρήσεων. Οι κόκκινες κουκκίδες του γραφήματος αντιστοιχούν στις μέγιστες τιμές των συνολικών μετρήσεων της υγρασίας. Ενώ, οι κίτρινες κουκκίδες στις ελάχιστες τιμές των συνολικών μετρήσεων των τιμών της υγρασίας.

Κατά τις χρονικές στιγμές D, G, J και M παρατηρείται μία μείωση στις τιμές της υγρασίας, καθώς αντιστοιχούν στο 15ο, 30ο, 45ο και 60ο λεπτό, αντίστοιχα, κατά τα οποία εσκεμμένα επηρεάστηκε η υγρασία του δωματίου όπου πραγματοποιούνταν η συλλογή των δεδομένων.

Όπως και στα προηγούμενα γραφήματα, έτσι και στο γράφημα για τη διαρροή του αερίου, κάθε 5 λεπτά της ώρας αντιστοιχούν σε μία χρονική στιγμή (σημεία A–M). Η μπλε γραμμή αναπαράστασης του γραφήματος αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή της διαρροής αερίου των συνολικών μετρήσεων της διαρροής. Οι κόκκινες κουκκίδες του γραφήματος αντιστοιχούν στις μέγιστες τιμές των συνολικών μετρήσεων της διαρροής



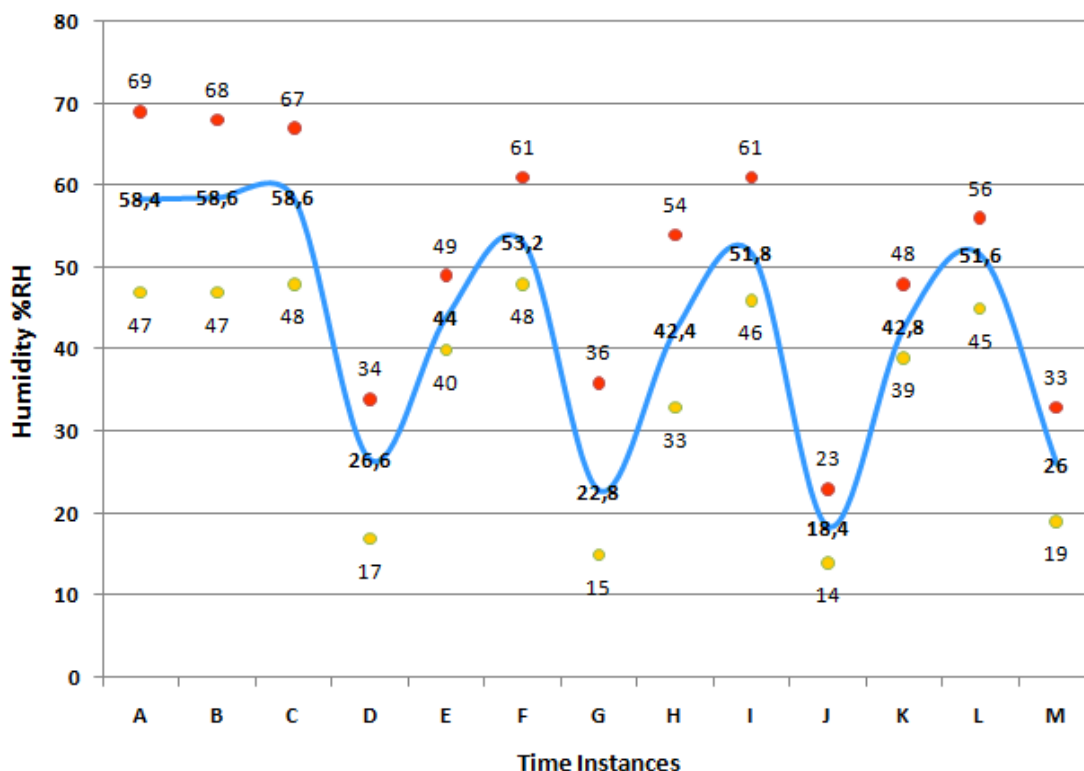


Σχήμα 3.1: Γραφική αναπαράσταση των μετρήσεων της θερμοκρασίας της συσκευής D3. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η μέση τιμή της θερμοκρασίας του συνόλου των μετρήσεων, με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι μέγιστες τιμές της θερμοκρασίας, ενώ με κίτρινο χρώμα φαίνονται οι ελάχιστες τιμές της θερμοκρασίας.

αερίου. Ενώ οι κίτρινες κουκίδες στις ελάχιστες τιμές των συνολικών μετρήσεων της διαρροής αερίου.

Τις χρονικές στιγμές A, B, C, E, F, H, I, K και L η τιμή του αερίου είναι 0, καθώς δεν υπήρξε κάποια διαρροή αερίου στο δωμάτιο όπου πραγματοποιούνταν η συλλογή των δεδομένων. Ενώ, τις χρονικές στιγμές D, G, J και M παρατηρείται μια απότομη αύξηση στις συλλεγόμενες τιμές για τη διαρροή αερίου, καθώς αντιστοιχούν στο 15ο, 30ο, 45ο και στο 60ο λεπτό αντίστοιχα, κατά τα οποία εσχευμένα επηρεάστηκε η διαρροή αερίου εντός του δωματίου.

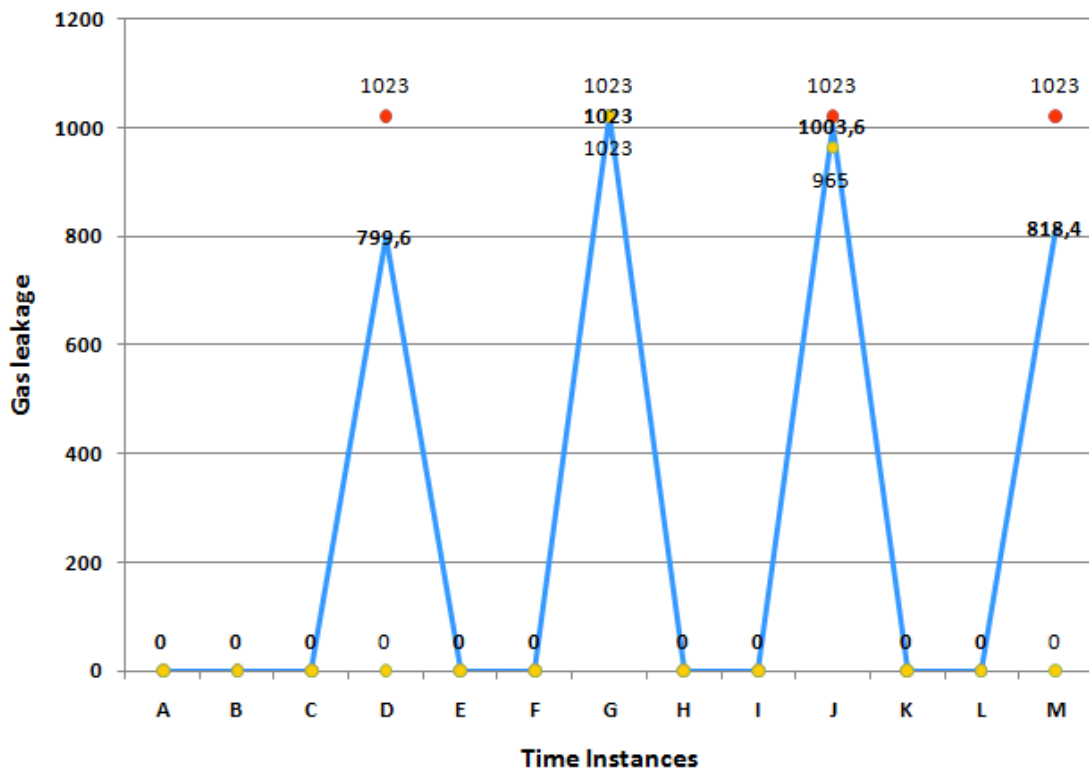
Τα αποτελέσματα των ελέγχων που πραγματοποιήθηκαν για τη συσκευή D4 παρουσιάζονται στο γράφημα του Σχήματος 3.4. Η μπλε γραμμή αναπαράστασης του γραφήματος απεικονίζει τη μέση τιμή του συνόλου των μετρήσεων της θερμοκρασίας του αντικειμένου το οποίο ήταν σε επίβλεψη (π.χ. εστία μαγειρέματος και μαγειρικό σκεύος). Οι κόκκινες κουκίδες του γραφήματος αντιστοιχούν στις μέγιστες τιμές των συνολικών μετρήσεων της θερμοκρασίας. Ενώ, οι κίτρινες κουκίδες στις ελάχιστες τιμές των συνολικών μετρήσεων της θερμοκρασίας του αντικειμένου-στόχου.



Σχήμα 3.2: Γραφική αναπαράσταση των μετρήσεων της υγρασίας της συσκευής D3. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η μέση τιμή της υγρασίας του συνόλου των μετρήσεων, με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι μέγιστες τιμές της υγρασίας, ενώ με κίτρινο χρώμα φαίνονται οι ελάχιστες τιμές της υγρασίας.

Για τους ελέγχους ορθότητας λειτουργίας της συσκευής D4, χρειάστηκε η συσκευή να τοποθετηθεί ακριβώς πάνω από τις εστίες μιας συσκευής ηλεκτρικής κουζίνας - περίπου στο ύψος του απορροφητήρα - εστιάζοντας μόνο σε μια συγκεκριμένη εστία και επιβλέποντάς την για συνολικά 21 λεπτά, κάθε ημέρα, για συνολικά πέντε ημέρες. Κατά τη διάρκεια των 21 λεπτών, πραγματοποιήθηκαν διάφορες ενέργειες, όπως i) η τοποθέτηση του μαγειρικού σκεύους με νερό επάνω στην εστία της κουζίνας, ii) η αφαίρεση του μαγειρικού σκεύους ενώ η εστία παρέμενε σε λειτουργία, κ.ά. Η χρονική διάρκεια μεταξύ κάθε ενέργειας διήρκεσε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, για όλες τους ελέγχους, ώστε να διευκολυνθεί η διαδικασία διεξαγωγής των ελέγχων.

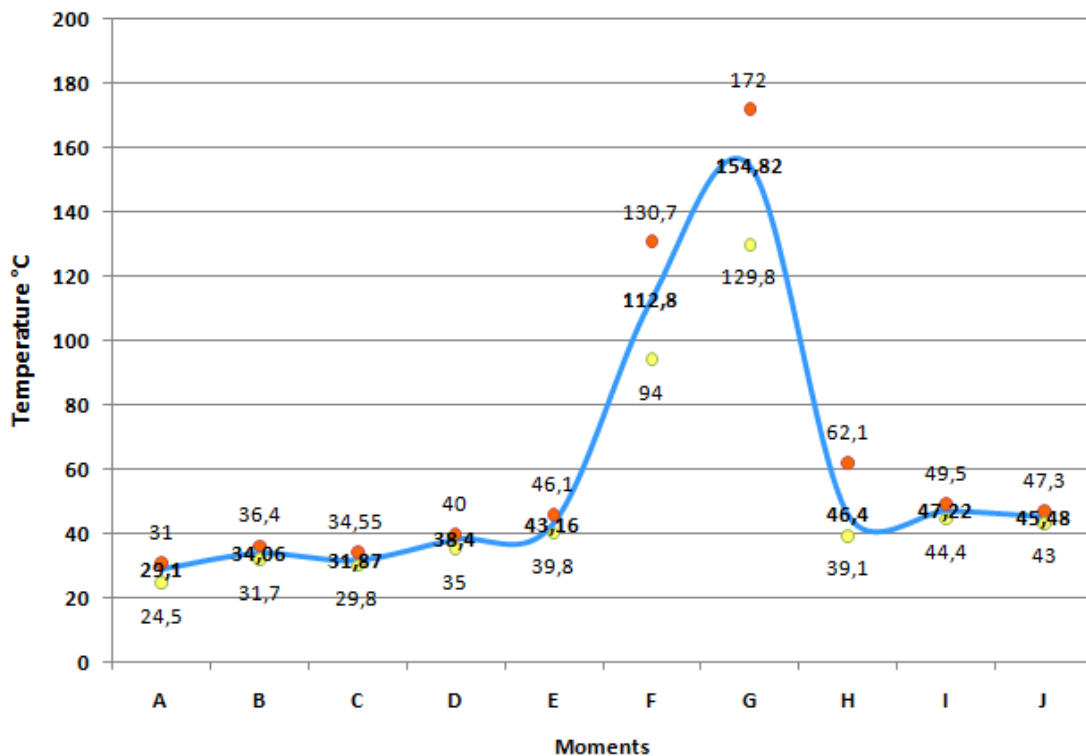
Πιο συγκεκριμένα, τη χρονική στιγμή A το μαγειρικό σκεύος με το νερό τοποθετήθηκε επάνω στην εποπτευόμενη - από τη συσκευή D4 - εστία της ηλεκτρικής κουζίνας, η οποία εστία ξεκίνησε εκείνη τη χρονική στιγμή να βρίσκεται σε λειτουργία. Έπειτα από 3 λεπτά (χρονικές στιγμές B και C στο γράφημα), προστέθηκε επιπλέον χρυσό νερό στο μαγειρικό σκεύος, το οποίο ήταν τοποθετημένο στην εστία της ηλεκτρικής κουζίνας που βρισκόταν σε λειτουργία. Η τιμή που αναπαρίσταται στο γράφημα τη



Σχήμα 3.3: Γραφική αναπαράσταση των μετρήσεων της διαρροής αερίου της συσκευής D3. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η μέση τιμή της μέση τιμή της διαρροής αερίου του συνόλου των μετρήσεων, με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι μέγιστες τιμές της διαρροής αερίου, ενώ με κίτρινο χρώμα φαίνονται οι ελάχιστες τιμές της διαρροής αερίου.

χρονική στιγμή B είναι η τιμή της θερμοκρασίας του μαγειρικού σκεύους με το νερό λίγο πριν τοποθετηθεί σε αυτό το επιπλέον κρύο νερό. Ενώ, η τιμή που φαίνεται στο γράφημα τη χρονική στιγμή C είναι η τιμή της θερμοκρασίας του μαγειρικού σκεύους αμέσως μετά την προσθήκη του επιπλέον κρύου νερού σε αυτό. Τη χρονική στιγμή D, μετράτε η θερμοκρασία του μαγειρικού σκεύους, καθώς συνεχίζει να παραμένει πάνω στην αναμμένη εστία της συσκευής της ηλεκτρικής κουζίνας. Έπειτα από 3 λεπτά (χρονικές στιγμές E και F) το μαγειρικό σκεύος αφαιρέθηκε από την εποπτευόμενη εστία της ηλεκτρικής κουζίνας, ενώ η εστία της συσκευής συνέχισε να παραμένει σε λειτουργία. Η τιμή της θερμοκρασίας τη χρονική στιγμή E αντιπροσωπεύει τη θερμοκρασία του μαγειρικού σκεύους λίγο πριν αφαιρεθεί από την εστία, ενώ η τιμή τη χρονική στιγμή F φαίνεται η θερμοκρασία της εποπτευόμενης σε λειτουργία εστίας της ηλεκτρικής συσκευής αμέσως μετά την αφαίρεση του μαγειρικού σκεύους από αυτή. Τρία λεπτά αργότερα (χρονικές στιγμές G και H) το μαγειρικό σκεύος τοποθετήθηκε εκ νέου στην εστία, με την τιμή τη χρονική στιγμή G να αντιπροσωπεύει τη θερμοκρασία της εστίας της ηλεκτρικής κουζίνας λίγο πριν τοποθετηθεί ξανά το μαγειρικό

σκεύος εκ νέου σε αυτή. Ενώ, η τιμή τη χρονική στιγμή Η απεικονίζει τη θερμοκρασία του μαγειρικού σκεύους, το οποίο μόλις επανατοποθετήθηκε στην εστία της ηλεκτρικής συσκευής. Τρία λεπτά αργότερα (χρονική στιγμή Ι), απενεργοποιήθηκε η λειτουργία της εστίας της ηλεκτρικής συσκευής, ενώ το σκεύος συνέχιζε να παραμένει πάνω σε αυτή. Ενώ, 6 λεπτά αργότερα (χρονική στιγμή J), μετρήθηκε η θερμοκρασία του μαγειρικού σκεύους για τελευταία φορά.



Σχήμα 3.4: Γραφική αναπαράσταση των μετρήσεων της D4 συσκευής. Η μπλε γραμμή στο γράφημα απεικονίζει τη μέση τιμή των συνολικών μετρήσεων της θερμοκρασίας του μαγειρικού σκεύους που ήταν υπό επίβλεψη (π.χ. εστία μαγειρέματος και μαγειρικό σκεύος), ενώ οι κόκκινες κουκκίδες αντιστοιχούν στις μέγιστες τιμές της θερμοκρασίας, και με κίτρινες κουκκίδες αντιπροσωπεύουν τις ελάχιστες τιμές της θερμοκρασίας του αντικειμένου-στόχου.

### 3.4.3 Υποσύστημα υποστήριξης

Οι έλεγχοι που πραγματοποιήθηκαν για το υποσύστημα υποστήριξης είχαν ως στόχο την αξιολόγηση-επικύρωση της αναγνώρισης της συσκευής του πελάτη από την εφαρμογή του διακομιστή. Επιπλέον, αξιολογήθηκε και η επιτυχής αναπαραγωγή του ήχου από τον διακομιστή.

Συνολικά, για το υποσύστημα υποστήριξης πραγματοποιήθηκαν είκοσι διαφορετικές δοκιμές. Συγκεκριμένα, διεξήχθησαν δύο σετ των δέκα δοκιμών, στις οποίες εξετάστηκαν δύο διαφορετικά οικεία πρόσωπα, με σκοπό να αξιολογηθεί η ταυτότητα του κάθε οικείου προσώπου σε ένα δωμάτιο κι έναν πάσχοντα. Η διαφορά μεταξύ των δύο σετ δοκιμών ήταν η συσκευή την οποία έφερε πάνω του το κάθε οικείο πρόσωπο. Και στα δύο σετ δοκιμών, η αναγνωριστική συσκευή ήταν ένα smartphone. Ενώ, όλες οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν εντός των ορίων ενός δωματίου, έτσι ώστε το υποσύστημα υποστήριξης να μπορεί να τοποθετηθεί σε κάθε δωμάτιο της οικίας του ηλικιωμένου ατόμου.

Οι πρώτες δέκα δοκιμές του Πίνακα 3.2 αντιστοιχούν στο πρώτο οικείο άτομο, ενώ οι υπόλοιπες δέκα δοκιμές (Έλεγχος 11 - 20) στο δεύτερο οικείο άτομο. Και τα δύο οικεία πρόσωπα είχαν ποσοστό επιτυχίας 100% στην αναγνώρισή τους από το σύστημα, ενώ στην αναπαραγωγή του ήχου το πρώτο οικείο άτομο (Έλεγχος 1 - 10) είχε ποσοστό επιτυχίας 80%, καθώς στον Έλεγχο 1 δεν αναπαρήχθη ο χαρακτηριστικός ήχος. Τέλος, το δεύτερο οικείο άτομο (Έλεγχος 11 - 20) είχε ποσοστό επιτυχίας 100%, για την αναπαραγωγή του χαρακτηριστικού ήχου από την εφαρμογή του διακομιστή.

### 3.5 Συμπεράσματα

Σε αυτό το Κεφάλαιο προτάθηκε και υλοποιήθηκε ένα σύστημα υποστήριξης ηλικιωμένων στο οικιακό τους περιβάλλον, βασισμένο σε δομικά στοιχεία χαμηλού κόστους και ανοικτού λογισμικού και υλικού. Στόχος του συγκεκριμένου συστήματος είναι η προστασία της ζωής των ηλικιωμένων ατόμων, η βελτίωση της ποιότητας ζωής τους και η υποστήριξή τους σε καθημερινές δραστηριότητες εντός των ορίων του σπιτιού τους, οι οποίες όμως έχουν κρίσιμο χαρακτήρα για εκείνους. Προτάθηκε μια συλλογή έξυπνων υποσυστημάτων για την επίτευξη τριών στόχων που ορίστηκαν εξ αρχής, δηλαδή την ασφάλεια, την υποστήριξη και την ευημερία των ηλικιωμένων ατόμων εντός της οικίας τους. Επίσης, εξετάστηκε και υλοποιήθηκε ένα σημαντικό μέρος των αισθητήρων και των συσκευών του προτεινόμενου συστήματος.

Τα πειραματικά αποτελέσματα απέδειξαν ότι το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να προσφέρει μια ολοκληρωμένη υποστήριξη στους ηλικιωμένους ανθρώπους εντός της οικίας τους. Η ολοκληρωμένη υποστήριξη, σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος και τη μικρή κλίμακα του συστήματος, δίνει ένα γενναίο προβάδισμα του παρόντος συστήματος, έναντι άλλων παρόμοιων προτεινόμενων συστημάτων.

Τέλος, ως μελλοντική επέκταση είναι η υλοποίηση και του υπόλοιπου προτεινόμενου συστήματος. Επίσης, σε ό,τι αφορά το υποσύστημα ασφαλείας, στόχος είναι να συμπεριληφθούν και ορισμένοι βιομετρικοί αλγόριθμοι με σκοπό να ληφθούν υπόψη και τα χαρακτηριστικά συμπεριφοράς των εκάστοτε ηλικιωμένων ανθρώπων. Επιπλέον,

Πίνακας 3.2: Αποτελέσματα των δοκιμών του υποσυστήματος υποστήριξης.

Αριθμός ελέγχου	Ταυτοποίηση από την εφαρμογή του πελάτη	Αναπαραγωγή του ήχου
1	Ναι	Όχι
2	Ναι	Ναι
3	Ναι	Ναι
4	Ναι	Ναι
5	Ναι	Ναι
6	Ναι	Ναι
7	Ναι	Ναι
8	Ναι	Ναι
9	Ναι	Ναι
10	Ναι	Ναι
11	Ναι	Ναι
12	Ναι	Ναι
13	Ναι	Ναι
14	Ναι	Ναι
15	Ναι	Ναι
16	Ναι	Ναι
17	Ναι	Ναι
18	Ναι	Ναι
19	Ναι	Ναι
20	Ναι	Ναι

ως μελλοντική εργασία, είναι επιθυμητή η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του συστήματος σε πραγματικές συνθήκες ενός σπιτιού.

## Κεφάλαιο 4

# Οικιακό σύστημα υποβοήθησης για άτομα που πάσχουν από άνοια

Στο Κεφάλαιο αυτό, επεκτείνεται το θέμα της υποστήριξης των ατόμων στο οικιακό τους περιβάλλον, μελετώντας την ΕΥΔ μιας συγκεκριμένης ομάδας ατόμων, αυτής των πασχόντων από άνοια. Αρχικά, παρέχεται μία βιβλιογραφική ανασκόπηση διαφόρων λύσεων για την υποστήριξη των ατόμων που πάσχουν από άνοια. Έπειτα, παρουσιάζεται το προτεινόμενο οικιακό σύστημα υποβοήθησης πασχόντων από άνοια, το οποίο αξιοποιεί τα ηχητικά ερεθίσματα για τη διέγερση της μνήμης των πασχόντων, την ανάκληση των αναμνήσεών τους και την επιτυχή αναγνώριση των συγγενών, των οικείων και των φροντιστών τους. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του συστήματος, καθώς και μια συγκριτική ανάλυση του προτεινόμενου συστήματος με άλλες ερευνητικές εργασίες, οι οποίες αξιοποιούν τα ηχητικά ερεθίσματα για τη διέγερση και την ενδυνάμωση της ανθρώπινης μνήμης.

### 4.1 Εισαγωγή

Η άνοια είναι ένα σύνολο συμπτωμάτων που προκαλούν διανοητική δυσλειτουργία στα άτομα που δεν έχουν αναπτύξει παρόμοια συμπεριφορά στο παρελθόν. Το πρώτο σύμπτωμα της άνοιας είναι η απώλεια της μνήμης - πραγμάτων, καταστάσεων και ανθρώπων. Στη συνέχεια, εμφανίζεται το σύμπτωμα της απώλειας της προσοχής, συνοδευόμενη από τη δυσκολία στην ομιλία και στην επίλυση διαφόρων προβλημάτων, στην αρχή πιο σύνθετων, αλλά με την πρόοδο του συνδρόμου ακόμη και των πιο απλών και καθημερινών ζητημάτων. Υπάρχουν καταγεγραμμένες πολλές μορφές άνοιας, όπως η νόσος του Alzheimer's, η αγγειακή άνοια, η άνοια στα σωματίδια Lewy, η μετωποχροταφική άνοια, καθώς και άλλες νευροεκφυλιστικές παθήσεις και σύνδρομα που καταλήγουν σε άνοια, όπως η νόσος Parkinson, η επιληψία, κ.ά.

Κάθε χρόνο, ολοένα και περισσότεροι άνθρωποι διαγιγνώσκονται με το σύνδρομο

της άνοιας παγκοσμίως. Ενδεικτικά, 47 εκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως επηρεάστηκαν από το σύνδρομο της άνοιας το 2015, ένας αριθμός ο οποίος αναμένεται να αυξηθεί σε 75 εκατομμύρια έως το 2030 και σε 132 εκατομμύρια έως το 2050. Αν και υπάρχει κοινή πεποίθηση ότι το σύνδρομο της άνοιας επηρεάζει μόνο τους μεγαλύτερους ηλικιακά ανθρώπους, ωστόσο υπάρχει και η άνοια πρώιμης έναρξης, δηλαδή η περίπτωση όπου τα συμπτώματα του συνδρόμου εμφανίζονται πριν από την ηλικία των 65 ετών, η οποία αποτελεί έως και το 9% των συνολικών περιπτώσεων άνοιας. Επίσης, πρέπει να επισημανθεί ότι η πρόοδος του συνδρόμου δεν εξαρτάται από το φύλο, την κοινωνική τάξη ή τη γεωγραφική θέση του ατόμου που πάσχει [1]. Τέλος, μια ευρέως διαδεδομένη τεχνική, η οποία χρησιμοποιείται σε κλινικές για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της άνοιας είναι η μουσικοθεραπεία, η οποία θα συζητηθεί περαιτέρω παρακάτω.

Φυλογενετικά, ο ιππόκαμπος είναι το αρχαιότερο τμήμα του εγκεφαλικού φλοιού. Βρίσκεται στον έσω κροταφικό λοβό, μέσα και κάτω από την επιφάνεια του φλοιού, και αποτελεί μέρος των ανατομικών δομών που βρίσκονται μεταξύ του φλοιού και του υποθάλαμου του εγκεφάλου (μεταιχμιακό σύστημα). Εκτεταμένα στοιχεία υποδηλώνουν ότι ο ιππόκαμπος κωδικοποιεί τις εμπειρίες και τα γεγονότα στη μακροπρόθεσμη μνήμη ως ξεχωριστές, διακριτές αναπαραστάσεις και μεσολαβεί στην ενοποίηση των μνημονικών πληροφοριών, δηλαδή στη μεταφορά πληροφοριών από τη βραχυπρόθεσμη μνήμη στη μακροπρόθεσμη μνήμη [239].

Η ανθρώπινη μνήμη βασίζεται κυρίως στη λειτουργικότητα του ιππόκαμπου προκειμένου να συνθέσει μία ζωντανή ανάμνηση. Φαίνεται ότι ο ιππόκαμπος συνδέει όλα τα διαφορετικά χαρακτηριστικά μιας ανάμνησης, και λόγω της ιδιαίτερης λειτουργίας του, τα ανθρώπινα όντα είναι σε θέση να ενεργοποιούν τις αναμνήσεις τους απλά με την παρουσία κάποιου μορφής ερεθίσματος (π.χ. ήχος, εικόνα, οσμή). Έτσι, η ενεργοποίηση ενός ερεθίσματος το οποίο είναι αποθηκευμένο πιο κοντά στον ιππόκαμπο, έχει σημαντικά μεγαλύτερη πιθανότητα να ενεργοποιήσει την κατάλληλη ανάμνηση, καθώς αυτό το τμήμα του εγκεφάλου είναι από τα τελευταία τμήματα που επηρεάζονται από το σύνδρομο της άνοιας. Ως εκ τούτου, δεδομένου ότι ο ιππόκαμπος στον ανθρώπινο εγκέφαλο είναι πιο κοντά στον πρωτεύοντα ακουστικό φλοιό, η απόσταση των κυμάτων που πρέπει να περάσουν μέσα από τους νευρώνες κατά τη διάρκεια της παραγωγής ενός ακουστικού ερεθίσματος είναι μικρότερη από την απόσταση των κυμάτων που πρέπει να διανύσουν για να φτάσουν σε οποιοδήποτε άλλο αισθητηριακό φλοιό. Έτσι, τεχνικά, η αξιοποίηση του ήχου ως το κύριο ερέθισμα των αναμνήσεων είναι ένα πλεονέκτημα για οποιοδήποτε βοήθημα διέγερσης της μνήμης.

Λαμβάνοντας υπόψη αρκετές εργασίες που βρέθηκαν στην επιστημονική βιβλιογραφία, αποφασίστηκε η εστίαση στο ακουστικό ερέθισμα της μνήμης, χρησιμοποιώντας χαρακτηριστικούς ήχους για τον εκάστοτε πάσχοντα. Η επιλογή έγινε με βάση το γεγονός ότι η μουσική και ο ήχος έχουν ευεργετική επίδραση στα άτομα που πάσχουν



από άνοια, σε ότι αφορά τη διέγερση της μνήμης για γεγονότα και δραστηριότητες του παρελθόντος και την αίσθηση ευεξίας [243]. Η συγκεκριμένη έρευνα, σε συνδυασμό με την εργασία [167], η οποία αναφέρει ότι το ηχητικό ερέθισμα βοηθά ένα άτομο που πάσχει από άνοια στην ανάκληση της ταυτότητάς του, με καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με αυτά που παράγονται από ένα οπτικό ερέθισμα, αποδεικνύει ότι η επιλογή του ηχητικού ερεθίσματος είναι ευεργετική για το πάσχον άτομο και έχει καλύτερη επίδραση από τα υπόλοιπα ερεθίσματα [113].

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, μια κοινή τεχνική με θετική επίδραση στα άτομα με άνοια είναι η μουσικοθεραπεία. Σύμφωνα με μελέτες [113, 259], η επίδραση της μουσικοθεραπείας είναι ευεργετική για τα άτομα που πάσχουν από άνοια, καθώς τους βοηθά να αναγνωρίζουν πιο εύκολα το περιβάλλον το οποίο βρίσκονται και τα οικεία τους πρόσωπα, καθώς επίσης και να διατηρήσουν την αίσθηση της ταυτότητάς τους. Μια σημείωση που πρέπει να γίνει σε αυτό το σημείο, είναι ότι τα αποτελέσματα από τις προαναφερθείσες εργασίες προέκυψαν κατά τη διάρκεια συνεδριών μουσικοθεραπείας σε νοσοκομεία και ειδικές κλινικές, προσφέροντας υπηρεσίες μουσικοθεραπείας στα άτομα με άνοια. Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι οι τελευταίες αναφερόμενες εργασίες αποδεικνύουν ότι ο ήχος είναι το κατάλληλο ερέθισμα μνήμης για τα άτομα που πάσχουν από άνοια κι αυτός είναι και ο βασικός λόγος για την υιοθέτηση της μουσικοθεραπείας από νευρολόγους και ψυχολόγους που επιβλέπουν άτομα που πάσχουν από άνοια.

Ο σκοπός είναι να αξιοποιηθούν τα ευρήματα των προηγούμενων ερευνητικών και τεχνικών αποτελεσμάτων και να προταθεί ένα νέο ακουστικό σύστημα διέγερσης μνήμης για εγκατάσταση στο σπίτι του ατόμου που πάσχει από άνοια. Έτσι, αυτό είναι το πρώτο οικιακό σύστημα του είδους του, καθώς οι αναφερόμενες ερευνητικές εργασίες στόχευαν είτε σε πάσχοντες οι οποίοι βρίσκονταν σε κλινικές, είτε απαιτούσαν ως απαραίτητη προϋπόθεση τη βοήθεια από έναν φροντιστή στο σπίτι. Οι στόχοι του προτεινόμενου οικιακού συστήματος είναι:

1. Η διέγερση των αναμνήσεων του πάσχοντος ατόμου, όταν ένα οικείο πρόσωπο έρχεται πιο κοντά του.
2. Η διέγερση των αναμνήσεων του πάσχοντος ατόμου, όταν ένα οικείο πρόσωπο εισέρχεται στο σπίτι του.
3. Ο εντοπισμός του πάσχοντος ατόμου εντός του σπιτιού του.

## 4.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση υφιστάμενων προσεγγίσεων για άτομα που πάσχουν από άνοια

Τα τελευταία χρόνια στην ακαδημαϊκή βιβλιογραφία έχουν παρουσιαστεί διάφορες μελέτες που έχουν ως επίκεντρο έρευνας και μελέτης την υποστήριξη των ατόμων που πάσχουν από άνοια, καθώς και των συγγενών, των οικείων και των φροντιστών τους. Ορισμένες από τις μελέτες που επικεντρώθηκαν στις διάφορες προσεγγίσεις για να υποστηρίξουν τους ανθρώπους που πάσχουν από άνοια παρουσιάζονται ακολούθως. Οι εργασίες παρουσιάζονται σε χρονολογικές σειρά από την παλαιότερη στην πιο πρόσφατη, με σκοπό να αναδειχθεί η πρόοδος της έρευνας στο συγκεκριμένο πεδίο.

### 4.2.1 Οικιακά συστήματα υποστήριξης για άτομα που πάσχουν από άνοια

Οι συγγραφείς της εργασίας [290] πρότειναν ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για τα πρότυπα συμπεριφοράς εντός των έξυπνων σπιτιών, με σκοπό την υποβοηθούμενη διαβίωση των ατόμων με νόσο Alzheimer's και την υγιή γήρανσή τους στον επιθυμητό τους χώρο (aging in place). Η προτεινόμενη προσέγγιση μάθησης προσφέρει υποστήριξη των αποφάσεων, παρακολούθηση και υποβοήθηση των ατόμων με νόσο Alzheimer's, ώστε να ολοκληρώσουν διάφορες δραστηριότητες της καθημερινής τους ζωής. Οι αξιολογήσεις που πραγματοποιήθηκαν, αποδεικνύουν τη δυνατότητα της προτεινόμενης προσέγγισης για την υποστήριξη της υγείας και την υποβοήθηση της διαβίωσης των ατόμων με νόσο Alzheimer's στο σπίτι τους.

Η ανάπτυξη, η υλοποίηση και η αξιολόγηση ενός συστήματος αναγνώρισης ενεργειών που βασίζεται σε διαδικασίες απόφασης Markov (Markov decision) προτείνεται στις εργασίες [42, 124]. Η προτεινόμενη υλοποίηση είναι ένα έξυπνο βοηθητικό σύστημα αναγνώρισης δράσεων (Action Recognition System - ARS), το οποίο έχει σχεδιαστεί για να παρέχει εντός του σπιτιού καθοδήγηση σε ηλικιωμένους ανθρώπους που πάσχουν από άνοια κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων της καθημερινής τους ζωής, όπως το πλύσιμο των χεριών τους, κ.ά. Στόχος του συστήματος είναι να παρακολουθεί και να ανιχνεύει σωστά τις ενέργειες των ηλικιωμένων ατόμων κατά τη διάρκεια εκτέλεσης μιας δραστηριότητας/εργασίας, προκειμένου να τους παρέχει ακριβή καθοδήγηση για την διεκπεραίωσή της.

Μια διεπαφή χρήστη (User Interface - UI) για την υποστήριξη των καθημερινών δραστηριοτήτων των ατόμων με άνοια, σχεδιάστηκε και παρουσιάστηκε στην εργασία [50]. Η προτεινόμενη διεπαφή είναι ο κύριος κόμβος ενός οικιακού συστήματος

αυτοματισμού, ο οποίος μπορεί να παρακολουθεί το σπίτι και υπενθυμίζει στους κατοίκους του ορισμένες πληροφορίες όταν πλησιάζουν την πόρτα για να φύγουν από αυτό. Προκειμένου να εμπλακούν οι τελικοί χρήστες - δηλαδή τα άτομα που πάσχουν από άνοια - στην αξιολόγηση της διεπαφής, ορίστηκε ένα συγκεκριμένο πειραματικό πρωτόκολλο. Τα αποτελέσματα από το πειραματικό πρωτόκολλο έδειξαν ότι τα άτομα με άνοια που βρίσκονται στα πρώτα στάδια του συνδρόμου, είναι σε θέση να κατανοήσουν και να χρησιμοποιήσουν την προτεινόμενη διεπαφή.

Επιπρόσθετα, στην εργασία [177] αναπτύχθηκε μια υπολογιστική συναισθηματική πλατφόρμα για την παρακολούθηση της διάθεσης και της συναισθηματικής ευημερίας των ατόμων με άνοια. Η προτεινόμενη πλατφόρμα χρησιμοποιεί διάφορες συσκευές και αισθητήρες, όπως παθητικοί υπέρυθροι αισθητήρες, φορητές συσκευές και κάμερες, οι οποίες τοποθετούνται στο οικιακό περιβάλλον για να παρακολουθούν τη διάθεση και τη συναισθηματική ευημερία των πασχόντων. Σκοπός της προτεινόμενης υλοποίησης είναι να συμπεράνει τα συναισθήματα των ατόμων με άνοια από τις εκφράσεις του προσώπου, τον φωνητικό τόνο και τη συμπεριφορά τους. Ωστόσο, είναι σημαντικό η εν λόγω πλατφόρμα να αλληλεπιδρά επαναληπτικά τόσο με τα άτομα που πάσχουν από άνοια, όσο και με τους φροντιστές τους, προκειμένου να κατανοηθούν οι βαθύτερες ανάγκες των πασχόντων, αλλά όχι να ενισχύσουν την ικανότητά τους να αναγνωρίζουν τα οικεία τους πρόσωπα.

Στην εργασία [154] υλοποιήθηκαν τρία τεχνολογικά πρωτότυπα, τα οποία προσανατολίζονται στην αύξηση της κινητικότητας των ατόμων που πάσχουν από άνοια. Ο συνεργατικός προγραμματιστής ημέρας, η καθοδηγητική λύση με επίγνωση του περιβάλλοντος και το σύστημα παρακολούθησης σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης είναι τα τρία πρωτότυπα της προτεινόμενης ολιστικής λύσης. Επιπλέον, στην εν λόγω προσέγγιση εξετάστηκαν παράλληλα και ζητήματα όπως η ιδιωτικότητα, η αυτονομία, η καθημερινή ρουτίνα, η προσβασιμότητα και η κοινή ευθύνη για τα άτομα που πάσχουν από άνοια.

Η πλατφόρμα [204], παρακολουθεί διάφορες συμπεριφορές των χρηστών της, όπως είναι οι κινήσεις, η ομιλία και οι αλληλεπιδράσεις τους, και υποστηρίζει τον εξατομικευμένο έλεγχο του φωτισμού και των συσκευών στο περιβάλλον του σπιτιού τους. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα στοχεύει να βοηθήσει τα άτομα με ήπια μορφής άνοια να παραμείνουν προσανατολισμένα στην εργασία που πρέπει να εκτελέσουν τη δεδομένη χρονική στιγμή, παρέχοντάς τους έξυπνη υποστήριξη, ικανή να ελέγχει τις περιβάλλουσες συσκευές με τέτοιο τρόπο ώστε να οδηγούν ευέλικτα την προσοχή και τη συμπεριφορά τους προς την επίτευξη του στόχους τους.

Ένα καινοτόμο εργαλείο για την υποστήριξη των ατόμων με ήπια μορφής άνοια προτείνεται στο [256]. Το συγκεκριμένο εργαλείο διευκολύνει την παροχή απομακρυσμένης υποστήριξης σε πάσχοντες με άνοια, αξιοποιώντας το Διαδίκτυο, τη μετάδοση

των δεδομένων μέσω της τηλεόρασης και τη διαδραστικότητα του βίντεο. Έτσι, η προτεινόμενη λύση παρέχει υπηρεσίες όπως υπενθυμίσεις, παρακολούθηση της υγείας, παρακολούθηση της γνωστικής διέγερσης και την απομακρυσμένη αλληλεπίδραση μεταξύ του πάσχοντα από άνοια και των επαγγελματιών υγείας, των φροντιστών και της οικογένειάς του.

Πολλές από τις προαναφερθέντες εργασίες επικεντρώθηκαν στην παρακολούθηση της συμπεριφοράς, κυρίως μέσω ενός δικτύου αισθητήρων το οποίο εγκαθίσταται στο σπίτι του ατόμου που πάσχει από άνοια, και όχι στην υποβοήθηση και την υποστήριξη του για την αναγνώριση των οικείων του προσώπων, με σκοπό την επίτευξη της αύξησης της κοινωνικής του αλληλεπίδρασης. Επιπλέον, αρκετές από τις παραπάνω παραπάνω εργασίες [42, 50, 124, 290] έχουν στηριχθεί και υλοποιηθεί στο μοντέλο ματιού-εγκεφάλου (eye-brain model), το οποίο δεν είναι η πλέον ιδανικότερη λύση για τα άτομα που πάσχουν από νευροεκφυλιστικές παθήσεις και σύνδρομα. Τέλος, καμία από τις προαναφερθείς εργασίες δεν εξετάζει την αναγνώριση των φροντιστών ή/και των οικείων/συγγενικών ατόμων του πάσχοντα.

#### **4.2.2 Οικιακά συστήματα επιτήρησης για άτομα που πάσχουν από άνοια**

Η σχεδίαση του υλικού, του λογισμικού και της εφαρμογής ενός έξυπνου αισθητήρα χαμηλού κόστους για την επίτευξη των ανθρώπινων σωματικών δραστηριοτήτων παρουσιάζεται στην εργασία [181]. Με σκοπό την προώθηση ενός υγιεινού τρόπου ζωής σε ηλικιωμένους ανθρώπους για μια ενεργή, ανεξάρτητη και υγιή γήρανση, καθώς και για την έγκαιρη ανίχνευση ψυχοκινητικών ανωμαλιών που επιφέρει το σύνδρομο της άνοιας, η παρακολούθηση της δραστηριότητάς τους πραγματοποιείται με ολιστικό τρόπο με μία συσκευή, μέσω τριών διαφορετικών προσεγγίσεων: i) ένας ταξινομητής για το επίπεδο δραστηριότητας, ο οποίος επιτρέπει τη δημιουργία προτύπων συμπεριφοράς, ii) ένας ταξινομητής διαβίωσης καθημερινής δραστηριότητας, ο οποίος είναι σε θέση να διακρίνει διάφορες δραστηριότητες, όπως η ανάβαση ή η κατάβαση σκαλοπατιών, και iii) μια εκτίμηση της μεταβολικής δαπάνης, ανεξάρτητα τόσο από τη δραστηριότητα που εκτελείται, όσο και από τα χαρακτηριστικά του χρήστη. Τα πειραματικά αποτελέσματα κατέδειξαν τη σκοπιμότητα της πρωτότυπης υλοποίησης και των προτεινόμενων αλγορίθμων.

Στην εργασία [194] παρουσιάζεται ένα αυτοματοποιημένο και διακριτικό οικιακό σύστημα παρακολούθησης, για να υποστηρίξει τους φροντιστές του πάσχοντα στο σπίτι. Το σύστημα χρησιμοποιεί ετερογενείς τεχνολογίες αισθητηριακής ανίχνευσης (sensing) και TN για πιο αυτοματοποιημένη και διακριτική παρακολούθηση του πάσχοντα. Σκοπός του συστήματος είναι να αξιολογήσει τους πιθανούς κινδύνους που μπορεί

να αντιμετωπίσει το πάσχον άτομο σε μία τρέχουσα κατάσταση και να ειδοποιήσει τον φροντιστή του σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Ενώ, η ενημέρωση του φροντιστή, σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, πραγματοποιείται με την αποστολή βίντεο, ήχου και μηνύματος στο κινητό του τηλέφωνο ή στον υπολογιστή του.

Οι συγγραφείς της εργασίας [217] υλοποίησαν ένα σύστημα για τον εντοπισμό ενός ατόμου με άνοια στο οικιακό του περιβάλλον και τη βελτίωση της φροντίδας του σε αυτό. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας έχει αναπτυχθεί ένα (stereo vision-based) σύστημα, το οποίο σχεδιάστηκε για τον εντοπισμό της ελλειμματικής διαταραχής των ατόμων που πάσχουν από άνοια και εξακολουθούν να διαμένουν στο σπίτι τους. Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να βελτιωθεί η εκτίμηση της ανάγκης τους για φροντίδα. Επιπλέον, το σύστημα υποστηρίζει τα άτομα με άνοια κατά την καθημερινή τους ζωή εντός του σπιτιού τους, με απώτερο σκοπό να μπορούν να παραμείνουν για περισσότερο χρονικό διάστημα στο οικείο τους περιβάλλον, γεγονός που συμβάλλει και στη διατήρηση της υγείας τους.

Στην εργασία [132] προτάθηκε μια συσκευή παρακολούθησης για άτομα με άνοια, η οποία στέλνει την τρέχουσα θέση των πασχόντων στα κινητά τηλέφωνα των φροντιστών/οικείων τους. Ο σκοπός του προτεινόμενου συστήματος είναι να ενσωματώσει το παγκόσμιο σύστημα κινητών επικοινωνιών (Global System for Mobile Communications - GSM) και το GPS με έναν μικροελεκτή για την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των ατόμων που πάσχουν από άνοια, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλειά τους όταν βγαίνουν έξω από το σπίτι τους. Οι καθολικές συντεταγμένες μιας τοποθεσίας του πάσχοντα ατόμου αποστέλλεται στην εφαρμογή Android στο κινητό τηλέφωνο του φροντιστή/οικείου του. Μετά τη λήψη του γεωγραφικού πλάτους και μήκους, η συνολική θέση του πάσχοντα από άνοια μπορεί να προβληθεί στους Χάρτες της Google.

Οι συγγραφείς της εργασίας [135] δημιούργησαν μία πλατφόρμα με ένα πολυτροπικό δίκτυο αισθητήρων, το οποίο παρακολουθεί τη συμπεριφορά των ατόμων με άνοια. Το δίκτυο των αισθητήρων της προτεινόμενης πλατφόρμας απαρτίζεται από κάμερες, φορητές συσκευές και αισθητήρες - κίνησης και φυσιολογικών δεδομένων - για τη συλλογή διαφόρων τύπων δεδομένων. Σκοπός της εν λόγω πλατφόρμας, είναι ο εντοπισμός και η πρόβλεψη διαφόρων περιστατικών συμπεριφορικής διέγερσης και επιθετικότητας των ατόμων που πάσχουν από άνοια.

Στο άρθρο [12] παρουσιάζεται μια μεθοδολογία με σκοπό να ανιχνεύει την έναρξη των επεισοδίων διέγερσης της συμπεριφοράς από άτομα που πάσχουν από άνοια, με τη χρήση δεδομένων αδρανειακής κίνησης. Οι αδρανειακοί αισθητήρες που υπάρχουν σε έξυπνα ρολόγια χρησιμοποιούνται για να καταγράφουν τα μοτίβα κίνησης των ατόμων που πάσχουν από άνοια και διαμένουν στα σπίτια τους. Τα συλλεγόμενα μοτίβα αναλύονται για τη δημιουργία ενός μοντέλου διαδοχικής συμπεριφοράς, χρησιμοποιώντας ένα επαναλαμβανόμενο νευρωνικό δίκτυο, με στόχο τον εντοπισμό επεισοδίων

διέγερσης συμπεριφοράς στα άτομα με άνοια.

Στην εργασία [104] προτείνεται η χρήση μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (Unmanned Aerial Vehicles - UAVs) με σκοπό τον εντοπισμό των περιπλανώμενων ατόμων που πάσχουν από άνοια. Χρησιμοποιώντας υποκείμενα δοκιμής τα οποία προσομοίωναν μεμονωμένους περιπλανώμενους ανθρώπους με άνοια, σε συνδυασμό με δεδομένα από επιχειρησιακές μεθόδους έρευνας και διάσωσης, πραγματοποιήθηκαν πειραματικές δοκιμές χρησιμοποιώντας UAVs, με σκοπό να εντοπίσουν τα περιπλανώμενα άτομα. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των διαδρομών των UAVs βασίζεται στην ανάλυση συμβάντων που αναλύονται στην επιστημονική βιβλιογραφία από τη διεθνή βάση δεδομένων περιστατικών αναζήτησης και διάσωσης, η οποία περιέχει χιλιάδες διεθνή αστυνομικά αρχεία για περιπλανώμενους ανθρώπους. Οι πειραματικές δοκιμές αποκάλυψαν ότι τα UAVs, εάν χρησιμοποιηθούν με προκαθορισμένη διαδρομή, θα μπορούσαν να επιταχύνουν τη διαδικασία αναζήτησης, βελτιώνοντας έτσι τη δυνατότητα έγκαιρου εντοπισμού του περιπλανώμενου ατόμου.

Οι συγγραφείς της εργασίας [231] παρουσίασαν ένα σύστημα υποστήριξης, το οποίο βασίζεται στη χρήση αισθητήρων, για τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις συνήθειες των ατόμων που πάσχουν από άνοια. Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας είναι η μοντελοποίηση της συμπεριφοράς του ατόμου που πάσχει από άνοια και η άντληση πληροφοριών σχετικά με τις συνήθειες του για τον εντοπισμό πιθανών ανωμαλιών σχετικά με την άνοια. Ωστόσο, πρωταρχικός στόχος είναι η αυτοματοποίηση της εξατομίκευσης των υπάρχοντων συστημάτων παρακολούθησης για άτομα με άνοια, με όσο το δυνατόν λιγότερους αισθητήρες περιβάλλοντος εντός του σπιτιού τους,

Ένα σύστημα παρακολούθησης και διάσωσης προτάθηκε στο άρθρο [275], το οποίο ενσωματώνεται στα παπούτσια των ατόμων που πάσχουν από άνοια και παρείχε πληροφορίες σχετικά με την τρέχουσα θέση τους σε πραγματικό χρόνο στους οικείους τους. Το προτεινόμενο σύστημα απαρτίζεται από τα παπούτσια, την πύλη επικοινωνίας (gateway) και μία πλατφόρμα στο cloud. Τα παπούτσια περιλαμβάνουν έναν GPS δέκτη, έναν μικροελεκτή και μία μονάδα μετάδοσης LoRa για την μετάδοση πληροφοριών όπως, η ακριβής τοποθεσία σε πραγματικό χρόνο του ατόμου με άνοια, η θερμοκρασία του σώματος του και η τάση. Αυτές οι πληροφορίες μεταδίδονται από τη μονάδα μετάδοσης LoRa στην πύλη, η οποία τελικά τα αποστέλλει στην πλατφόρμα του cloud. Έτσι, η οικογένεια ή/και οι φροντιστές μπορούν να έχουν πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο σε διάφορες πληροφορίες για το άτομο που πάσχει από άνοια, όπως η τρέχουσα τοποθεσία του, ώστε να αποφύγουν την αναζήτησή του.

Η πλατφόρμα [11], επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση και την εξατομίκευμένη παρέμβαση και φροντίδα των ατόμων που πάσχουν από άνοια, προκειμένου να τους υποστηρίξουν και να διατηρήσουν την υγεία τους και τις λειτουργικές και

γνωστικές τους ικανότητες. Η διατήρηση της υγείας και της λειτουργικής ικανότητας, επιτυγχάνεται μέσω της αξιολόγησης του κινδύνου και της έγκαιρης ανίχνευσης των συμπτωμάτων επιδείνωσης των πασχόντων. Η αυτοφροντίδα και η αυτοδιαχείριση των χρόνιων παθήσεων, επιτυγχάνεται μέσω της ανάπτυξης κοινωνικής δικτύωσης, καθώς και των εκπαιδευτικών εργαλείων που παρέχει το σύστημα. Ενώ, η βελτίωση της φροντίδας στο οικιακό περιβάλλον, επιτυγχάνεται μέσω της παροχής εύχρηστων εργαλείων για συχνή και διακριτική παρακολούθηση των πασχόντων από άνοια.

Η πλατφόρμα [87], στοχεύει στη δημιουργία ενός εύχρηστου συστήματος για τον εντοπισμό ατόμων με άνοια και την παροχή πληροφοριών όταν απομακρύνονται από μια συγκεκριμένη περιοχή, όπως είναι το σπίτι τους, το νοσοκομείο που νοσηλεύονται, οι γειτονιά τους, κ.ά. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα αποτελείται από ένα GPS tracker, μία εφαρμογή για το έξυπνο ρολόι και μία διαδικτυακή εφαρμογή. Το έξυπνο ρολόι με GPS έχει τη δυνατότητα να κοινοποιεί τη θέση του πάσχοντα στον περιθάλπων ιατρό και τα μέλη της οικογένειας του μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής και της εφαρμογής για τα κινητά τηλέφωνα. Στην περίπτωση ενός συναγερμού, δηλαδή στην εγκατάλειψη μιας ασφαλούς περιοχής, στην αδράνεια, κ.ά., από ένα πάσχον άτομο, το σύστημα μπορεί να ενεργοποιήσει τις διαδικασίες συναγερμού στο έξυπνο ρολόι που θα φέρει πάνω του το πάσχον άτομο, και μπορεί είτε να του παρέχει αυτόματη καθοδήγηση για να επιστρέψει πίσω, είτε να το συνδέσει για να επικοινωνήσει με τον περιθάλπων ιατρό του ή με κάποιο μέλος της οικογένειάς του.

Το σύστημα [222], παρακολουθεί τις δραστηριότητες των ατόμων που πάσχουν από άνοια, με τη χρήση διαφόρων αισθητήρων. Σκοπός του προτεινόμενου συστήματος είναι η υποστήριξη των ατόμων με άνοια τόσο στην εκτέλεση των καθημερινών, όσο και των ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων τους. Επιπλέον, για τη διατήρηση της αυτονομίας και της ποιότητας της ζωής των ατόμων με άνοια, το σύστημα δημιουργεί συναγερμούς όταν προβλέπει ή ανιχνεύει κάποια απροσδόκητη/αποκλίνουσα δραστηριότητα, όπως μία πτώση, ενώ δημιουργεί προειδοποίηση ακόμη κι όταν εντοπίζει πιο μακροπρόθεσμες αποκλίσεις από την προσωπική συμπεριφορά του πάσχοντα.

Όλα τα έργα που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι συστήματα παθητικής παρακολούθησης, χωρίς πραγματική αλληλεπίδραση, κυρίως για τον εντοπισμό των πασχόντων από άνοια, είτε για τον εντοπισμό μιας ύποπτης συμπεριφοράς, είτε για αλλαγές στη διάθεση, καθώς και συστήματα αυτοματοποιημένης ειδοποίησης από τους φροντιστές. Ως εκ τούτου, κανένα από αυτά τα συστήματα δεν στοχεύει στην αναγνώριση των οικείων προσώπων από τον πάσχοντα ή στην ενίσχυση της κοινωνικής του ζωής. Επιπλέον, οι αισθητήρες και γενικά οι προτεινόμενες διεπαφές ανθρώπου-υπολογιστή βασίζονται στον οπτικό έλεγχο και την παρακολούθηση και όχι σε άλλα, καταλληλότερα, ερεθίσματα για αλληλεπίδραση. Επιπλέον, οι εργασίες [87, 104, 132, 275] είναι οι μοναδικές οι οποίες παρέχουν μια υπηρεσία παρακολούθησης για τα άτομα που πάσχουν

από άνοια, εκτός των αυστηρών ορίων της κατοικίας τους.

### 4.2.3 Άλλα συστήματα για άτομα με άνοια

Στην εργασία [255] πραγματοποιήθηκε μια έρευνα με εργασίες που είχαν προταθεί έως το 2013 σχετικά με την ανάπτυξη της τεχνολογίας για την αξιολόγηση, τη θεραπεία και τη βοήθεια ατόμων με τη νόσο Alzheimer's. Οι συγγραφείς υπογραμμίζουν την αναγκαιότητα για την ανάπτυξη και υλοποίηση συστημάτων, τα οποία να είναι προσαρμόσιμα, κατάλληλα με βάση τα συμφραζόμενα από τα συλλεγόμενα δεδομένα και να χρησιμοποιούν πολλαπλές μεθόδους ανίχνευσης. Επιπλέον, σημειώνουν το γεγονός ότι παρόλο που η εμφάνιση της διάχυτης τεχνολογίας συνεχίζει να επεκτείνεται σε εμπέλεια και πολυπλοκότητα, ο σχεδιασμός τεχνολογίας για χρήστες που παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα γνωστικών, συναισθηματικών και σωματικών αναπηριών παραμένει κορυφαία προτεραιότητα τόσο στον ερευνητικό κλάδο, αλλά ακόμη περισσότερο στις εταιρείες και στην αγορά.

Οι συγγραφείς της εργασίας [17] αναφέρουν τις απαραίτητες απαιτήσεις για τη δημιουργία, το σχεδιασμό και την αξιολόγηση ενός πρωτοτύπου έξυπνου σπιτιού για άτομα με διάφορα προβλήματα υγείας. Σε αντίθεση με τα περισσότερα από τα υπάρχοντα συστήματα έξυπνων σπιτιών, η παρούσα εργασία παρουσιάζει ένα προσαρμοσμένο πρωτότυπο, το οποίο βασίζεται σε μια μεθοδολογία σχεδιασμού με επίκεντρο τον ίδιο τον χρήστη/πάσχοντα. Η προκαταρκτική αξιολόγηση από ένα δείγμα ενδιαφερόμενων δείχνει την καταλληλότητα της προτεινόμενης μεθοδολογίας και κατά συνέπεια του προκύπτοντος πρωτοτύπου για τη μείωση των δυσκολιών φροντίδας, καθώς και τις δυνατότητες ανάπτυξής της σε πραγματικό περιβάλλον.

Η εργασία [77] επικεντρώνεται στην αξιολόγηση της κλινικής βαθμολογίας και μετά την απόδοση των δραστηριοτήτων των γνωστικών χαρακτηριστικών και των χαρακτηριστικών κινητικότητας του ατόμου που πάσχει από άνοια. Επιπλέον, αυτή η προοδευτική εκτίμηση παρέχει στους περιθάλποντες ιατρούς του πάσχοντα ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων, ώστε να του προσφέρουν την καταλληλότερη θεραπεία με βάση την απόδοση του στις καθημερινές του δραστηριότητες. Ως εκ τούτου, το προτεινόμενο σύστημα μοντελοποιεί ένα πλαίσιο προοδευτικής αξιολόγησης για τη φροντίδα της άνοιας μέσω του έξυπνου σπιτιού, το οποίο ενσωματώνει την εποπτευόμενη μηχανική μάθηση (supervised machine learning) και τη λογική βάσει πλαισίου (context-based reasoning) για την κλινική αξιολόγηση βάσει συμφραζόμενων του εκάστοτε πάσχοντα από άνοια.

Διάφορα παιχνίδια κουίζ βασισμένα σε μουσικά και οπτικά ερεθίσματα δημιουργήθηκαν στην εργασία [86] για την υποστήριξη των καθημερινών δραστηριοτήτων διαβίωσης ατόμων με άνοια. Δύο συνθήκες δημιουργήθηκαν στην εν λόγω εργασία, η μία συνθήκη αξιοποιεί την ανατροφοδότηση με βάση τη μουσική παραμόρφωση, ενώ η δε-



ύτερη συνθήκη βασίστηκε στην οπτική παραμόρφωση. Τα δοκιμαστικά αποτελέσματα υποστηρίζουν την υπόθεση των συγγραφέων ότι η ανατροφοδότηση που βασίζεται στη μουσική μπορεί να είναι ένας αποτελεσματικός ενισχυτής της απόδοσης της ανάδρασης, σε σύγκριση με την οπτική ανάδραση στα άτομα που πάσχουν από άνοια.

Στο άρθρο [186] αναπτύχθηκε ένα σύστημα με τριδιάστατο κινούμενο χαρακτήρα για προφορικούς διαλόγους με άτομα που πάσχουν από άνοια. Το προτεινόμενο σύστημα αποσκοπεί στη δημιουργία αναπολήσεων και κατ' επέκταση τη διατήρηση της μνήμης των ατόμων με άνοια, χρησιμοποιώντας ωστόσο το μοντέλο ματιού-εγκεφάλου και το οπτικό ερέθισμα ως το κύριο μέσο διατήρησης των αναμνήσεών τους.

Οι συγγραφείς της εργασίας [242] πρότειναν δύο μελέτες περίπτωσης συστημάτων εικονικού περιβάλλοντος για κοινές δραστηριότητες μεταξύ των ατόμων με άνοια και των επαγγελματιών φροντιστών τους. Πιο αναλυτικά, η συγκεκριμένη εργασία περιγράφει τη διαδικασία και την τεχνολογία η οποία χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των εικονικών περιβάλλοντων. Η πρώτη μελέτη περίπτωσης, αφορά σε δύο εικονικά περιβάλλοντα πολλαπλών χρηστών, τα οποία σχεδιάστηκαν ως πλατφόρμα κοινωνικής αλληλεπίδρασης για ηλικιωμένους ανθρώπους που διαμένουν μόνοι στο σπίτι τους. Η δεύτερη μελέτη περίπτωσης, περιγράφει ένα σύστημα εικονικού περιβάλλοντος, το οποίο αναπτύχθηκε για ένα περιβάλλον φροντίδας στο σπίτι, με σκοπό να ενθαρρύνει την αλληλεπίδραση μεταξύ των ατόμων που πάσχουν από άνοια και των φροντιστών τους. Για τη διευκόλυνση των χρηστών, το συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιεί απτές διεπαφές χρήστη μέσω φυσικών τεχνουργημάτων ενσωματωμένων με ετικέτες NFC.

Στην εργασία [136] αναπτύχθηκε ένα ειδικό σύστημα αισθητήρων, το οποίο συλλέγει δεδομένα συμπεριφοράς, για την ανίχνευση των πρώιμων συμπτωμάτων του συνδρόμου της άνοιας. Το δίκτυο των αισθητήρων εγκαθίστανται στο οικιακό περιβάλλον ενός πάσχοντα ατόμου από άνοια, το οποίο συλλέγει δεδομένα σχετικά με τη συμπεριφορά του ατόμου με σκοπό την ανάλυση των συλλεγόμενων δεδομένων και την ενημέρωση σχετικά με τα διάφορα συμπτώματα της άνοιας.

Το προτεινόμενο σύστημα [98], βοηθά τα άτομα με άνοια στην καθημερινή τους ρουτίνα, δημιουργώντας μια ατμόσφαιρα στο δωμάτιό τους, η οποία να υποστηρίζει τα συναισθήματα, τη δραστηριότητα και τη διάθεσή τους. Οι μονάδες φωτός, ήχου και αρώματος που είναι εξοπλισμένες σε ένα δωμάτιο δημιουργούν αυτοματοποιημένες ατμόσφαιρες εντός του δωματίου βασισμένες στα δεδομένα κίνησης και τις φυσιολογικές μετρήσεις που λαμβάνονται τόσο από τους πάσχοντες, όσο και από τους φροντιστές τους. Το σύστημα παρέχει μια αρχιτεκτονική μάθησης υλοποιημένη στο cloud, η οποία αξιολογεί τη διάθεση των ατόμων που πάσχουν από άνοια (π.χ. διέγερση ή απάθεια) και παρέχει στους φροντιστές τη δυνατότητα παρέμβασης μέσω μιας εφαρμογής. Έτσι, το σύστημα μαθαίνει και προετοιμάζει τους πάσχοντες από άνοια για δραστηριότητες και τη καθημερινή τους ρουτίνα, ενώ οι φροντιστές τους έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν

περαιτέρω τις καταστάσεις θετικά.

Η υπηρεσία Mylife [179] υποστηρίζει την αύξηση της ανεξαρτησίας και της ευημερίας των πασχόντων από άνοια στο περιβάλλον του σπιτιού τους. Μέσω μιας εφαρμογής βασισμένης στο Διαδίκτυο, το Mylife μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί στις ατομικές ανάγκες και επιθυμίες του εκάστοτε πάσχοντα, και να του παρέχει διάφορες υπηρεσίες επικοινωνίας και ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων. Παράλληλα, μειώνει την κοινωνική απομόνωση των πασχόντων, ενώ αυξάνει τη συμμετοχή τους στις καθημερινές τους δραστηριότητες, τονώνει τις γνωστικές τους δεξιότητες και ενισχύει την πρόσβασή τους σε διάφορες υπηρεσίες του Διαδικτύου.

Μία ολοκληρωμένη λύση για τη φροντίδα, τη θεραπεία και τη διάγνωση των ατόμων που πάσχουν από άνοια παρουσιάζεται στο [207]. Η συγκεκριμένη λύση παρακινεί με παιχνιδιάρικο τρόπο ένα άτομο που πάσχει από άνοια να εκτελεί εξατομικευμένες ασκήσεις προσανατολισμένες στο συναίσθημα, για την τόνωση των γνωστικών του διεργασιών, την αντιμετώπιση των σωματικών δραστηριοτήτων του και την προώθηση της κοινωνικής του ένταξης. Ο στόχος της συγκεκριμένης λύσης είναι να παρακινήσει τα άτομα με άνοια να εισέλθουν σε ένα κύκλο θετικής ανάδρασης περιοδικής εκπαίδευσης, με τη χρήση αισθητήρων, όπου με βάση τα δεδομένα που περιοδικά συλλέγουν, να προτείνουν πιο εξατομικευμένες και καλύτερα προσαρμοσμένες ασκήσεις για βελτιωμένη εκπαίδευση.

Αρκετές από τις προαναφερθείσες εργασίες υλοποιούνται με τη χρήση ενός δικτύου παθητικών αισθητήρων εντός του σπιτιού του ατόμου που πάσχει από άνοια και εστιάζουν περισσότερο στην παρατήρηση των γνωστικών χαρακτηριστικών και συμπεριφορών του πάσχοντα, παρά στην υποστήριξή τους για ανάκληση των αναμνήσεών τους. Ωστόσο, υπάρχουν και ορισμένες εργασίες [86, 98], οι οποίες φαίνεται να αξιοποιούν τα ακουστικά ερεθίσματα για τα άτομα που πάσχουν από άνοια. Ωστόσο, η χρήση των ηχητικών ερεθισμάτων γίνεται κυρίως για την ψυχολογική ευεξία των πασχόντων ατόμων από άνοια.

### 4.3 Περιπτώσεις χρήσης του προτεινόμενου συστήματος

Το προτεινόμενο σύστημα, μέσω του disappearing computing, εισάγει ένα πιο φυσικό και αποτελεσματικό τρόπο αλληλεπίδρασης για τον πάσχοντα από άνοια. Η αίσθηση της ακοής αξιοποιείται ως το μέσο για την πυροδότηση των αναμνήσεων του πάσχοντος και την ενδυνάμωση της μνήμης του για την αναγνώριση των αγαπημένων του προσώπων. Έτσι, το σύστημα υποβοηθά αυτήν την επικοινωνία φυσικά, χωρίς να δημιουργεί πραγματική τεχνολογική εμπλοκή. Επιπλέον, ένα ενδιαφέρον μέρος της προτεινόμενης εργασίας είναι η ενίσχυση της ταυτότητας των ατόμων με μια ακουστική

ετικέτα, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί ρητά το σύστημα.

Το προτεινόμενο σύστημα έχει τρεις τύπους χρηστών:

1. το *Οικείο Άτομο*,
2. το *Πάσχοντα Άτομο*,
3. τον *Διαχειριστή του συστήματος*.

Ο χρήστης *Οικείο Άτομο* είναι εκείνο το άτομο του οποίου η ταυτότητα επαυξάνεται με ένα ψηφιακό σήμα ακουστικής αναγνώρισης (ID), μέσω μιας έξυπνης συσκευής που φέρει πάνω του (smartphone, smartwatch, κλπ.). Αυτή η συσκευή, παρέχει μια μοναδική ακουστική ετικέτα στον χρήστη, για τον σκοπό της αναγνώρισής του από το σύστημα. Στη συνέχεια, αυτή η ετικέτα χρησιμοποιείται από το σύστημα για την αναπαραγωγή ενός συγκεκριμένου ήχου, ο οποίος μπορεί να αναγνωριστεί από τον *Πάσχοντα*, και να συσχετιστεί με το *Οικείο Άτομο* που αναγνωρίστηκε.

Ο χρήστης *Πάσχοντα Άτομο* είναι εκείνο το πρόσωπο, το οποίο εποπτεύεται εντός της οικίας του και φέρει πάνω του μια συσκευή η οποία λειτουργεί ως φάρος (beacon). Η ισχύς του σήματος του φάρου, μετράτε από τα έξυπνα ηχεία - που είναι διάσπαρτα στους χώρους του σπιτιού - και υπολογίζεται η εγγύτητα του πάσχοντα από το κάθε έξυπνο ηχείο του σπιτιού. Στη συνέχεια, το πλησιέστερο έξυπνο ηχείο επιλέγεται από το σύστημα, για την αναπαραγωγή του συσχετισμένου ήχου με το μοναδικό αναγνωριστικό (ID) οποιουδήποτε *Οικείου Ατόμου* ζητηθεί. Επίσης, κι η ταυτότητα του *Πάσχοντα* επαυξάνεται με ένα σήμα ψηφιακής ταυτότητας, μέσω της συσκευής που φέρει πάνω του - πάντοτε κρυμμένο από εκείνον για λόγους άρνησης αποδοχής καινούριων πραγμάτων, καταστάσεων, συνθηκών, κ.ο.κ., που εκδηλώνουν τα άτομα με άνοια.

Ο χρήστης *Διαχειριστής* του συστήματος είναι συνήθως ο φροντιστής του ατόμου που πάσχει από άνοια, όμως μπορεί επίσης να είναι είτε ακόμη και το ίδιο το πάσχον άτομο, εφόσον είναι σε θέση να ανταπεξέλθει σε αυτό το ρόλο, είτε κάποιος από τα οικεία του πρόσωπα από το οικογενειακό ή/και φιλικό του περιβάλλον. Το κυριότερο καθήκον του *Διαχειριστή* είναι ο χειρισμός της λίστας συσχέτισης μεταξύ ήχων/ακουστικών ερεθισμάτων με τα συνδεδεμένα άτομα και τη λίστα των έξυπνων ηχείων του σπιτιού.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι στόχοι του προτεινόμενου οικιακού συστήματος είναι:

1. το ερέθισμα της μνήμης του πάσχοντα ατόμου, όταν ένα οικείο πρόσωπο πλησιάζει κοντά του,
2. το ερέθισμα της μνήμης του πάσχοντος ατόμου, όταν ένα οικείο πρόσωπο εισέρχεται στο σπίτι του,

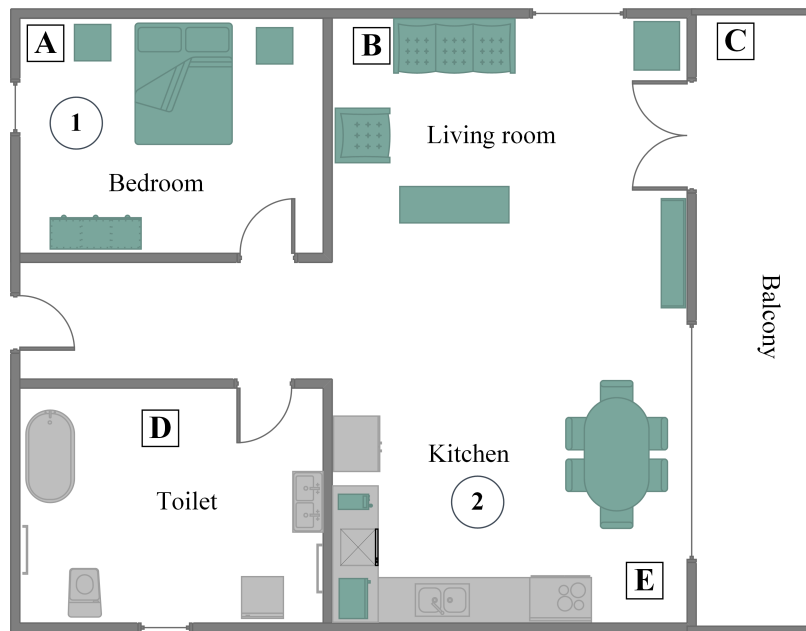
3. ο εντοπισμός του πάσχοντα ατόμου από άνοια στο εσωτερικό του σπιτιού του.

Ο τελευταίος στόχος είναι μια χαρακτηριστική περιγραφή (geofencing) του συστήματος, καθώς η απουσία σήματος από τη συσκευή φάρος του πάσχοντα ατόμου ενεργοποιεί συναγερμό απουσίας του από τα όρια του σπιτιού του. Η λειτουργία του προτεινόμενου συστήματος μπορεί να γίνει καλύτερα κατανοητή από το Σχήμα 4.1 που ακολουθεί, το οποίο χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα ορισμένα τυπικά σενάρια χρήσης του συστήματος, όταν εισέρχεται στο σπίτι του πάσχοντα κάποιο οικείο του πρόσωπο, ανάλογα με τη θέση του ίδιου του πάσχοντα ατόμου μέσα στην οικία του, τη δεδομένη χρονική στιγμή.

### 4.3.1 Σενάριο λειτουργίας του προτεινόμενου συστήματος σε ένα τυπικό σπίτι

Στο Σχήμα 4.1, απεικονίζεται η κάτοψη ενός τυπικού σπιτιού για έναν άνθρωπο που πάσχει από άνοια, το οποίο περιλαμβάνει μια είσοδο (πόρτα στα αριστερά του σχήματος), ένα μικρό διάδρομο που παρέχει πρόσβαση στο μπάνιο, ένα υπνοδωμάτιο και το σαλόνι, το οποίο περιλαμβάνει και την κουζίνα. Ένα μπαλκόνι είναι επίσης μέρος του σπιτιού. Τα έξυπνα ηχεία τοποθετούνται στο εσωτερικό του σπιτιού, καλύπτοντας όλα τα δωμάτια, καθώς και τις εξωτερικές τοποθεσίες όπως το μπαλκόνι. Τα ηχεία απεικονίζονται ως τετράγωνα με όνομα Α-Ε. Επιπλέον, υπονοείται ένας δρομολογητής (router), ο οποίος συνδέει το οικιακό δίκτυο του σπιτιού με το Διαδίκτυο, αν και δεν απεικονίζεται για λόγους απλότητας. Για την καλύτερη περιγραφή των περιπτώσεων χρήσης, παρέχονται δύο θέσεις που κυκλώνονται και απαριθμούνται. Οι θέσεις αυτές είναι οι δύο ενδεχόμενες θέσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί το άτομο που πάσχει από άνοια.

Στο Σχήμα 4.1, εξετάζεται μια περίπτωση χρήσης ενός οικείου προσώπου το οποίο εισέρχεται στο δωμάτιο, στο οποίο βρίσκεται ο πάσχοντας άνθρωπος. Το πάσχον άτομο βρίσκεται στη Θέση 2 (σε κύκλο), η οποία είναι μέρος ενός ευρύτερου δωματίου. Αν και το οικείο πρόσωπο του πάσχοντα είναι ανάμεσα σε δύο έξυπνα ηχεία (τετράγωνα Β και Ε), ενεργοποιείται μόνο το ηχείο Ε, αναγνωρίζοντας ότι το πάσχον άτομο βρίσκεται πιο κοντά στο συγκεκριμένο ηχείο. Αυτή η περίπτωση χρήσης είναι η κύρια λειτουργία του προτεινόμενου συστήματος, δηλαδή η διέγερση της μνήμης του πάσχοντα ανθρώπου με την αναπαραγωγή ενός χαρακτηριστικού ήχου για το *Οικείο Άτομο*. Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτείται ένα μοναδικό αναγνωριστικό για κάθε *Οικείο Άτομο*, το οποίο αντιστοιχίζεται σε μία βάση δεδομένων στο cloud με τον χαρακτηριστικό ήχο. Η αναγνώριση (αυτοματοποιημένη ή ημι-αυτοματοποιημένη) της ταυτότητας του *Οικείου Ατόμου* είναι ένας από τους δύο βασικούς τεχνικούς στόχους της προτεινόμενης λύσης.



Σχήμα 4.1: Η κάτοψη ενός τυπικού σπιτιού για ένα πάσχοντα άτομο από άνοια.

Επίσης, στο Σχήμα 4.1 εξετάζεται η περίπτωση χρήσης στην οποία ένα οικείο πρόσωπο εισέρχεται στο σπίτι όταν ο πάσχοντας άνθρωπος βρίσκεται σε μια ιδιωτική τοποθεσία αυτού, καθώς υπάρχουν και περιπτώσεις στις οποίες σε ένα *Οικείο Άτομο* δεν δίνεται πρόσβαση σε κάποια από τα δωμάτια. Παρ' όλα αυτά, η ανάγκη να ειδοποιηθεί το πάσχον άτομο υπάρχει πάντα, ανεξάρτητα από το δωμάτιο του σπιτιού στο οποίο βρίσκεται. Η λειτουργία του συστήματος είναι ακριβώς η ίδια περίπτωση με την προηγούμενη. Ωστόσο, αναδεικνύεται μια απαίτηση για το προτεινόμενο σύστημα, η οποία δεν περιλαμβάνεται σε καμία άλλη παρόμοια λύση, η οποία είναι η ενδυνάμωση της μνήμης χωρίς οπτική επαφή, αλλά μόνο μέσω του ηχητικού ερεθίσματος. Σε αυτή την περίπτωση, και πάλι, το οικείο πρόσωπο αναγνωρίζεται από το σύστημα. Ενώ, το πλησιέστερο στο πάσχοντα άτομο έξυπνο ηχείο (τετράγωνο D) αναπαράγει τον αντίστοιχο χαρακτηριστικό ήχο και ο πάσχοντας άνθρωπος ενημερώνεται για την παρουσία του οικείου προσώπου εντός του σπιτιού του.

Τέλος, στο Σχήμα 4.1 εξετάζεται και η περίπτωση χρήσης κατά την οποία ένα οικείο πρόσωπο προσπαθεί να εντοπίσει το πάσχοντα άτομο μέσα στο σπίτι, ο οποίος είναι και ο δεύτερος από τους δύο κύριους τεχνικούς στόχους του συστήματος. Σε αυτή την περίπτωση, υποθέτουμε ότι ο πάσχοντας από άνοια βρίσκεται στην κρεβατοκάμαρα (κύκλος 1). Αυτό το τεχνικό ζήτημα προσφέρει δύο δυνατότητες στο προτεινόμενο σύστημα. Η πρώτη δυνατότητα είναι ο εντοπισμός του πάσχοντος ατόμου από το *Οικείο Άτομο* με την ενεργοποίηση του πλησιέστερου έξυπνου ηχείου στον *Πάσχοντα*. Ενώ, η δεύτερη δυνατότητα είναι μια μορφή (geofencing), δηλαδή ο ψηφιακός περιορισμός του πάσχοντα ατόμου στα όρια του σπιτιού του. Επίσης, η ανίχνευση του πάσχοντα

ατόμου επιτυγχάνεται είτε αυτόματα, είτε ημιαυτόματα.

Στην πρώτη περίπτωση, το οικείο πρόσωπο αιτείται στο σύστημα να ενεργοποιήσει το έξυπνο ηχείο, το οποίο βρίσκεται πιο κοντά στον *Πάσχοντα* (Τετράγωνο Α), για να τον εντοπίσει μέσα στο σπίτι. Ο εντοπισμός επιτυγχάνεται μέσω της ψηφιακής ταυτότητας που εκπέμπει ο *Πάσχοντας*, ομοίως με το *Οικείο Άτομο*. Η δεύτερη περίπτωση είναι η ενεργοποίηση του έξυπνου ηχείου που βρίσκεται εγγύτερα στον *Πάσχοντα* σε αυστηρά καθορισμένες χρονικές περιόδους. Εάν το αναγνωριστικό του *Πάσχοντα* δεν εντοπιστεί, αυτό σημαίνει ότι ο ίδιος βρίσκεται εκτός εμβέλειας του δικτύου των έξυπνων ηχείων. Αυτό επιτρέπει την αυτόματη ανίχνευση της παρουσίας - ή όχι - του *Πάσχοντα* εντός του σπιτιού του.

## 4.4 Η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου συστήματος

Η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου συστήματος έχει ως επίκεντρο τον διακομιστή (server-centric), επιτρέποντας την πρόσβαση στους χρήστες και στις συσκευές τους, μέσω του κατάλληλου λογισμικού για τον πελάτη (client). Το προτεινόμενο σύστημα είναι μία υπηρεσία λογισμικού SaaS, η οποία συνδέει τους *Πάσχοντες* με τα *Οικεία άτομα* και ελέγχεται από τον *Διαχειριστή*. Η επικοινωνία του συστήματος διαμορφώνεται για δύο λειτουργίες, i) τη διαχείριση του συστήματος, και ii) την υποστήριξη του πάσχοντα ανθρώπου.

Η πρώτη λειτουργία ορίζεται από τις διαδικασίες διαχείρισης. Αυτές οι διαδικασίες περιλαμβάνουν τη δημιουργία ενός χρήστη (*Πάσχοντα* ή *Οικείου ατόμου*), τη συμπερίληψη των *Οικείων ατόμων* στη λίστα ενός *Πάσχοντα*, τη συσχέτιση των αρχείων ήχου μεταξύ των χρηστών και, τέλος, τη διαχείριση των έξυπνων ηχείων (δηλαδή, η εγγραφή ή/και η αφαίρεση του χαρακτηριστικού ηχείου από τη λίστα). Επιπλέον, περιλαμβάνει την καταχώριση του υλικού για την αναγνώριση της ταυτότητας του χρήστη, όπως ένα έξυπνο βραχιολάκι ή ένα έξυπνο τηλέφωνο ενός οικείου προσώπου, είτε μια συσκευή ψηφιακής ταυτότητας για την παρακολούθηση του ατόμου που πάσχει από άνοια.

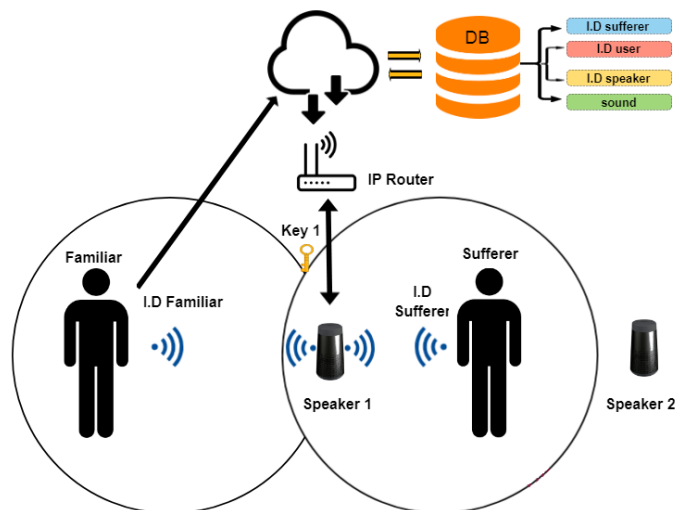
Η δεύτερη λειτουργία αφορά στην υποστήριξη του ανθρώπου που πάσχει από άνοια και περιλαμβάνει:

1. την αναγνώριση της ψηφιακής ταυτότητας ενός οικείου ατόμου, το οποίο εισέρχεται στο σπίτι, από ένα έξυπνο ηχείο του σπιτιού,
2. την υποβολή των αιτημάτων των έξυπνων ηχείων στις υπηρεσίες που βασίζονται στο cloud,

3. την αναπαραγωγή του αναμενόμενου χαρακτηριστικού ήχου, που σχετίζεται με τον ήχο του Οικείου ατόμου, από το εγγύτερο στον πάσχοντα άνθρωπο ηχείο,
4. ο εντοπισμός του ατόμου που πάσχει από άνοια εντός του σπιτιού.

Εν συντομία, η διαδικασία περιλαμβάνει την αρχική δημιουργία ενός καναλιού επικοινωνίας μεταξύ της συσκευής ψηφιακής ταυτότητας του οικείου ατόμου και του έξυπνου ηχείου. Στη συνέχεια, το έξυπνο ηχείο απαιτεί από την υπηρεσία στο cloud τον σχετικό ήχο. Το σύστημα στο cloud ζητά από τα έξυπνα ηχεία να αναφέρουν την απόστασή τους από το πάσχοντα άτομο. Τέλος, αποστέλλεται ένα αίτημα στο πλησιέστερο ηχείο για την αναπαραγωγή του σχετικού ήχου.

Στο Σχήμα 4.2, απεικονίζεται μια αφηρημένη αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής του προτεινόμενου συστήματος, το οποίο παρουσιάζει όλα τα στοιχεία του συστήματος και την αλληλεπίδρασή τους. Να σημειωθεί ότι, η μαύρη γραμμή υποδηλώνει την επικοινωνία που βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.xx (είτε Ethernet, είτε Wi-Fi), ενώ η μπλε γραμμή υποδηλώνει ένα κανάλι επικοινωνίας με τη χρήση του Bluetooth.



Σχήμα 4.2: Αναπαράσταση της αρχιτεκτονικής του προτεινόμενου συστήματος στο επίπεδο της επικοινωνίας του χρήστη.

Η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου συστήματος επιλέχθηκε ακολουθώντας το παράδειγμα των κορυφαίων επιχειρήσεων στον τομέα των έξυπνων ηχείων. Η επεξεργασία κάθε αιτήματος εκτελέστηκε σε υποδομή που βασίζεται στο cloud. Δεδομένου ότι το προτεινόμενο σύστημα δεν στοχεύει μια κρίσιμη για την ασφάλεια εφαρμογή, η επιλογή της αρχιτεκτονικής που βασίζεται στο cloud θεωρήθηκε αποτελεσματική. Αν και οποιαδήποτε άλλη επιλογή αρχιτεκτονικής - όπως οι αρχιτεκτονικές fog ή edge [118, 285] - μπορεί να αποδειχθεί περισσότερο ωφέλιμη σε ό,τι αφορά τη διαθεσιμότητα και την

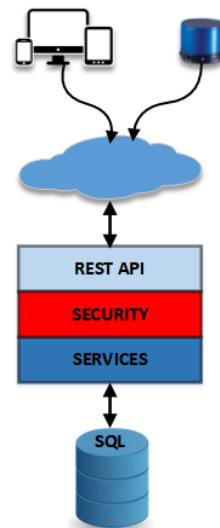
απόδοση του συστήματος, θα οδηγούσε ωστόσο σε πρόσθετες απαιτήσεις για μια προσαρμοσμένη πλατφόρμα, καθώς και στο σχεδιασμό, και την παραγωγή, νέων έξυπνων ηχείων. Στη συνέχεια, αυτή η επιλογή θα καθιστούσε το σύστημα περισσότερο δαπανηρό και εξαιρετικά εξαρτημένο από έναν συγκεκριμένο προμηθευτή. Επιπλέον, θα απαιτηθεί νέα σχεδιαστική προσπάθεια για την εξέταση των προβλημάτων κλιμάκωσης, καθώς και των προβλημάτων εγκατάστασης για νέα έξυπνα ηχεία. Τέλος, δεν θα υπήρχε η δυνατότητα να αξιοποιηθεί κανένα από τα έξυπνα ηχεία που είναι ήδη διαθέσιμα στην αγορά, τα οποία μπορούν να συνδεόνται με διάφορες τροποποιήσεις του λογισμικού τους στο προτεινόμενο σύστημα. Έτσι, για λόγους συμβατότητας, επιλέχθηκε η αρχιτεκτονική που βασίζεται στο cloud.

#### 4.4.1 Η cloud αρχιτεκτονική του συστήματος

Για τις ανάγκες της εφαρμογής που αναπτύχθηκε, υπάρχει διαθέσιμη μια εικονική μηχανή (Virtual Machine - VM) σε μια cloud υποδομή η οποία φιλοξενεί μία βάση δεδομένων. Στη βάση δεδομένων αποθηκεύονται τα δεδομένα σχετικά με τον πάσχοντα άνθρωπο και τους οικείους του ανθρώπους. Συγκεκριμένα, η βάση δεδομένων περιλαμβάνει ένα πίνακα, ο οποίος περιέχει τη συσχέτιση μεταξύ του πάσχοντα ατόμου και του οικείου προσώπου με τον αντίστοιχο χαρακτηριστικό ήχο, καθώς και τη διάρκεια του εκάστοτε ήχου. Επιπλέον, υπάρχει κι ένας πίνακας ο οποίος περιέχει τις συσχετίσεις μεταξύ του πάσχοντα ατόμου και των έξυπνων ηχείων που υπάρχουν στο σπίτι του. Στην κορυφή της βάσης δεδομένων, υπάρχουν ορισμένες υπηρεσίες για τη διαχείριση της αλληλεπίδρασης. Με τη χρήση αυτών των υπηρεσιών, το λογισμικό μπορεί να χωριστεί και να αξιοποιήσει τα εργαλεία και τις τεχνολογίες που ταιριάζουν καλύτερα κάθε φορά στην εκάστοτε περίπτωση. Στο επόμενο επίπεδο, υπάρχει ένα REST API, με σκοπό να μπορούν να αλληλεπιδρούν και οι υπόλοιπες συσκευές με αυτές τις υπηρεσίες. Στο Σχήμα 4.3, απεικονίζεται η cloud αρχιτεκτονική του συστήματος, όπως έχει περιγραφεί παραπάνω.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3, οι cloud υπηρεσίες μπορούν να είναι προσβάσιμες μέσω υπολογιστή, tablet, smartphone ή έξυπνου ηχείου. Στην πρώτη περίπτωση, οι χρήστες *Οικείο άτομο* και *Διαχειριστής* επικοινωνούν με την υπηρεσία cloud. Ο χρήστης *Οικείο άτομο* συνδέεται στο σύστημα για να εγγραφεί και να υποβάλει μία αίτηση συσχέτισης με ένα άτομο που πάσχει από άνοια. Ο *Διαχειριστής* επικοινωνεί με τις υπηρεσίες του cloud, προκειμένου να διαχειριστεί τη βάση των δεδομένων και να παραχωρήσει/δημιουργήσει τις κατάλληλες συσχετίσεις μεταξύ του *Πάσχοντα* και των *Οικείων ατόμων* του. Η δεύτερη περίπτωση αφορά στην επικοινωνία του συστήματος με τα έξυπνα ηχεία, προκειμένου είτε να ζητηθούν πληροφορίες σχετικά με τη θέση του *Πάσχοντα* μέσα στο σπίτι του, είτε να μεταδοθεί ο ήχος απευθείας στο έξυπνο ηχείο που αναγνωρίστηκε ως το πλησιέστερο στον *Πάσχοντα*.



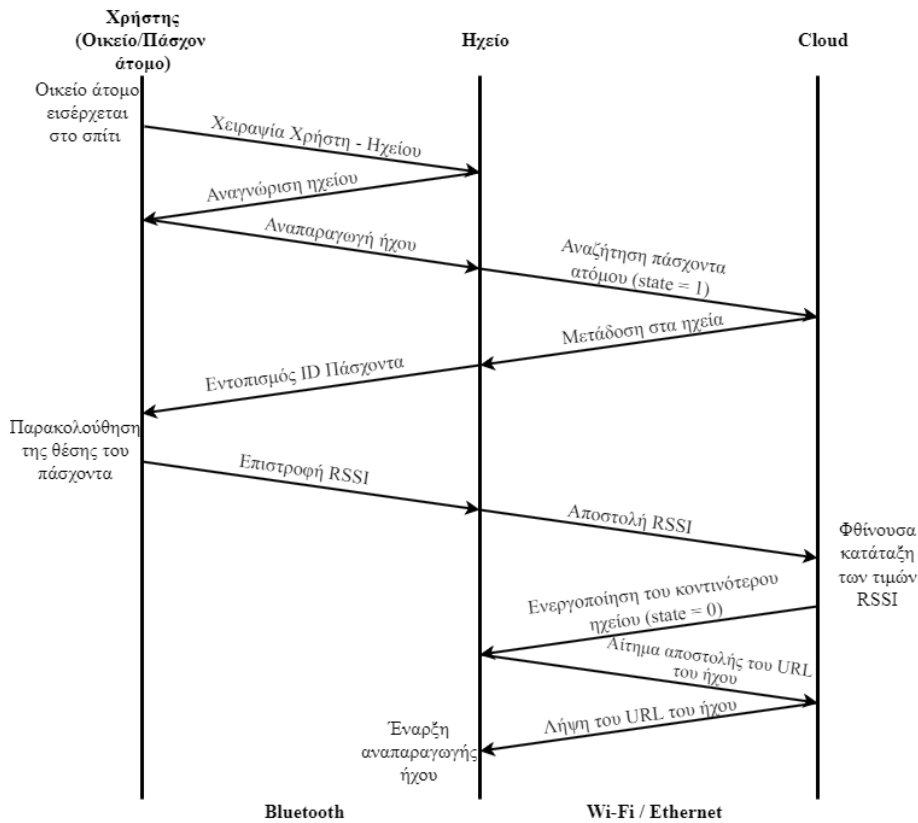


Σχήμα 4.3: Η cloud αρχιτεκτονική του συστήματος και τα στοιχεία που την απαρτίζουν.

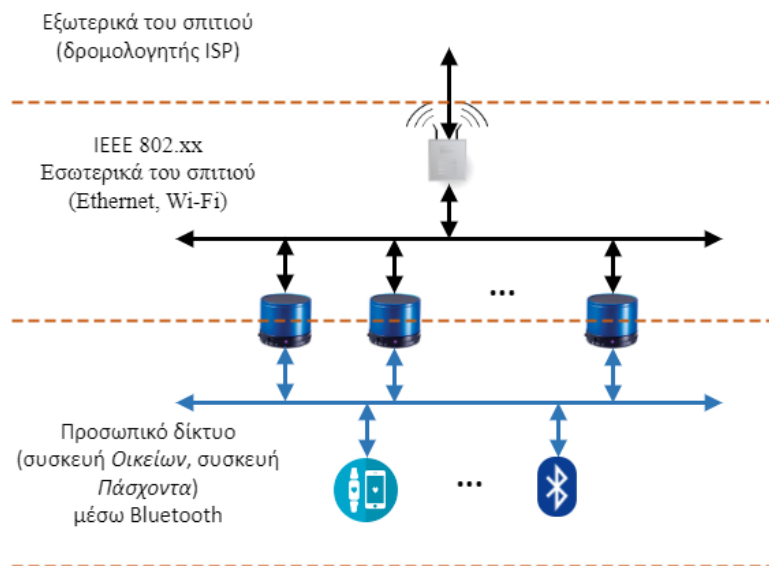
#### 4.4.2 Δικτυακή υποδομή στο έξυπνο σπίτι

Εντός του έξυπνου σπιτιού υπάρχουν διάσπαρτα ηχεία με τη δυνατότητα σύνδεσης είτε μέσω Bluetooth, είτε μέσω Wi-Fi με το σύστημα. Η χρήση του πρωτόκολλου επικοινωνίας Bluetooth επιτρέπει τη δημιουργία επικοινωνίας με τον χρήστη *Οικείο άτομο*, προκειμένου να ενεργοποιηθεί η λειτουργία της ειδοποίησης της παρουσίας του ή της εσωτερικής ανίχνευσης του *Πάσχοντα* εντός του σπιτιού. Επιπλέον, ο *Πάσχοντας* εκπέμπει ένα σήμα (σήμα φάρου), για να κάνει γνωστή την παρουσία του στον χώρο. Ενώ, το κανάλι επικοινωνίας Wi-Fi χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με τις υπηρεσίες του cloud, για την υποβολή των αιτημάτων από το *Οικείο άτομο* στο cloud, ή για την υποβολή αιτημάτων από το cloud στα έξυπνα ηχεία του σπιτιού. Το λεπτομερές γράφημα διεργασιών στο Σχήμα 4.4, απεικονίζει την αναπαραγωγή του συσχετισμένου ήχου με ένα *Οικείο άτομο*, και περιλαμβάνει την επικοινωνία μεταξύ του χρήστη, του έξυπνου ηχείου και της cloud αρχιτεκτονικής του συστήματος.

Το δίκτυο των ηχείων εντός του έξυπνου σπιτιού, είναι η γέφυρα μεταξύ της αλληλεπίδρασης του χρήστη και της υπηρεσίας στο cloud. Κάθε έξυπνο ηχείο έχει τη δυνατότητα να συνδέεται τόσο μέσω Ethernet/Wi-Fi, όσο και μέσω Bluetooth. Η τοπολογία του δικτύου των έξυπνων ηχείων απεικονίζεται στο Σχήμα 4.5. Όπως φαίνεται, οποιαδήποτε συσκευή των χρηστών - είτε των *Οικείων ατόμων*, είτε του *Πάσχοντα* - συνδέεται με τα ηχεία, κι έπειτα μέσω αυτών, γίνεται η διασύνδεση στο cloud. Η πρόσβαση στο cloud επιτυγχάνεται χάρη ενός Internet Service Provider - ISP, ο οποίος είναι εγκατεστημένος εσωτερικά στο σπίτι του ατόμου που πάσχει από άνοια.



Σχήμα 4.4: Η επικοινωνία του συστήματος από τη στιγμή της εισόδου ενός οικείου ατόμου στο σπίτι ενός ανθρώπου που πάσχει από άνοια, μέχρι τη στιγμή της αναπαραγωγής του σχετικού ήχου.



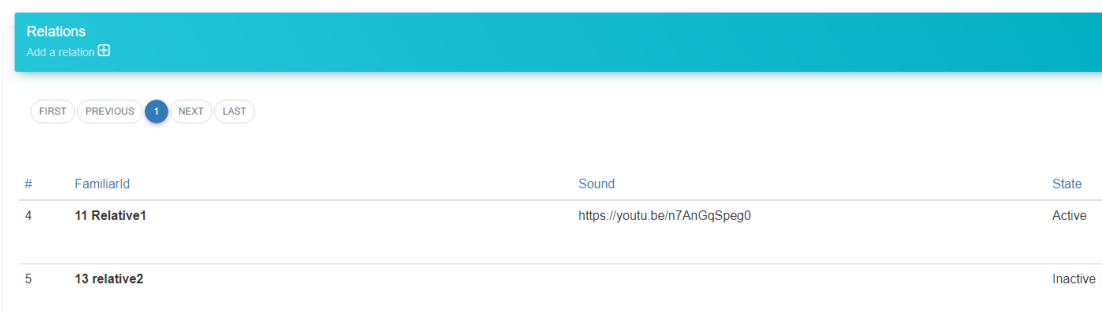
Σχήμα 4.5: Η τοπολογία του δικτύου των έξυπνων ηχείων μέσα στο έξυπνο σπίτι.

## 4.5 Η υλοποίηση του προτεινόμενου συστήματος

Κατά την υλοποίηση του προτεινόμενου συστήματος, όλες οι μεταφορές των δεδομένων μεταξύ του cloud/διακομιστή και των συσκευών πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας JavaScript Object Notation - JSON μορφοποίηση. Επίσης, κάθε πακέτο δικτύου από και προς το επίπεδο υπηρεσιών κρυπτογραφήθηκε για λόγους ασφαλείας, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο κρυπτογράφησης AES block cipher. Επιπλέον, πληροφορίες όπως οι κωδικοί πρόσβασης ή η διεύθυνση MAC των έξυπνων ηχείων - ή οποιασδήποτε άλλης συσκευής μπορεί να χρειαστεί - κρυπτογραφήθηκαν χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση κατακερματισμού SHA256 (SHA256 hash function).

### 4.5.1 Cloud/Διακομιστής

Η εφαρμογή του διακομιστή αναπτύχθηκε στο Azure ως μία web υπηρεσία. Το σχήμα της βάσης δεδομένων σχεδιάστηκε χρησιμοποιώντας MSSQL και όλες οι υπηρεσίες REST APIs που έχουν αναπτυχθεί μέχρι την παρούσα στιγμή, έχουν αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας PHP. Όλοι οι χρήστες του συστήματος, *Πάσχοντα* και *Οικεία άτομα*, πρέπει να εγγραφούν και να λάβουν τα μοναδικά αναγνωριστικά τους (IDs). Επομένως, υπάρχει μια υπηρεσία σχεδιασμένη για να διαχειρίζεται τις ενέργειες του διαχειριστή. Τα παρακάτω Σχήματα 4.6,4.7 είναι οι απεικονίσεις του πίνακα ελέγχου του διαχειριστή και οι ενέργειες που χρειάζεται να κάνει για την επεξεργασία μιας συσχέτισης. Επιπλέον, υπάρχουν υπηρεσίες χειρισμού των ενεργειών τόσο των ηχείων, όσο και των χρηστών, οι οποίες θα περιγραφούν στις επόμενες υποενότητες.



#	FamiliarId	Sound	State
4	11 Relative1	<a href="https://youtu.be/n7AnGqSpeg0">https://youtu.be/n7AnGqSpeg0</a>	Active
5	13 relative2		Inactive

Σχήμα 4.6: Ο πίνακας ελέγχου του *Πάσχοντα*, όπως εμφανίζεται στο *Διαχειριστή* του συστήματος.

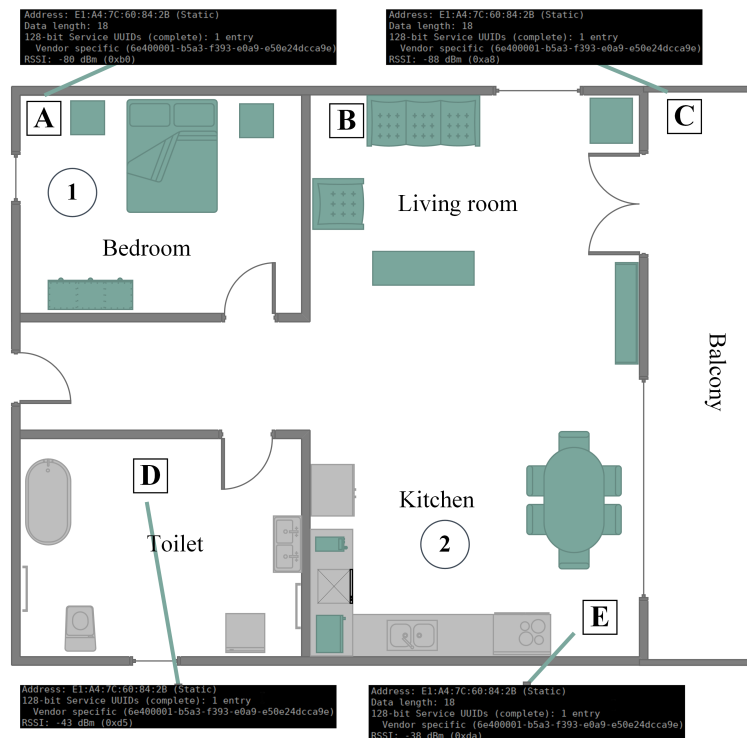
Familiarid	State (0=pending, 1=accepted)	Sound
11	1	https://youtu.be/n7AnGqSpeg0

Σχήμα 4.7: Η διαχείριση της συσχέτισης ενός *Οικείου* ατόμου με έναν χαρακτηριστικό ήχο, όπως εμφανίζεται στο *Διαχειριστή* του συστήματος.

### 4.5.2 Το Έξυπνο Σπίτι

Προκειμένου να αναπτυχθεί το πρωτότυπο ενός έξυπνου ηχείου, χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα υλικού ανοιχτού κώδικα Raspberry Pi 3 Model B+. Ως λειτουργικό σύστημα, χρησιμοποιήθηκε το Raspbian Stretch και ένας Bluetooth server αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού Python. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε ένα script ως Dynamic Domain Name System - DDNS, προκειμένου να διατηρούνται ενημερωμένες οι υπηρεσίες του cloud σχετικά με τη σύνδεση. Κατά την εκκίνηση του λειτουργικού συστήματος, ο Bluetooth server φορτώνεται και μια εργασία cron εκτελεί ένα σενάριο κάθε 24 ώρες προκειμένου να ενημερώσει τις πληροφορίες σύνδεσης στο cloud (η διεργασία DDNS).

Ο Bluetooth server δέχεται μια σύνδεση από μια οικεία συσκευή και ξεκινά την ανταλλαγή ορισμένων μηνυμάτων ως μια προσαρμοσμένη χειραψία (custom handshake). Έπειτα, η συσκευή του οικείου ατόμου θα αναγνωριστεί και θα σταλεί ένα μήνυμα στο cloud REST API, για την ανάκτηση του συσχετισμένου ήχου. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, η υπηρεσία στο cloud, πριν στείλει τη διεύθυνση URL του ήχου, θα ειδοποιήσει ότι τα έξυπνα ηχεία πρέπει να παρακολουθούν τη θέση του πάσχοντα, προκειμένου να προσδιοριστεί ποιο ηχείο είναι πιο κοντά σε αυτόν. Προκειμένου να επιτευχθεί η παρακολούθηση, υπάρχει μια προσαρμοσμένη φορητή συσκευή - την οποία και φέρει πάνω του ο πάσχοντας άνθρωπος και προτείνεται να ράβεται στα ρούχα του. Έτσι, χρησιμοποιώντας μια εντολή στο επίπεδο του λειτουργικού συστήματος, το έξυπνο ηχείο μπορεί να ανακτήσει την ένδειξη της τιμής του Received Signal Strength Indicator - RSSI της (Σχήμα 4.8). Στη συνέχεια, το ηχείο στέλνει την τιμή RSSI στο cloud και μια άλλη υπηρεσία είναι υπεύθυνη για τον προσδιορισμό του ηχείου που βρίσκεται πιο κοντά στον πάσχοντα άνθρωπο [166]. Έπειτα, η διεύθυνση URL του συσχετισμένου ήχου, αποστέλλεται στο εγγύτερο ηχείο, ώστε να ξεκινήσει η αναπαραγωγή του συσχετισμένου ήχου.



Σχήμα 4.8: Απεικόνιση της αναζήτησης της τιμής RSSI.

Ο υπολογισμός της τιμής RSSI βασίζεται στη γενική περιγραφή της τοποθέτησης και του τριγωνισμού, όπως περιγράφεται στο άρθρο [266]. Η διαφορά από την προαναφερθείσα εργασία είναι ότι το προτεινόμενο σύστημα ενδιαφέρεται μόνο για το έξυπνο ηχείο το οποίο βρίσκεται πιο κοντά στο άτομο που πάσχει από άνοια. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει ανάγκη συσχέτισης τριών πηγών προκειμένου να τοποθετηθεί ο φάρος, εξ' ου και η συσκευή αναγνώρισης του πάσχοντα ανθρώπου, αλλά μόνο η αναγνώριση του έξυπνου ηχείου που έχει την υψηλότερη τιμή RSSI. Η τιμή του RSSI με τη σειρά της αντιστοιχεί στη μικρότερη απόσταση από το πάσχοντα άτομο. Έτσι, με βάση την έρευνα για τον εντοπισμό της θέσης με τη χρήση του Bluetooth 4.0, φαίνεται ότι η τιμή RSSI είναι η βέλτιστη μέθοδος για τον εντοπισμό ενός φάρου Bluetooth [95, 94, 129]. Έτσι, όταν υπάρχει ανάγκη το σύστημα να ανιχνεύσει τον πάσχοντα άνθρωπο, δηλαδή να βρει το πλησιέστερο σε αυτόν έξυπνο ηχείο, χρησιμοποιείται την εξίσωση:

$$RSSI = -(10n \log_{10} d + A) \quad (4.1)$$

όπου τα  $n$  και  $A$  είναι γνωστά ως παράμετροι ραδιοσυχνότητας (Radio Frequency - RF) για την περιγραφή του περιβάλλοντος δικτύου. Η μεταβλητή  $A$  ορίζεται ως η απόλυτη ενέργεια, η οποία υπολογίζεται σε dBm σε απόσταση ενός μέτρου από τον πομπό. Η μεταβλητή  $n$  είναι η σταθερά μετάδοσης του σήματος και σχετίζεται με το περιβάλλον μετάδοσης του σήματος. Ενώ, η μεταβλητή  $d$  είναι η απόσταση μεταξύ του

πομπού από το δέκτη.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.8, κάθε έξυπνο ηχείο επιστρέφει μία μοναδική τιμή RSSI, η οποία αντιστοιχεί στην ισχύ του σήματος που λαμβάνει η συσκευή αναγνώρισης του πάσχοντα ανθρώπου. Στη συνέχεια, αυτές οι τιμές υποβάλλονται στο σύστημα και ταξινομούνται κατά φθίνουσα σειρά. Εν κατακλείδι, το έξυπνο ηχείο με την υψηλότερη τιμή RSSI επιλέγεται ως το πλησιέστερο ηχείο στον πάσχοντα άνθρωπο.

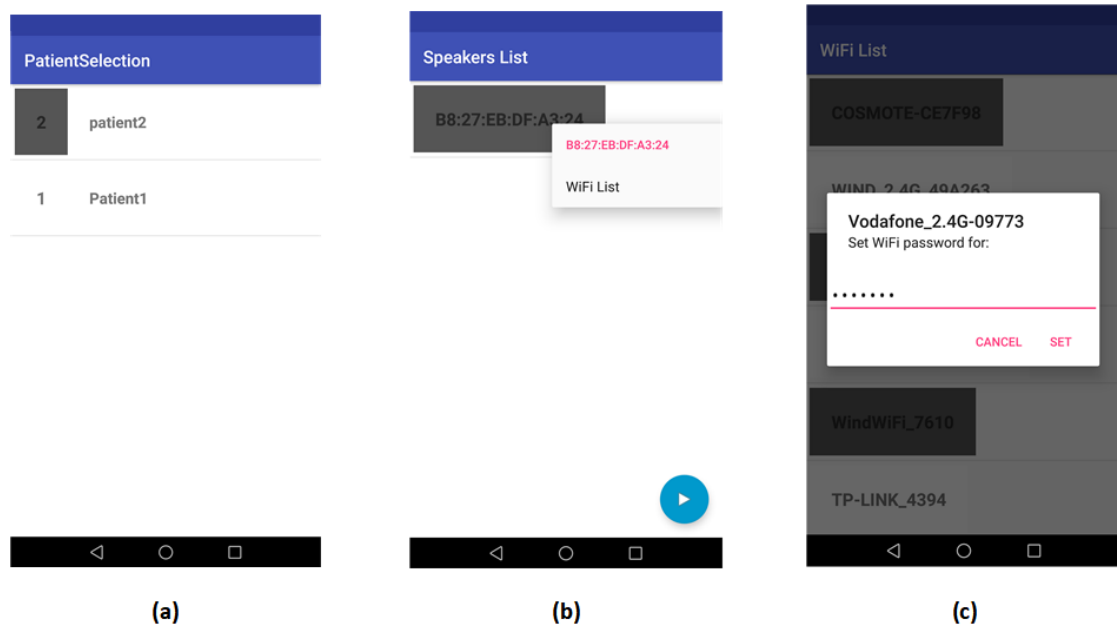
### 4.5.3 Η εφαρμογή για το κινητό τηλέφωνο

Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε για το κινητό τηλέφωνο των οικείων ατόμων, υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το Android Studio, στοχεύοντας στην έκδοση Android Marshmallow (API Level 23) και νεότερες από αυτή. Το Android Studio επιλέχθηκε επειδή δημιουργεί εγγενείς εφαρμογές για την πλατφόρμα Android και βελτιστοποιημένες για τη στοχευόμενη πλατφόρμα υλικού. Ο χρήστης *Οικείο άτομο* συνδέεται στην εφαρμογή, από την οποία είναι δυνατό να επιλέξει το άτομο που πάσχει από άνοια και επιθυμεί να αλληλεπιδράσει, καθώς δεν είναι διόλου ασυνήθιστο οι συγγενείς των πασχόντων ατόμων να πάσχουν κι εκείνοι επίσης από άνοια. Η επιλογή του πάσχοντα ατόμου (Σχήμα 4.9(a)), φέρνει από την εφαρμογή τη λίστα με τα έξυπνα ηχεία (Σχήμα 4.9(b)) τα οποία έχουν καταχωρηθεί για τον εκάστοτε πάσχοντα άνθρωπο στο έξυπνο σπίτι. Στην εφαρμογή περιλαμβάνονται επίσης επιλογές διαχείρισης για τα έξυπνα ηχεία του σπιτιού. Τέλος, το *Οικείο άτομο* μπορεί να συνδεθεί στο ασύρματο οικιακό δίκτυο Wi-Fi (Σχήμα 4.9(c)) για να έχει απευθείας πρόσβαση στις cloud υπηρεσίες της προτεινόμενης λύσης.

Καθώς ένα *Οικείο άτομο* εισέρχεται εντός του έξυπνου σπιτιού, πατά το κουμπί αναπαραγωγής στην εφαρμογή του κινητού του, κι ένα αίτημα για αναπαραγωγή του συσχετισμένου ήχου αποστέλλεται στην υπηρεσία του cloud. Σε αυτό το σημείο, το σύστημα ζητά από όλα τα ηχεία να αναφέρουν τη σχετική τους θέση, σε σύγκριση με τον *Πάσχοντα*, ενώ υπολογίζεται η τιμή RSSI της συσκευής αναγνώρισης του *Πάσχοντα*, ώστε να επιλεγεί η υψηλότερη τιμή. Εφόσον αναφερθεί η υψηλότερη τιμή RSSI από τον πλησιέστερο ηχείο, η θέση του πάσχοντα ανθρώπου ανιχνεύεται εντός της οικίας του.

## 4.6 Αποτελέσματα αξιολόγησης

Ο στόχος της παρούσας εργασίας ήταν να αξιοποιήσει τα ευρήματα προηγούμενων ερευνητικών εργασιών και να προτείνει ένα σύστημα ακουστικής διέγερσης της ανθρώπινης μνήμης, το οποίο να εγκαθίσταται, μη επεμβατικά, στο σπίτι του ανθρώπου που πάσχει από άνοια. Έτσι, σε αυτή την ενότητα αξιολογείται η λειτουργικότητα του



Σχήμα 4.9: (a) Η επιλογή του συσχετισμένου πάσχοντα ατόμου, (b) Η διαχείριση του έξυπνου ηχείου του σπιτιού, και (c) Η ρύθμιση της ασύρματης σύνδεσης Wi-Fi για το έξυπνο ηχείο.

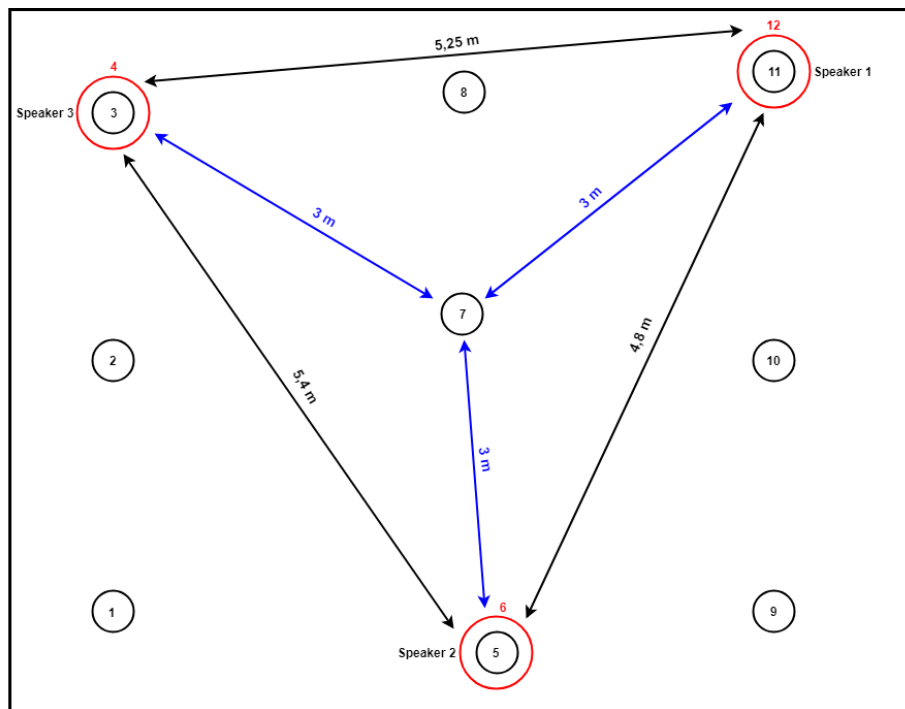
προτεινόμενου συστήματος. Επιπλέον, τα πλεονεκτήματα της διέγερσης της ανθρώπινης μνήμης μέσω των ηχητικών ερεθισμάτων δεν εξετάζονται σε αυτή την εργασία, καθώς έχουν ήδη αποδειχθεί σε άλλες προγενέστερες εργασίες [113, 167, 243, 259].

Η προτεινόμενη λύση θα πρέπει να θεωρείται καινοτομία στον τομέα της εφαρμογής της, δηλαδή στη διέγερση των αναμνήσεων για τα άτομα που πάσχουν από άνοια - με βάση τα ακουστικά ερεθίσματα - εντός της οικίας τους, παρά στον τομέα της εφαρμογής της. Οι στόχοι του προτεινόμενου οικιακού συστήματος ήταν:

1. η διέγερση της μνήμης ενός ανθρώπου που πάσχει από άνοια όταν ένα οικείο πρόσωπό του τον πλησιάζει,
2. η διέγερση της μνήμης ενός ανθρώπου που πάσχει από άνοια όταν ένα οικείο πρόσωπο εισέρχεται στο σπίτι του, ενώ βρίσκεται σε μια ιδιωτική τοποθεσία,
3. η ανίχνευση της ακριβούς θέσης ενός ανθρώπου που πάσχει από άνοια εντός της οικίας του.

Για την αξιολόγηση της σωστής λειτουργικότητας του συστήματος πραγματοποιήθηκαν ορισμένες πειραματικές δοκιμές. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε ένα μεγάλο, ορθογώνιο δωμάτιο, στο οποίο τοποθετήθηκαν τρία έξυπνα ηχεία, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.10. Ο σχηματισμός των ηχείων καθώς τοποθετούνταν στο δωμάτιο θα

μπορούσε να παρομοιαστεί με ένα σκαληνό τρίγωνο, με τις δύο κορυφές του τριγώνου να αντιστοιχούν στις δύο γωνίες του ενός τοίχου του δωματίου, ενώ η τρίτη κορυφή στη αντιστοιχεί στη μέση του απέναντι τοίχου.



Σχήμα 4.10: Η τοπολογία των έξυπνων ηχείων στον χώρο στον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι πειραματικές δοκιμές.

#### 4.6.1 Το σύνολο των δοκιμών

Για την αξιολόγηση του προτεινόμενου συστήματος, πραγματοποιήθηκαν συνολικά 24 διαφορετικές διαμορφώσεις. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν δύο σετ με 12 δοκιμές διαμόρφωσης. Εξετάστηκαν δύο χρήστες *Οικεία άτομα*, προκειμένου να αξιολογηθεί η ταυτότητά τους εντός του χώρου του δωματίου, και ένας *Πάσχοντας*. Η διαφορά μεταξύ των δύο σετ δοκιμών ήταν η συσκευή ταυτοποίησης που έφερε μαζί του το εκάστοτε *Οικείο άτομο*. Και στα δύο σετ, και για λόγους δικαιοσύνης ως προς την ωριμότητα της τεχνολογίας, η συσκευή ταυτοποίησης ήταν ένα smartphone, με τη μία συσκευή να υποστηρίζει το λειτουργικό Android Marshmallow (API Level 23) και την άλλη συσκευή να υποστηρίζει το λειτουργικό Android Nougat (API Level 24). Και στις δύο ομάδες διαμορφώσεων, η θέση του πάσχοντος ατόμου, σε σχέση με τη θέση των ηχείων στο χώρο του δωματίου, ήταν σχεδόν η ίδια. Ο αριθμός των διαμορφώσεων για τους δοκιμαστικούς σκοπούς κρίθηκε ικανοποιητικός. Εξετάζοντας τις εργασίες που αναφέρονται παραπάνω, σχετικά με τις εφαρμογές του ήχου ως μέσο διέγερσης



της ανθρώπινης μνήμης, παρατηρήθηκε ότι υπάρχουν μόνο λίγες εργασίες αναφορικά με το συγκεκριμένο πεδίο έρευνας. Στον Πίνακα 4.1 καταγράφονται οι εργασίες οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί, όπως αναφέρονται στην έρευνα [139]. Ο αριθμός των συμμετεχόντων ήταν μικρός, και στις περιπτώσεις που συμμετείχαν περισσότερα από τρία άτομα στην αξιολόγηση, απαραίτητη προϋπόθεση ήταν η εκπαίδευση αυτών. Ως εκ τούτου, ήταν απαραίτητο ένα μεγαλύτερο μέγεθος δείγματος.

Για λόγους κατηγοριοποίησης, κάθε σετ συσχετίστηκε με ένα μόνο *Οικείο άτομο*. Επιπλέον, στις 12 δοκιμαστικές διαμορφώσεις που πραγματοποιήθηκαν, εξετάστηκε η θέση του *Πάσχοντα*, σχετικά με την εγγύτητά του με ένα από τα τρία έξυπνα ηχεία του δωματίου. Επιπλέον, εξετάστηκε και η περίπτωση να βρεθεί ο *Πάσχοντας* ανάμεσα σε δύο έξυπνα ηχεία.

Πίνακας 4.1: Εργασίες που αναφέρονται στην επιστημονική βιβλιογραφία σχετικά με την άνοια και την αξιοποίηση του ήχου ως ερέθισμα για την ανθρώπινη μνήμη.

Συγγραφείς	Έτος	Τίτλος	Είδος συσκευής	Είδος Μελέτης	Μέγεθος Δείγματος
Arntzen et al. [24]	2016	Ανίχνευση της επιτυχούς ενσωμάτωσης υποστηρικτικής τεχνολογίας στην καθημερινή ζωή νεότερων ατόμων με άνοια και τους φροντιστές τους	Προκατασκευασμένες συσκευές: τηλεχειριστήριο τηλεόρασης, κινητό τηλέφωνο, ψηφιακό ημερολόγιο, GPS, ρολόι ομιλίας, διανομέας φαρμάκων, χρονόμετρα εστιών, ηλεκτρονική κλειδαριά πόρτας	Αξιολόγηση	12 άτομα με άνοια και 14 φροντιστές
Imbeault et al. [119]	2016	Η επίδραση του AP@LZ στην καθημερινή ζωή τριών ατόμων με Alzheimer's: μακροχρόνια χρήση και περαιτέρω διερεύνηση της αποτελεσματικότητάς του	Εφαρμογή AP@LZ για smartphone	Δοκιμή	3 άτομα με τη νόσο του Alzheimer's
Chen et al. [53]	2015	MemAid: Μια θεραπευτική εφαρμογή για άτομα με άνοια και φροντιστές	Εφαρμογή για Android κινητά τηλέφωνα με: παιχνίδι μνήμης, υπενθυμίσεις και σύστημα ειδοποίησης τοποθεσίας σε πραγματικό χρόνο	Ανάπτυξη και δοκιμή	Δεν διευκρινίζεται
Orpwood et al. [192]	2007	Σχεδιασμός τεχνολογίας για την υποστήριξη της ποιότητας ζωής των ατόμων με άνοια	Τέσσερα πρωτότυπα: πρόγραμμα αναπαραγωγής μουσικής, παράθυρο στον κόσμο, προτροπή συνομιλίας, υποστήριξη ακουλουθίας	Ανάπτυξη και δοκιμή	26 άτομα με άνοια
Orpwood et al. [193]	2004	Συμμετοχή των χρηστών στην ανάπτυξη προϊόντων άνοιας	Εικόνα γραμμόφωνο, 24ωρο ημερολόγιο, εντοπιστής, οθόνη βρύσης, αυτόματα νυχτερινό φως, οθόνη κουζίνας υγραερίου	Ανάπτυξη	Προσωπικοί φροντιστές, επαγγελματίες, σχεδιαστές μηχανών, άτομα με άνοια (οι αριθμοί δεν προσδιορίζονται)
Yashuda et al. [283]	2002	Χρήση συσκευής ψηφιακής εγγραφής ως βοήθημα μνήμης εξόδου φωνής για ασθενείς με πιθανή εξασθένηση της μνήμης	Sony συσκευή ψηφιακής εγγραφής	Δοκιμή	8 άτομα με άνοια

### 4.6.2 Η θέση του πάσχοντα στον χώρο

Όταν ένα αίτημα από το σύστημα αποστέλλεται στα έξυπνα ηχεία για τον εντοπισμό της θέσης του πάσχοντα ανθρώπου στον χώρο, όλα τα έξυπνα ηχεία προσπαθούν να ανιχνεύσουν το σήμα Bluetooth της συσκευής αναγνώρισης του πάσχοντα. Το μέτρο για την ανίχνευση της εγγύτητας είναι η τιμή RSSI, όπως αναφέρεται από τη μονάδα Bluetooth του κάθε έξυπνου ηχείου. Με βάση την Εξίσωση 4.1, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή που επιστρέφεται από ένα ηχείο, τόσο μικρότερη είναι η απόστασή του από τον άνθρωπο που πάσχει από άνοια.

Για να αξιολογηθεί η διαδικασία παρακολούθησης του πάσχοντα ανθρώπου εντός του δωματίου, πραγματοποιήθηκαν 12 δοκιμές διαμόρφωσης (σε κάθε προκαθορισμένο σημείο) στο δωμάτιο, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.10. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.2, η τοποθέτηση των έξυπνων ηχείων ήταν επιτυχής για όλες τις δοκιμές, ενώ οι αναφερόμενες τιμές είναι η μέση τιμή των δοκιμών για κάθε διαμόρφωση. Επιπλέον, στον Πίνακα 4.2, υπάρχει στο τέλος μια ακόμη στήλη που αντιστοιχεί στα αποτελέσματα των δοκιμών, τα οποία αναφέρονται πιο κάτω.

Πίνακας 4.2: Ανίχνευση της θέσης του πάσχοντα ατόμου, με βάση το RSSI της συσκευής Bluetooth του, όπως μετράται από τα έξυπνα ηχεία. Οι τιμές αντιστοιχούν στο πρώτο σετ δοκιμής (χρήστης = Οικείο άτομο No.1).

Θέση	Ηχείο 1	Ηχείο 2	Ηχείο 3	Επιτυχία στην τοποθεσία	Επιτυχία στην αναπαραγωγή
1	-90	-77	-89	✓	✓
2	-90	-72	-83	✓	✓
3	-84	-83	-52	✓	✓
4	-89	-88	-67	✓	✓
5	-75	-37	-75	✓	✓
6	-77	-70	-87	✓	✓
7	-69	-74	-67	✓	✓
8	-78	-77	-68	✓	✓
9	-84	-65	-85	✓	✓
10	-68	-80	-75	✓	✓
11	-53	-76	-75	✓	✓
12	-62	-78	-78	✓	✓

### 4.6.3 Η αναπαραγωγή του ήχου από το κατάλληλο ηχείο

Δύο σετ δοκιμών εξετάστηκαν για δύο διαφορετικούς χρήστες. Στο σενάριο χρήσης για την αξιολόγηση, θεωρήθηκε το σενάριο της εισόδου ενός *Οικείου ατόμου* στο δωμάτιο, και η ενεργοποίηση του συστήματος μέσω της συσκευής ταυτοποίησής του. Ο σκοπός της αξιολόγησης ήταν η αναπαραγωγή του σωστού ήχου, δηλαδή αυτού που συσχετιζόταν με το αναγνωριστικό του *Οικείου ατόμου*. Στους Πίνακες 4.2 και 4.3 αναφέρονται τα αποτελέσματα και για τα δύο σετ δοκιμών.

Πίνακας 4.3: Ανίχνευση της θέσης του πάσχοντα ατόμου, με βάση το RSSI της συσκευής Bluetooth του, όπως μετράται από τα έξυπνα ηχεία. Οι τιμές αντιστοιχούν στο δεύτερο σετ δοκιμών (χρήστης = *Οικείο άτομο No.2*).

Θέση	Ηχείο 1	Ηχείο 2	Ηχείο 3	Επιτυχία στην αναπαραγωγή
1	-90	-81	-91	✓
2	-80	-75	-75	✓
3	-76	-85	-30	✓
4	-75	-80	-63	✓
5	-88	-17	-73	✓
6	-78	-70	-77	✓
7	-65	-65	-68	✓
8	-62	-74	-80	✓
9	-71	-65	-88	✓
10	-72	-81	-81	✓
11	-34	-88	-86	✓
12	-63	-77	-93	✓

## 4.7 Μελλοντικές επεκτάσεις

Η προηγούμενη ενότητα είχε δύο βασικούς στόχους προς αξιολόγηση: i) να ελέγξει εάν η αναγνώριση ενός *Οικείου ατόμου* είναι επιτυχής, δηλαδή η σωστή αναπαραγωγή του σχετικού ήχου ανά χρήστη και, ii) την επιτυχή ανίχνευση του ατόμου που πάσχει από άνοια στον χώρο. Ο τελευταίος στόχος αποδείχτηκε και το πιο δύσκολο να ε-

πιτευχθεί. Στο υπόλοιπο του παρόντος Κεφαλαίου, συζητούνται τα αποτελέσματα και αναφέρονται οι εκτιμήσεις του προτεινόμενου συστήματος.

Τα αποτελέσματα της προηγούμενης ενότητας έδειξαν ότι η ενσωματωμένη εφαρμογή στις συσκευές των χρηστών κατάφερε να παρέχει στο προτεινόμενο σύστημα τα κατάλληλα διαπιστευτήρια για την αναγνώριση, δηλαδή τη διεύθυνση MAC και το αναγνωριστικό ID του κάθε χρήστη. Από το συνολικό αριθμό των δοκιμών, όλες ήταν επιτυχείς στην αναπαραγωγή του κατάλληλου ήχου. Το χρονικό διάστημα μεταξύ του πατήματος του κουμπιού στην εφαρμογή του κινητού, έως και την αναπαραγωγή του χαρακτηριστικού ήχου από το έξυπνο ηχείο, μετρήθηκε σε λίγα δευτερόλεπτα, επιτρέποντας έτσι την αυθόρμητη αντίδραση από τον χρήστη σε περίπτωση δυσλειτουργίας του συστήματος. Εφόσον επαληθεύτηκε η σωστή λειτουργικότητα του προτεινόμενου συστήματος σε ποσοστό 100% των περιπτώσεων δοκιμής, δεν πραγματοποιήθηκαν περαιτέρω ενέργειες.

Το πιο δύσκολο κομμάτι της αξιολόγησης του προτεινόμενου συστήματος ήταν η ανίχνευση του ατόμου που πάσχει από άνοια, καθώς ο ήχος αναμενόταν να αναπαραχθεί από το ηχείο που βρίσκεται πιο κοντά σε εκείνον. Η διαδικασία περιορίστηκε στον εντοπισμό της περιοχής γύρω από τον *Πάσχοντα*. Η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε ήταν η άμεση αξιοποίηση των τιμών RSSI, τις οποίες αναφέρουν τα έξυπνα ηχεία κατά τη σάρωση του σήματος Bluetooth από τη συσκευή του πάσχοντα ατόμου. Τα αποτελέσματα των δοκιμών που παρουσιάστηκαν παραπάνω απέδειξαν ότι η αναφερόμενη τιμή RSSI ήταν επαρκής ως δείκτης αξιολόγησης.

Για συγκριτικούς λόγους, η προτεινόμενη εργασία περιλαμβάνεται στον Πίνακα 4.4, στον οποίο αναφέρονται κι άλλες εργασίες. Οι εργασίες εξετάστηκαν για τα ακόλουθα θέματα:

1. την εκπαίδευση των χρηστών, δηλαδή η αναγκαιότητα ή όχι εκπαίδευσης του *Πάσχοντα* ή των *Οικείων ατόμων*,
2. την οικιακή χρήση του συστήματος,
3. τα οικεία πρόσωπα, δηλαδή εάν το σύστημα θεωρεί τους οικείους και τους φροντιστές ως χρήστες,
4. εάν υλοποιήθηκε το σύστημα,
5. η αξιολόγηση του συστήματος, δηλαδή εάν το σύστημα αξιολογήθηκε σε προσομοίωση,
6. η δοκιμή του συστήματος σε επίπεδο λειτουργικότητας,
7. η δοκιμή του συστήματος σε επίπεδο πραγματικών συνθηκών,

8. η διεγερση της μνήμης των ατόμων με άνοια με βάση το οπτικό ερέθισμα,
9. η διεγερση της μνήμης των ατόμων με άνοια με βάση το ηχητικό ερέθισμα,
10. η διεγερση της μνήμης των ατόμων με άνοια με βάση το απτικό ερέθισμα,
11. η ενδυνάμωση της μνήμης,
12. το ικανοποιητικό δείγμα της μελέτης.

Ο συγκριτικός Πίνακα 4.4 δείχνει ότι η προτεινόμενη λύση είναι η μόνη που δεν απαιτεί η εκπαίδευση των χρηστών, βασίζεται στο ακουστικό ερέθισμα, είναι κατάλληλη για οικιακή χρήση, ενώ παράλληλα υλοποιήθηκε και δοκιμάστηκε. Επιπλέον, ενισχύει τη μνήμη και ταυτόχρονα θεωρεί ως χρήστες του συστήματος τα *Οικεία άτομα*. Να σημειωθεί πως στις περισσότερες εργασίες οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν σε οικιακό περιβάλλον, το μέγεθος του δείγματος διατηρήθηκε χαμηλό, κυρίως λόγω δυσκολίας, η οποία αντιμετωπίστηκε και στην παρούσα εργασία, δηλαδή στο να δοθεί η άδεια από τα οικεία/συγγενικά πρόσωπα ενός ατόμου που πάσχει από άνοια, ώστε να εγκατασταθεί το σύστημα στο σπίτι του.

Ως μελλοντική έρευνα της παρούσας εργασίας συμπεριλαμβάνεται ο σχεδιασμός μιας νέας σειράς έξυπνων ηχείων, με βάση το πρωτότυπο που έχει ήδη αναπτυχθεί, επιτρέποντας την αυτόματη και ακριβέστερη επικοινωνία με εξατομικευμένες συσκευές αναγνώρισης για τους χρήστες. Ειδικά στην περίπτωση του ατόμου που πάσχει από άνοια, η ακρίβεια είναι ένα κρίσιμο ζήτημα στην περίπτωση που η θέση του βρίσκεται ανάμεσα σε δύο έξυπνα ηχεία. Επομένως, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η δυναμική ανάθεση προτεραιότητας, προκειμένου να επιτραπούν πιθανές συγκρούσεις. Εναλλακτικά, μια διαδικασία μηχανικής μάθησης θεωρείται επίσης ως λύση σε αυτό το πρόβλημα. Επιπλέον, θα πρέπει να εξεταστούν νέοι μέθοδοι ανίχνευσης του πάσχοντα ατόμου, όπως η προσέγγιση time-of-flight. Επίσης, μια άλλη συνεισφορά της προτεινόμενης υλοποίησης, η οποία πρέπει να αξιολογηθεί, είναι η ανάπτυξη ενός εργαλείου για τους επαγγελματίες που παρέχουν συνεδρίες μουσικοθεραπευτικές. Αυτό το εργαλείο μπορεί να επιτρέψει την έγκαιρη αύξηση των συνεδριών μουσικοθεραπείας του ατόμου με άνοια, και κατ' επέκταση την αύξηση των οφελών της σε αυτό.

Τέλος, για τη μελλοντική ανάπτυξη του προτεινόμενου συστήματος, θα εξεταστούν εναλλακτικές διαμορφώσεις, όπως αυτές που στοχεύουν σε υψηλότερες επιδόσεις και διαθεσιμότητα. Θα πρέπει να αναπτυχθεί μια ειδικά σχεδιασμένη πύλη (gateway), ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του προτεινόμενου συστήματος, όπως είναι οι επικοινωνίες Wi-Fi και Bluetooth, προκειμένου να αποθηκεύονται τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται συχνά και να λειτουργούν ως ένα στρώμα κρυφής μνήμης μεταξύ της cloud αρχιτεκτονικής και των έξυπνων ηχείων. Χρησιμοποιώντας αυτήν την πύλη, μπορεί να μειωθεί σημαντικά η καθυστέρηση της επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών

του συστήματος, να μειωθεί ο χρόνος επεξεργασίας των δεδομένων, καθώς και να μειωθεί η ανάγκη του συστήματος για σταθερή σύνδεση στο Διαδίκτυο.

Πίνακας 4.4: Σύγκριση του προτεινόμενου συστήματος με άλλες εργασίες που παρουσιάστηκαν τα τελευταία χρόνια στην ερευνητική βιβλιογραφία. Οι εργασίες που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1 έχουν επίσης προστεθεί, για να περιλαμβάνονται οι εργασίες που αξιοποιούν τον ήχο ως ερέθισμα ή ως βοήθημα για την ενδυνάμωση της ανθρώπινης μνήμης.

Εργασία	Εκπαίδευση	Οικιακή χρήση	Οικείοι	Ανάπτυξη	Αξιολόγηση	Λειτουργι- κότητα	Πραγματικές συνθήκες	Ερέθισμα			Ενίσχυση μνήμης	Μέγεθος δείγματος
								Όραση	Ήχος	Αφή		
Προτεινόμενη Λύση	○	●	●	●	○	●	○	○	●	○	●	2 (1)
Arntzen et al. [24]	●	●	●	●	●	○	○	●	●	○	○	14 (12)
Imbeault et al. [119]	●	●	○	●	○	○	●	●	●	○	○	0 (3)
Chen et al. [53]	●	●	○	●	○	●	○	●	●	○	●	0 (0)
Orpwood et al. [192]	●	●	○	○	○	○	●	●	●	○	○	0 (26)
Orpwood et al. [193]	●	○	○	●	○	○	○	●	○	○	○	0 (0)
Yasuda et al. [283]	○	○	○	●	○	○	●	○	●	○	○	0 (8)
Boman et al. [43]	●	●	●	○	●	○	○	●	●	○	○	9 (2)
Collector et al. [63]	○	○	○	●	○	○	●	●	○	○	○	0 (12)
Hattink et al. [108]	●	●	○	●	○	○	●	●	●	○	●	32 (42)
Kerkhof et al. [133]	●	○	●	●	○	○	●	●	○	○	○	5 (6)
Leng et al. [146]	●	●	○	●	○	○	●	●	○	○	○	0 (6)



## 4.8 Συμπεράσματα

Στο παρόν Κεφάλαιο, παρουσιάστηκε μια νέα λύση για άτομα που πάσχουν από άνοια. Η καινοτομία του προτεινόμενου συστήματος εντοπίζεται στην εφαρμογή του, δηλαδή στην ενσωμάτωση ενός οικιακού συστήματος για την υποβοήθηση στην αναγνώριση των οικείων ατόμων, μέσω της ακουστικής διέγερσης του πάσχοντα. Επιπλέον, το σύστημα αντιμετωπίζει την ανάγκη των ατόμων που πάσχουν από άνοια να αναγνωρίσουν τα οικεία τους πρόσωπα και να έχουν καλύτερη αλληλεπίδραση και συνεργασία μαζί τους, χωρίς την ανάγκη για εκπαίδευση. Η προτεινόμενη λύση προσφέρει ένα πανταχού παρόν σύστημα αναγνώρισης, χρησιμοποιώντας έξυπνες συσκευές όπως smartphones ή smart wristbands. Έτσι, όταν εντοπιστεί ένα οικείο άτομο στο σπίτι ενός ανθρώπου που πάσχει από άνοια, τότε αναπαράγεται ένας χαρακτηριστικός ήχος στα έξυπνα ηχεία, τα οποία βρίσκονται διάσπαρτα στο εσωτερικό του σπιτιού του, προκειμένου να διαγερθεί η μνήμη του πάσχοντα ανθρώπου. Οι πειραματικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, έδειξαν πως το σύστημα αναγνώριζε όλους τους χρήστες του και αναπαρήγαγε τον κατάλληλο ήχο στο 100% των περιπτώσεων.

Η κύρια πρόκληση της προτεινόμενης λύσης ήταν η ένταξη του συστήματος σε ένα τυπικό σπίτι, χωρίς να επηρεάζεται η καθημερινή ζωή κυρίως του πάσχοντα ανθρώπου, αλλά και των υπολοίπων κατοίκων του σπιτιού. Αυτό επιτεύχθηκε αξιοποιώντας την κοινώς χρησιμοποιούμενη τεχνολογία των έξυπνων ηχείων, καθώς το σύστημα το οποίο αναπτύχθηκε δεν είναι ορατό στο άτομο που πάσχει από άνοια, αφού μοιάζει ως ένα τυπικό ηχείο. Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν αποδεικνύουν την αναμενόμενη λειτουργικότητα του συστήματος. Επιπλέον, μελετώντας τις πρόσφατα αναφερθείσες ερευνητικές εργασίες, παρατηρήθηκε ότι μόνο λίγες εργασίες θεωρούσαν τον ήχο ως ερέθισμα για τη διέγερση της μνήμης. Τέλος, απ' όσα είναι ήδη γνωστά, αυτό είναι το πρώτο ακουστικό σύστημα του είδους του για την υποστήριξη της αναγνώρισης των οικείων ατόμων, για τα άτομα που πάσχουν από άνοια.



## Μέρος ΙΙΙ

# Η Υποστηριζόμενη Διαβίωση εκτός του Οικιακού Περιβάλλοντος



## Κεφάλαιο 5

# Η επέκταση της Ενεργού και Υποστηριζόμενης Διαβίωσης στο αστικό περιβάλλον

Στο παρόν Κεφάλαιο επεκτείνεται το ζήτημα της ΕΥΔ εκτός των ορίων ενός οικιακού περιβάλλοντος - όπως έχει μελετηθεί μέχρι στιγμής. Επίσης, παρουσιάζεται μια ανασκόπηση ορισμένων από τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να πραγματοποιηθεί αυτή η επέκταση, στο πλαίσιο μιας πόλης.

### 5.1 Εισαγωγή

Μέχρι στιγμής, και με βάση όσα έχουν συζητηθεί και παρουσιαστεί, έχει δημιουργηθεί μία πεποίθηση ότι η ΕΥΔ αφορά αποκλειστικά και μόνο σε ένα αυστηρά περιορισμένο περιβάλλον, όπως είναι η οικία ενός ατόμου, μια δομή φιλοξενίας, κ.ά. Ωστόσο, οι έξυπνες πόλεις χρησιμοποιούν πλέον καινοτόμες προσεγγίσεις για την υγειονομική ή/και τη μακροχρόνια περίθαλψη των ατόμων. Αυτές οι προσεγγίσεις βασίζονται σε τεχνολογίες που υποστηρίζουν την προσαρμοστική προσβασιμότητα των καθημερινών αντικειμένων και τις τεχνολογίες της υποβοηθούμενης διαβίωσης, όπως οι φορητές συσκευές για την επίβλεψη των δραστηριοτήτων ηλικιωμένων ατόμων ή ατόμων που πάσχουν από χρόνιες παθήσεις, κ.ά.

Ωστόσο, η ανεξαρτησία και η αυτονομία των κατοίκων των έξυπνων πόλεων δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τις λειτουργικές τους ικανότητες - φυσικές και γνωστικές - αλλά κι από την κοινωνική υποδομή των πόλεων και τις διάφορες υπηρεσίες που προσφέρουν στους κατοίκους τους. Ενώ, είναι πλέον γνωστό πως εάν μία κοινωνική υποδομή είναι κατάλληλα αναπτυγμένη, έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει σε μεγάλο βαθμό και την κοινωνική βιωσιμότητα των έξυπνων πόλεων [41].

Ως εκ τούτου, η ανάπτυξη εξειδικευμένων υπηρεσιών ως μέρος της κοινωνικής υποδομής, θεωρείται πλέον αναγκαία για την επέκταση της ΕΥΔ των ανθρώπων στο πλαίσιο μιας πόλης. Ένα τέτοιο είδος υποδομής μπορεί να είναι ένα σύστημα εντοπισμού - στο πλαίσιο μιας πόλης - για τα περιπλανώμενα άτομα, τα οποία πάσχουν από άνοια. Με την αξιοποίηση των διαφόρων τεχνολογιών που προσφέρει το Διαδίκτυο των Αντικειμένων, ο ακριβής γεωγραφικός εντοπισμός ενός περιπλανώμενου ανθρώπου μπορεί να επιτευχθεί άμεσα, επιφέροντας έτσι αρκετά θετικό αντίκτυπο τόσο στην υγεία (σωματική και ψυχική) του ίδιου του πάσχοντα, όσο και των ανθρώπων του στενού περιβάλλοντός του. Επίσης, ορισμένες λύσεις στο πρόβλημα της δρομολόγησης των οχημάτων μπορούν να αξιοποιηθούν κατάλληλα για την υποστηριζόμενη διαβίωση των πολιτών μιας πόλης.

Σε αυτό το Κεφάλαιο, θα μελετηθεί η ΕΥΔ των ανθρώπων στο πλαίσιο μιας πόλης μέσω της αξιοποίησης των λύσεων που έχουν προταθεί για το πρόβλημα της δρομολόγησης των οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν ορισμένες περιπτώσεις χρήσης ενός συστήματος το οποίο επιλύει το πρόβλημα της δρομολόγησης των οχημάτων, μέσω του οποίου μπορεί να επιτευχθεί η ΕΥΔ σε ένα αστικό περιβάλλον.

## 5.2 Η αξιοποίηση ενός συστήματος δρομολόγησης οχημάτων στην ενεργό και υποβοηθούμενη διαβίωση

Γενικά, η κύρια λειτουργία ενός συστήματος επίλυσης του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων είναι ο εντοπισμός της βέλτιστης διαδρομής για το εκάστοτε όχημα. Για να επιτευχθεί ο εντοπισμός της βέλτιστης διαδρομής θα πρέπει πρώτα να γίνουν ορισμένες ενέργειες, όπως είναι ο προσδιορισμός του σημείου αφετηρίας, του σημείου τερματισμού και του συνόλου των ενδιάμεσων σημείων/σταθμών μιας διαδρομής - εφόσον υπάρχουν ενδιάμεσα σημεία στη διαδρομή. Αφού οριστούν όλα τα παραπάνω, τότε το σύστημα επίλυσης του προβλήματος της δρομολόγησης οχημάτων εντοπίζει τη βέλτιστη διαδρομή με βάση ορισμένους κανόνες, όπως η συνολική χιλιομετρική απόσταση της διαδρομής, ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης της διαδρομής, η μείωση των εκπομπών αερίων στο σύνολο της διαδρομής, κ.ά., τα οποία θα μελετηθούν εκτενέστερα στο επόμενο Κεφάλαιο.

Έτσι, ένα σύστημα δρομολόγησης οχημάτων μπορεί να αξιοποιηθεί και να συμβάλει στην υποστηριζόμενη διαβίωση των πολιτών μιας πόλης ως ακολούθως, για:

1. Έγκαιρη παροχή βοήθειας.
2. Βέλτιστη αποστολή φαρμάκων.

### 5.2.1 Έγκαιρη παροχή βοήθειας

Ένα σύστημα βέλτιστης δρομολόγησης μπορεί να αξιοποιηθεί από διάφορους φορείς παροχής φροντίδας και ασφάλειας. Αυτοί οι φορείς μπορεί να είναι τόσο δημόσιες δομές, όπως είναι τα νοσοκομεία, η πυροσβεστική και το ΕΚΑΒ, όσο και ιδιωτικοί φορείς, όπως είναι οι κλινικές και οι ιδιώτες ιατροί. Έτσι, σε περιπτώσεις παροχής άμεσης βοήθειας, η χρήση ενός συστήματος βέλτιστης διαδρομής από τους φορείς φροντίδας και ασφάλειας είναι καθοριστικής σημασίας για τους πολίτες. Για παράδειγμα, με τη χρήση ενός συστήματος βέλτιστης διαδρομής από ένα νοσοκομείο για τη μετάβαση του στόλου οχημάτων των ασθενοφόρων από το νοσοκομείο στο σημείο παροχής βοήθειας, και πάλι πίσω στο νοσοκομείο, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική μείωση στον χρόνο άφιξης του ασθενοφόρου - τόσο στο σημείο παροχής βοήθειας, όσο και στο νοσοκομείο. Έτσι, σε τέτοιου είδους περιπτώσεις καταστάσεων ο βέλτιστος χρόνος ανταπόκρισης για την παροχή βοήθειας είναι κρίσιμης σημασίας.

Μία ακόμη περίπτωση χρήσης για την αξιοποίηση ενός συστήματος βέλτιστης διαδρομής με στόχο την έγκαιρη παροχή βοήθειας, είναι η παροχή βοήθειας από τους πολίτες προς τους ίδιους τους πολίτες. Ένα τέτοιο παράδειγμα μπορεί να εφαρμοστεί στη χρήση των αυτόματων εξωτερικών απινιδωτών για την επαναφορά του καρδιακού ρυθμού και την επιβίωση ενός ατόμου που υπέστη ανακοπή. Στην Ελλάδα, αυτόματοι εξωτερικοί απινιδωτές είναι εγκατεστημένοι σε διάφορους χώρους όπως αεροδρόμια, λιμάνια, οργανωμένοι χώροι άθλησης, δημόσιες υπηρεσίες, κ.ά. Ωστόσο, η χρήση του αυτόματου εξωτερικού απινιδωτή μπορεί να επεκταθεί κι εκτός των ορίων της υπηρεσίας/επιχείρησης που έχει εγκαταστήσει, δηλαδή σε μία ορισμένη ακτίνα εμβέλειας από αυτά. Σε περίπτωση ανάγκης χρήσης ενός αυτόματου εξωτερικού απινιδωτή εκτός του χώρου που έχει εγκατασταθεί, η έγκαιρη διακομιδή του στο σημείο παροχής βοήθειας είναι αρκετά κρίσιμη και ζωτικής σημασίας. Έτσι, στην περίπτωση καρδιακής ανακοπής η έγκαιρη παροχή πρώτων βοηθειών είναι μείζονος σημασίας, αφού η πιθανότητα επιβίωσης του ατόμου που υπέστη την ανακοπή μειώνεται περίπου 10% για κάθε ένα λεπτό που περνάει [6].

### 5.2.2 Αποτελεσματική διανομή φαρμάκων

Ένα επιπλέον πεδίο εφαρμογής ενός συστήματος εντοπισμού της βέλτιστης διαδρομής, στο πλαίσιο της ΕΥΔ στο αστικό περιβάλλον, μπορεί να είναι η κατόικον διανομή φαρμάκων σε άτομα τα οποία πάσχουν από χρόνιες παθήσεις. Πιο συγκεκριμένα, αφορά στην περίπτωση χρήσης για τη μεταφορά φαρμάκων από τα φαρμακεία του Εθνικού Οργανισμού Παροχής Υπηρεσιών Υγείας - ΕΟΠΥΥ, προς τους πολίτες. Η διακίνηση φαρμάκων υψηλού κόστους από τα φαρμακεία του ΕΟΠΥΥ προς τους πολίτες, αφορά σε άτομα τα οποία αντιμετωπίζουν σοβαρά και χρόνια προβλήματα υγείας, όπως καρ-

κίνοπαθείς, χρόνιοι πάσχοντες από νεφρική νόσο, κ.ά. Η παραλαβή φαρμάκων υψηλού κόστους είναι γενικά μια επίπονη διαδικασία και γι' αυτό τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει προσπάθειες για τη διακίνηση αυτών των φαρμάκων από εταιρίες ταχυμεταφορών. Ως εκ τούτου, ένα σύστημα εντοπισμού της βέλτιστης διαδρομής μπορεί να αξιοποιηθεί για αυτή την περίπτωση χρήσης και χάρη των χαρακτηριστικών του και του τρόπου λειτουργία του, μπορεί να επιτύχει την έγκαιρη και βέλτιστη μεταφορά των φαρμάκων υψηλού κόστους προς τους πάσχοντες.

### 5.3 Συμπεράσματα

Η ανάπτυξη των τεχνολογικών καινοτομιών στην ΕΥΔ είναι ένας ουσιαστικός τρόπος με τον οποίο η επιστημονική κοινότητα θα καταφέρει να διατηρήσει και να βελτιώσει την ποιότητα ζωής των ανθρώπων. Η οργάνωση της φροντίδας και της υποστήριξης συγκεκριμένων ομάδων ατόμων, όπως οι ηλικιωμένοι και οι χρόνιοι πάσχοντες, εκτός του περιβάλλοντος του χώρου διαμονής τους είναι πλέον αναγκαία. Επί του παρόντος, δεν υπάρχουν αρκετές επιστημονικές έρευνες οι οποίες να προσφέρουν μια ολοκληρωμένη λύση ΕΥΔ σε αστικό περιβάλλον. Ωστόσο, η επιστημονική κοινότητα έχει εντοπίσει αυτό το κενό και στρέφεται προς τη διερεύνηση τέτοιων λύσεων.



## Κεφάλαιο 6

# Σύστημα έγκαιρης δρομολόγησης σε αστικό περιβάλλον

Αυτό το Κεφάλαιο, εστιάζει στο Πρόβλημα Δρομολόγησης των Οχημάτων - ΠΔΟ (Vehicle Routing Problem - VRP) στο αστικό περιβάλλον και εξετάζει τόσο το κλασικό πρόβλημα δρομολόγησης των οχημάτων, όσο και ορισμένες παραλλαγές του όπως ένα πολυπαραγοντικό (multi-objective) ΠΔΟ. Επιπλέον, πραγματοποιείται μία ανασκόπηση διαφόρων λύσεις για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής με της χρήση κλασικών αλγορίθμων δρομολόγησης. Ωστόσο, καθώς η μηχανική μάθηση αναπτύσσεται ραγδαία, ενσωματώνεται σε όλο και περισσότερες λύσεις σε διάφορα προϋπάρχοντα προβλήματα, ένα από τα οποία είναι το ΠΔΟ. Έτσι, κρίθηκε απαραίτητο να επανεξεταστούν λύσεις που βασίζονται στη μηχανική μάθηση οι οποίες εντοπίζουν τη βέλτιστη διαδρομή για τη δρομολόγηση των οχημάτων.

Η συνεισφορά της παρόντος Κεφαλαίου είναι η εξής:

- η παρουσίαση του ΠΔΟ και των παραλλαγών του,
- η ανάλυση της τεχνολογίας αιχμής των αλγορίθμων δρομολόγησης οχημάτων,
- η ανασκόπηση στις ερευνητικές εργασίες οι οποίες βασίζονται στη μηχανική μάθηση για την επίλυση του ΠΔΟ,
- η παρουσίαση ενός ολιστικού συστήματος εξυπηρέτησης αναγκών διαφόρων χρηστών για το ΠΔΟ σε ένα αστικό περιβάλλον.

### 6.1 Εισαγωγή

Μία από τις πιο εμφανείς τάσεις των τελευταίων ετών είναι η αστικοποίηση, καθώς όλο και περισσότεροι άνθρωποι επιλέγουν να ζήσουν σε μεγάλες πόλεις. Η διαδικασία

της αστικοποίησης συνδέεται τόσο με την οικονομική όσο και με την κοινωνική ανάπτυξη. Ωστόσο, καθώς ο αστικός πληθυσμός συνεχίζει να αυξάνεται, αυξάνονται και τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι άνθρωποι στις μεγάλες πόλεις. Κατά συνέπεια, τόσο ο ακαδημαϊκός κόσμος όσο και η βιομηχανία επιδιώκουν να βρουν βέλτιστες λύσεις στα προβλήματα της αστικοποίησης.

Εξαιτίας των προβλημάτων που επιφέρει η αστικοποίηση, γίνεται μια προσπάθεια - σε συνδυασμό με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας - για τη βελτίωση των υποδομών των πόλεων, καθώς και της ποιότητας ζωής και της βιωσιμότητας των πολιτών τους, μέσω της ανάπτυξης και δημιουργίας των έξυπνων πόλεων. Η ανάπτυξη των σύγχρονων έξυπνων πόλεων μπορεί να μετριάσει διάφορα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι πολίτες των μεγάλων πόλεων. Μία από τις πιο ανησυχητικές προκλήσεις για τις έξυπνες πόλεις είναι η έξυπνη μεταφορά και η σημαντική επίλυση του ΠΔΟ.

Τόσο οι σύγχρονες κοινωνίες όσο και οι έξυπνες πόλεις απαιτούν έξυπνες εφαρμογές και υπηρεσίες για την επίλυση του προβλήματος της διαδικασίας έγκαιρης δρομολόγησης οχημάτων, μια διαδικασία η οποία χρησιμοποιείται τόσο για τη διακομιδή προϊόντων/αγαθών, όσο και των ίδιων των ανθρώπων. Αυτή η ανάγκη έχει δημιουργηθεί από διάφορες κοινωνικές, οικονομικές και κλιματικές απαιτήσεις για την ΕΥΔ των πολιτών, τη βελτίωση της ποιότητας ζωής τους, καθώς και τη μείωση των καυσίμων, των εκπομπών μονοξειδίου ( $CO_1$ ) και διοξειδίου ( $CO_2$ ) του άνθρακα, του συνολικού κόστους μεταφοράς και της κυκλοφοριακής συμφόρησης σε ένα αστικό περιβάλλον.

## 6.2 Το πρόβλημα της δρομολόγησης των οχημάτων

Το ΠΔΟ είναι ένα σύνθετο πρόβλημα βελτιστοποίησης, στο οποίο υπάρχει ένα σύνολο πελατών σε διάφορες τοποθεσίες, ο καθένας με μια ανάγκη διακομιδής, κι ένας στόλος οχημάτων, ο οποίος αναχωρεί από την κεντρική αποθήκη με στόχο να ικανοποιήσει με το βέλτιστο τρόπο τις ανάγκες των πελατών [69]. Ο στόχος ενός τυπικού ΠΔΟ είναι να βρεθεί η βέλτιστη διαδρομή και να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος της δρομολόγησης. Ως εκ τούτου, υπάρχουν διάφοροι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το σχεδιασμό της διαδρομής, όπως είναι η χωρητικότητα του στόλου οχημάτων, η κατανάλωση των καυσίμων, η κυκλοφοριακή συμφόρηση, κ.ά., και οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη για να επιτευχθεί η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους της δρομολόγησης.

Με την πάροδο των χρόνων, έχουν προταθεί διάφορες μελέτες από ερευνητές για το ΠΔΟ, οι οποίες εστιάζουν σε μόνο έναν παράγοντα ο οποίος επηρεάζει το σχεδιασμό της διαδρομής. Το πιο γνωστό και πιο μελετημένο ΠΔΟ είναι το ΠΔΟ περιορισμένης χωρητικότητας (Capacitated Vehicle Routing Problem - CVRP), το οποίο εστιάζει σε

περιπτώσεις όπου η χωρητικότητα του οχήματος είναι περιορισμένη. Στην εύρεση διαδρομής με το ΠΔΟ περιορισμένης χωρητικότητας, κάθε πελάτης μπορεί να επισκεφτεί από μόνο ένα όχημα και μόνο μία φορά. Επιπλέον, οι συνολικές απαιτήσεις του πελάτη δεν πρέπει να υπερβαίνουν τη χωρητικότητα του κάθε οχήματος και το συνολικό κόστος πρέπει να ελαχιστοποιηθεί δεδομένου όλων των προαναφερθέντων παραμέτρων [85].

Η ανάγκη του πελάτη να ολοκληρωθεί η διαδικασία της διακομιδής σε ένα συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο, οδήγησε στον ορισμό του ΠΔΟ με χρονικά παράθυρα (Vehicle Routing Problem with Time Windows - VRPTW). Στο συγκεκριμένο ΠΔΟ, όλοι οι πελάτες θα πρέπει να εξυπηρετηθούν από το στόλο των οχημάτων σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα της ημέρας [76].

Οι εκπομπές καυσίμων που προέρχονται από τα οχήματα αποτελούν σημαντικό ζήτημα σε πολλά ερευνητικά πεδία, συμπεριλαμβανομένου και του ΠΔΟ. Έτσι, το ΠΔΟ κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Consumption Vehicle Routing Problem - FCVRP) εστιάζει στην ελαχιστοποίηση της συνολικής κατανάλωσης καυσίμων και των εκπομπών ρύπων των οχημάτων κατά το σχεδιασμό μιας διαδρομής [276]. Η πράσινη παραλλαγή του αντίστοιχου ΠΔΟ (Green Vehicle Routing Problem - GVRP), επικεντρώνεται στη συμπερίληψη τόσο της ελάχιστης απόστασης όσο και στην ελαχιστοποίηση των εκπομπών  $CO_2$  κατά το σχεδιασμό της διαδρομής [253].

Ένας ακόμη παράγοντας ο οποίος μπορεί να μειώσει το συνολικό κόστος των εταιρειών εφοδιαστικής και κατ' επέκταση και το κόστος της διαδικασίας διακομιδής είναι ο σχεδιασμός του δικτύου της εφοδιαστικής αλυσίδας με έναν καλύτερο τρόπο. Αυτή η διαδικασία συνίσταται στον καλύτερο καθορισμό των τοποθεσιών των αποθηκών και στην καλύτερη σταθερότητα στην εξυπηρέτηση των πελατών από τις αποθήκες, το οποίο οδηγεί στο πρόβλημα χωροθέτησης εγκαταστάσεων και δρομολόγησης οχημάτων (Location Routing Problem - LRP) [209]. Επιπλέον, ένα παρόμοιο πρόβλημα με το πρόβλημα χωροθέτησης εγκαταστάσεων και δρομολόγησης οχημάτων είναι το πρόβλημα δρομολόγησης αποθεμάτων (Inventory Routing Problem - IRP), το οποίο δίνει έμφαση στην ελαχιστοποίηση του κόστους διακομιδής χωρίς να επηρεάζει το απόθεμα του πελάτη [47]. Τέλος, ο συνδυασμός του προβλήματος χωροθέτησης εγκαταστάσεων και δρομολόγησης οχημάτων και του προβλήματος δρομολόγησης αποθεμάτων οδήγησε στο συνδυαστικό πρόβλημα δρομολόγησης χωροθέτησης και αποθεμάτων (Combined Location Routing and Inventory Problem - CLRIP), το οποίο ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος, ορίζοντας τις τοποθεσίες των αποθηκών, ταχτοποιώντας τον σχεδιασμό των δρομολογίων των οχημάτων και ορίζοντας την πολιτική απογραφής με βάση τις ανάγκες του πελάτη [151].

Ωστόσο, στην πραγματικότητα, ο βέλτιστος σχεδιασμός μιας διαδρομής δεν αποτελείται μόνο από έναν παράγοντα, αλλά από συνδυασμούς αυτών. Έτσι, η ερευνητική κοινότητα επικεντρώθηκε στα προβλήματα δρομολόγησης πολλαπλών παραγόντων, τα

οποία εξετάζουν ορισμένους παράγοντες για τη δημιουργία της βέλτιστης διαδρομής. Μια επέκταση του ΠΔΟ περιορισμένης χωρητικότητας είναι το πολυπαραγοντικό ΠΔΟ περιορισμένης χωρητικότητας (Multiobjective Capacitated Vehicle Routing Problem - MOCVRP), στο οποίο συνήθως λαμβάνονται υπόψη δύο ή τρεις παράγοντες, όπως η απόσταση, ο χρόνος μεταφοράς ή ο αριθμός του στόλου των οχημάτων, ώστε να βρεθεί η βέλτιστη διαδρομή [178]. Στην ίδια υποκατηγορία κατατάσσεται και το πράσινο ΠΔΟ περιορισμένης χωρητικότητας (Green Capacitated Vehicle Routing Problem - GCVRP), το οποίο εστιάζει στην πράσινη μεταφορά συμπεριλαμβάνοντας τη μείωση επικίνδυνων σωματιδίων, όπως είναι τα αέρια θερμοκηπίου, το  $CO_2$  κ.ά., και την κατανάλωση καυσίμου σε μια διαδρομή [7, 289]. Ενώ, το πολυπαραγοντικό ΠΔΟ με χρονικά παράθυρα (Multiobjective Vehicle Routing Problem with Time Windows - MOVRPTW) είναι μια επέκταση του ΠΔΟ με χρονικά παράθυρα, το οποίο λαμβάνει υπόψη του τις διάφορες πτυχές του πολυπαραγοντικού προβλήματος της παράδοσης με χρονικά παράθυρα [172]. Επιπλέον, η πολυπαραγοντική επέκταση του προβλήματος χωροθέτησης εγκαταστάσεων και δρομολόγησης οχημάτων είναι το πολυπαραγοντικό πρόβλημα χωροθέτησης εγκαταστάσεων και δρομολόγησης οχημάτων (Multiobjective Location Routing Problem - MOLRP), το οποίο λαμβάνει υπόψη του τουλάχιστον το κόστος μεταφοράς, τη χρονική καθυστέρηση και τον αριθμό των οχημάτων σε συνδυασμό με τη μεγιστοποίηση της ποιότητας εξυπηρέτησης των πελατών [147, 149]. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί πως στην επιστημονική βιβλιογραφία έχουν προταθεί περισσότερα ΠΔΟ, ωστόσο στην παρούσα ανασκόπηση μελετώνται τα πιο γνωστά και κοινά ΠΔΟ, η κατηγοριοποίηση των οποίων απεικονίζεται στο Σχήμα 6.1.

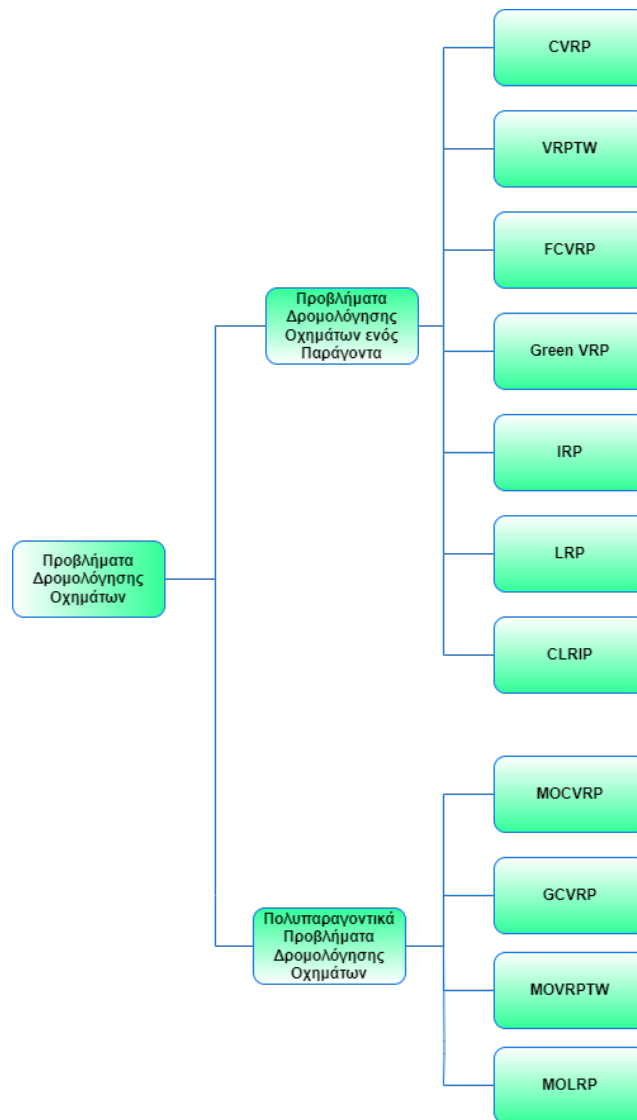
Το ΠΔΟ και οι πιο σύνθετες παραλλαγές του μελετώνται συνεχώς από την ερευνητική κοινότητα, καθώς ολοένα και περισσότερες παραλλαγές του εμφανίζονται τα τελευταία χρόνια. Πρόσθετες πληροφορίες υπάρχουν στις σχετικές εργασίες [79, 100, 141, 250].

### 6.3 Οι υφιστάμενες υπηρεσίες δρομολόγησης

Αρκετές υπηρεσίες δρομολόγησης έχουν παρουσιαστεί όλα αυτά τα χρόνια για την αντιμετώπιση του ΠΔΟ στις έξυπνες πόλεις. Στην παρούσα ενότητα εξετάζονται με χρονολογική σειρά διάφορες υπηρεσίες έξυπνης δρομολόγησης σε αστικά περιβάλλοντα που έχουν ήδη προταθεί και εφαρμοστεί.

Οι συγγραφείς της εργασίας [28], εξέτασαν τη χρήση ενός γενετικού αλγόριθμου (Genetic Algorithm - GA) στο βασικό ΠΔΟ, στο οποίο οι πελάτες εξυπηρετούνται από ένα μόνο σημείο. Τα οχήματα υπόκεινται σε όριο βάρους και, σε ορισμένες περιπτώσεις, σε όριο απόστασης, ενώ μόνο ένα όχημα επιτρέπεται να εξυπηρετεί κάθε πελάτη.

Οι Berger και Barkaoui προτείνουν έναν υβριδικό γενετικό αλγόριθμο, ο οποίος



Σχήμα 6.1: Κατηγοριοποίηση των αναφερόμενων πολυπαραγοντικών και ενός παράγοντα προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων.

επιλύει το ΠΔΟ με χρονικά παράθυρα [36]. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος περιλαμβάνει την ταυτόχρονη εξέλιξη δύο πληθυσμών λύσεων, οι οποίοι αντιμετωπίζουν διαφορετικούς παράγοντες με χαλαρούς χρονικούς περιορισμούς. Ο πρώτος πληθυσμός επικεντρώνεται στην ελαχιστοποίηση της συνολικής απόστασης της διαδρομής, ενώ ο δεύτερος πληθυσμός στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της υπέρβασης του χρονικού περιορισμού.

Στην εργασία [174], προτείνεται μια μετα-ευρετική διαδικασία αποικίας μυρμηγκιών για την επίλυση του δυναμικού ΠΔΟ (Dynamic Vehicle Routing Problem - DVRP). Αρχικά, μια εργάσιμη ημέρα χωρίζεται σε χρονικά περιθώρια. Στη συνέχεια, δημιουργείται μια σειρά στατικών προβλημάτων δρομολόγησης για τα οχήματα. Έπειτα, ο

μετα-ευρετικός αλγόριθμος αποικίας μυρμηγκιών χρησιμοποιείται για την επίλυση του προβλήματος. Μια σειρά δοκιμών έδειξε ότι η προτεινόμενη μέθοδος υπερτερούσε άλλων μεθόδων τόσο για τεχνητά, όσο και για πραγματικά προβλήματα δρομολόγησης.

Η προτεινόμενη εργασία [263] περιλαμβάνει ένα μοντέλο δυναμικής αξιολόγησης διαδρομής, έτσι ώστε τα οχήματα να ανταποκρίνονται στις μεταβαλλόμενες πληροφορίες κυκλοφορίας, έναν τροποποιημένο αλγόριθμο Dijkstra για την εύρεση των συντομότερων διαδρομών σε πραγματικό χρόνο και, τέλος, έναν βελτιωμένο εξελικτικό αλγόριθμο για την αναζήτηση των καλύτερων διαδρομών σε ένα δυναμικό δίκτυο δρομολόγησης. Η προτεινόμενη προσέγγιση έχει αξιολογηθεί μέσω προσομοιώσεων και είναι αποτελεσματική στην εύρεση των καλύτερων διαδρομών οχημάτων σε πραγματικό χρόνο, όταν οι κόμβοι των πελατών και οι πληροφορίες του δικτύου αλλάζουν δυναμικά.

Ένας ακόμη υβριδικός γενετικός αλγόριθμος για τη δρομολόγηση οχημάτων προτείνεται στην εργασία [125]. Η προτεινόμενη λύση βρίσκει τη βέλτιστη διαδρομή για το ΠΔΟ, ενώ ταυτόχρονα λαμβάνει υπόψη του και την ετερογένεια των οχημάτων, τις διπλές διαδρομές και τις πολλαπλές αποθήκες/αφαιτηρίες.

Οι συγγραφείς της εργασίας [131] προτείνουν μια υβριδική προσέγγιση που συνδυάζει έναν γενετικό αλγόριθμο και τον αλγόριθμο Dijkstra με σκοπό την επίλυση ενός δυναμικού προβλήματος πολλαπλών παραγόντων. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος βρίσκει τη λύση ταυτόχρονα για τρεις αντικειμενικές συναρτήσεις: i) το μήκος διαδρομής, ii) το χρόνο ταξιδιού, και iii) την ευκολία οδήγησης. Για να επιτύχουν να εφαρμόσουν έναν γενετικό αλγόριθμο σε ένα κυκλοφοριακό σύστημα, οι συγγραφείς χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο του Dijkstra για να υπολογίσουν τον αρχικό πληθυσμό των μονοπατιών υψηλής ποιότητας. Στον αρχικό πληθυσμό, η προτεινόμενη προσέγγιση εφαρμόζει έναν γενετικό αλγόριθμο, ώστε να δημιουργήσει τις διαδρομές των επόμενων γενεών.

Στην εργασία [116] αναπτύχθηκαν δύο υβριδικούς γενετικούς αλγόριθμους για τη δρομολόγηση και τον προγραμματισμό παραδόσεων σε περίπτωση χρήσης στην εφοδιαστική αλυσίδα με το ΠΔΟ πολλαπλών αποθηκών (multi-depot VRP - MDVRP). Ο πρώτος υβριδικός γενετικός αλγόριθμος δημιουργεί τυχαία τις αρχικές λύσεις, ενώ ο δεύτερος υβριδικός γενετικός αλγόριθμος εφαρμόζει ευρετικές μεθόδους για τη δημιουργία των αρχικών λύσεων.

Μια μέθοδος μείωσης του βιομηχανικού κόστους και των δυσμενών επιπτώσεων της διαχείρισης του στόλου σε ένα δίκτυο μετάδοσης Hub and Spoke παρουσιάζεται στο άρθρο [81]. Η διανομή των αγαθών στις μεγάλες πόλεις μπορεί να αντιμετωπιστεί καλύτερα από το χρονοεξαρτώμενο πρόβλημα της παραλαβής και της παράδοσης και τα μοντέλα χρονικού παραθύρου. Οι προαναφερθείσες παράμετροι οδήγησαν στην ανάπτυξη μιας δυναμικής έκδοσης ενός αλγορίθμου που αναλύει τον τρόπο με τον οποίο η κυκλοφοριακή συμφόρηση επηρέασε την οδική κυκλοφορία κατά τη διάρκεια της ημέρας. Προτείνεται μια προσαρμόσιμη ευρετική λύση, η οποία έχει επαληθευτεί

χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα από τρίτους παρόχους υπηρεσιών εφοδιασμού στον κλάδο των μεταφορών. Μειώνοντας σημαντικά την ατμοσφαιρική ρύπανση, την ηχορύπανση και την κυκλοφοριακή συμφόρηση, ο ευρετικός αλγόριθμος αποδεικνύει την ικανότητά του να μειώνει το χρόνο και την απόσταση της διαδρομής, ενώ αυξάνει σημαντικά το επίπεδο εξυπηρέτησης.

Επιπλέον, μια νέα προσέγγιση του αλγόριθμου αποικίας των μυρμηγκιών (ant colony algorithm) για την επίλυση του ΠΔΟ παρουσιάζεται στην εργασία [291]. Το κύριο χαρακτηριστικό της προτεινόμενης μεθόδου είναι ο υβριδικός μηχανισμός της δημιουργίας των λύσεων του αλγόριθμου αποικίας μυρμηγκιών και ο συνδυασμός του με την αναζήτηση διασποράς.

Οι συγγραφείς της εργασίας [252] παρατήρησαν ότι οι περισσότεροι οδηγοί αυτοκινήτων χρησιμοποιούν τα μονοπάτια δρομολόγησης με βάση τη μικρότερη απόσταση μεταξύ των σημείων αφετηρίας και τερματισμού. Ωστόσο, η διαδρομή της συντομότερης απόστασης μπορεί να διαφέρει από εκείνη με τη συντομότερη διάρκεια. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποίησαν τον αλγόριθμο αποικίας μυρμηγκιών και τον συνδύασαν με πραγματικά δεδομένα κυκλοφορίας, προβλέποντας σωστά τόσο τους χρόνους ταξιδιού όσο και τις πιο γρήγορες διαδρομές, αποφεύγοντας με αυτό τον τρόπο μελλοντικά μπουτιλιαρίσματα.

Ένας τροποποιημένος αλγόριθμος  $A^*$  προτάθηκε για τον υπολογισμό και τη δημιουργία μιας αυτόματης βέλτιστης διαδρομής [282]. Ο προτεινόμενος τροποποιημένος αλγόριθμος είναι σε θέση να αποφύγει την επανειλημμένη αναζήτηση σε μη έγκυρες περιοχές, γεγονός που τον καθιστά αποτελεσματικό και ακριβή στην εύρεση της εφικτής διαδρομής σε άγνωστα περιβάλλοντα.

Στην εργασία [52] εφαρμόστηκε ένας αλγόριθμος αναζήτησης Tabu (Tabu search algorithm) για την επίλυση του ΠΔΟ με χρονικά παράθυρα, στον οποίο πρέπει να ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί της χωρητικότητας του οχήματος και του χρονικού παραθύρου για κάθε πελάτη. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε πραγματικές συνθήκες για τον προσδιορισμό των βέλτιστων διαδρομών παράδοσης για μια εταιρεία μεταφορών. Οι πειραματικές δοκιμές είχαν ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς, ενώ ικανοποιήθηκαν και όλες οι απαιτήσεις χρονικού περιορισμού.

Ένας βελτιωμένος αλγόριθμος αποικίας μυρμηγκιών για την επίλυση του ΠΔΟ με χρονικά παράθυρα προτείνεται στο [287]. Σε αυτό το πρόβλημα, η περίοδος προγραμματισμού εκτείνεται σε αρκετές ημέρες και κάθε πελάτης πρέπει να εξυπηρετηθεί εντός ενός συγκεκριμένου χρονικού πλαισίου. Στην παρούσα υλοποίηση, αρχικά οι πληροφορίες για τις διαφορετικές ημέρες αποθηκεύονται σε έναν πολυδιάστατο πίνακα, ενώ στη συνέχεια, δύο λειτουργίες διασταύρωσης βελτιώνουν την απόδοση του αλγόριθμου που χρησιμοποιείται στην υλοποίηση.

Επίσης, και στην εργασία [29] ο προτεινόμενος αλγόριθμος αποικίας μυρμηγκιών

χρησιμοποιείται για το ΠΔΟ με χρονικά παράθυρα. Στην παρούσα υλοποίηση, η μεθοδολογία που ακολουθείται εστιάζει στον στόλο των οχημάτων, ο οποίος πρέπει να παραδώσει τα αγαθά σε ένα σύνολο πελατών, όπου θα πρέπει να τηρούνται οι χρονικοί περιορισμοί των πελατών. Επιπλέον, και ο χρόνος ταξιδιού μεταξύ δύο σημείων εξαρτάται από τον χρόνο αναχώρησης του εκάστοτε οχήματος.

Ένας άλλος τροποποιημένος αλγόριθμος αναζήτησης Tabu για την επίλυση του ΠΔΟ προτείνεται στην εργασία [126]. Μετά τη σύγκριση του προτεινόμενου αλγορίθμου με άλλους αλγόριθμους, η υιοθέτηση της αναζήτησης Tabu αποδεικνύει ότι η προτεινόμενη λύση είναι πιο σταθερή, πιο γρήγορη και με υψηλή απόδοση υπολογισμού, τόσο για προβλήματα μικρής κλίμακας, όσο και για μεγάλης κλίμακας προβλήματα.

Οι συγγραφείς της εργασίας [38] εισήγαγαν ένα νέο δυναμικό σύστημα διαχείρισης στόλου οχημάτων. Η προτεινόμενη τεχνολογία επιδιώκει να αυξήσει την παραγωγικότητα, την ασφάλεια και την αυτονομία τόσο των οδηγών, όσο και των οχημάτων. Το πρώτο επίπεδο της αρχιτεκτονικής του συστήματος αποτελείται από τον στόλο οχημάτων, το δεύτερο επίπεδο αποτελείται από την ενότητα συντονισμού του στόλου, και το τρίτο επίπεδο αφορά τα δομικά στοιχεία για την παρακολούθηση, τη διαχείριση των εργασιών, τον συνολικό έλεγχο του στόλου οχημάτων, κλπ.

Ένα αποτελεσματικό και ευέλικτο πλαίσιο για τη δυναμική διαχείριση και τη συλλογή απορριμμάτων παρουσιάζεται στην εργασία [18]. Ο σχεδιασμός του προτεινόμενου πλαισίου αποτελείται από τη φυσική υποδομή, συμπεριλαμβανομένων των smartphones και των έξυπνων κάδων, ένα επίπεδο ενδιάμεσου λογισμικού, με μοντέλα δυναμικής δρομολόγησης και OpenIoT [191], και τη φυσική υποδομή, μεταξύ των ενδιαφερόμενων του δήμου και των έξυπνων απορριμματοφόρων. Επιπλέον, οι συγγραφείς εξέτασαν i) το μοντέλο αποκλειστικά για τα φορτηγά, ii) το μοντέλο παράκαμψης, iii) το μοντέλο ελάχιστης απόστασης, και iv) το μοντέλο επαναπροσδιορισμού. Επιπλέον, υπολογίστηκε ο χρόνος στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας (Central Processing Unit - CPU) του συστήματος, το συλλεγόμενο φορτίο, η απόσταση, ο χρόνος δρομολόγησης, ο χρόνος απόκρισης και η ποσότητα των καυσίμων, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της απόδοσης των τεσσάρων προαναφερθέντων μοντέλων.

Στην εργασία [5], μια ομάδα επέλεξε να χρησιμοποιήσει τον αλγόριθμο των Bellman-Ford για να επιλύσει το πρόβλημα της ενεργειακής απόδοσης των ηλεκτρικών οχημάτων. Αρχικά, εφαρμόζεται ένα μοντέλο που αντιπροσωπεύει τα ηλεκτρικά οχήματα και στη συνέχεια, εφαρμόζεται μια αναζήτηση με τον αλγόριθμο των Bellman-Ford στο μοντέλο με σκοπό να βρεθεί η πιο ενεργειακά αποδοτική διαδρομή.

Στο έργο SOUL, οι TPE εφαρμόζονται στην αλυσίδα εφοδιασμού, όπως είναι οι ηλεκτρονικές αγορές στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων [249]. Η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου έργου αποτελείται από μια κεντρική μονάδα, μια υπηρεσία διαχείρισης της κίνησης, ένα επίπεδο μεσολάβησης δεδομένων, διάφορες φιλοξενούμενες υπηρεσίες



και υπηρεσίες τρίτων, οι οποίες ενεργοποιούν τεχνολογίες, αισθητήρες και άλλες εξωτερικές πηγές δεδομένων και κινητές συσκευές. Στόχος του προτεινόμενου έργου είναι να ενισχύσει την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα της δραστηριότητας ηλεκτρονικών παντοπωλείων σε αστικές περιοχές, με την ενσωμάτωση ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων και μιας εφαρμογής για φορητές συσκευές.

Μια λύση υπηρεσίας διαχείρισης στόλου για τη βελτίωση της κινητικότητας και της ασφάλειας σε αστικές περιοχές παρουσιάζεται στην εργασία [182] και προσφέρει λύση τόσο στον έλεγχο του στόλου των οχημάτων, όσο και για την παρακολούθησή του. Πληροφορίες σχετικά με την κινητικότητα ενός οχήματος, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης των καυσίμων, της γεωγραφικής θέσης, της ταχύτητας και του επιπέδου εκπομπών  $CO_2$  του οχήματος, παρέχονται μέσω της υπηρεσίας παρακολούθησης του στόλου οχημάτων. Ενώ, για να ελαχιστοποιηθεί η απόσταση μεταξύ των οχημάτων και να μειωθεί και η κυκλοφοριακή συμφόρηση, η υπηρεσία ελέγχου του στόλου των οχημάτων παρέχει διάφορες πληροφορίες για τα κινούμενα αντικείμενα, όπως η απόλυτη θέση τους, η ταχύτητα και η επιτάχυνσή τους.

Ο τροποποιημένος αλγόριθμος των Bellman–Ford, ο οποίος προτείνεται στην εργασία [220], ασχολείται με το ΠΔΟ χωρητικότητας ενός οχήματος πολλαπλών διαδρομών (multi-route single-vehicle capacity problem - mt-CCSVRP). Σε αυτό το πρόβλημα, ένα μεμονωμένο όχημα μπορεί να πραγματοποιήσει διαδοχικά ταξίδια, με στόχο να εξυπηρετήσει μια ομάδα τοποθεσιών επιτυγχάνοντας την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των χρόνων άφιξης του εκάστοτε οχήματος.

Το σύστημα PreGo [110] προσφέρει μια προσαρμοσμένη υπηρεσία δρομολόγησης σε πραγματικό χρόνο σε αστικά περιβάλλοντα. Η λύση του συστήματος PreGo προτείνει ότι οι διαδρομές οι οποίες μπορούν να προσαρμοστούν στις προτιμήσεις ενός συγκεκριμένου χρήστη δεν είναι αντικειμενικές πριν από την έναρξη της διαδρομής και πρέπει να είναι ευέλικτες στις αλλαγές των συνθηκών των δρόμων. Επιπλέον, το σύστημα PreGo υποβλήθηκε σε λεπτομερή πειραματική αξιολόγηση χρησιμοποιώντας τόσο πραγματικά, όσο και παραγόμενα δεδομένα για την επικύρωση της απόδοσής του.

Για το ΠΔΟ με διακριτές παραδόσεις και παραλαβές, στο οποίο οι απαιτήσεις των πελατών είναι διακριτές σε ό,τι αφορά τις παρτίδες ή τις παραγγελίες, οι συγγραφείς της εργασίας [210] χρησιμοποίησαν τον αλγόριθμο αναζήτησης Tabu. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος αποφεύγει τα περιττά έξοδα ταξιδιού. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος είναι μια πιο αποτελεσματική λύση από τους υπάρχοντες αλγόριθμους της βιβλιογραφίας.

Οι συγγραφείς στην εργασία [8] προσπάθησαν να βρουν τη βέλτιστη λύση για τη συντομότερη διαδρομή σε προβλήματα παράδοσης πολλαπλών σημείων, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τόσο από οχήματα με οδηγούς, όσο και από αυτόνομα οχήματα. Αρχικά, δημιουργείται ένα γράφημα το οποίο αντιπροσωπεύει τους δρόμους και στη

συνέχεια χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος του Dijkstra για να βρεθεί η συντομότερη διαδρομή από το σημείο εκκίνησης, προς όλα τα σημεία που πρέπει να εξυπηρετηθούν. Έπειτα, ξεκινώντας από το πλησιέστερο σημείο που πλέον θεωρείται το νέο σημείο εκκίνησης, η προτεινόμενη λύση προσπαθεί να βρει τη συντομότερη διαδρομή προς όλα τα υπόλοιπα σημεία.

Ένα IoT σύστημα για την καθοδήγηση των οχημάτων έκτακτης ανάγκης στη διαδρομή με τη μικρότερη συμφόρηση, αποφεύγοντας την κυκλοφοριακή συμφόρηση σε μια έξυπνη πόλη προτείνεται στην εργασία [223]. Οι αισθητήρες για τη συλλογή των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο είναι η κύρια πηγή της αρχιτεκτονικής του προτεινόμενου συστήματος, ενώ χρησιμοποιείται και μια τεχνική σύντηξης δεδομένων (data fusion technique) που βασίζεται στην ασαφή λογική (fuzzy logic).

Οι συγγραφείς της εργασίας [10], εξέτασαν δύο υπομοντέλα με στόχο την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους μεταφοράς και τη μεγιστοποίηση των ανακυκλωμένων εσόδων από τη διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων. Το πρώτο υπομοντέλο χρησιμοποιεί το ΠΔΟ, με σκοπό να δρομολογήσει τη διαχείριση του στόλου των οχημάτων συλλογής των απορριμμάτων στις εγκαταστάσεις διαχωρισμού. Το δεύτερο υπομοντέλο εφαρμόστηκε για την κατανομή των πόρων από τις εγκαταστάσεις διαχωρισμού των απορριμμάτων στις μονάδες συνολικής ανάκτησης ή στους χώρους ταφής απορριμμάτων.

Ένα δίκτυο αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων που βασίζεται στο IoT, το οποίο εντοπίζει και παρακολουθεί αποτελεσματικά την ποιότητα των τροφίμων μέσα σε μια αλυσίδα εφοδιασμού και βρίσκει την πηγή ενός μολυσμένου προϊόντος τροφίμων παρουσιάζεται στην εργασία [180]. Επιπλέον, προτείνεται μια δυναμική δρομολόγηση των οχημάτων χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο αποικίας των μελισσών (bee colony algorithm) με σκοπό την ελαχιστοποίηση τόσο του χρόνου ταξιδιού, όσο και του χρόνου εκτέλεσης κατά τη μεταφορά.

## 6.4 Προσδιορισμός των βασικών σημείων των υφιστάμενων λύσεων δρομολόγησης των οχημάτων

Η ανασκόπηση των υπηρεσιών δρομολόγησης των οχημάτων που αναφέρθηκαν προηγουμένως οδήγησε σε ένα σύνολο χαρακτηριστικών, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των προσφερόμενων λύσεων, καθώς και για την άμεση σύγκριση αυτών. Ο Πίνακας 6.1 παρουσιάζει μια συνεκτική περίληψη του κατά πόσον η εκάστοτε προσέγγιση λαμβάνει υπόψη της καθένα από τα καθορισμένα κύρια χαρακτηριστικά. Οι μαύρες κουκκίδες στον Πίνακα 6.1 υποδεικνύουν εάν ένα χαρακτηριστικό

συμπεριλαμβάνεται στη προσέγγιση. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα:

- **Χρονικό παράθυρο:** Η απαίτηση να πραγματοποιείται η παράδοση υπό συγκεκριμένους χρονικούς περιορισμούς.
- **Διαχείριση στόλου οχημάτων:** Η διαχείριση ενός αριθμού οχημάτων και η βελτιστοποίηση της αξιοποίησης αυτών.
- **Κόστος μεταφοράς:** Το συνολικό οικονομικό κόστος μιας διαδρομής που συμπεριλαμβάνει το κόστος των καυσίμων, το κόστος συντήρησης των οχημάτων και το κόστος της ανθρώπινης εργασίας.
- **Κυκλοφοριακή διαχείριση:** Λαμβάνονται υπόψη οι κυκλοφοριακές συνθήκες για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού της διαδρομής.
- **Χρόνος/απόσταση ταξιδιού:** Ελαχιστοποίηση του χρόνου και της απόστασης της διαδρομής.
- **Πράσινη δρομολόγηση:** Ελαχιστοποίηση των εκπομπών καυσαερίων των οχημάτων.
- **Χωρητικότητα οχήματος:** Λαμβάνεται υπόψη η χωρητικότητα ενός οχήματος ή του στόλου των οχημάτων για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού της διαδρομής.

Πίνακας 6.1: Πίνακας σύγκρισης των χαρακτηριστικών των υπηρεσιών δρομολόγησης των οχημάτων.

Συγγραφείς	Χρονικά Παράθυρα	Πράσινη Δρομολόγηση	Χωρητικότητα Οχήματος	Διαχείριση Στόλου Οχημάτων	Κόστος Μεταφοράς	Κυκλοφοριακή Διαχείριση	Χρόνος/Απόσταση Ταξιδιού
Baker & Ayechev [28]	○	○	●	○	○	○	●
Berger & Barkaoui [36]	●	○	○	○	●	○	●
Montemanni et al. [174]	○	○	●	●	●	○	○
Wang et al. [263]	●	○	○	○	○	●	●
Jeon et al. [125]	○	○	●	●	○	○	●
Kanoh & Kenta [131]	○	○	○	○	○	●	●
Ho et al. [116]	○	○	●	●	○	○	●
Falsini et al. [81]	●	●	●	●	○	●	●
Zhang & Tang [291]	○	○	●	○	●	○	●
Tatomir et al. [252]	○	○	○	○	○	●	●
Yao et al. [282]	○	○	○	○	●	○	●
Cheeneebash & Nadal [52]	●	○	●	●	●	○	●
Yu & Zhong [287]	●	○	●	○	○	○	●
Balsiciro et al. [29]	●	○	●	●	○	●	○
Jia et al. [126]	○	○	●	○	●	○	●
Billhardt et al. [38]	○	○	○	●	●	○	●
Anagnostopoulos et al. [18]	○	●	○	●	●	●	●
Abousleiman & Rawashdeh [5]	○	●	○	○	○	○	●
Tadei et al. [249]	●	●	○	●	●	●	●
Natale et al. [182]	○	●	○	●	●	●	○
Rivera et al. [220]	○	○	●	○	○	○	●
Hendawi et al. [110]	○	○	○	○	○	●	●
Qiu et al. [210]	○	○	●	●	●	○	○
Adnan & Abdulmuhsin [8]	○	○	○	○	●	○	●
Rout et al. [223]	○	●	○	○	○	●	●
Akbarpour et al. [10]	○	○	●	●	●	○	●
Nagarajan et al. [180]	○	○	○	○	●	○	●

Επιπλέον, ο Πίνακας 6.1 απεικονίζει την ενσωμάτωση των χαρακτηριστικών σε προσεγγίσεις δρομολόγησης που μελετήθηκαν. Η βασική προσέγγιση που είναι κοινή σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις είναι η βελτιστοποίηση του χρόνου ή/και της απόστασης του ταξιδιού. Ο κύριος στόχος του ΠΔΟ είναι ο εντοπισμός των ταχύτερων/συντομότερων διαδρομών. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν και περιπτώσεις στις οποίες τα προτεινόμενα συστήματα αγνοούν αυτήν την παράμετρο και επικεντρώνονται σε άλλους στόχους, όπως είναι η μείωση των κόστους μεταφοράς [28, 36, 263, 125, 131, 116, 81, 291, 252, 282, 52, 287, 126, 38, 18, 5, 249, 220, 110, 8, 223, 10, 180].

Το δεύτερο πιο συχνό χαρακτηριστικό είναι το κόστος μεταφοράς. Σε μια απλοϊκή προσέγγιση, αυτή το χαρακτηριστικό μπορεί να αξιολογηθεί ως άμεσα συνδεδεμένο με την απόσταση της διαδρομής. Το πραγματικό κόστος μεταφοράς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την απόσταση ταξιδιού, αλλά σχετίζεται επίσης και με άλλες παραμέτρους όπως είναι η υψομετρική διακύμανση κατά μήκος μιας διαδρομής, ο τύπος καυσίμου του οχήματος ή το σχέδιο συντήρησης του στόλου των οχημάτων. Σύμφωνα με τη ρύθμιση του προβλήματος, μπορεί να χρειαστεί να ληφθεί υπόψη ένα από τα δύο προαναφερθέντα χαρακτηριστικά ή και τα δύο. Μια λύση σχεδιασμού της βέλτιστης διαδρομής πρέπει να συνδυάζει και τα δύο και να επιτρέπει στον χρήστη να ορίσει τις προτιμήσεις του [36, 174, 291, 282, 52, 126, 38, 18, 249, 182, 210, 8, 10, 180].

Μια ενδιαφέρουσα περίπτωση είναι η ενσωμάτωση της δυνατότητας διαχείρισης του στόλου των οχημάτων. Περισσότερες από τις μισές προσεγγίσεις που μελετήθηκαν δεν λαμβάνουν υπόψη τους τη διαχείριση του στόλου των οχημάτων και περιορίζονται στην επίλυση του προβλήματος του σχεδιασμού διαδρομής είτε με ένα μόνο όχημα, είτε με μια απλοϊκή προσέγγιση με το βέλτιστο σχεδιασμό διαδρομής με ένα μόνο όχημα, για μια ομάδα παραγγελιών. Στην πράξη, ο σχεδιασμός μιας διαδρομής με περισσότερα από ένα οχήματα παρέχει ευελιξία και μπορεί να διευκολύνει την καλύτερη εντοπιότητα των παραγγελιών ή την καλύτερη διαχείριση του χρόνου εκτός δρόμου για κάθε όχημα. Όπως σε ένα πραγματικό περιβάλλον, δεν είναι συνηθισμένο να υπάρχει ένα μόνο όχημα. Οι προσεγγίσεις που συζητήθηκαν και λαμβάνουν υπόψη περισσότερα από ένα οχήματα και κατεπέκταση κάνουν σωστή διαχείριση του στόλου είναι ευνοϊκές και πιο αποτελεσματικές [174, 125, 116, 81, 52, 29, 38, 18, 210, 10].

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό το οποίο φαίνεται να μην λαμβάνει ιδιαίτερη προσοχή είναι το χαρακτηριστικό του χρονικού περιορισμού. Όταν τα δρομολόγια αναφέρονται σε αγαθά τα οποία επιβάλλουν συγκεκριμένους χρονικούς περιορισμούς, είτε για τη διατήρηση της ποιότητάς τους, είτε γιατί ο χρόνος παράδοσής τους είναι κρίσιμος για την εφαρμογή. Μόνο επτά από τις υπηρεσίες που συζητήθηκαν λαμβάνουν υπόψη τα χρονικά παράθυρα κι αυτό σίγουρα παρουσιάζει έναν περιορισμό στην τρέχουσα κατάσταση στο συγκεκριμένο πεδίο έρευνας. Μαζί με αυτό, ένα ενδιαφέρον χαρακτη-

ριστικό που μπορεί να διευκολύνει τον πιο αποτελεσματικό σχεδιασμό της διαδρομής, ειδικά σε αστικά περιβάλλοντα, είναι η συνεκτίμηση των πληροφοριών κυκλοφορίας, η οποία συμπεριλαμβάνεται στις μισές περίπου από τις προτεινόμενες λύσεις. Ένα άλλο δημοφιλές χαρακτηριστικό για τον σχεδιασμό της διαδρομής είναι να λαμβάνεται υπόψη το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των διαδρομών. Ο αριθμός των λύσεων που το κάνουν αυτό είναι περιορισμένος [36, 263, 81, 52, 287, 29, 249].

Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη τον παραπάνω πίνακα, φαίνεται ότι αρκετές μελέτες [28, 174, 125, 116, 81, 291, 52, 287, 29, 126, 220, 210, 10] ενσωματώνουν το χαρακτηριστικό της χωρητικότητας του οχήματος στις παρεχόμενες υπηρεσίες του ΠΔΟ. Η χωρητικότητα του οχήματος είναι ένα χαρακτηριστικό που επηρεάζει αρκετά στον σχεδιασμό της βέλτιστης διαδρομής, καθώς η έλλειψη χωρητικότητας του οχήματος μπορεί να προκαλέσει πολλές τροποποιήσεις στη διαδρομή, στο χρόνο εκτέλεσης, στο χρόνο παράδοσης, στο κόστος διαδρομής, κ.ά., της βέλτιστης διαδρομής. Ωστόσο, αν και αρκετές από τις μελέτες [81, 52, 287, 29, 210] συμπεριλαμβάνουν χαρακτηριστικά τόσο των χρονικών παραθύρων, όσο και της χωρητικότητας του οχήματος, η πλειοψηφία τους βρίσκει τη βέλτιστη διαδρομή συμπεριλαμβάνοντας μόνο ένα από τα δύο χαρακτηριστικά και όχι και τα δύο ταυτόχρονα.

## 6.5 Ανασκόπηση των υπηρεσιών δρομολόγησης οχημάτων με ενσωματωμένες τεχνικές Μηχανικής Μάθησης

Εκτός από τις παραδοσιακές υπηρεσίες δρομολόγησης οχημάτων, οι οποίες προτείνονται στην επιστημονική βιβλιογραφία τα τελευταία χρόνια, παρουσιάζονται συνεχώς νέες υπηρεσίες, οι οποίες ενσωματώνουν νέες τεχνολογίες. Η μηχανική μάθηση είναι η πιο δημοφιλής τεχνολογία, η οποία χρησιμοποιείται - εκτός από τους συμβατικούς αλγόριθμους - για τη βελτίωση της απόδοσης των προαναφερθέντων αλγορίθμων. Στις ακόλουθες παραγράφους, παρέχεται μια επισκόπηση των λύσεων δρομολόγησης, οι οποίες ενσωματώνουν μηχανική μάθηση.

Στην εργασία [67] προτείνεται μια λύση σχετικά με την πρόκληση της ελαχιστοποίησης της ενέργειας στη δρομολόγηση των οχημάτων (Energy Minimizing Vehicle Routing Challenge - EMVRP), ένα πρόβλημα το οποίο εστιάζει στον εντοπισμό διαδρομών στις οποίες καταναλώνεται η χαμηλότερη ποσότητα ενέργειας, όταν τα οχήματα εξυπηρετούν μια ομάδα πόλεων ή πελατών. Οι συγγραφείς παρέχουν μια υλοποίηση ενός γενετικού αλγορίθμου, ο οποίος επαυξάνεται με προσεγγίσεις μηχανικής μάθησης για την τροποποίηση των παραμέτρων του στην επόμενη φάση. Η στρατηγική που συζητείται στην εν λόγω εργασία, είναι η εφαρμογή της ομαδοποίησης με τον αλγόριθμο

k-means, η οποία απέδειξε ότι η αναγνώριση διακριτών συστάδων δεδομένων έχει σημαντική επίδραση στην ενίσχυση της αποτελεσματικότητας του γενετικού αλγορίθμου που χρησιμοποιήθηκε.

Ενώ, οι συγγραφείς της εργασίας [183] παρέχουν μία λύση ενισχυτικής μάθησης (Reinforcement Learning - RL), από άκρο σε άκρο, για την επίλυση του ΠΔΟ. Σε αυτή τη μέθοδο, ένα ενιαίο μοντέλο πολιτικής εκπαιδεύεται με σκοπό να προτείνει τις βέλτιστες λύσεις για ποικίλες καταστάσεις ζητημάτων συγκρίσιμου μεγέθους, ανιχνεύοντας τα σήματα ανταμοιβής σύμφωνα με τους περιορισμούς σκοπιμότητας. Οι συγγραφείς αξιολόγησαν μια παραμετροποιημένη στοχαστική πολιτική και χρησιμοποιώντας μια μέθοδο gradient για να μεγιστοποιήσουν τις παραμέτρους της, το εκπαιδευμένο μοντέλο δημιουργεί τη λύση ως μια σειρά διαδοχικών ενεργειών σε πραγματικό χρόνο, χωρίς να απαιτείται επανεκπαίδευση για κάθε εμφάνιση νέου ζητήματος. Σε ό,τι αφορά το ΠΔΟ περιορισμένης χωρητικότητας, η προτεινόμενη μέθοδος ξεπερνά τους παραδοσιακούς ευρετικούς αλγορίθμους και τα εργαλεία επιχειρησιακής έρευνας της Google με ισοδύναμο χρόνο υπολογισμού σε ό,τι αφορά την ποιότητα της λύσης. Επιπλέον, οι συγγραφείς διερεύνησαν την επίδραση των ξεχωριστών αποστολών στην αξιοπιστία της λύσης και κατέδειξαν πώς η υπό εξέταση προσέγγιση μπορεί να αντιμετωπίσει τέτοιου είδους προβλήματα παράδοσης. Τέλος, το προαναφερθέν παράδειγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες παραλλαγές του ΠΔΟ.

Οι συγγραφείς της εργασίας [115] πρότειναν μια αρχιτεκτονική ενός νευρωνικού δικτύου εκτεταμένης αναζήτησης γειτονιάς (Large Neighborhood Search - LNS) για προβλήματα που σχετίζονται με τη δρομολόγηση οχημάτων και χρησιμοποιούν εκπαιδευμένες ευρετικές μεθόδους για τη δημιουργία νέων αποτελεσμάτων. Η διαδικασία μάθησης βασίζεται σε ένα βαθύ νευρωνικό δίκτυο με μηχανισμό προσοχής, το οποίο και δημιουργήθηκε ειδικά για την ενσωμάτωσή του σε περιβάλλον αναζήτησης εκτεταμένης γειτονιάς. Το προτεινόμενο σύστημα είναι μια επέκταση της εκτεταμένης αναζήτησης γειτονιάς, το οποίο ανακαλύπτει και αναπτύσσει χειριστές επισκευής για το ΠΔΟ, χρησιμοποιώντας μια καθοδηγούμενη ευρετική αναζήτηση. Οι συγγραφείς εξέτασαν την τεχνική σε σχέση με το ΠΔΟ περιορισμένης χωρητικότητας και το ΠΔΟ διαχωριζόμενης διανομής (Split Delivery VRP - SDVRP). Λαμβάνοντας υπόψη διάφορες περιπτώσεις, η προτεινόμενη μέθοδος ξεπερνά κατά πολύ μία εκτεταμένη αναζήτηση γειτονιάς, η οποία χρησιμοποιεί απλό ευρετικό αλγόριθμο κι έναν πολύ γνωστό ευρετικό αλγόριθμο από τη βιβλιογραφία. Επιπλέον, για το ΠΔΟ περιορισμένης χωρητικότητας και το ΠΔΟ διαχωριζόμενης διανομής, οι συγγραφείς απέδειξαν ότι η προτεινόμενη τεχνική ξεπερνά τις τρέχουσες προσεγγίσεις και μεθόδους μηχανικής μάθησης.

Ο στόχος της εργασίας [155] είναι η επίλυση του ΠΔΟ με περιορισμένη χωρητικότητα, χρησιμοποιώντας τεχνικές που βασίζονται στη μηχανική μάθηση. Οι συγγραφείς πρότειναν το Learn to Improve - L2I, μια λύση η οποία υπερέρχει των αλγορίθμων επι-

χειρισιακής έρευνας σε ό,τι αφορά την ταχύτητα επίλυσης του προβλήματος. Συγκεκριμένα, οι συγγραφείς πρότειναν ένα νέο αλγόριθμο βασισμένο στη μηχανική μάθηση για το ΠΔΟ με περιορισμένη χωρητικότητα, προτείνοντας ένα πλαίσιο ικανό να χωρίζει τους ευρετικούς τελεστές σε δύο διαφορετικές ομάδες, ώστε να επιταχύνει τη λειτουργία και να επικεντρώσει την ενισχυτική μάθηση σε αυτούς που προσδιορίζονται ως τελεστές βελτίωσης. Τέλος, παρουσίασαν μια ensemble τεχνική στην οποία οι κανόνες ενισχυτικής μάθησης εκπαιδεύονται ταυτόχρονα, αποφέροντας βελτιωμένα αποτελέσματα με το ίδιο υπολογιστικό κόστος.

Οι συγγραφείς της εργασίας [72] παρουσίασαν ένα framework, το οποίο βασίζεται σε ένα σχήμα βαθιάς ενισχυτικής μάθησης (Deep Reinforcement Learning - DRL), η οποία βασίζεται σε συνάρτηση αξίας και χρησιμοποιεί έναν συνδυαστικό χώρο πράξεων-ενεργειών, όπου το ζήτημα της επιλογής της πράξης-ενέργειας περιγράφεται ρητά ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης μικτών ακεραίων. Για παράδειγμα, εφάρμοσαν αυτό το παράδειγμα στο ΠΔΟ περιορισμένης χωρητικότητας. Σε κάθε περίπτωση, μια πράξη-ενέργεια χαρακτηρίζεται ως η δημιουργία μιας ενιαίας διαδρομής και χρησιμοποιείται μια βασική επαναληπτική μέθοδος για την ανάπτυξη μιας ντετερμινιστικής πολιτικής. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι ανταγωνιστική με τις υπάρχουσες προσεγγίσεις ενισχυτικής μάθησης και επιτυγχάνει παρόμοια απόδοση σε σύγκριση με τις πιο σύγχρονες μεθόδους επιχειρησιακής έρευνας σε τυπικές περιπτώσεις βιβλιοθηκών μεσαίου μεγέθους.

Προκειμένου να λύσει ένα από τα πιο κοινά προβλήματα που συναντώνται στον τομέα των μεταφορών και της παράδοσης της εφοδιαστικής αλυσίδας, δηλαδή το ΠΔΟ περιορισμένης χωρητικότητας, μια ερευνητική ομάδα χρησιμοποίησε μια αναδρομική προσέγγιση του αλγόριθμου ομαδοποίησης k-means σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο αναζήτησης της συντομότερης διαδρομής Dijkstra [176]. Η προτεινόμενη λύση χωρίζει σε μέρη το ΠΔΟ περιορισμένης χωρητικότητας για να βρει τη βέλτιστη διαδρομή. Αρχικά, λαμβάνει υπόψη του την ικανότητα του στόλου των οχημάτων για τη βελτιστοποίηση της συνολικής χωρητικότητας της διαδρομής. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται ο αλγόριθμος k-means, λαμβάνοντας υπόψη του τον χρόνο εκτέλεσης της διαδρομής, την απόσταση και τη χωρητικότητα των οχημάτων. Στο επόμενο βήμα, διασφαλίζεται η βέλτιστη χωρητικότητα των οχημάτων, ενώ στο τελευταίο βήμα, ο αλγόριθμος του Dijkstra βρίσκει τη συντομότερη διαδρομή για όλο τον στόλο των οχημάτων.

Η μελέτη [32] στοχεύει στην αντιμετώπιση του ΠΔΟ των ηλεκτρικών οχημάτων με περιορισμούς πιθανοτήτων (Electric Vehicle Routing Problem with Chance Constraints - EVRP-CC) και τη μερική επαναφόρτισή τους. Οι συγγραφείς παρουσίασαν μια στρατηγική η οποία αποτελείται από δύο ανεξάρτητες φάσεις. Η πρώτη φάση καθορίζει τις διαδρομές μεταξύ όλων των κόμβων που πρέπει να επισκεφθούν, ενώ η δεύτερη φάση καθορίζει τη βέλτιστη ακολουθία του ταξιδιού για τη μείωση της χρήσης



ενέργειας και τη διευσθέτηση της φόρτισης του οχήματος όπως απαιτείται. Στη δεύτερη φάση, ο αλγόριθμος προσδιορίζει τις λιγότερο ενεργοβόρες διαδρομές, οι οποίες ξεκινούν και τελειώνουν στην αποθήκη, σταματώντας σε όλους τους πελάτες και τους σταθμούς φόρτισης, ανάλογα με τις ανάγκες. Οι πελάτες, οι σταθμοί φόρτισης και οι αποθήκες θεωρούνται ότι τοποθετούνται σε κόμβους ως σταυροδρόμια στο οδικό δίκτυο. Όλα τα προαναφερθέντα χρησιμοποιούν ένα πιθανοτικό Bayesian μοντέλο μηχανικής μάθησης, το οποίο έχουν αναπτύξει οι συγγραφείς. Συμπερασματικά, οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στην πόλη Gothenburg της Σουηδίας, μαζί με αρκετές ρεαλιστικές προσομοιώσεις, αποκαλύπτουν υψηλό βαθμό ακρίβειας για την πρόβλεψη της ενέργειας, καθώς και ενεργειακές βελτιώσεις και αυξημένη αξιοπιστία της διαδρομής. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πειραμάτων, καμία συνολική κατανάλωση δεν έπεσε κάτω από το 95% της πρόβλεψης. Επιπλέον, ήταν εφικτό να εξοικονομηθεί έως και 19,5% ενέργειας σε δέκα δρομολόγια χωρίς φόρτιση, με μέσο όρο 10,6%.

Οι συγγραφείς της εργασίας [187], επιχείρησαν να αντιμετωπίσουν το πολυπαραγοντικό πρόβλημα ΠΔΟ με στοχαστική απαίτηση (Multi-Objective Vehicle Routing Problem with Stochastic Demand - MO-VRPSD), μια από τις πιο σύνθετες παραλλαγές του ΠΔΟ. Υπάρχουν δύο σημαντικά εμπόδια που συνδέονται με το προαναφερθέν ζήτημα. Πρώτον, το απρόβλεπτο των αναγκών των πελατών και δεύτερον, η πιθανότητα των αντικρουόμενων σκοπών. Για να αντιμετωπιστούν οι προαναφερθείσες προκλήσεις, οι συγγραφείς παρέχουν ένα μοντέλο μηχανικής μάθησης με βάση τα δέντρα αποφάσεων (decision trees) για την επίλυση του ΠΔΟ με στοχαστική απαίτηση, το οποίο βοηθά στην παραγωγή κατάλληλων πληθυσμών με βάση τις πληροφορίες που αποκτήθηκαν από προηγούμενες διαδικασίες αναζήτησης, ενώ μειώνει σημαντικά τον αριθμό των επαναλήψεων. Επιπλέον, παρουσίασαν έναν νέο τρόπο κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης της διαδρομής και του χρωμοσώματος, ώστε να μπορεί να επιτευχθεί με επιτυχία η διαχείριση της αποτυχίας της διαδρομής, και στη συνέχεια χρησιμοποιήσαν έναν ισχυρό πολυπαραγοντικό αλγόριθμο βελτιστοποίησης για να αντιμετωπίσουν τους ανταγωνιστικούς στόχους στο πολυπαραγοντικό ΠΔΟ με στοχαστική απαίτηση. Τα πειραματικά ευρήματα αποδεικνύουν πως το προτεινόμενο μοντέλο είναι ικανό να εντοπίζει καλύτερες λύσεις και να ξεπερνά τις προηγούμενες εξελικτικές μεθόδους.

Οι συγγραφείς της εργασίας [89] κατασκεύασαν μια βάση δεδομένων με τις βέλτιστες λύσεις για δειγματοληπτικά συμβάντα και χαρακτηριστικά. Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση μοντέλων μηχανικής μάθησης ικανών να προβλέψουν τα χαρακτηριστικά των βέλτιστων λύσεων για μη παρατηρούμενες περιπτώσεις, με σκοπό να δημιουργήσουν βαθμολογίες υπεύθυνες για την αξιολόγηση, μια διαδικασία που μοιάζει με τη συμπεριφορά ενός ειδικού. Αυτό δημιουργεί μια νέα μορφή του ΠΔΟ με χρονικά παράθυρα, δηλαδή το δειγματοληπτικό ΠΔΟ με χρονικά

παράθυρα (Sampled Vehicle Routing Problem with Time Windows - SVRPTW). Τα πειράματα έδειξαν ότι η τεχνική που περιγράφεται παραπάνω ξεπερνά τους συμβατικούς αλγόριθμους, τόσο ως προς τον αριθμό των κόμβων που χειρίζονται κατά τη διάρκεια του ερωτήματος, όσο και ως προς τον απαιτούμενο χρόνο εκτέλεσης του.

Τέλος, στην εργασία [142] προτείνεται ένας δυναμικός προγραμματισμός βαθιάς πολιτικής (Deep Policy Dynamic Programming - DPDP), ο οποίος συνδυάζει τα οφέλη των ευρετικών νευρωνικών τεχνικών και τεχνικών δυναμικού προγραμματισμού. Η προτεινόμενη λύση δίνει προτεραιότητα και περιορίζει τον χώρο κατάστασης του δυναμικού προγραμματισμού, με βάση μια πολιτική η οποία έχει δημιουργηθεί από ένα βαθύ νευρωνικό δίκτυο εκπαιδευμένο να εκτιμά ακμές βάσει δειγματοληπτικών λύσεων. Χρησιμοποιήθηκαν και εξετάστηκαν τρεις διαφορετικές παραλλαγές ΠΔΟ. Αρχικά, εξετάστηκε το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή (Traveling Salesman Problem - TSP), έπειτα το πιο απλό ΠΔΟ, και τέλος, μια παραλλαγή του κλασικού προβλήματος του πλανόδιου πωλητή, το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή με χρονικά παράθυρα (TSP with time windows - TSPTW). Τα πειράματα έδειξαν ότι η απόδοση των αλγορίθμων βελτιώθηκε σημαντικά και οι αλγόριθμοι ήταν ικανοί να ξεπεράσουν πολλές άλλες γνωστές λύσεις.

## 6.6 Προσδιορισμός των βασικών σημείων των υπηρεσιών δρομολόγησης οχημάτων που βασίζονται στη Μηχανική Μάθηση

Ενώ η χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης στο πλαίσιο της επίλυσης των διαφορετικών παραλλαγών του ΠΔΟ είναι μια αναμενόμενη προσέγγιση, η υπάρχουσα κατάσταση του state of the art δεν είναι ακόμη σε επίπεδο που μπορεί να αλλάξει σημαντικά τα ανεπτυγμένα συστήματα και υπηρεσίες. Τα κύρια συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από την ανάλυση της υπάρχουσας βιβλιογραφία, όπως απεικονίζονται και στον Πίνακα 6.2, είναι τα ακόλουθα:

- **Περιορισμένος αριθμός ερευνητικών εργασιών:** Η επιστημονική κοινότητα τείνει να χρησιμοποιεί τεχνικές μηχανικής μάθησης για να λύσει - ή να λύσει πιο αποτελεσματικά - οποιοδήποτε υπάρχον πρόβλημα, και αυτό έχει ως αποτέλεσμα έναν τεράστιο όγκο εργασιών (μεικτού επιπέδου ποιότητας) σε πολλούς τομείς που προσφέρουν λύσεις βασισμένες στη μηχανική μάθηση. Τα ευρήματα σχετικά με τις λύσεις μηχανικής μάθησης για το ΠΔΟ είναι περιορισμένα σε αριθμό κι αυτό δείχνει ότι είτε τα εν λόγω προβλήματα επιλύονται αποτελεσματικά με άλλες προσεγγίσεις, είτε ότι η χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθηση

για τέτοιου είδους προβλήματα δεν είναι επαρκώς αποτελεσματική, π.χ. λόγω της μορφής του προβλήματος δρομολόγησης των οχημάτων.

- **Κατακερματισμός σε σχέση με τις παραμέτρους του προβλήματος που πρέπει να λυθούν:** Οι ερευνητικές προσεγγίσεις που αναλύθηκαν τείνουν να λαμβάνουν υπόψη διαφορετικά κριτήρια κατά την εφαρμογή των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης στο ΠΔΟ. Η παράμετρος της χωρητικότητας του οχήματος υπάρχει σε περίπου από τις μισές προσεγγίσεις, ενώ οι υπόλοιπες τείνουν να δίνουν διαφορετικές προτεραιότητες μεταξύ τους ως προς τους παράγοντες σχεδιασμού της διαδρομής.
- **Ανεπαρκής αιτιολόγηση για την επιλογή των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης:** Κατά μέσο όρο, οι λύσεις που αναλύονται τείνουν να εξηγούν ανεπαρκώς ποιοι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης χρησιμοποιούνται, καθώς και το σχεπτικό πίσω από αυτό. Σε ορισμένες εργασίες αυτό είναι απλό, π.χ. δηλώνοντας ότι ένας συγκεκριμένος αλγόριθμος χρησιμοποιείται για την επίλυση ενός καλά καθορισμένου προβλήματος, αλλά στα υπόλοιπα η προσέγγιση της μηχανικής μάθησης δεν εξηγείται καλά και η συμβολή κάθε εργασίας δεν ορίζεται σαφώς.
- **Σύγκριση με παραδοσιακές προσεγγίσεις:** Ενώ η χρήση της μηχανικής μάθησης για το ΠΔΟ ακούγεται πολλά υποσχόμενη, πρέπει να δικαιολογείται από συγκεκριμένα αποτελέσματα και μέσω της σύγκρισης αυτής με τα αποτελέσματα των υπάρχουσών εναλλακτικών. Στην πλειονότητα των εργασιών που παρουσιάστηκαν στην παραπάνω ενότητα, μια τέτοια σύγκριση λείπει. Αυτό μπορεί να οφείλεται είτε στο ότι οι συγγραφείς παραμέλησαν αυτήν την εργασία, είτε και στο γεγονός ότι μια τέτοια σύγκριση απαιτεί μεγάλη προσπάθεια, προκειμένου να δοκιμαστούν εξίσου οι διαφορετικές προσεγγίσεις, κάτω από πανομοιότυπες παραμέτρους δοκιμής, π.χ. ίδιες διαδρομές, ίδια κυκλοφοριακή συμφόρηση, κ.ά.

Πίνακας 6.2: Πίνακας σύγκρισης των δυνατοτήτων των υπηρεσιών δρομολόγησης οχημάτων που βασίζονται στη μηχανική μάθηση.

Συγγραφείς	Χρονικά Παράθυρα	Πράσινη Δρομολόγηση	Χωρητικότητα Οχήματος	Πολυπαραγοντικό Πρόβλημα	Τεχνική Μηχανικής Μάθησης
Cooray & Thashika [67]	○	●	○	○	Αλγόριθμος k-means
Nazari et al. [183]	○	○	●	○	Ενισχυτική Μάθηση
Hottung & Kevin [115]	○	○	●	○	Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης
Lu et al. [155]	○	○	●	○	Ενισχυτική Μάθηση
Delarue et al. [72]	○	○	●	○	Ενισχυτική Μάθηση
Moussa [176]	○	○	●	○	Αλγόριθμος k-means
Basso et al. [32]	○	●	○	○	Bayesian μοντέλο
Niu et al. [187]	○	○	○	●	Δέντρα αποφάσεων
Furian et al. [89]	●	○	○	○	Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης
Kool et al. [142]	●	○	○	○	Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης

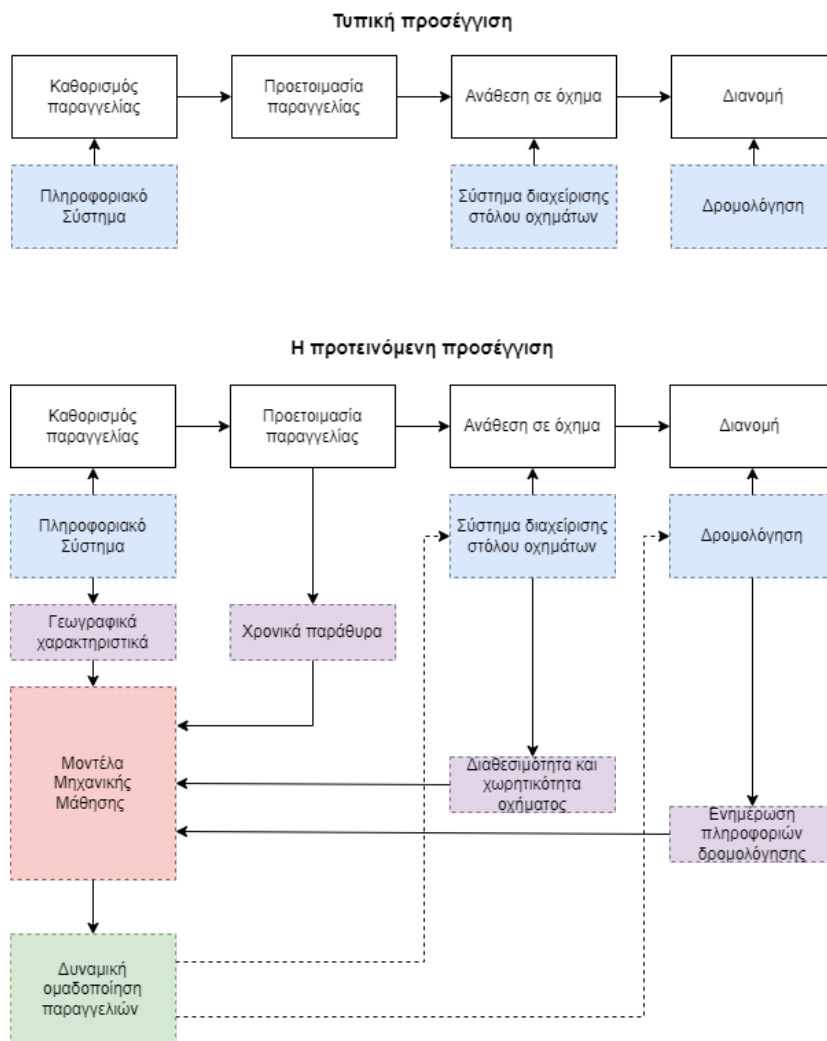
Γενικά, εξάγεται το συμπέρασμα ότι ενώ η υιοθέτηση της μηχανικής μάθησης στον τομέα του ΠΔΟ φαίνεται να είναι μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση, η τρέχουσα κατάσταση δεν είναι σε αρκετά ικανοποιητικό επίπεδο. Ένας συνδυασμός διαφόρων λόγων που σχετίζονται τόσο με τις πρακτικές δυσκολίες του τομέα, όσο και με την πολυπλοκότητα του προβλήματος έχει καταστήσει δύσκολη την προσφορά μιας αποτελεσματικής υπηρεσίας μηχανικής μάθησης, η οποία θα μπορούσε να αντικαταστήσει τις παραδοσιακές λύσεις στις διάφορες παραλλαγές του ΠΔΟ.

## 6.7 Το προτεινόμενο σύστημα για τη δρομολόγηση οχημάτων σε αστικό περιβάλλον

Οι εργασίες οι οποίες μελετήθηκαν στις παραπάνω ενότητες παρουσιάζουν σημαντικά ερευνητικά αποτελέσματα για το ΠΔΟ, υπογραμμίζοντας τη σημασία μιας λύσης η οποία μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά το κλασικό ΠΔΟ και τις παραλλαγές του. Η ιδέα του προτεινόμενου framework βασίστηκε στο γεγονός ότι η πλειονότητα των τελευταίων ερευνητικών αποτελεσμάτων εστιάζουν είτε σε ένα μόνο παράγοντα, είτε σε ένα διακριτό στάδιο ολόκληρης της διαδικασίας της δρομολόγησης. Συγκεκριμένα, το πρόβλημα θα πρέπει να περιέχει όλα τα στάδια της διαδικασίας, από τον καθορισμό του «πακέτου», μέχρι και την τελική του παράδοση στον προορισμό του. Τα διάφορα στάδια της διαδικασίας εύρεσης της βέλτιστης δρομολόγησης και βέλτιστης παράδοσης, από τον αρχικό καθορισμό της πακέτου παράδοσης έως και την παράδοσή του εκτελούνται διαδοχικά και δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των σταδίων. Για λόγους αξιολόγησης του προτεινόμενου συστήματος, χρησιμοποιήθηκαν παραδείγματα και δεδομένα από παραδόσεις πακέτων εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιπλέον, για λόγους απλότητας και χωρίς να βλάπτεται η γενικότητα της υπόθεσης, το προτεινόμενο σύστημα εξετάζει τέσσερα στάδια, όπως απεικονίζονται στην Εικόνα 6.2. Συγκεκριμένα, τα τέσσερα διακριτά στάδια σε ολόκληρη τη διαδικασία είναι: i) Καθορισμός της παραγγελίας προς παράδοση, ii) Προετοιμασία της παραγγελίας προς παράδοση, iii) Ανάθεση της παραγγελίας σε όχημα του στόλου, και iv) Διανομή της παραγγελίας (συμπεριλαμβανομένης και της δρομολόγησης του οχήματος).

Σε μία τυπική προσέγγιση, οποιαδήποτε βελτιστοποίηση προτείνεται σε άλλες εργασίες εστιάζει στα δύο τελευταία στάδια της διαδικασίας, με λίγες από αυτές να εξετάζουν τη συνδυασμένη διαχείριση - στα δύο τελευταία στάδια. Σε κάθε περίπτωση, η παρτίδα των πακέτων προς παράδοση αποφασίζεται σε προγενέστερο στάδιο, χωρίς να εξετάζεται - ή να προβλέπεται - η διαθεσιμότητα του στόλου οχημάτων ή η ελαχιστοποίηση της διαδρομής που θα πρέπει να ακολουθηθεί για την παράδοση του/των πακέτου/ων.

Στην προτεινόμενη προσέγγιση, κατά την αρχική φάση της διαδικασίας, δημιουρ-



Σχήμα 6.2: Η αρχιτεκτονική του προτεινόμενου συστήματος, η οποία διασυνδέει όλα τα στάδια της διαδικασίας παράδοσης.

γούνται παρτίδες παραγγελιών προς παράδοση, κάνοντας χρήση ομάδων γεωγραφικών περιοχών για την ελαχιστοποίηση της απόστασης μεταξύ των σημείων παράδοσης. Τα συμπλέγματα αυτά βασίζονται είτε στη συσσωρευμένη γνώση από το ιστορικό προηγούμενων παραγγελιών, είτε βασίζονται στη δυναμική γνώση που προέρχεται κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Οι ρυθμίσεις της πλατφόρμας που αναπτύχθηκε βασίζονται στο δυναμικό σύμπλεγμα γνώσης που προέρχεται κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, επιτρέποντας στη συνέχεια τη μετάβαση στη συσσωρευμένη γνώση από το ιστορικό, η οποία γνώση έχει δημιουργήσει ένα κατάλληλο σύνολο δεδομένων για την εκπαίδευση του αλγόριθμου μηχανικής μάθησης, ο οποίος χρησιμοποιείται στην προτεινόμενη πλατφόρμα. Αρχικά, εκτελείται ο αλγόριθμος k-means, για τον προσδιορισμό των γεωγραφικών περιοχών. Ο αριθμός των γεωγραφικών συμπλεγμάτων που δημιουργούνται περιορίζεται στον αριθμό των διαθέσιμων οχημάτων του στόλου, τα οποία οχήματα δεν εξυπηρετούν

αυστηρά μια μόνο περιοχή, αλλά ακολουθούν την καθορισμένη διαδρομή ως δυναμικά αποτέλεσμα βάσει της διαθεσιμότητας των οχημάτων. Στο δεύτερο στάδιο, εκτελείται παράλληλα μία τροποποιημένη μορφή του αλγόριθμου Hopfield διερευνώντας εξαντλητικά τις διαμορφώσεις των παρτίδων παράδοσης. Το αποτέλεσμα είναι ο προσδιορισμός των παρτίδων παράδοσης που μεγιστοποιεί τον αριθμό των πακέτων που συμπεριλαμβάνονται, ελαχιστοποιώντας επίσης τη διανυθείσα απόσταση, εξυπηρετώντας έτσι μια απαίτηση της πράσινης παραλλαγής του ΠΔΟ. Το συγκεκριμένο στάδιο πρέπει να ολοκληρωθεί σε αυστηρά καθορισμένο χρονικό διάστημα από τη διαδικασία προετοιμασίας της παραγγελίας. Αυτό επιτρέπει την ελαχιστοποίηση του χρόνου που απαιτείται από τη στιγμή που ξεκινά ο καθορισμός μιας παραγγελίας έως τη στιγμή που ολοκληρώνεται η προετοιμασία της.

Η ανάπτυξη της προτεινόμενης πλατφόρμας προσφέρει τις προηγούμενες υπηρεσίες και περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά που έχουν περιγραφεί παραπάνω. Η διαδικασία του καθορισμού της παραγγελίας έως και την παράδοσή της εξετάζεται σε όλα τα στάδια, καθορίζοντας τα χρονικά παράθυρα σε κάθε στάδιο για την ολοκλήρωση των υπολογισμών. Τα πακέτα προς παράδοση ομαδοποιούνται δυναμικά εκτός παραγγελίας με βάση i) τη χωρητικότητα των διαθέσιμων οχημάτων του στόλου, ii) τις γεωγραφικές τοποθεσίες των σημείων παράδοσης, και iii) είτε τη συντομότερη διαδρομή σε σχέση με τη μείωση των εκπομπών  $CO_2$  - βασιζόμενη στη λύση της πράσινης παραλλαγής του ΠΔΟ - είτε στις αυστηρές χρονικές απαιτήσεις του χρόνου που έχουν καθοριστεί για τη διακομιδή του πακέτου - βασιζόμενη στη λύση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων με χρονικά παράθυρα. Η δρομολόγηση βασίζεται σε ένα ensemble σχήμα κοντινότερου γείτονα nearest neighbor, ενώ η οπτικοποίηση της διαδρομής πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τις λειτουργίες των χαρτών της Google. Έτσι, ανάλογα με τις επιλεγμένες παραμέτρους για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών και λαμβάνοντας υπόψη τη χωρητικότητα κάθε οχήματος του στόλου, είναι δυνατό να προσφερθεί μια υπηρεσία (service) είτε για την πράσινη παραλλαγή του ΠΔΟ, είτε για το ΠΔΟ με χρονικά παράθυρα στην ίδια πλατφόρμα.

### 6.7.1 Αξιολόγηση του προτεινόμενου συστήματος

Η αξιολόγηση της προτεινόμενης πλατφόρμας ήταν μια πρόκληση λόγω της απουσίας των κατάλληλων δεδομένων, καθώς επίσης και της εξάρτησης της επίλυσης των πιθανών προβλημάτων σε κάθε διαδρομή από τις δυναμικές καθημερινές συνθήκες, π.χ. η κυκλοφοριακή συμφόρηση, τα οδικά έργα, κ.ά. Για τη διαδικασία της αξιολόγησης της προτεινόμενης πλατφόρμας συλλέχθηκαν δεδομένα από πραγματικές διαδρομές, για μία περίοδο δύο μηνών (Αύγουστος 2022 και Σεπτέμβριος 2022) στην πόλη της Λαμίας. Η πόλη της Λαμίας δεν είναι μία τουριστική πόλη, παρουσιάζοντας έτσι τον ελάχιστο αριθμό παραδόσεων πακέτων το μήνα Αύγουστο. Αντίθετα, το μήνα Σεπτέμβριο ο

αριθμός των παραδόσεων πακέτων φτάνουν σχεδόν στο μέγιστο αριθμό τους, λόγω διαφόρων παραγόντων όπως είναι η επιστροφή των κατοίκων της πόλης από τις διακοπές τους, η επιστροφή των φοιτητών οι οποίοι σπουδάζουν στην πόλη, η εγκατάσταση των πρωτοετών φοιτητών, καθώς επίσης και πολλές αθλητικές εκδηλώσεις που πραγματοποιήθηκαν στην πόλη της Λαμίας τον μήνα Σεπτέμβριο, προκαλώντας αύξηση σε ό,τι αφορά τις παραδόσεις πακέτων.

Για κάθε εκτέλεση διαδρομής για την μεταφορά πακέτων καταγράφηκαν διάφορες ενέργειες, όπως η ώρα εκτέλεσης της διαδρομής, η απόσταση της διαδρομής, το αγαθό/προϊόν προς παράδοση, το σημείο εκκίνησης, το σημείο παράδοσης, κ.ά. Κατά τη διάρκεια της καταγραφής και συλλογής των δεδομένων, ανακαλύφθηκε ότι οι οδηγοί του στόλου των οχημάτων θεώρησαν ότι είναι αρκετά έμπειροι στην επιλογή της βέλτιστης διαδρομής και πως δεν χρειαζόταν να χρησιμοποιήσουν καμία εφαρμογή για κινητά τηλέφωνα ή να αποκτήσουν πρόσβαση σε μια πλατφόρμα για συμβουλές σχετικά με την καλύτερη διαδρομή. Τα δεδομένα που αποκτήθηκαν εισήχθησαν στην πλατφόρμα σε πραγματικό χρόνο, έτσι ώστε οποιαδήποτε πρόταση από την πλατφόρμα να αντικατοπτρίζει τις σωστές συνθήκες που επικρατούν στους δρόμους, κι όχι μια προσομοίωση που εκτελείται αργότερα με διαφορετικές συνθήκες. Επιπλέον, από τη διαδικασία της αξιολόγησης εξήχθησαν αρκετές παρατηρήσεις, οι οποίες αποδείχθηκαν επωφελείς για την πλατφόρμα σε μεταγενέστερο στάδιο.

1. Υπήρχαν αρκετοί «πιστοί» πελάτες, οι οποίοι πραγματοποιούσαν επαναλαμβανόμενες παραγγελίες, γεγονός που θα μπορούσε να διευκολύνει τη διαδικασία της δυναμικής ομαδοποίησης, καθώς το σύστημα μπορεί πλέον να προβλέπει νέες παραγγελίες που αναμένονται καθημερινά σε μια δεδομένη σύντομη χρονική περίοδο.
2. Οι οδηγοί αρκετές φορές δεν σέβονται τον κωδικό οδικής κυκλοφορίας, με αποτέλεσμα να γίνονται πιο σύντομες οι διαδρομές - είτε σε απόσταση, είτε χρονικά - είτε μη τηρώντας το όριο ταχύτητας, είτε χρησιμοποιώντας μη επιτρεπόμενους δρόμους, π.χ. δρόμοι αντίθετης κατεύθυνσης, κ.ά. Οι προαναφερθείς διαδρομές παραλείφθηκαν από τη διαδικασία της αξιολόγησης, καθώς η πλατφόρμα έχει σχεδιαστεί με γνώμονα την τήρηση των κανονισμών του κώδικα οδικής κυκλοφορίας.
3. Τα ημερήσια δεδομένα κίνησης, τα οποία είναι πάντοτε διαφορετικά και γι' αυτό τον λόγο δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί ετεροχρονισμένη προσομοίωση, αλλά η παρτίδα των παραγγελιών και η δρομολόγησή τους πρέπει να εκτελούνται παράλληλα με την πραγματική παράδοση των πακέτων.
4. Οι ντόπιοι κάτοικοι ορισμένες φορές χρησιμοποιούν διαφορετικό όνομα στους δρόμους και τις οδούς από το επίσημο όνομα, πιθανότατα επειδή ονομαζόταν έτσι



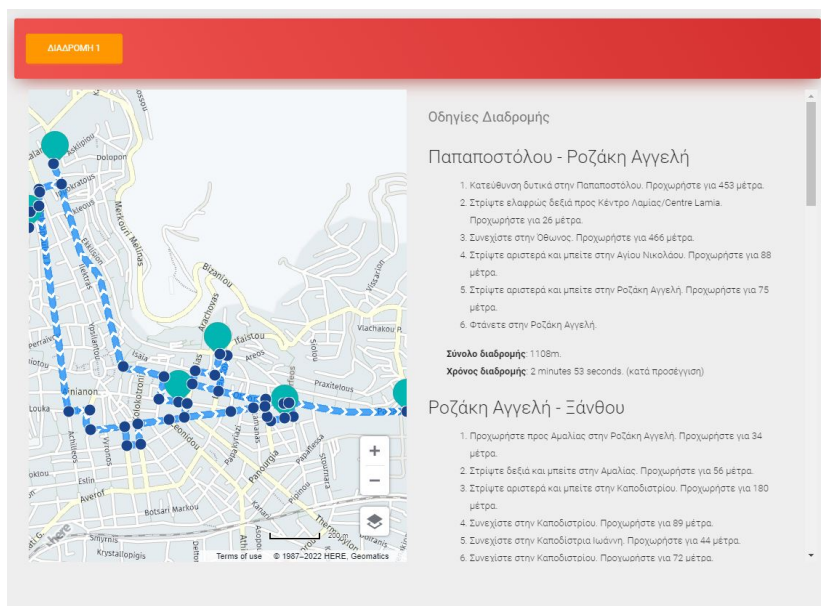
στο παρελθόν, με αποτέλεσμα να χρειαζόταν μια επέμβαση στην επιλογή του σημείου παράδοσης από τον πελάτη.

5. Υπήρχαν ορισμένα σημεία στην πόλη, τα οποία είτε δεν ήταν προσβάσιμα, είτε δεν είχαν διαθέσιμο χώρο στάθμευσης, αυξάνοντας έτσι σημαντικά τον χρόνο παράδοσης των πακέτων. Οι διαδρομές αυτές αφαιρέθηκαν από τη διαδικασία της αξιολόγησης, καθώς τέτοιες δυναμικές συνθήκες δεν μπορούν να προβλεφθούν και δεν πρόκειται για εσφαλμένη επιλογή των οδηγών των οχημάτων. Σε μία τέτοια περίπτωση, η πλατφόρμα θα ανέφερε μικρότερο χρόνο, αν και η διαδρομή θα μπορούσε να είναι η ίδια, αφού δεν μπορούσαν να προβλεφθούν τέτοια εμπόδια. Στην τελική έκδοση της προτεινόμενης πλατφόρμας, αυτό λαμβάνεται υπόψη στα χρονικά πλαίσια με την ενημέρωση του χρονικού παραθύρου για την παράδοση σε εκείνο το σημείο, εξάγοντας το χρόνο στάθμευσης του οχήματος μέχρι τη χρονική στιγμή όπου το όχημα θα ξεκινήσει για μια νέα διαδρομή.

Κατά την αξιολόγηση της πλατφόρμας, περισσότερες από 10.000 παραγγελίες/παραδόσεις, οι οποίες κοινοποιήθηκαν από εταιρία μεταφορών – logistics της πόλης της Λαμίας, καταγράφηκαν και εισήχθησαν στην πλατφόρμα. Περίπου το 89% αυτών χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της πλατφόρμας, καθώς οι υπόλοιπες θεωρήθηκαν πως είτε παραβιάζουν τους κανόνες για δίκαιη σύγκριση, είτε είναι προκατειλημμένες υπέρ της πλατφόρμας. Για λόγους αξιολόγησης, επιλέχθηκαν 9 χαρακτηριστικά δρομολόγια, τα οποία συμπεριελάμβαναν πολλαπλές παραγγελίες/παραδόσεις και επαναλαμβάνονταν σχεδόν καθημερινά και τα αποτελέσματά τους μπορούσαν να αξιολογηθούν στατιστικά. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις, η πλατφόρμα εμφάνιζε καλύτερα αποτελέσματα στα δρομολόγια και στις αναθέσεις των οχημάτων, ωστόσο δεν ήταν προφανές εάν αυτό οφειλόταν στις εκάστοτε χρονικές συνθήκες ή λόγω της αποτελεσματικότητας στον σχεδιασμό της προτεινόμενης πλατφόρμας. Έτσι, για τη στατιστική αξιολόγηση του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 154 δρομολόγια, εκ των οποίων τα 133 δρομολόγια παρουσίασαν βελτίωση τόσο στο συνολικό χρόνο όσο και στη συνολική απόσταση της διαδρομής, ποσοστό το οποίο ξεπερνά το 86%.

Στην Εικόνα 6.3, εμφανίζεται η διεπαφή του υλοποιημένου συστήματος, μετά την εισαγωγή των στοιχείων των δρομολογίων (αριθμός πακέτων προς παράδοση, οδός σημείων παράδοσης, κ.ά.) και την εκτέλεση του συνόλου αλγορίθμων, κατά την οποία εμφανίζεται στο χρήστη η βέλτιστη διαδρομή δρομολόγησης.

Για τον έλεγχο της ορθότητας των αποτελεσμάτων του προτεινόμενου συστήματος έξυπνης δρομολόγησης πραγματοποιήθηκε συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων του συστήματος με πραγματικά δεδομένα δρομολογίων. Για χάρη ευκολίας και βέλτιστης απεικόνισης των αποτελεσμάτων σε γραφήματα, επιλέχθηκαν 9 αντιπροσωπευτικά δρομολόγια (Δρομολόγιο 1 - Δρομολόγιο 9) - ένα δρομολόγιο από κάθε διεύθυνση α-



Σχήμα 6.3: Στιγμιότυπο από τη διεπαφή του προτεινόμενου συστήματος για τον υπολογισμό μιας βέλτιστης διαδρομής.

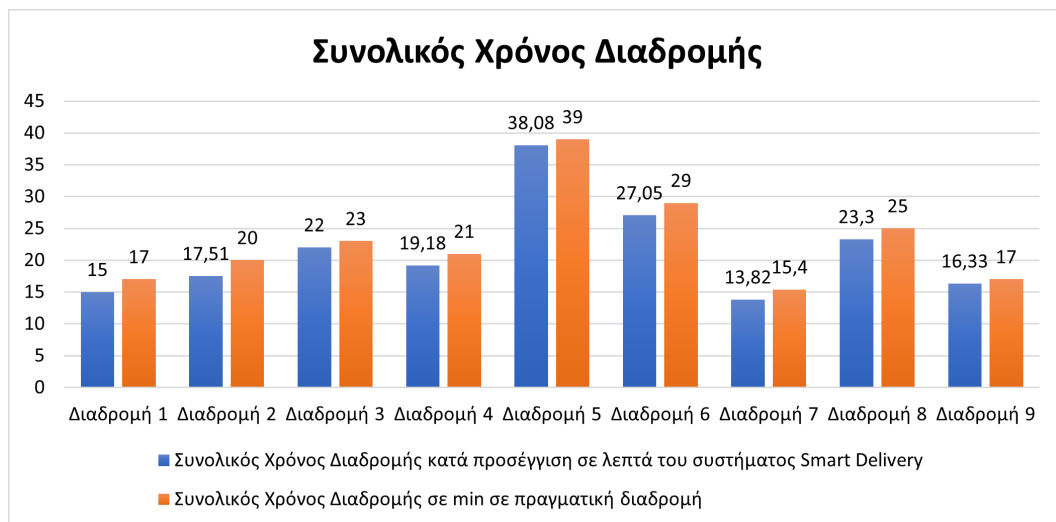
Πίνακας 6.3: Ο συνολικός χρόνος και η συνολική απόσταση της βέλτιστης διαδρομής και για τις εννέα ενδεικτικές Διαδρομές, όπως υπολογίστηκαν από το προτεινόμενο σύστημα και όπως διήρκεσαν κάτω από τις πραγματικές συνθήκες της διαδρομής.

Αφετηρία Αριθμός Αφετηρίας	Προτεινόμενη υλοποίηση		Δεδομένα εταιρίας	
	Συνολικός χρόνος διαδρομής (min)	Συνολική απόσταση διαδρομής (m)	Συνολικός χρόνος διαδρομής (min)	Συνολική απόσταση διαδρομής (m)
1	212	69944	254	94700
2	334	118857	373	149500
3	394	122448	477	168900
4	318	908784	393	133900
5	307	98816	371	136200
6	239	75079	284	105800
7	328	115109	404	152100
8	269	95447	340	124500
9	189	67914	209	90700

φετηρίας - και πραγματοποιήθηκαν οι συγκριτικές αναλύσεις που αναλύονται περαιτέρω παρακάτω.

Στην Εικόνα 6.4, απεικονίζεται η γραφική αναπαράσταση για τη σύγκριση του συ-

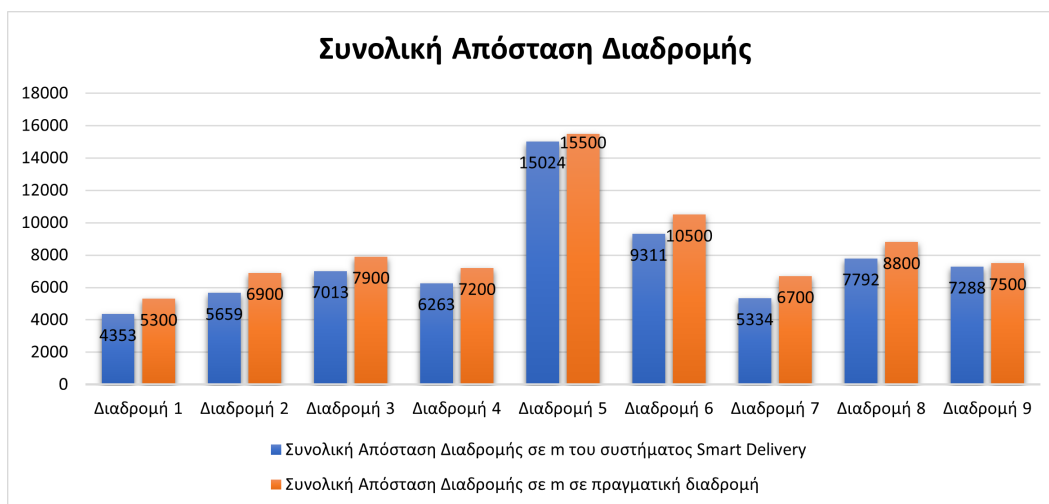
νολικού χρόνου διαδρομής, για κάθε διαδρομή (Διαδρομή 1 - Διαδρομή 9). Με μπλε χρώμα απεικονίζεται ο συνολικός χρόνος διαδρομής - μετρήσιμος σε λεπτά (min) - όπως υπολογίστηκε από την προτεινόμενη υλοποίηση, ενώ με πορτοκαλί χρώμα απεικονίζεται ο συνολικός χρόνος διαδρομής - μετρήσιμος σε λεπτά (min) - όπως διήρκτησε η διαδρομή από τους οδηγούς της επιχείρησης που πραγματοποίησαν τη δρομολόγηση. Παρατηρείται πως στο σύνολο και των εννέα διαδρομών ο χρόνος διάρκειας της βέλτιστης διαδρομής από το υλοποιημένο σύστημα είναι καλύτερος από τον χρόνο που διήρκτησε η δρομολόγηση της διαδρομής από τον οδηγό του οχήματος της επιχείρησης.



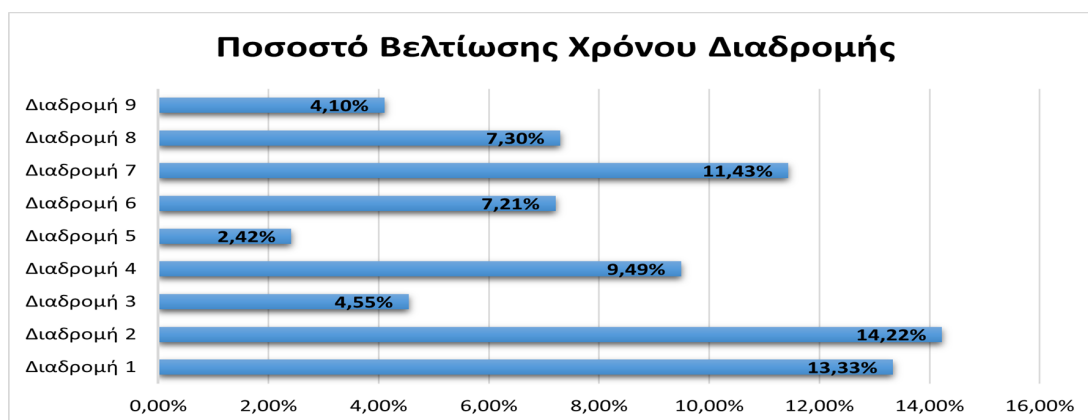
Σχήμα 6.4: Ο συνολικός χρόνος διάρκειας κάθε διαδρομής όπως υπολογίστηκε από την προτεινόμενη υλοποίηση και όπως διήρκτησε υπό πραγματικές συνθήκες.

Η Εικόνα 6.5 αναπαριστά τη σύγκριση της συνολικής απόστασης διαδρομής, για κάθε διαδρομή (Διαδρομή 1 - Διαδρομή 9). Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η συνολική απόσταση διαδρομής - μετρήσιμη σε μέτρα (m) - όπως υπολογίστηκε από το προτεινόμενο σύστημα, ενώ με πορτοκαλί χρώμα απεικονίζεται η συνολική απόσταση διαδρομής - μετρήσιμη σε μέτρα (m) - όπως διήρκτησε η διαδρομή από τους οδηγούς της επιχείρησης που πραγματοποίησαν τη δρομολόγηση. Παρατηρείται πως στο σύνολο και των εννέα διαδρομών η συνολική απόσταση της βέλτιστης διαδρομής από το υλοποιημένο σύστημα είναι καλύτερη από την απόσταση που διανύθηκε από τον οδηγό του οχήματος της επιχείρησης κατά τη δρομολόγηση.

Επιπλέον, στην Εικόνα 6.6 αναπαρίσταται υπολογισμένη σε ποσοστό επί τις εκατό (%) η συνολική χρονική βελτίωση της χρονικής διάρκειας, για κάθε δρομολόγιο. Συγκεκριμένα, για κάθε διαδρομή (Διαδρομή 1 - Διαδρομή 9), φαίνεται το άθροισμα όλων των διαφορών της διάρκειας της διαδρομής όπως αυτή πραγματοποιήθηκε από τον οδηγό που πραγματοποίησε τη δρομολόγηση, από τη διάρκεια της διαδρομής που υπολογίστηκε από το σύστημα, υπολογισμένο σε ποσοστό (%).



Σχήμα 6.5: Η συνολική απόσταση κάθε διαδρομής όπως υπολογίστηκε από το προτεινόμενο σύστημα και όπως διανύθηκε υπό πραγματικές συνθήκες.

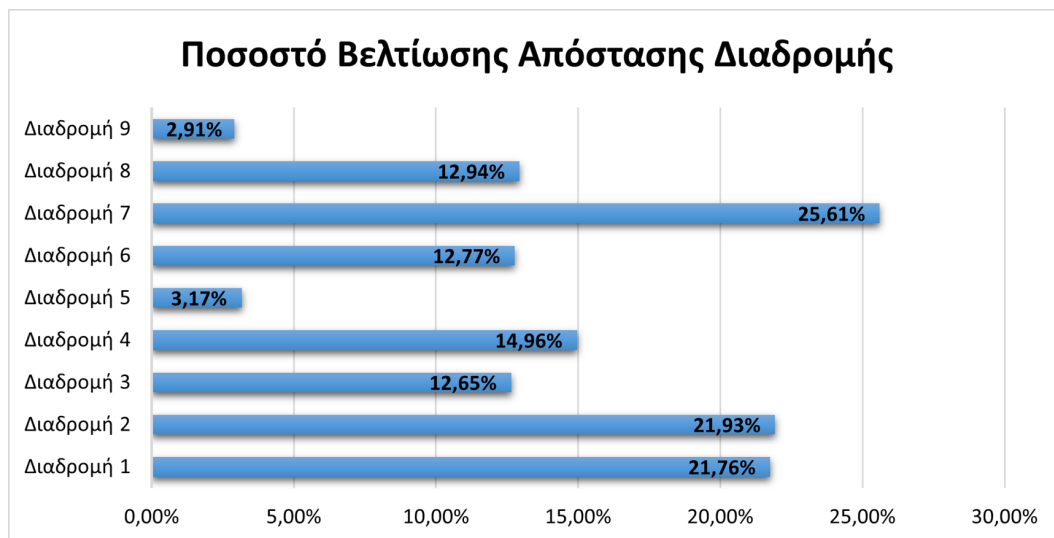


Σχήμα 6.6: Το ποσοστό της χρονικής βελτίωσης της διάρκειας διαδρομής από το προτεινόμενο σύστημα, για κάθε διαδρομή.

Ενώ, στην Εικόνα 6.7 αναπαρίσταται υπολογισμένη σε ποσοστό επί τις εκατό (%) η συνολική βελτίωση της απόστασης για κάθε δρομολόγιο. Συγκεκριμένα, για κάθε δρομολόγιο (Διαδρομή 1 - Διαδρομή 9), φαίνεται το άθροισμα όλων των διαφορών της απόστασης που διανύθηκε από τον οδηγό που πραγματοποίησε τη δρομολόγηση, από την απόσταση της διαδρομής που υπολογίστηκε από το υλοποιημένο σύστημα, υπολογισμένο σε ποσοστό (%).

## 6.8 Συμπεράσματα

Στο παρόν Κεφάλαιο, δόθηκε μια συνοπτική εισαγωγή στο ΠΔΟ και τις παραλλαγές του και συζητήθηκαν διεξοδικά οι διάφοροι αλγόριθμοι που αφορούν την εύρεση



Σχήμα 6.7: Το ποσοστό βελτίωσης της απόστασης διαδρομής από το προτεινόμενο σύστημα, για κάθε διαδρομή.

της βέλτιστης διαδρομής. Επίσης, πραγματοποιήθηκε μία ανάλυση των πιο διαδεδομένων ΠΔΟ και των αντίστοιχων παραμέτρων που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την αντιμετώπισή τους. Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης που προτείνονται στην βιβλιογραφία συγκρίθηκαν με βάση το εύρος στο οποίο παρέχουν λύσεις στο ΠΔΟ, ενώ παρουσιάζεται και μια συστηματική επισκόπηση της τρέχουσας κατάστασης στο συγκεκριμένο πεδίο μελέτης και έρευνας.

Επεκτείνοντας αυτήν την ανάλυση, επιλέχθηκε να προσδιοριστούν και οι ερευνητικές προσπάθειες, οι οποίες επικεντρώνονται στην εφαρμογή μεθόδων μηχανικής μάθησης για την επίλυση των διαφόρων παραλλαγών του ΠΔΟ. Επιπλέον, αξιολογήθηκαν τόσο τα υπάρχοντα έξυπνα συστήματα δρομολόγησης για αστικά περιβάλλοντα, όσο και τα συστήματα δρομολόγησης που ενσωματώνουν μεθόδους μηχανικής μάθησης για τη βελτίωση της απόδοσης των κλασικών αλγορίθμων δρομολόγησης των οχημάτων.

Με βάση όλες τις παραπάνω ανακαλύψεις, παρουσιάστηκε ένα ολιστικό σχήμα το οποίο συνδυάζει με το βέλτιστο δυνατό τρόπο τα διάφορα εργαλεία και τις προσεγγίσεις για την παροχή μιας αφθρωτής διαμορφώσιμης λύσης για το ΠΔΟ, η οποία θα εξυπηρετεί τις ανάγκες των διαφόρων χρηστών. Η προτεινόμενη προσέγγιση, η οποία υλοποιήθηκε και αξιολογήθηκε, εξετάζει το πρόβλημα του καθορισμού πολλαπλών παραδόσεων και της διακομιδής τους σε πολλαπλά και διαφορετικά σημεία. Η συγκεκριμένη υλοποίηση, προσφέρει μια αποτελεσματική λύση στο ΠΔΟ, λαμβάνοντας υπόψη της τα τέσσερα στάδια της διαδικασίας της παράδοσης - από τον καθορισμό της παραγγελίας, έως και τη διανομή της. Παράλληλα αξιοποιεί αρκετούς αλγόριθμους μηχανικής μάθησης σε κάθε στάδιο της διαδικασίας, προβλέποντας τη διαθεσιμότητα των διαθέσιμων οχημάτων του στόλου.

Ως μελλοντικά σχέδια, έχει δρομολογηθεί η προτεινόμενη προσέγγιση να εξετάσει επίσης την ενσωμάτωση πολλαπλών σημείων φόρτωσης φορτίου - αντί για ένα - σε ένα δρομολόγιο. Η εξέταση της συγκεκριμένης προσέγγισης θα επιτρέψει την ενσωμάτωση δυναμικών σημείων στην αρχή κάθε δρομολογίου, ενώ επιπλέον θα προσφέρει τη δυνατότητα επέκτασης του πεδίου της έρευνας του ΠΔΟ και της ΕΥΔ των ανθρώπων στο πλαίσιο μιας έξυπνης πόλης.

## Μέρος IV

# Οι Τεχνολογικές Προκλήσεις στην Υποστηριζόμενη Διαβίωση



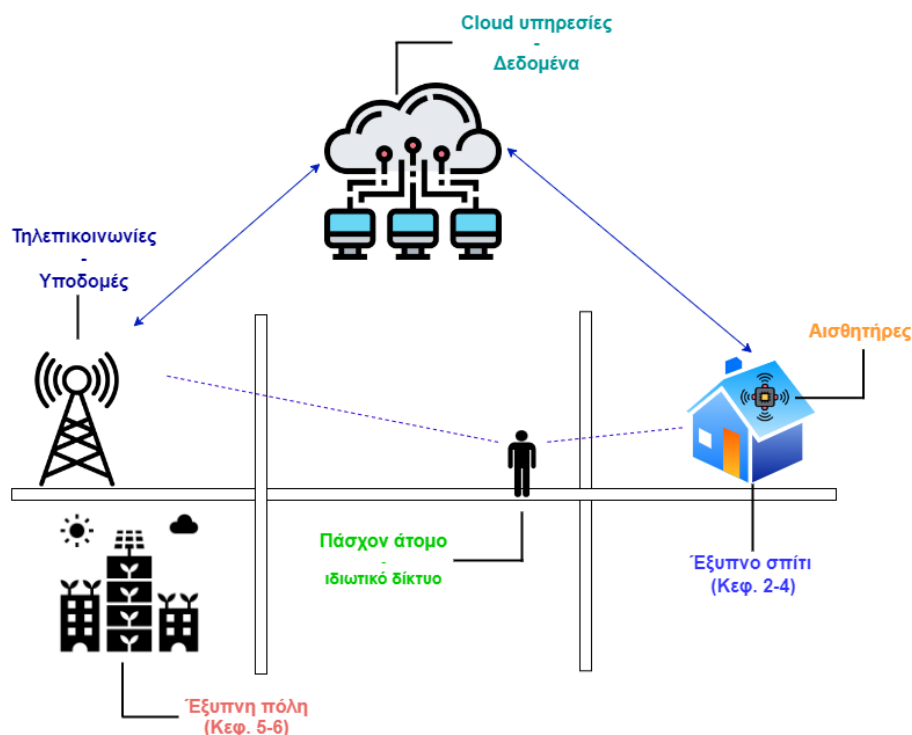


## Κεφάλαιο 7

# Ζητήματα ασφάλειας και απορρήτου στις φορητές συσκευές υγειονομικής περίθαλψης και οι αναδυόμενες εναλλακτικές προσεγγίσεις

Στα προηγούμενα κεφάλαια μελετήθηκαν και παρουσιάστηκαν συστήματα υποστηριζόμενης διαβίωσης ακολουθώντας μια bottom-up προσέγγιση. Αρχικά παρουσιάστηκαν συστήματα υποστηριζόμενης διαβίωσης για το οικιακό περιβάλλον (Κεφάλαια 2 - 4), ενώ στη συνέχεια έγινε επέκταση των εν λόγω συστημάτων και στο αστικό περιβάλλον (Κεφάλαια 5 και 6). Ωστόσο, και στις δύο περιπτώσεις η επικοινωνία των συσκευών τόσο μεταξύ τους, όσο και με τις υποδομές και τον έξω κόσμο, καθώς και η μετάδοση των συλλεγόμενων δεδομένων είναι ένα κρίσιμο ζήτημα που εγείρει αρκετές ανησυχίες στην επιστημονική κοινότητα.

Στο παρόν Κεφάλαιο, θα συζητηθούν ορισμένα ζητήματα και ανησυχίες που εγείρονται σχετικά με την ασφάλεια και το απόρρητο των δεδομένων που συλλέγονται από τις διάφορες φορητές συσκευές (Wearable Devices - WDs) υγειονομικής περίθαλψης. Οι ανησυχίες που προκύπτουν είναι ένα μείζον ζήτημα και μια μεγάλη πρόκληση για τους ερευνητές της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας, καθώς αφορούν στην εμπιστευτικότητα και την ακεραιότητα πολύ προσωπικών και ευαίσθητων δεδομένων. Ο κύριος στόχος του συγκεκριμένου Κεφαλαίου είναι να εντοπίσει τις μεγαλύτερες ανησυχίες σε ό,τι αφορά την ασφάλεια και το απόρρητο των δεδομένων από τις φορητές συσκευές για την παρακολούθηση της υγειονομικής περίθαλψης και να απαριθμήσει τις αντίστοιχες απειλές. Επιπλέον, παρουσιάζονται ορισμένες αναδυόμενες και πολλά υποσχόμενες προσεγγίσεις στο ζήτημα της ασφάλειας και του απορρήτου των δεδομένων που προ-



Σχήμα 7.1: Η ροή μετάδοσης και μεταφοράς των συλλεγόμενων δεδομένων στα πλαίσια μιας έξυπνης πόλης.

έρχονται από τις φορητές συσκευές, οι οποίες φαίνεται πως μπορούν να προσφέρουν λύσεις σε ορισμένα από τα ζητήματα που υπήρχαν έως τώρα.

## 7.1 Εισαγωγή

Οι φορητές συσκευές έχουν ήδη γίνει ένα αναπόσπαστο μέρος της καθημερινής ζωής μας, ενώ είναι σχεδόν πλήρως συνυφασμένες με την ΕΥΔ. Η πρόοδος της έρευνα και της ανάπτυξη στους διάφορους τομείς που σχετίζονται με αυτό το πεδίο, όπως είναι το Διαδίκτυο των Αντικειμένων, η ΤΝ και η Μηχανική Μάθηση, εξελίσσονται συνεχώς, γεγονός που επηρεάζει άμεσα και την εξέλιξη των φορητών συσκευών, οι οποίες με τη σειρά τους εισχωρούν όλο και περισσότερο στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων. Τα κύρια πεδία χρήσης των φορητών συσκευών μπορούν, γενικότερα, να ταξινομηθούν ως:

- φορητές συσκευές για την παρακολούθηση της ευεξίας ή/και της υγειονομικής περίθαλψης [156],
- φορητές συσκευές για ψυχαγωγικούς σκοπούς [190],
- φορητές συσκευές για ηλεκτρονικά παιχνίδια (gaming) [90].

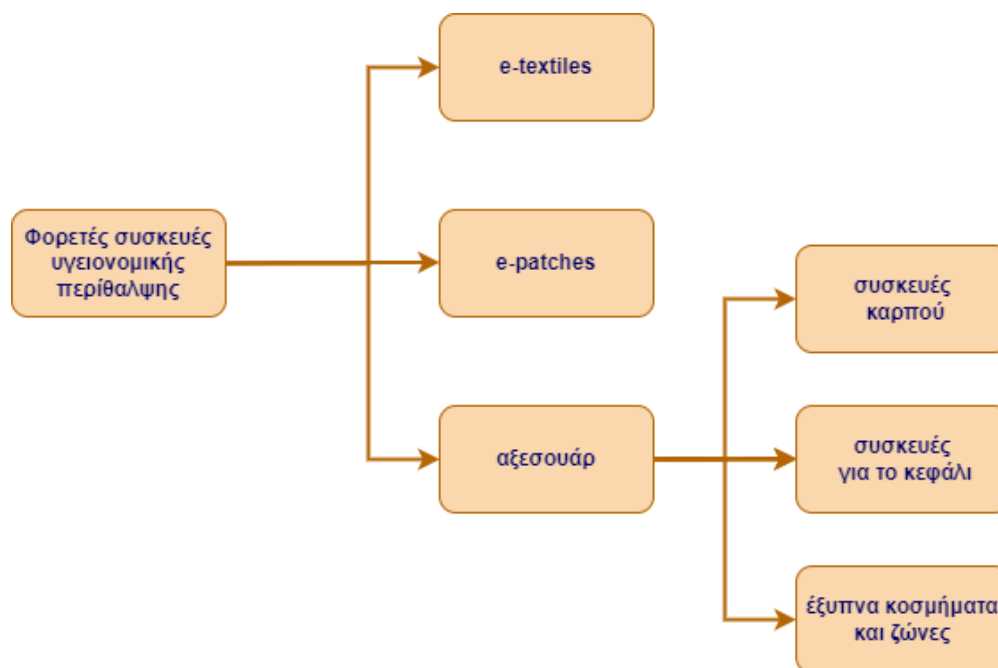
Το πεδίο έρευνας των φορετών συσκευών για την παρακολούθηση της υγειονομικής περίθαλψης είναι ένα πολύ ενδιαφέρον και πολλά υποσχόμενο θέμα, τόσο από ερευνητική, όσο και από βιομηχανική άποψη. Επιπλέον, η χρήση των φορετών συσκευών για την παρακολούθηση της υγειονομικής περίθαλψης γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής μεταξύ των χρηστών, καθώς μπορούν να τις χρησιμοποιούν για διάφορους σκοπούς, όπως η βελτίωση της ευεξίας τους, η μείωση του άγχους τους και η παρακολούθηση των ζωτικών ενδείξεών τους. Μια ταξινόμηση των φορετών συσκευών για την παρακολούθηση της υγειονομικής περίθαλψης παρουσιάζεται στην εργασία [235]. Όπως απεικονίζεται και στο Σχήμα 7.1, οι τρεις κύριες κατηγορίες είναι:

1. e-textiles,
2. e-patches,
3. αξεσουάρ

Επιπλέον, η τελευταία κατηγορία των αξεσουάρ θα μπορούσε να κατηγοριοποιηθεί περαιτέρω ως i) τις συσκευές καρπού, ii) τις συσκευές για το κεφάλι, και iii) τις άλλες συσκευές. Παρατηρείται ότι στην κατηγορία των e-textiles, οι φορετές συσκευές χρησιμοποιούν κυρίως έξυπνο ύφασμα για την παρακολούθηση της υγείας των χρηστών. Επιπλέον, έχουν προταθεί πολλές εφαρμογές, όπως η εργασία [123], η οποία διερευνά την ασφάλεια των πεζών με τη χρήση αδρανειακού αισθητήρα, ο οποίος τοποθετείται στο παπούτσι τους. Ενώ, οι συγγραφείς της εργασίας [173] πρότειναν ένα φορητό δίκτυο επιταχυνσιόμετρων για την αναγνώριση της μυϊκής ενεργοποίησης κατά τη διάρκεια άσκησης με υψηλή κίνηση.

Η κατηγορία των e-patches είναι η πιο πρόσφατη υποκατηγορία στις φορετές συσκευές παρακολούθησης υγειονομικής περίθαλψης. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τα patches αισθητήρων και τα e-tattoo/e-skin. Μια ερευνητική ομάδα [153] ανέπτυξε ένα έμπλαστρο για την παρακολούθηση της υγείας όλο το 24ωρο, 7 ημέρες την εβδομάδα. Το έμπλαστρο παρακολουθεί τα σήματα ηλεκτροκαρδιογραφήματος και ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος και τα μεταδίδει σε πραγματικό χρόνο, χωρίς να παρεμβαίνει στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων. Επιπλέον, ένα e-tattoo προτάθηκε στην εργασία [137], το οποίο είναι ένα σύστημα βιοανίχνευσης της αλκοόλης, για τη μη επεμβατική παρακολούθηση του αλκοόλ μέσω του ιδρώτα των ανθρώπων.

Η κατηγορία των αξεσουάρ χωρίζεται περαιτέρω σε τρεις υποκατηγορίες. Οι συσκευές που φοριούνται στον καρπό του χεριού, και περιλαμβάνει τα έξυπνα ρολόγια και τους μιάντες καρπού. Μια πληθώρα τέτοιων φορετών συσκευών, που παρακολουθούν τις δραστηριότητες των χρηστών και τις ζωτικές τους ενδείξεις, έχουν σχεδιαστεί και υλοποιηθεί τόσο από ερευνητικές ομάδες, όσο και από τη βιομηχανία. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτών των φορετών συσκευών παρουσιάζεται στην εργασία [99],



Σχήμα 7.2: Η ταξινόμηση των φορητών συσκευών παρακολούθησης της υγειονομικής περιθάλψης όπως προτείνεται από τους συγγραφείς της εργασίας [235].

στην οποία σχεδιάστηκε ένα έξυπνο ρολόι που παρακολουθεί την Καρδιοπνευμονική Αναζωογόνηση - ΚΑΡΠΑ. Στη δεύτερη υποκατηγορία των φορητών συσκευών που τοποθετούνται στο κεφάλι, τα πιο κοινά συστήματα είναι οι έξυπνες συσκευές για τα μάτια, όπως το γυαλιά της Google (Google Glasses) [96]. Επίσης, πολλές ερευνητικές ομάδες έχουν αναπτύξει επεκτάσεις και εφαρμογές για τα Google Glasses για λόγους υγειονομικής περιθάλψης, όπως οι συγγραφείς της εργασίας [251]. Σε αυτή την εργασία, έχει προταθεί ένα σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας σε πραγματικό χρόνο για άτομα που πάσχουν από αχρωματοψία. Ένας άλλος τύπος συσκευών που ανήκει σε αυτήν την υποκατηγορία είναι οι συσκευές ακουστικών. Μια τέτοια συσκευή αναπτύχθηκε στο άρθρο [184], η οποία ρυθμίζει τη φλεγμονή και θεραπεύει τη ρευματοειδή αρθρίτιδα παρέχοντας ηλεκτρικά πεδία στο εξωτερικό αυτί του πάσχοντα. Τέλος, παραδείγματα συσκευών που ανήκουν στην υποκατηγορία άλλων φορητών συσκευών είναι τα έξυπνα κοσμήματα και οι ζώνες. Το δαχτυλίδι της Oura [195], έχει αναπτυχθεί για την παρακολούθηση της κατάστασης της υγείας των χρηστών του. Ενώ, ένα προσαρμοσμένο μικρόφωνο που καταγράφει τους διαφορετικούς κραδασμούς του σώματος από την επιφάνεια του σώματος έχει προταθεί στην εργασία [211]. Αυτή η φορητή συσκευή καταγράφει και αναγνωρίζει τους ήχους του σώματος που δεν γίνονται αντιληπτοί από το ανθρώπινο αυτί, βοηθώντας έτσι σε διάφορες καταστάσεις υγείας, όπως η αναπνευστική φυσιολογία.

Είναι προφανές ότι όλες οι φορητές συσκευές συλλέγουν δεδομένα για να διευκο-

λύνουν τις υπηρεσίες που προσφέρουν. Ωστόσο, οι φορητές συσκευές παρακολούθησης της υγειονομικής περίθαλψης τείνουν να παρακολουθούν και να συλλέγουν δεδομένα που χαρακτηρίζονται συχνότερα ως ευαίσθητα και εμπιστευτικά. Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα δεδομένων που συλλέγονται από αυτό το είδος φορητών συσκευών είναι η τοποθεσία, η ποιότητα του αέρα του περιβάλλοντος, η δραστηριότητα, η κίνηση, ο ύπνος, η θερμοκρασία του σώματος, ο καρδιακός ρυθμός, η αρτηριακή πίεση, το οξύγονο του αίματος και η μέτρηση των γνωστικών λειτουργιών των χρηστών [59]. Ανάλογα με τον τύπο και το πλαίσιο κάθε εφαρμογής, η εμπιστευτικότητα ή/και η ακεραιότητα αυτών των δεδομένων μπορεί να είναι κρίσιμης σημασίας και, επομένως, η διαρροή ή/και η παραβίαση αυτών μπορεί να προκαλέσει μεγάλους και σοβαρούς κινδύνους. Αυτό είναι ένα τόσο μεγάλο ζήτημα όσο και πρόκληση για τους ερευνητές της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας.

## 7.2 Τα προβλήματα απορρήτου και ασφάλειας στις φορητές συσκευές

Η παγκόσμια έρευνα καταναλωτών η οποία διεξήχθη από τη Statista το 2021 υπολόγισε τον αριθμό των χρηστών φορητών συσκευών ανά χώρα. Η έρευνα ανέφερε ότι οι χρήστες φορητών συσκευών για το Ηνωμένο Βασίλειο, τις Ηνωμένες Πολιτείες, τη Σουηδία, την Κίνα και την Ινδία ήταν πάνω από 30% [268]. Μόνο στη Ρωσία, οι καταναλωτές αγόρασαν τέσσερα εκατομμύρια φορητές συσκευές τους πρώτους εννέα μήνες του 2021, ενώ οι ετήσιες πωλήσεις αυξήθηκαν κατά 400 χιλιάδες συσκευές μεταξύ των ετών 2019 και 2020 [270]. Επιπλέον, το 2020 η αγοραία αξία των φορητών ιατρικών συσκευών στη Λατινική Αμερική ήταν περίπου 665 εκατομμύρια δολάρια Αμερικής, ενώ το 2021, προβλέπεται να ανέλθει στα 777 εκατομμύρια δολάρια και προβλέπεται να εκτιναχθεί στα 1,4 δισεκατομμύρια δολάρια Αμερικής μέχρι το τέλος του 2025 [269].

Επιπλέον, παρατηρείται ότι τα δεδομένα αυτά, συλλέγονται και επεξεργάζονται όλο και περισσότερο για την παροχή φροντίδας και παρακολούθησης της υγείας [134]. Τα δεδομένα που σχετίζονται με την υγεία προσδιορίζονται ως προσωπικά και ευαίσθητα δεδομένα, καθώς είναι οι πιο εμπιστευτικές πληροφορίες μεταξύ όλων των τύπων προσωπικών δεδομένων [168]. Αυτού το είδους τα δεδομένα πρέπει να προστατεύονται, να διαβιβάζονται μόνο σε αξιόπιστα τρίτα μέρη (third parties) και να αποθηκεύονται με ασφάλεια [51]. Η διαδικασία συλλογής, μετάδοσης και αποθήκευσης των δεδομένων που σχετίζονται με την υγεία μπορεί να εγείρει πολλές ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο και την ασφάλεια, είτε λόγω της συμπεριφοράς των χρηστών, είτε λόγω των επιθέσεων και των παραβιάσεων των δεδομένων [175]. Επιπλέον, οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν αρκετές από τις φορητές συσκευές για να πραγματοποιήσουν πληρωμές, κάτι που εγείρει περισσότερες ανησυχίες για την ασφάλεια στα προαναφερθέντα. Εν

κατακλείδι, τα τρία βασικά ζητήματα σχετικά με την ασφάλεια και το απόρρητο στις φορητές συσκευές παρακολούθησης της υγείας είναι η συμπεριφορά και η αντίληψη των χρηστών τους, καθώς και η μεταφορά και η αποθήκευση των δεδομένων που διαχειρίζονται. Παρακάτω, ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των προαναφερθέντων θεμάτων όπως παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία [34, 59, 78].

### 7.2.1 Η συμπεριφορά του χρήστη

Η έρευνα [254], η οποία πραγματοποιήθηκε το 2020, έδειξε ότι οι άνθρωποι που βρίσκονται στην τέταρτη δεκαετία - ή και περισσότερο - της ζωής τους έχουν λιγότερη κατανόηση σχετικά με το τι είναι τα ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα και τη σημασία της ασφάλειας αυτών. Ένα άλλο ενδιαφέρον εύρημα της εν λόγω έρευνας, ήταν ότι πολλοί χρήστες επιλέγουν να μην χρησιμοποιήσουν καμία μέθοδο ελέγχου ταυτότητας για την ασφάλεια των συσκευών τους και η πλειονότητα αυτών πίστευαν ότι δεν είχαν αποθηκευμένες ευαίσθητες πληροφορίες στις συσκευές τους. Οι χρήστες είναι εξέχοντες παράγοντες στη διαδικασία προστασίας των πληροφοριών τους σχετικά με τον τρόπο που χρησιμοποιούν και προστατεύουν τις συσκευές τους.

Επιπλέον, αρκετές μελέτες αποκάλυψαν ότι οι χρήστες δεν είναι σε θέση να προστατεύσουν τις συσκευές τους λόγω έλλειψης γνώσης ή κατανόησης για το πώς να το επιτύχουν αυτό [56, 60, 254, 272]. Το γεγονός αυτό, αυξάνει την ανάγκη για εκστρατείες ευαισθητοποίησης και εκπαίδευσης ειδικά για χρήστες ηλικίας 50+, σχετικά με τη σημασία της ασφάλειας των συσκευών τους και της προστασίας των ευαίσθητων δεδομένων τους. Το 2018, διεξήχθη από τη Statista μια έρευνα σχετικά με την προθυμία κοινοποίησης των πληροφοριών που συλλέγουν οι φορητές συσκευές παρακολούθησης της υγείας μεταξύ πολιτών των ΗΠΑ, ηλικίας 18+ ετών. Τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι το 90% των ερωτηθέντων θα μοιράζονταν τις πληροφορίες με τον περιθάλποντα ιατρό τους, ένα ποσοστό της τάξης του 76% απάντησε ότι θα μοιράζονταν δεδομένα με έναν φίλο ή κάποιο μέλος της οικογένειας, ενώ σχεδόν το 47% θα μοιραζόταν ευαίσθητα δεδομένα με άλλες κοινότητες ή άλλους χρήστες εφαρμογών [237]. Μια άλλη έρευνα [34], αποκάλυψε ότι οι χρήστες έχουν κακή αντίληψη του κινδύνου και των απειλών, ενώ δεν μπορούν να κατανοήσουν έννοιες όπως η ασφάλεια και το απόρρητο. Οι χρήστες τείνουν να εμπιστεύονται κάθε κατασκευαστή εφαρμογών και φορητών συσκευών για τα ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα τους. Η έρευνα ολοκληρώνεται με την εικασία ότι οι χρήστες θα μπορούσαν ενδεχομένως να είναι ο πιο αδύναμος κρίκος σε ό,τι αφορά την ασφάλεια.

Τέλος, η μελέτη [59], πραγματοποιήθηκε συνολικά σε 106 χρήστες, οι οποίοι είχαν στην κατοχή τους τουλάχιστον μία φορητή συσκευή παρακολούθησης της υγείας τους. Η συγκεκριμένη μελέτη έδειξε ότι οι μισοί από τους ερωτηθέντες δεν γνώριζαν την ανάγκη προστασίας των πληροφοριών που σχετίζονται με την υγεία τους. Τέλος, οι

ερωτηθέντες είχαν ένα κενό στη γνώση σχετικά με τις ανησυχίες περί απορρήτου, οι οποίες σχετίζονται με τα δεδομένα που αποκτώνται από τις φορητές συσκευές τους.

### 7.2.2 Η μεταφορά των δεδομένων

Οι περισσότερες φορητές συσκευές, οι οποίες σχετίζονται με την υγεία συλλέγουν δεδομένα και τα στέλνουν στο cloud για επεξεργασία. Ο λόγος πίσω από την ανάγκη μεταφοράς των δεδομένων στο cloud οφείλεται στη φύση της διαδικασίας που πρέπει να περάσουν τα δεδομένα. Η υψηλή πολυπλοκότητα των αλγορίθμων βαθιάς μάθησης και των μοντέλων μηχανικής μάθησης απαιτεί περισσότερη ισχύ και υπολογιστικούς πόρους από αυτούς που μπορεί να παρέχει μία μικρή φορητή συσκευή. Επιπλέον, οι περισσότερες φορητές συσκευές συλλέγουν δεδομένα τα οποία σχετίζονται με την υγεία, όπως οι καρδιακοί παλμοί, η θερμοκρασία του σώματος, ο κορεσμός του οξυγόνου, η αρτηριακή πίεση, κ.ά., κάθε λίγα λεπτά, ακόμη και κατά τη διάρκεια του ύπνου του χρήστη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται ένας τεράστιο όγκος δεδομένων που είναι αδύνατος να αποθηκευτεί σε μία μόνο συσκευή. Οι φορητές συσκευές έχουν διαμορφωθεί με σκοπό τη σύνδεσή τους με άλλες έξυπνες συσκευές μέσω των πρωτοκόλλων επικοινωνίας Bluetooth και Wi-Fi. Τα δεδομένα τα οποία μεταδίδονται τις περισσότερες φορές δεν είναι κρυπτογραφημένα και οι υπό εξέταση συσκευές έχουν ανεπαρκείς ή και καθόλου μηχανισμούς ασφαλείας. Επιπλέον, όταν ένας χρήστης συνδέει τις ιδιωτικές του συσκευές σε μη οικιακά ή δημόσια δίκτυα, μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα επικίνδυνο. Οι φορητές συσκευές μπορούν να λειτουργήσουν ως κόμβος εκκίνησης, γεγονός το οποίο μπορεί να ανοίξει μια κερκόπορτα στο δίκτυο, εξαιτίας των τρωτών σημείων της συσκευής στην υποκλοπή δεδομένων. Οι φορητές συσκευές είναι πάντοτε συνδεδεμένα σε ένα δίκτυο - intranet, internet ή mesh - με άλλες έξυπνες συσκευές. Λόγω των περιορισμένων πόρων, της υπολογιστικής ισχύος και της απαίτησης ελαχιστοποίησης του κόστους, οι φορητές συσκευές δεν αναπτύσσονται με γνώμονα την ασφάλεια. Οι κακόβουλοι εισβολείς (hackers) προσπαθούν να βρουν το πιο αδύναμο και πιο ευάλωτο σημείο των συσκευών, προκειμένου να αποκτήσουν πρόσβαση ή ακόμα και να αλλάξουν τα δεδομένα και να διαχειριστούν την επικοινωνία των συσκευών [240]. Επιπλέον, παρά τα κύρια πλεονεκτήματα του Bluetooth, αυτή η τεχνολογία ενέχει πολλές απειλές και τρωτά σημεία σε επιθέσεις, όπως είναι τα Denial of Service - DoS, Man-in-the-Middle - MITM και επιθέσεις υποκλοπής ή επιθέσεις που αφορούν ειδικά το Bluetooth, όπως είναι το bluesnarfing [236].

### 7.2.3 Η αποθήκευση των δεδομένων

Το τρίτο βήμα στη διαδικασία των δεδομένων, μετά τη λήψη και τη μεταφορά τους, είναι η αποθήκευσή τους στο cloud. Από τη στιγμή που τα δεδομένα αποθηκεύονται

στο cloud, ο χρήστης δεν έχει σαφή εικόνα του τρόπου χειρισμού και χρήσης αυτών των δεδομένων. Επιπλέον, αυτά τα δεδομένα μπορεί πλέον να ανήκουν στην εταιρεία που διατηρεί τον διακομιστή και όχι στον πραγματικό κάτοχο τους, δηλαδή τον χρήστη, δίνοντάς τους έτσι την ευκαιρία να χρησιμοποιήσουν τα δεδομένα με τρόπους που αποκαλύπτουν στους όρους συμφωνίας με τον χρήστη [206]. Δύο από τα πιο κοινά ζητήματα σχετικά με την αποθήκευση των δεδομένων στο cloud είναι οι επιθέσεις DoS, οι οποίες θα μπορούσαν να εμποδίσουν τη διαθεσιμότητα των δεδομένων και οι παραβιάσεις των δεδομένων που οδηγούν σε έκθεση των ευαίσθητων πληροφοριών.

Σύμφωνα με μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε από το WebsitePlanet και τον ανεξάρτητο εμπειρογνώμονα στον κυβερνοχώρο Jeremiah Fowler, περισσότερα από 61 εκατομμύρια αρχεία παρακολούθησης φυσικής κατάστασης από τις εταιρείες Apple και Fitbit διέρρευσαν σε παραβίαση των δεδομένων. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η διαρροή των δεδομένων προήλθε από την GetHealth, μια νεοφυή επιχείρηση για την υγεία και την ευεξία, η οποία επιτρέπει στους πελάτες της να ενοποιούν τα δεδομένα τους από τις φορητές συσκευές, τις ιατρικές συσκευές και εφαρμογές τους. Τα δεδομένα που αποκαλύφθηκαν ανήκαν σε χρήστες φορητών συσκευών που διανέμονταν σε όλο τον κόσμο και περιλάμβαναν πληροφορίες όπως το όνομα, η ημερομηνία γέννησης, το βάρος, το ύψος, το φύλο και η γεωγραφική τους θέση. Δεν υπήρχε κωδικός πρόσβασης ή οποιοδήποτε κρυπτογραφικό μέσο για την προστασία της βάσης δεδομένων, ενώ το περιεχόμενο της βάσης ήταν σε απλό κείμενο και εύκολα αναγνωρίσιμο. Το Fitbit αναφέρθηκε σε περισσότερες από 2.700 ηχογραφήσεις, ενώ το Healthkit της Apple αναφέρθηκε περισσότερες από 17.000 φορές. Επιπλέον, οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι τα αρχεία περιλάμβαναν πληροφορίες για τη θέση των δεδομένων στο μέσο αποθήκευσης, καθώς και ένα προσχέδιο των λειτουργιών του δικτύου, καθιστώντας το έναν εξαιρετικά απλό στόχο για τους εισβολείς [2].

### 7.3 Απειλές και επιθέσεις

Στην παρούσα ενότητα, παρέχεται μια ταξινόμηση των πιο κοινών απειλών και επιθέσεων ασφαλείας στις φορητές συσκευές. Κάθε απειλή κατηγοριοποιείται σε τρία διαφορετικά επίπεδα, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, σχετικά με τον χρήστη, τη μεταφορά των δεδομένων και την αποθήκευση των δεδομένων. Επιπλέον, αναφέρεται ο αντίκτυπος, η πιθανότητα για την επίθεση και οι συνέπειές της στην τριάδα των ιδιοτήτων Εμπιστευτικότητας-Ακεραιότητας-Διαθεσιμότητας - ΕΑΔ (Confidentiality-Integrity-Availability - CIA). Η εμπιστευτικότητα σχετίζεται με την απαγόρευση της πρόσβασης σε πληροφορίες για μη εξουσιοδοτημένους χρήστες. Η ακεραιότητα διασφαλίζει ότι οι πληροφορίες είναι σωστές και αμετάβλητες. Ενώ, η διαθεσιμότητα εγγυάται ότι οι πληροφορίες ή/και η υπηρεσία είναι συνεχώς διαθέσιμες.



- *Φορετές συσκευές*: Η πρώτη απειλή έχει να κάνει με την ίδια τη συσκευή και ανήκει στο πρώτο επίπεδο, δηλαδή αυτό του χρήστη. Ο χρήστης μπορεί να χάσει τη συσκευή του ή ένας κακόβουλος χρήστης θα μπορούσε να την κλέψει. Αυτή η απειλή έχει από χαμηλό, έως υψηλό αντίκτυπο, ανάλογα με τον χρήστη. Ενώ, είναι εύκολο και πολύ πιθανό να συμβεί και μπορεί να επηρεάσει την εμπιστευτικότητα και την ακεραιότητα.
- *Κοινωνική Μηχανική*: Κι αυτή η απειλή ανήκει στο πρώτο επίπεδο των δεδομένων και περιλαμβάνει εισβολείς που προσπαθούν να κερδίσουν την εμπιστοσύνη των χρηστών για να λάβουν τις απαραίτητες πληροφορίες. Συνοπτικά, η κοινωνική μηχανική είναι η ικανότητα να πείθεις άλλους χρήστες να αποκαλύψουν τις ευαίσθητες πληροφορίες τους. Οι hackers μπορεί να λάβουν πληροφορίες κάνοντας πλαστοπροσωπία άλλα άτομα μέσω του email, της συνομιλίας ή ακόμα και αυτοπροσώπως. Ο αντίκτυπος αυτής της απειλής είναι μέτριος και θα μπορούσε να εμποδίσει την εμπιστευτικότητα και την ακεραιότητα [232].
- *Brute Force Attack*: Αυτός ο τύπος επίθεσης συμβαίνει συχνά ως επόμενο βήμα προηγούμενων επιθέσεων. Οι hackers πρέπει να έχουν φυσική πρόσβαση στη συσκευή και πιθανώς κάποιες πληροφορίες για τον χρήστη της. Αυτό που ακολουθεί, είναι πολλές προσπάθειες που βασίζονται σε δοκιμές και σφάλματα για να αποκτήσει πρόσβαση στην επιτιθέμενη συσκευή. Οι hackers μπορούν να χρησιμοποιήσουν μια αυτοματοποιημένη διαδικασία με κακόβουλο λογισμικό ή να εισάγουν με το χέρι τυχαίες ακολουθίες χαρακτήρων. Αυτός ο τύπος επίθεσης μπορεί να συμβεί είτε για πρόσβαση στη φορητή συσκευή, είτε για πρόσβαση στην υποδομή αποθήκευσης των δεδομένων. Η πιθανότητα για μια επιτυχημένη επίθεση μπορεί να αναγνωριστεί ως μέτρια και η επίπτωση της ζημιάς είναι υψηλή. Αυτός ο τύπος επίθεσης μπορεί να εμποδίσει και τις τρεις πτυχές της ασφάλειας των πληροφοριών. Ένας παρόμοιος τύπος επίθεσης είναι οι επιθέσεις λεξικού, όπου ο εισβολέας χρησιμοποιεί μια λίστα με τους πιο συνηθισμένους κωδικούς πρόσβασης [35, 61, 64].
- *Κακόβουλο λογισμικό/Ransomware*: Κακόβουλο λογισμικό μπορεί να εγκατασταθεί στη φορητή συσκευή και να αποκτήσει πρόσβαση ή να τροποποιήσει τις ευαίσθητες προσωπικές πληροφορίες. Αυτός ο τύπος απειλής έχει μέτριο αντίκτυπο, δεν είναι και τόσο συνηθισμένος και θα μπορούσε να εμποδίσει την εμπιστευτικότητα και την ακεραιότητα [26]. Μια άλλη παρόμοια επίθεση είναι το ransomware, στο οποίο ο εισβολέας χρησιμοποιεί λογισμικό για να κρυπτογραφήσει τις ευαίσθητες πληροφορίες του χρήστη και ζητά ανταλλάγματα για να δώσει το κλειδί αποκρυπτογράφησης. Είναι ένας κοινός τύπος επίθεσης, με υψηλό αντίκτυπο που επηρεάζει και τους τρεις πυλώνες της ασφάλειας των πληροφοριών

[92].

- *Denial of Service*: Με αυτόν τον τύπο επίθεσης, οι hackers προσπαθούν να σταματήσουν έναν υπολογιστή ή ένα δίκτυο, καθιστώντας το απρόσιτο στους εξουσιοδοτημένους χρήστες του. Οι επιθέσεις DoS το επιτυγχάνουν αυτό, πλημμυρίζοντας το στόχο με κίνηση ή παρέχοντας πληροφορίες που προκαλούν τη συντριβή του στόχου. Σε όλες τις περιπτώσεις, η επίθεση DoS αρνείται την πρόσβαση των γνήσιων χρηστών στην υπηρεσία ή το σύστημα. Οι επιθέσεις DoS μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τις υπηρεσίες πλημμύρας (flooding) και τις υπηρεσίες crashing. Οι επιθέσεις πλημμύρας συμβαίνουν όταν το σύστημα δέχεται υπερβολικό όγκο κίνησης, με αποτέλεσμα ο διακομιστής να μην μπορεί να αποθηκεύσει, και τελικά να επιβραδύνει και να σταματά τη λειτουργία του. Οι πιο δημοφιλείς πλημμυρικές επιθέσεις είναι:

1. Η υπερχειλίση του buffer (buffer overflow) είναι η πιο κοινή επίθεση DoS. Ο στόχος είναι να στείλει περισσότερη επισκεψιμότητα σε μια διεύθυνση δικτύου απ' ό,τι σκόπευαν οι προγραμματιστές του συστήματος. Η υπερχειλίση του buffer περιλαμβάνει ακόμη δύο τύπους επιθέσεων, το Internet Control Message Protocol - ICMP και το synchronization flood. Το ICMP flood εκμεταλλεύεται τυχόν εσφαλμένη διαμόρφωση η οποία μπορεί να εμφανιστεί στις συσκευές του δικτύου, παραδίδοντας έτσι πακέτα σε κάθε συσκευή στο στοχευμένο δίκτυο, και όχι μόνο σε μία. Το synchronization flood εκκινεί ένα αίτημα για σύνδεση με τον διακομιστή, αλλά δεν το ολοκληρώνει ποτέ. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου όλες οι ανοιχτές θύρες πλημμυρίσουν από τα αιτήματα και καμία δεν είναι προσβάσιμη στους πραγματικούς χρήστες.
2. Οι επιθέσεις DoS αποτελούν τη δεύτερη κατηγορία, δηλαδή τον τύπο συντριβής, όπου οι επιθέσεις απλώς εκμεταλλεύονται τα ελαττώματα στο σύστημα ή στην υπηρεσία-στόχο, και προκαλούν τη συντριβή τους. Αυτές οι επιθέσεις στέλνουν τα δεδομένα που εκμεταλλεύονται από τα ελαττώματα του συστήματος-στόχου, αποσταθεροποιώντας το σοβαρά, σε σημείο που δεν είναι δυνατή η πρόσβαση ή η χρήση του.
3. Η Distributed Denial of Service - DDoS είναι μια άλλη κατηγορία επιθέσεων DoS. Μία DDoS επίθεση συμβαίνει όταν πολλά συστήματα συντονίζουν μια επίθεση DoS σε έναν μόνο στόχο. Η ειδοποιός διαφορά είναι ότι ο στόχος δέχεται επίθεση ταυτόχρονα από πολλές τοποθεσίες αντί να στοχοποιείται από μία μόνο τοποθεσία.

Γενικά, οι επιθέσεις DoS είναι ευρέως κοινές και είναι ένας εύκολος τρόπος να διαταραχθούν οι υπηρεσίες λόγω αυτοματοποιημένου λογισμικού, ενώ μπορεί να

έχουν μεγάλο αντίκτυπο στην αποθήκευση των δεδομένων, εμποδίζοντας τη διαθεσιμότητά τους [22, 57, 103, 271].

- *Rogue access point*: Η Rogue access point είναι μια απειλή που αναπτύσσεται σε ένα δίκτυο, χωρίς τη συγκατάθεση του κατόχου του δικτύου. Ο εισβολέας που ελέγχει το σημείο πρόσβασης μπορεί να υποκλέψει προσωπικές και ευαίσθητες πληροφορίες που μεταφέρονται μέσω του δικτύου. Υπάρχουν δύο κατηγορίες υποκλοπών, η ενεργητική και η παθητική. Στην ενεργή παρακολούθηση, ο εισβολέας μπορεί να λάβει τα δεδομένα του χρήστη, να τα τροποποιήσει και στη συνέχεια να παραδώσει τα ενημερωμένα πλέον δεδομένα του χρήστη στο τελικό σημείο στόχο. Στην παθητική υποκλοπή, ο hacker μπορεί να διαβάσει τις ιδιωτικές πληροφορίες του χρήστη, αλλά δεν υπάρχει δυνατός τρόπος να αλλάξει τις πληροφορίες για άλλες κακόβουλες χρήσεις. Αυτή η απειλή εμφανίζεται στο δεύτερο βήμα της διαδικασίας των δεδομένων, δηλαδή στη μεταφορά των δεδομένων, δεν είναι μια κοινή απειλή και ο αντίκτυπός της είναι υψηλός, επηρεάζοντας την ακεραιότητα και την εμπιστευτικότητα [88, 212, 233].
- *Man in the middle*: Η επίθεση MITM είναι ένα είδος επίθεσης κατά την οποία ο εισβολέας μεταδίδει διακριτικά, και ίσως τροποποιεί, μηνύματα μεταξύ δύο χρηστών που έχουν την εντύπωση ότι επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους. Ένας τύπος επίθεσης MITM είναι η παράνομη υποκλοπή ιδιωτικής επικοινωνίας μεταξύ δύο μερών σε πραγματικό χρόνο. Ένας άλλος τύπος επίθεσης MITM είναι η επίθεση επανάληψης, όπου ο εισβολέας παρεμποδίζει την επικοινωνία μεταξύ των χρηστών και στη συνέχεια καθυστερεί ή στέλνει ξανά τα μηνύματα. Αυτές οι επιθέσεις συμβαίνουν κατά τη μεταφορά των δεδομένων, είναι εύκολο να εκτελεστούν, με υψηλό αντίκτυπο στην εμπιστευτικότητα και την ακεραιότητα [39, 101, 170, 235].
- *SQL injection*: Οι εισβολείς εισάγουν εντολές σε SQL στα πεδία εισαγωγής για να αποκτήσουν πρόσβαση σε ιδιωτικές πληροφορίες, να τις τροποποιήσουν ή ακόμα και να τις διαγράψουν. Μια επίθεση SQL injection θα μπορούσε να καταστρέψει μια βάση δεδομένων ή ακόμα κι ένα σύστημα. Είναι μια κοινή επίθεση, εύκολα επιτεύξιμη, αφού ο hacker χρειάζεται μόνο να πληκτρολογήσει εντολές σε SQL, με υψηλό αντίκτυπο και επηρεάζοντας και τους τρεις πυλώνες πληροφοριών ασφαλείας [54, 288].

Στον Πίνακα 7.1 απεικονίζεται μια ταξινόμηση των απειλών/επιθέσεων και στα τρία επίπεδα του χρήστη, στη μεταφορά των δεδομένων και στην αποθήκευση των δεδομένων στις φορητές συσκευές. Το επίπεδο του χρήστη χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, αυτό του χρήστη και της συσκευής, καθώς υπάρχουν κάποιες διαφορές στις επιθέσεις

μεταξύ τους. Επίσης, οι ιδιότητες του τρίπτυχου ΕΑΔ που επηρεάζονται επισημαίνονται για κάθε είδος απειλής/επίθεσης. Επιπλέον, επισημαίνεται ο αντίκτυπος κάθε απειλής/επίθεσης, σε κλίμακα 3 βαθμών (χαμηλός, μέτριος, υψηλός), καθώς και η δυσκολία κάθε απειλής/επίθεσης, σε κλίμακα 3 βαθμών (εύκολη, μεσαία, δύσκολη).

Πίνακας 7.1: Ταξινόμηση των απειλών και των επιθέσεων στις φορητές συσκευές.

Απειλή/Επίθεση	Χρήστης	Συσκευή	Μεταφορά δεδομένων	Αποθήκευση δεδομένων	Αντίκτυπος	Δυσκολία	Εμπιστευτικότητα	Ακεραιότητα	Διαθεσιμότητα
<b>Κλοπή/Απώλεια</b>	●	○	○	○	Μέτριος	Εύκολη	●	●	○
<b>Κοινωνική Μηχανική</b>	●	○	○	○	Μέτριος	Μεσαία	●	●	○
<b>Brute Force Attack</b>	○	●	○	●	Υψηλός	Μεσαία	●	●	●
<b>Guessing</b>	○	●	○	●	Υψηλός	Δύσκολη	●	●	●
<b>Dictionary</b>	○	●	○	●	Υψηλός	Εύκολη	●	●	●
<b>Κακόβουλο λογισμικό</b>	○	●	○	●	Μέτριος	Μεσαία	●	●	●
<b>Ransomware</b>	○	●	○	●	Υψηλός	Μεσαία	●	●	●
<b>DoS</b>	○	○	●	○	Υψηλός	Εύκολη	○	○	●
<b>Rogue access point</b>	○	○	●	○	Υψηλός	Δύσκολη	●	●	○
<b>MITM</b>	○	○	●	○	Υψηλός	Εύκολη	●	●	○
<b>Replay</b>	○	○	●	○	Υψηλός	Εύκολη	●	●	○
<b>Eavesdropping</b>	○	○	●	○	Υψηλός	Εύκολη	●	●	○
<b>SQL injection</b>	○	○	○	●	Υψηλός	Εύκολη	●	●	●

## 7.4 Ανασκόπηση σχετικών εργασιών

Στην παρούσα ενότητα παρέχεται μια σύντομη ανασκόπηση των εργασιών που έχουν ολοκληρωθεί προηγουμένως, σχετικά με τα ζητήματα ασφάλειας και απορρήτου στις φορητές συσκευές. Επιπλέον, να σημειωθεί πως οι εργασίες οι οποίες αναφέρονται κι έχουν διερευνηθεί είναι με χρονολογική σειρά, ώστε να φανεί η ερευνητική πρόοδος στο συγκεκριμένο ζήτημα.

Μια σύντομη ανασκόπηση των θεμάτων ασφάλειας και απορρήτου τόσο στα ηλεκτρονικά αρχεία υγειονομικής περίθαλψης, όσο και στις φορητές συσκευές παρακολούθησης της υγειονομικής περίθαλψης διερευνάται στο άρθρο [169]. Παρ' όλο που οι

τεχνολογίες αυτές παρέχουν πολλαπλά οφέλη για την παροχή υγειονομικής περίθαλψης σε όλους τους εμπλεκόμενους, όπως είναι οι ασθενείς, οι περιθάλποντες ιατροί και τα οικεία άτομα, ορισμένα ζητήματα απορρήτου και ασφάλειας, όπως η αποθήκευση των δεδομένων, η μεταφορά των δεδομένων και τα δικαιώματα ανάλυσης των δεδομένων, εγείρουν ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο και την ασφάλεια και εξετάζονται σε αυτή την εργασία.

Οι συγγραφείς της εργασίας [225], πρότειναν ένα framework απορρήτου και ασφάλειας για τις φορητές συσκευές στην υγειονομική περίθαλψη. Το framework το οποίο αναπτύχθηκε, έχει τη δυνατότητα να ενσωματωθεί σε κάθε λειτουργικό σύστημα για φορητές συσκευές, ενώ παράλληλα περιλαμβάνει και δέκα αρχές για την προστασία του απορρήτου των χρηστών των φορητών συσκευών.

Από μια άλλη οπτική, στην εργασία [264] εξετάστηκαν οι διάφορες ανησυχίες για την ασφάλεια στις φορητές συσκευές, και πρότειναν μια νέα αρχιτεκτονική ασφαλείας πολλαπλών επιπέδων γι' αυτό το είδος συσκευών. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική στοχεύει να αποτρέψει τους εχθρούς της ασφάλειας του συστήματος από το να «σπάσουν» την ασφάλεια σε όλα τα επίπεδα του συστήματος. Επίσης, μια ανάλυση της ασφαλείας των φορητών συσκευών παρουσιάζεται στην εργασία [57]. Έπειτα από μια σύντομη ανασκόπηση των επιθέσεων ασφαλείας και απορρήτου στις φορητές συσκευές, οι συγγραφείς αξιολόγησαν επίσης τρεις συσκευές, για να κατανοήσουν τα τρωτά σημεία ασφαλείας και απορρήτου τους. Ενώ, οι συγγραφείς της εργασίας [33], διεξήγαγαν μια έρευνα σχετικά με την έλλειψη κατανόησης των χρηστών σχετικά με την ασφάλεια και το απόρρητο των φορητών συσκευών παρακολούθησης της υγειονομικής περίθαλψης που χρησιμοποιούν. Οι απαντήσεις των ερωτηθέντων έδειξαν κακή κατανόηση των απειλών σχετικά με τα καταγεγραμμένα δεδομένα της υγείας τους. Επιπλέον, οι συγγραφείς παρουσιάζουν μια μέθοδο για το μετριασμό των αποτελεσμάτων των απειλών της ασφάλειας και του απορρήτου των χρηστών, μέσω της εκπαίδευσής τους σχετικά με το ζήτημα αυτό.

Επιπλέον, στην εργασία [235], αναλύθηκαν οι απειλές για την ασφάλεια της επικοινωνίας των φορητών συσκευών. Επίσης, ταξινομήθηκαν αυτές οι απειλές, σχετικά την ασφάλεια του δικτύου, σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την εμπιστευτικότητα, την ακεραιότητα και τη διαθεσιμότητα. Ενώ, παρουσιάστηκαν κι ορισμένες προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση αυτών των απειλών.

Οι συγγραφείς της εργασίας [175], υπογραμμίζουν τη σημασία της ανάπτυξης ενός πλαισίου για την αποτελεσματική ιδιωτικότητα, την ισότητα και την προστασία των χρηστών φορητών συσκευών ευεξίας ή/και υγειονομικής περίθαλψης. Αυτό είναι αποτέλεσμα το οποίο επήλθε καθώς όλο και περισσότεροι άνθρωποι που ζουν στις Ηνωμένες Πολιτείες χρησιμοποιούν φορητές συσκευές παρακολούθησης της υγείας τους. Αυτό το ζήτημα εγείρει ένα από τα πιο προκλητικά προβλήματα της δημόσιας υγείας,

το οποίο αποτελεί κι ένα σοβαρό πρόβλημα του ιδιωτικού απορρήτου. Επίσης, οι συγγραφείς της εργασίας [234], διεξήγαγαν μια ηθική έρευνα σχετικά με τη χρήση των φορητών συσκευών υγειονομικής περίθαλψης. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι οι χρήστες ανησυχούν για τα δεδομένα τους και τη χρήση αυτών από τρίτους. Ενώ, στόχος αυτής της εργασίας ήταν να προταθεί ένα νέο ηθικό πλαίσιο, το οποίο να λαμβάνει υπόψη του το απόρρητο των χρηστών.

Τέλος, μια συζήτηση σχετικά με τα διάφορα προβλήματα απορρήτου και ασφάλειας από τη χρήση των φορητών συσκευών παρουσιάζεται στην εργασία [14]. Επιπλέον, αυτή η εργασία πρότεινε τόσο την υιοθέτηση διαφορετικών πολιτικών από τις εταιρείες, σχετικά με τα ζητήματα απορρήτου των καταναλωτών τους, όσο και την αφύπνιση των χρηστών, σχετικά με την κακή χρήση των φορητών συσκευών και τη διαρροή των προσωπικών και ευαίσθητων δεδομένων τους.

## 7.5 Τεχνολογικά αναδυόμενες προσεγγίσεις

Το μοντέλο σύμφωνα με το οποίο οι πάροχοι υπηρεσιών παρακολούθησης της υγείας προσφέρουν τις υπηρεσίες τους, συνήθως απαιτεί από τις φορητές συσκευές να συλλέγουν διαρκώς δεδομένα σχετικά με την υγεία ή/και την ευεξία του χρήστη και να τα μεταδίδουν αυτά στην πλευρά των παρόχων, με σκοπό να τα επεξεργαστούν για την παρακολούθηση, την πρόγνωση και την πρόληψη της υγείας των χρηστών. Σε ό,τι αφορά την πρόγνωση, είναι σύνηθες οι πάροχοι υπηρεσιών να χρησιμοποιούν διάφορα μοντέλα μηχανικής μάθησης, τα οποία μπορεί να είναι είτε ειδικά για τον χρήστη, είτε γενικά, στα οποία τροφοδοτούνται τέτοιου είδους δεδομένα. Παρ' όλο που τα δεδομένα τα οποία σχετίζονται με την υγεία θεωρούνται πολύ ευαίσθητα, το προαναφερθέν μοντέλο επεξεργασίας θέτει ως προϋπόθεση τη μετάδοση τέτοιων δεδομένων στον πάροχο υπηρεσιών και την επεξεργασία αυτών - ενδεχομένως μετά την ενσωμάτωση με δεδομένα άλλων - προκειμένου να παραχθούν μοντέλα που θα επιτρέπουν τη λήψη αποφάσεων από την πλευρά του χρήστη.

Είναι προφανές ότι η συνεχώς αυξημένη ροή πληροφοριών από τις φορητές συσκευές στους παρόχους υπηρεσιών, και αντίστροφα, αυξάνει ολοένα τον κίνδυνο διαρροής των ευαίσθητων δεδομένων, είτε μέσω των περιπτώσεων άμεσης παραβίασης των δεδομένων, είτε ακόμη και μέσω των περιπτώσεων συμπερασμάτων των προσωπικών δεδομένων από εκπαιδευμένα μοντέλα [200, 284]. Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζεται μια ανάλυση των εναλλακτικών προσεγγίσεων, οι οποίες επιτρέπουν την εκπαίδευση των μοντέλων με μεγαλύτερη επίγνωση στον σεβασμό της ιδιωτικής ζωής των χρηστών. Οι αναδυόμενες προσεγγίσεις του Federated Learning - FL, της Ομομορφικής Κρυπτογράφησης - OK (Homomorphic Encryption - HE) και του Tiny Machine Learning - TinyML έχουν χρησιμοποιηθεί για την ελαχιστοποίηση των προβλημάτων του α-

πορρήτου των δεδομένων στα δύο τελευταία βήματα της διαδικασίας των δεδομένων στις φορητές συσκευές, δηλαδή στη μεταφορά και την αποθήκευση των δεδομένων. Μια σύντομη περιγραφή αυτών των αναδυόμενων προσεγγίσεων και αρκετές εφαρμογές τους στον τομέα της παρακολούθησης της υγειονομικής περίθαλψης αναλύονται στο υπόλοιπο μέρος της παρούσας ενότητας.

### 7.5.1 Federated Learning

Το FL είναι μια αναδυόμενη τεχνολογία με μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον, ειδικά στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης [45, 82, 83, 117, 144, 150, 152, 219, 238, 277]. Με το FL, οι συμμετέχοντες μπορούν να εκπαιδεύουν μοντέλα μηχανικής μάθησης συλλογικά, ανταλλάσσοντας μόνο τις παραμέτρους των εκπαιδευμένων μοντέλων, αντί να ανταλλάσσουν τις ευαίσθητες πληροφορίες για κάθε συμμετέχοντα. Η συγκεκριμένη προσέγγιση, επιτρέπει την εκπαίδευση εξατομικευμένων μοντέλων για κάθε συμμετέχοντα, μέσω μιας ασφαλούς ροής εργασιών. Το FL μπορεί επίσης να συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση των δεδομένων και των παραγόμενων μοντέλων. Επιπλέον, μειώνει τις απαιτήσεις για το εύρος της ζώνης του δικτύου, καθώς μόνο οι παράμετροι που απαιτούνται για τη συγκέντρωση πρέπει να μεταδίδονται στον διακομιστή. Η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να ταξινομηθεί σε τρεις κύριες κατηγορίες, το horizontal FL, το vertical FL και το federated transfer learning. Στην πρώτη κατηγορία, οι συμμετέχοντες μοιράζονται τις διαφορετικές εγγραφές ενός συνόλου δεδομένων. Στη δεύτερη κατηγορία, οι συμμετέχοντες μοιράζονται τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των ίδιων δειγμάτων. Ενώ στην τρίτη και τελευταία κατηγορία, οι συμμετέχοντες επιχειρούν να μεταφέρουν τα εκπαιδευμένα μοντέλα μεταξύ εντελώς ετερογενών συνόλων δεδομένων. Τέλος, το FL μπορεί να προστατεύσει από γνωστές επιθέσεις τόσο του δικτύου, όσο και των συσκευών, ενώ παράλληλα προσφέρει βελτιώσεις που διασφαλίζουν ότι κανένας συνδεδεμένος παράγοντας δεν είναι κακόβουλος [106, 112, 148, 278, 281].

Στην εργασία [112], μια ομάδα ερευνητών πρότεινε το FL4W, ένα σύστημα FL για φορητές συσκευές, το οποίο στοχεύει στην αναγνώριση της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η αρχιτεκτονική του συστήματος είναι η κλασική αρχιτεκτονική πελάτη-διακομιστή, όπου ο διακομιστής ενορχηστρώνει τις συσκευές σε τέσσερα διαφορετικά βήματα. Στο πρώτο βήμα, οι συσκευές καταχωρούνται στο σύστημα. Στη συνέχεια, ο διακομιστής καθορίζει τις κατάλληλες εργασίες και υπερ-παραμέτρους για τη μετάδοση στις φορητές συσκευές. Στο τρίτο βήμα περιλαμβάνεται η εκπαίδευση του τοπικού μοντέλου, όπου κάθε συσκευή χρησιμοποιεί τα δεδομένα χωρίς να «ανεβάζει» τίποτα στον διακομιστή. Τέλος, οι πίνακες των παραμέτρων των ενημερωμένων μοντέλων αποστέλλονται στο διακομιστή, ο οποίος συγκεντρώνει τα τοπικά μοντέλα με τον ενοποιημένο αλγόριθμο μέσου όρου *ζιτεμςμαηαν2017ςομμυνιατιον*.

Το FedHealth [55] είναι ένα framework για φορητές συσκευές υγειονομικής πε-

ρίθαλψης. Το συγκεκριμένο framework χρησιμοποιεί την τεχνολογία του FL και στοχεύει στην επίτευξη της ακριβούς προσωπικής υγειονομικής περίθαλψης, χωρίς να διακυβεύεται το απόρρητο των δεδομένων. Απαιτούνται τέσσερις διαφορετικές διαδικασίες για τη δημιουργία των έξυπνων φορητών συσκευών. Αρχικά, ένα μοντέλο στο cloud από την πλευρά του διακομιστή εκπαιδεύεται χρησιμοποιώντας δημόσια διαθέσιμα δεδομένα. Αυτό το μοντέλο, διανέμεται στη συνέχεια σε όλους τους χρήστες, οι οποίοι μπορούν να αρχίσουν να εκπαιδεύουν τα δικά τους μοντέλα χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από τις συσκευές τους. Το μοντέλο του χρήστη μπορεί στη συνέχεια να μεταφορτωθεί στο διακομιστή για να χρησιμοποιηθεί για την εκπαίδευση ενός νέου καθολικού μοντέλου. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτή τη φάση δεν μεταφορτώνονται δεδομένα ή πληροφορίες του χρήστη στο διακομιστή, εκτός από τις κρυπτογραφημένες παραμέτρους του μοντέλου. Οι παράμετροι είναι κρυπτογραφημένες με ομομορφική κρυπτογράφηση. Τέλος, οποιοσδήποτε χρήστης μπορεί να εκπαιδεύσει τα εξατομικευμένα μοντέλα συνδυάζοντας το μοντέλο στο cloud με το προηγούμενο μοντέλο και τα δεδομένα του χρήστη. Το σύστημα μπορεί να ενημερώνει ταυτόχρονα τόσο τα μοντέλα του χρήστη όσο και τα μοντέλα στο cloud, ως απόκριση στα πιο πρόσφατα δεδομένα του χρήστη. Ως αποτέλεσμα, όσο περισσότερο χρόνο αφιερώνει ένας χρήστης με την υπηρεσία, τόσο πιο προσαρμοσμένο για τον ίδιο μπορεί να είναι το μοντέλο. Τέλος, τα μελλοντικά σχέδια για το συγκεκριμένο σύστημα πρόκειται να επεκταθούν ώστε να είναι σε θέση να ανιχνεύει τη νόσο του Πάρκινσον και να αναπτυχθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορεί να εγκατασταθεί σε νοσοκομεία.

Τέλος, στην εργασία [102], προτείνεται ένα edge-based FL framework. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, το σύστημα μπορεί να βοηθήσει τους επαγγελματίες υγείας, προσφέροντας γνώσεις για τη διάγνωση και την πρόγνωση της νόσου, αναλύοντας τα επίπεδα κινητικότητας και τις συμπεριφορές που λαμβάνονται από τις φορητές συσκευές. Το προτεινόμενο framework είναι οργανωμένο σε τρεις ενότητες: στο cloud, το edge και την εφαρμογή. Η διαχείριση της ενότητας του cloud γίνεται από έναν κάτοχο μοντέλου, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον συντονισμό των διαφορετικών καθηκόντων που βασίζονται στο cloud, όπως η εγγραφή των ασθενών, η συντήρηση της βάσης δεδομένων και η μεταφόρτωση του μοντέλου. Αποτελείται από δύο κύρια στοιχεία: έναν ελεγκτή, ο οποίος παρέχει ειδοποιήσεις όταν είναι διαθέσιμα πιθανά ενημερωμένα καθολικά μοντέλα και έναν κύριο συσσωρευτή, ο οποίος χρησιμοποιεί διάφορες τεχνικές όπως το federated averaging, κ.ά. Το καθολικό μοντέλο εκπαιδεύεται χρησιμοποιώντας δημόσια προσβάσιμα σύνολα δεδομένων, έτσι ώστε οι ευαίσθητες πληροφορίες των χρηστών να είναι ασφαλείς. Η μονάδα edge περιλαμβάνει τρία βασικά στοιχεία: έναν διακομιστή FL, έναν τοπικό ελεγκτή αποθήκευσης και έναν συσσωρευτή. Η μονάδα αυτή, βελτιώνει τη συνολική διαδικασία της εκπαίδευσης εξατομικεύοντας τα μοντέλα σε κάθε αντίστοιχη συσκευή. Τέλος, η εφαρμογή επιτρέπει την προσθήκη



οποιασδήποτε συσκευής, η οποία είναι ικανή να παράγει δεδομένα που σχετίζονται με την υγεία. Συμπερασματικά, το προτεινόμενο framework θα μπορούσε να επεκταθεί για να υποστηρίξει την πρόληψη ασθενειών, την παρακολούθηση του εθισμού και την ψυχική υγεία, καθώς και την παρακολούθηση της υγείας σε πραγματικό χρόνο.

## 7.5.2 Ομομορφική Κρυπτογράφηση

Η OK είναι μια τεχνική που επιτρέπει μαθηματικές πράξεις σε κρυπτογραφημένα δεδομένα, χωρίς να απαιτείται η αποκρυπτογράφηση αυτών. Η συγκεκριμένη ενέργεια έχει ως αποτέλεσμα ένα κρυπτογραφημένο μήνυμα, ενώ το αποτέλεσμα στην αποκρυπτογραφημένη του μορφή αντιστοιχεί στο ίδιο αποτέλεσμα των εργασιών που έγιναν στα ακατέργαστα δεδομένα [286]. Τα συστήματα OK ταξινομούνται σε δύο μεγάλους τύπους ανάλογα με το είδος των λειτουργιών που υποστηρίζουν: i) την OK, και ii) την εν μέρει OK [75]. Ένα σύστημα αναγνωρίζεται ως πλήρως ομομορφικό εάν εμφανίζει τόσο προσθετικές όσο και πολλαπλασιαστικές ιδιότητες ομομορφισμού [37]. Αν και το πρώτο σύστημα OK περιεγράφηκε το 1978, το πρώτο πλήρως εφικτό ομομορφικό σύστημα αναπτύχθηκε το 2009 [93]. Επιπλέον, τα πλήρως ομομορφικά σχήματα θεωρούνται πως είναι ασφαλέστερα από τα μερικώς ομομορφικά σχήματα, ενώ χρειάζονται πολύ περισσότερους υπολογιστικούς πόρους και έχουν υψηλότερο γενικό κόστος. Τα μερικώς σχήματα OK είναι μια υποκατηγορία των σχημάτων πλήρους OK. Τα εν λόγω σχήματα, περιλαμβάνουν την πρόσθεση και τον πολλαπλασιασμό, αλλά επιτρέπονται μόνο συγκεκριμένες πράξεις και οι υπολογισμοί τους είναι περιορισμένοι, καθώς διευρύνεται το μέγεθος του κρυπτογραφημένου κειμένου [229]. Τα μερικώς ομομορφικά συστήματα μπορούν να επιτρέπουν μόνο έναν τύπο λειτουργίας κάθε φορά, είτε την πράξη της πρόσθεσης, είτε του πολλαπλασιασμού και προσδιορίζονται ως η πιο εφαρμόσιμη επιλογή από τα πλήρως ομομορφικά συστήματα.

Στην εργασία [247] οι συγγραφείς πρότειναν ένα δίκτυο κινητής υγειονομικής περιθάλψης τεσσάρων επιπέδων, i) της φορητής συσκευής, ii) το επίπεδο της προεπεξεργασίας των δεδομένων, iii) το επίπεδο του διακομιστή στο cloud, και iv) το διαγνωστικό επίπεδο του περιθάλποντα γιατρού. Στη συνέχεια, ορίζονται τρεις ασφαλείς ιατρικοί υπολογισμοί i) ο μέσος καρδιακός ρυθμός, ii) η αναγνώριση του συνδρόμου Long QT - LQTS, το οποίο είναι μια διαταραχή της καρδιακής σηματοδότησης, και ii) ο έλεγχος του  $x^2$ . Για την εκτέλεση των υπολογισμών στο κρυπτογραφημένο κείμενο, η κρυπτογράφηση των δεδομένων υγείας πραγματοποιείται με τη χρήση της πλήρους OK.

Χρησιμοποιώντας δεδομένα που αποκτήθηκαν από φορητές συσκευές, μια ομάδα παρουσίασε ένα έξυπνο λογισμικό, το οποίο έχει τη δυνατότητα να συμβουλεύει σε πραγματικό χρόνο τους ασθενείς, τους περιθάλποντες ιατρούς και φροντιστές του, καθώς και διάφορες ομάδες έκτακτης ανάγκης [84]. Ανάλογα με την υγεία του ασθενή,

ο σχετικός χρήστης ειδοποιείται να ενεργήσει όπως απαιτείται και να φροντίσει την κατάσταση. Με σκοπό να προστατευτούν οι ιδιωτικές και ευαίσθητες πληροφορίες των ασθενών που υποβάλλονται σε θεραπεία και φροντίδα, χρησιμοποιείται μια ασφαλής τεχνική OK, η οποία διατηρεί την κρυπτογράφηση των δεδομένων σε όλα τα στάδια της και της επεξεργασίας τους.

Οι ερευνητές της εργασίας [265] παρουσίασαν ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων υγειονομικής περίθαλψης, το οποίο κρυπτογραφεί τα συλλεγόμενα δεδομένα χρησιμοποιώντας OK. Το σύστημα εξασφαλίζει την ασφαλή επικοινωνία και αποθήκευση των δεδομένων, διαιρώντας τα αρχικά δεδομένα σε δύο ή τρία τμήματα. Επιπλέον, το προτεινόμενο σύστημα επιτρέπει στους κόμβους προώθησης να μεταδίδουν τα κρυπτογραφημένα δεδομένα των αισθητήρων, χωρίς να τα αποκρυπτογραφούν. Κατά συνέπεια, ακόμη κι αν ένας κόμβος προώθησης παραβιαστεί, ο εισβολέας δεν θα μπορεί να παρακολουθήσει τα δεδομένα, παρέχοντας έτσι επιπλέον απόρρητο από τα προϋπάρχοντα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης.

Οι συγγραφείς της εργασίας [221] προτείνουν μια κρυπτογραφημένη αρχιτεκτονική ασφάλειας, η οποία επιτρέπει την ασφαλή συλλογή των δεδομένων από ενσωματωμένες ιατρικές συσκευές, την προστατευμένη επεξεργασία αυτών των δεδομένων σε περιβάλλον χαμηλού κόστους και την περιορισμένη ανάθεση πρόσβασης σε αυτά τα δεδομένα, σε επιλεγμένους παραλήπτες. Η λύση αυτή, αξιοποιεί τις πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα της OK και της Proxy Re-Encryption - PRE, με σκοπό να αντιμετωπιστούν οι πρακτικές απαιτήσεις της συλλογής, επεξεργασίας και διάδοσης των δεδομένων μιας ασφαλούς αρχιτεκτονικής ιατρικών δεδομένων. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική μειώνει το κόστος των συστημάτων δεδομένων υγειονομικής περίθαλψης, αναθέτοντας με ασφάλεια τους υπολογισμούς σε περιβάλλοντα υπολογιστικού νέφους, ενώ παράλληλα μειώνει τα τρωτά σημεία σε ορισμένες από τις πιο ολέθριες απειλές ασφάλειας, όπως είναι οι επιθέσεις εσωτερικών πληροφοριών και επιτρέποντας πρόσθετο κόστος εξοικονόμησης πόρων, μέσω της χρήσης ενσωματωμένων ιατρικών συσκευών χαμηλού κόστους.

Στην εργασία [226], προτείνεται μια λύση για τη διατήρηση του απορρήτου, η οποία βασίζεται στην OK για την αποτροπή των εισβολέων από την πρόσβαση σε ιατρικά δεδομένα απλού κειμένου. Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται σε πολλούς εικονικούς κόμβους on edge κι όλες οι αριθμητικές λειτουργίες καλύπτονται, εμποδίζοντας τους μη αξιόπιστους διακομιστές cloud να γνωρίζουν τις ενέργειες που έγιναν στα κρυπτογραφημένα δεδομένα των ασθενών. Οι εικονικοί κόμβοι χρησιμοποιούν πόρους υπολογιστικού νέφους για να εκτελούν υπολογιστικά δύσκολες μαθηματικές πράξεις και να ελαχιστοποιούν την καθυστέρηση στη μετάδοση των δεδομένων μεταξύ των συσκευών και των κόμβων. Μια σύγκριση με προηγούμενη έρευνα αποκάλυψε ότι τα ομομορφικά κρυπτογραφημένα δεδομένα που διατηρούνται on edge προστατεύουν το

απόρρητο και την ακεραιότητα των δεδομένων.

Μια άλλη ομάδα [208], πρότεινε ένα πρωτόκολλο διατήρησης της ιδιωτικής ζωής για φορητές συσκευές υγειονομικής περίθαλψης, το οποίο υλοποίησε με Raspberry Pi, προκειμένου να προσδιορίσει την πραγματική αποτελεσματικότητα της πλήρους OK στις φορητές συσκευές. Οι συγγραφείς ανέπτυξαν το πρωτόκολλο χρησιμοποιώντας δύο βιβλιοθήκες πλήρους OK, τις HELib και SEAL, σε ένα Raspberry Pi, καθώς κι έναν προσομοιωτή δικτύου προκειμένου να ποσοτικοποιήσουν το κόστος υπολογισμού και επικοινωνίας που σχετίζεται με τα ασύρματα δίκτυα σώματος (wireless body area networks). Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το πρωτόκολλο με τη βιβλιοθήκη SEAL έχει χαμηλότερο κόστος επικοινωνίας απ' ό,τι το πρωτόκολλο με τη βιβλιοθήκη HELib. Το πρωτόκολλο με τη βιβλιοθήκη SEAL έχει σχεδόν το ίδιο κόστος μετάδοσης με το απλό πρωτόκολλο, το οποίο είναι κι εκείνο που στερείται κρυπτογράφησης. Επιπλέον, το πρωτόκολλο με τη βιβλιοθήκη SEAL ήταν σε θέση να κάνει περισσότερες ομομορφικές λειτουργίες ανά μονάδα απλού κειμένου, συγκριτικά με αυτό της βιβλιοθήκης HELib. Ως αποτέλεσμα, το πρωτόκολλο με τη βιβλιοθήκη Helib, το οποίο είναι ταχύτερο, είναι κατάλληλο για εφαρμογές οι οποίες απαιτούν χαμηλή χρονική πολυπλοκότητα, ενώ το πρωτόκολλο με τη βιβλιοθήκη SEAL είναι καταλληλότερο για εφαρμογές οι οποίες απαιτούν μεγάλο αριθμό ομομορφικών λειτουργιών.

### 7.5.3 Tiny Machine Learning

Το TinyML είναι ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς, που προσελκύει ολοένα και περισσότερη προσοχή στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Το TinyML είναι ένα υβρίδιο υλικού-λογισμικού, το οποίο επιτρέπει σε μοντέλα μηχανικής μάθησης και αλγόριθμους βαθιάς μάθησης να αναπτύσσονται σε μικρές, φθηνές και ενεργειακά αποδοτικές συσκευές. Αυτές οι συσκευές θα ανοίξουν το δρόμο για νέες υπηρεσίες και τεχνολογίες που δεν απαιτούν δαπανηρές και ενεργοβόρες μονάδες επεξεργασίας γραφικών (Graphics Processing Unit - GPU) ή cloud συστήματα που περιορίζονται από σημαντικούς περιορισμούς, σε ό,τι αφορά την ασφάλεια, την καθυστέρηση και το εύρος ζώνης.

Μια τυπική ροή διεργασιών TinyML αποτελείται από τρεις κύριες φάσεις. Το πρώτο βήμα είναι η εκπαίδευση του μοντέλου μηχανικής μάθησης σε έναν σταθμό εργασίας με επαρκή ικανότητα επεξεργασίας. Στη συνέχεια, το μοντέλο βελτιστοποιείται με τη χρήση μεθόδων μείωσης του μοντέλου, όπως το κλάδεμα pruning και η κβαντοποίηση quantization. Τέλος, το βελτιστοποιημένο μοντέλο TinyML είναι έτοιμο να εφαρμοστεί στις φορητές συσκευές υγειονομικής περίθαλψης στο τελευταίο στάδιο [71, 97, 105]. Η μηχανική μάθηση στη συσκευή είναι ένα χρήσιμο βήμα για την αποτροπή της απώλειας ή της διαρροής των δεδομένων από τους καταναλωτές και την αναμονή για αποτελέσματα λόγω λανθάνοντος χρόνου και δυσκολιών φόρτωσης

αυτών. Οι φορητές συσκευές θα χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή, την ανάλυση και την εξαγωγή των δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά δεν κοινοποιούνται σε άλλες συσκευές ή διακομιστές, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αυτομάτως ασφαλέστερες και πιο ιδιωτικές συσκευές.

Επιπλέον, οι μικροελεχτές θεωρούνται συσκευές εξαιρετικά χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης. Συνήθως λειτουργούν σε λιγότερο από 1 mWatt και μπορούν να προσφέρουν ευφυΐα μηχανής στο ίδιο κόστος με μια μπαταρία. Το TinyML μπορεί να είναι το πεδίο που φέρνει την επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζαμε έως σήμερα τις εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης, εισάγοντας πολλές νέες συσκευές και εφαρμογές οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιούν ολόκληρη η ερευνητική κοινότητα στον τομέα της υγείας. Τα φορητά gadgets για την παρακολούθηση και την πρόληψη της υγείας φαίνεται να είναι πολλά υποσχόμενα για εφαρμογές οι οποίες υλοποιούνται με TinyML, καθώς θα παρέχουν ανάλυση σε πραγματικό χρόνο και πιθανές ειδοποιήσεις χωρίς να απαιτείται η μετάδοση δεδομένων ή σημαντική υπολογιστική ισχύς, με αποτέλεσμα τη δημιουργία αυτόνομων, έξυπνων, ασφαλών και αποτελεσματικών συσκευών στη μορφή ενός ρολογιού χειρός ή ακουστικού.

Οι συγγραφείς της εργασίας [91], δημιούργησαν μια συσκευή για τον καρπό του χεριού, η οποία παρακολουθεί διάφορους ζωτικούς δείκτες όπως είναι η θερμοκρασία του σώματος, το μοτίβο της αναπνοής και ο κορεσμός του οξυγόνου του αίματος, προκειμένου να βοηθήσει στην ιεράρχηση των ασθενών με COVID-19 εντός ενός δωματίου νοσοκομείου επείγοντων περιστατικών. Το νευρωνικό δίκτυο που αξιολογεί την αναπνοή λειτουργεί τοπικά στην φορητή συσκευή, αποτρέποντας τη μεταφορά των δεδομένων στο cloud, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία του TinyML και προστατεύοντας το απόρρητο των ευαίσθητων για τον ασθενή πληροφοριών.

Η εργασία [227], μελετά τα πεδία της TN, των δικτύων ευρείας περιοχής χαμηλής κατανάλωσης και του TinyML για νέες ασφαλείς και έξυπνες φορητές συσκευές. Η έρευνα καταδεικνύει τις μοναδικές ιδιότητες αυτών των παραδειγμάτων αιχμής, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι η μελλοντική γενιά των φορητών συσκευών θα επιτρέψει στην ανάπτυξη ενός ευρέος φάσματος νέων υπηρεσιών και εφαρμογών.

Σε μια άλλη εργασία [279], το TinyML συνιστάται για την εξατομικευμένη κατ'οίκον υγειονομική περίθαλψη με στόχο να βοηθήσει ασθενείς εξ'αποστάσεως, ασθενείς με χρόνιες και οξείες ασθένειες, αλλά και τη σωματική και συναισθηματική ευεξία των φροντιστών τους σε περιόδους ακραίου στρες, όπως η πανδημία του COVID-19.

Κλείνοντας, στο άρθρο [196] προτείνεται ένα νέο TinyML framework για την υγειονομική περίθαλψη, το οποίο είναι ικανό για την επιλογή ή την προσαρμογή των μοντέλων μηχανικής μάθησης, την ενίσχυση της βελτιστοποίησης για τη λήψη αποφάσεων και την εκμάθηση και προσαρμογή του για βελτιωμένη απόδοση. Επιπλέον, το προτεινόμενο σύστημα θα είναι επαρκές για να υποστηρίξει μια ποικιλία εφαρμογών

ηλεκτρονικής υγείας, συμπεριλαμβανομένων της παρακολούθησης των συμπτωμάτων, της παρακολούθησης της υγιεινής, της σάρωσης του σώματος και της ψυχικής υγείας.

Τέλος, στον Πίνακα 7.2 παρουσιάζεται μια ταξινόμηση των προαναφερθέντων εφαρμογών. Επιπλέον, απεικονίζεται ο τύπος του συστήματος (framework, δίκτυο, μοντέλο, σχήμα, πρωτόκολλο και συσκευή), καθώς και η τεχνολογική ετοιμότητα (Technology Readiness Lever - TRL) κάθε εργασίας.

Πίνακας 7.2: Ταξινόμηση των αναδυόμενων προσεγγίσεων σε θέματα που αφορούν την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα των φορητών συσκευών υγειονομικής περίθαλψης.

Εργασία	Τύπος	Federated Learning	Ομομορφική Κρυπτογράφηση	TinyML	TRL
[112]	Framework	●	○	○	5
[55]	Framework	●	●	○	5
[102]	Framework	●	○	○	1
[247]	Δίκτυο	○	●	○	3
[84]	Μοντέλο	○	●	○	3
[265]	Δίκτυο	○	●	○	2
[221]	Framework	○	●	○	2
[226]	Σχήμα	○	●	○	2
[208]	Πρωτόκολλο	○	●	○	4
[91]	Συσκευή	○	○	●	6
[227]	Συσκευή	○	○	●	5
[279]	Συσκευή	○	○	●	1
[196]	Framework	○	○	●	1

## 7.6 Συμπεράσματα

Το συγκεκριμένο Κεφάλαιο έχει ως στόχο να παρέχει μια σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τις φορητές συσκευές υγειονομικής περίθαλψης. Ωστόσο, η ευρεία χρήση αυτών των συσκευών, ειδικά για σκοπούς υγειονομικής περίθαλψης, εγείρει αρκετές ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο και την ασφάλεια των συλλεγόμενων δεδομένων. Οι απειλές ασφαλείας και οι επιθέσεις στις οποίες εκτίθενται οι φορητές συσκευές εντοπίστηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν, ενώ αξιολογήθηκαν οι αντίστοιχες επιπτώσεις τους. Επίσης, έχει επισημανθεί η εμπιστευτικότητα, η ακεραιότητα και το αποτέλεσμα διαθεσιμότητας για κάθε απειλή. Επιπλέον, εξετάζονται οι υπάρχουσες αναδυόμενες προσεγγίσεις που αφορούν την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέγονται σε διάφορες φορητές συσκευές, οι οποίες ενισχύουν την ασφάλεια και το απόρρητο,

όπως είναι το Federated Learning, η Ομομορφική Κρυπτογράφηση και το TinyML. Τέλος, παρουσιάζεται μια ταξινόμηση των προτεινόμενων αναδυόμενων προσεγγίσεων για θέματα ασφάλειας και ιδιωτικότητας. Ενώ, συνολικά, η παρούσα ανασκόπηση παρέχει στους ερευνητές μια αξιολόγηση σχετικά με θέματα που αφορούν την ασφάλεια και το απόρρητο στις φορητές συσκευές υγειονομικής περίθαλψης, οι οποίες είναι πλέον έχουν εισχωρήσει αρκετά στην καθημερινή μας ζωή.

Μέρος V  
Συμπεράσματα





## Κεφάλαιο 8

# Συμπεράσματα Διατριβής

Η πρόοδος και η ανάπτυξη συστημάτων ΕΥΔ τα τελευταία χρόνια είναι ένα ζήτημα το οποίο απασχολεί τόσο την επιστημονική όσο και την εμπορική κοινότητα. Αρχικά τα συστήματα και οι υπηρεσίες ΕΥΔ είχαν ως επίκεντρο τους ηλικιωμένους ανθρώπους. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια διεύρυνση της ομάδας-στόχου αυτών των συστημάτων, επεκτείνοντας το ενδιαφέρον για την υποστήριξη ατόμων κάθε ηλικίας τα οποία πάσχουν από χρόνιες παθήσεις ή/και σύνδρομα.

Η συνεισφορά της παρούσας διατριβής επικεντρώνεται στον διευρυμένο ορισμό της ΕΥΔ. Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της διατριβής υλοποιήθηκαν διάφορες λύσεις υποστήριξης και υποβοήθησης για συγκεκριμένες ομάδων-στόχου, για τα διάφορα περιβάλλοντα διαβίωσής τους, όπως το σπίτι και η πόλη διαμονής τους. Σκοπός ήταν να επιτευχθεί η ΕΥΔ των εκάστοτε ομάδων-στόχων, καθώς και σε πολλές περιπτώσεις η διατήρηση της ανεξαρτησίας και αυτονομίας τους για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Στο Κεφάλαιο 3 υλοποιήθηκε και δοκιμάστηκε ένα σύστημα υποστήριξης και υποβοήθησης για ηλικιωμένους ανθρώπους, εντός του περιβάλλοντος διαμονής τους. Το προτεινόμενο σύστημα υλοποιήθηκε με τη χρήση ανοικτού λογισμικού και υλικού τόσο για την απόδειξη της λειτουργικότητας της προτεινόμενης προσέγγισης, όσο και για τη διατήρηση της μικρής κλίμακας και του χαμηλού κόστους του. Το εν λόγω σύστημα αποτελείται από μεμονωμένα υποσυστήματα, τα οποία συμβάλουν στην ενίσχυση της ασφάλειας, της ευημερίας και της υποστήριξης των ηλικιωμένων ατόμων εντός του χώρου της κατοικίας τους. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό είναι ότι τα υποσυστήματα που απαρτίζουν το οικιακό σύστημα υποστήριξης, έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν τόσο ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, αλλά μπορούν να επικοινωνούν και μεταξύ τους. Ο σκοπός του συγκεκριμένου συστήματος υποστήριξης, είναι η διατήρηση της ευεξίας και των λειτουργικών ικανοτήτων των ηλικιωμένων ατόμων, καθώς και η ενίσχυση του αισθήματος ασφάλειας - στο πλαίσιο του χώρου διαμονής τους. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι το υλοποιημένο σύστημα μπορεί να παρέχει υπηρεσίες ολοκληρωμένης υποστήριξης στους ηλικιωμένους ανθρώπους, εντός των ορίων της οικίας τους.

Το Κεφάλαιο 4 αφορά στην επέκταση του ορισμού της ΕΥΔ, καθώς ασχολείται με μία συγκεκριμένη ομάδα-στόχο, τα άτομα που πάσχουν από το σύνδρομο της άνοιας. Το προτεινόμενο οικιακό σύστημα υποβοήθησης ατόμων που πάσχουν από άνοια, αξιοποιεί τα ηχητικά ερεθίσματα, με σκοπό τη διέγερση της μνήμης των πασχόντων, την ανάκληση των αναμνήσεών τους και την επιτυχή αναγνώριση των οικείων τους προσώπων. Η κύρια πρόκληση του προτεινόμενου συστήματος ήταν ο τρόπος ένταξής του σε ένα σπίτι, καθώς πρόθεση ήταν να μην διαταραχθεί και επηρεαστεί η καθημερινή ζωή τόσο του ίδιου του πάσχοντα, όσο και των υπολοίπων κατοίκων του σπιτιού. Ωστόσο, χάρη στην αξιοποίηση της τεχνολογίας των έξυπνων ηχείων, επιτεύχθηκε η υλοποίηση ενός συστήματος, το οποίο δεν επεμβαίνει στην καθημερινότητα των κατοίκων του σπιτιού. Η καινοτομία της προτεινόμενης λύσης έγκειται στο πεδίο εφαρμογής της, δηλαδή στην ενσωμάτωση ενός συστήματος - εντός της οικίας του πάσχοντα - με στόχο την υποβοήθηση στην αναγνώριση των οικείων ατόμων του, μέσω της ακουστικής διέγερσης του πάσχοντα. Οι πειραματικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του συστήματος, απέδειξαν πλήρως τη λειτουργικότητά του. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε μια συγκριτική ανάλυση του προτεινόμενου συστήματος με άλλες ερευνητικές εργασίες, αναδεικνύοντας τη συνεισφορά της προτεινόμενης λύσης σε ποσοτικούς και ποιοτικούς δείκτες, ενώ παρατηρήθηκε και το γεγονός ότι περιορισμένος αριθμός ερευνητικών εργασιών βασίστηκαν στην προσέγγιση της αξιοποίησης του ήχου ως ένα ικανό ερέθισμα για τη διέγερση της ανθρώπινης μνήμης.

Στη συνέχεια, στα Κεφάλαια 5 και 6 μελετάται η επέκταση του ορισμού της ΕΥΔ, αλλά αυτή τη φορά από διαφορετική σκοπιά. Πιο συγκεκριμένα, το Κεφάλαιο 5 ασχολείται με την επέκταση της ΕΥΔ εκτός των ορίων της κατοικίας της ομάδας-στόχος, και πιο ειδικά στο πλαίσιο ενός αστικού περιβάλλοντος. Καθώς έχει παρατηρηθεί ότι η πλειοψηφία των εργασιών στη βιβλιογραφία συζητά για την ΕΥΔ των ατόμων, στην πραγματικότητα δεν αφορά σε καθολική ενεργή διαβίωση, αφού η πλειοψηφία των προτεινόμενων λύσεων περιορίζονται στην ΕΥΔ στο πλαίσιο ενός μόνο περιβάλλοντος - και κυρίως στο περιβάλλον του σπιτιού. Αυτή η διαπίστωση, οδήγησε στη μελέτη περιπτώσεων λύσεων ΕΥΔ, με στόχο την επέκτασή της στο πλαίσιο μιας πόλης. Επιπλέον, στο Κεφάλαιο 6 προτάθηκε ένα ολιστικό σύστημα για την εξυπηρέτηση των αναγκών των πολιτών σε ένα αστικό περιβάλλον. Το προτεινόμενο σύστημα εστιάζει στο ΠΔΟ και συνδυάζει διάφορα εργαλεία και τεχνικές με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης δρομολόγησης των οχημάτων σε ένα αστικό περιβάλλον για την παροχή υπηρεσιών σε ένα μεγάλο εύρος χρηστών. Μία μεγάλη πρόκληση για το προτεινόμενο σύστημα ήταν η αξιολόγησή του, εξαιτίας της έλλειψης κατάλληλων δεδομένων. Ωστόσο, συλλέχθηκαν τα κατάλληλα δεδομένα, τα οποία εισήχθησαν στο σύστημα και τα αποτελέσματα που δόθηκαν από την προτεινόμενη λύση αναλύθηκαν συγκριτικά με τα συλλεγόμενα δεδομένα.

Το ερευνητικό έργο της παρούσας διατριβής ολοκληρώνεται με το Κεφάλαιο 7, στο οποίο παρατίθενται ορισμένα ζητήματα και ανησυχίες τα οποία προέκυψαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής. Τα εν λόγω ζητήματα αφορούν στη διαφύλαξη της ασφάλειας και του απορρήτου των συλλεγόμενων δεδομένων από τις φορητές συσκευές υγειονομικής περίθαλψης. Καθώς οι φορητές συσκευές υγειονομικής περίθαλψης είναι αναπόσπαστο κομμάτι για την επίτευξη της ΕΥΔ και η χρήση τους γίνεται ολοένα και πιο ευρέως διαδεδομένη, οι ανησυχίες για την εμπιστευτικότητα και την ακεραιότητα πολύ προσωπικών και ευαίσθητων δεδομένων εντείνονται. Ωστόσο, η επιστημονική κοινότητα η οποία ασχολείται με τα ζητήματα της ασφάλειας και της ιδιωτικότητας έχει προτείνει ορισμένες ενδιαφέρουσες προσεγγίσεις, οι οποίες εξετάζονται στο συγκεκριμένο Κεφάλαιο, κι έχουν ως στόχο την επίλυση των ζητημάτων ασφαλείας των φορητών συσκευών.

Ως μελλοντική επέκταση των αποτελεσμάτων της παρούσας διατριβής είναι η ενσωμάτωση των προτεινόμενων λύσεων σε ένα ενιαίο πλαίσιο, με σκοπό την παροχή μιας ολοκληρωμένης λύσης ΕΥΔ. Ωστόσο, επιθυμία της συγγραφέως είναι το πλαίσιο αυτό να είναι ανοικτό και προσαρμοστικό για τους εξής δύο λόγους: i) για τη δυνατότητα ενσωμάτωση κι άλλων συστημάτων και υπηρεσιών ΕΥΔ, τα οποία να υποστηρίζουν και άλλες ομάδες-στόχο, και ii) τη δυνατότητα προσαρμογής των παρεχόμενων υπηρεσιών υποστήριξης ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις και ανάγκες του χρήστη.



# Βιβλιογραφία

- [1] World Health Organization (2018). Meeting on the implementation of the global action plan of the public health response on dementia 2017–2025: Meeting report: 11–12 december 2017. Technical Report, World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2018.
- [2] 61M Fitbit, Apple Users Had Data Exposed in Wearable Device Data Breach. Healthitsecurity. <https://healthitsecurity.com/news/61m-fitbit-apple-users-had-data-exposed-in-wearable-device-data-breach>, Cited 22 October 2021.
- [3] SM Abiduzzaman, Hasmah Mansor, Teddy Surya Gunawan και Robiah Ahmad. Real-time outdoor air quality monitoring system. Στο *2021 IEEE 7th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications (ICSIMA)*, σελίδες 140–145. IEEE, 2021.
- [4] Majed M Aborokbah, Saad Al-Mutairi, Arun Kumar Sangaiah και Oluwarotimi Williams Samuel. Adaptive context aware decision computing paradigm for intensive health care delivery in smart cities—a case analysis. *Sustainable cities and society*, 41:919–924, 2018.
- [5] Rami Abousleiman και Osamah Rawashdeh. A bellman-ford approach to energy efficient routing of electric vehicles. Στο *2015 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, σελίδες 1–4, 2015.
- [6] A Selcuk Adabag, Russell V Luepker, Véronique L Roger και Bernard J Gersh. Sudden cardiac death: epidemiology and risk factors. *Nature Reviews Cardiology*, 7(4):216–225, 2010.
- [7] ElBouzekri Elidrissi Adiba, ElHilali Alaoui Aahmed και Benadada Youssef. The green capacitated vehicle routing problem: Optimizing of emissions of greenhouse gas. Στο *2014 International Conference on Logistics Operations Management*, σελίδες 161–167. IEEE, 2014.
- [8] Samaher Adnan, Wafaa Abdulmuhsin και others. The multi-point delivery problem: Shortest path algorithm for real roads network using dijkstra. Στο

- Journal of Physics: Conference Series*, τόμος 1530, σελίδα 012040. IOP Publishing, 2020.
- [9] Ehsan Ahvar, Gyu Myoung Lee, Son N Han, Noel Crespi και Imran Khan. Sensor network-based and user-friendly user location discovery for future smart homes. *Sensors*, 16(7):969, 2016.
- [10] Navid Akbarpour, Amirhossein Salehi-Amiri, Mostafa Hajiaghaei-Keshteli και Diego Oliva. An innovative waste management system in a smart city under stochastic optimization using vehicle routing problem. *Soft Computing*, 25:6707–6727, 2021.
- [11] ALADDIN. <http://www.aal-europe.eu/projects/alladin/>, Cited 8 March 2019.
- [12] Ridwan Alam, Martha Anderson, Azziza Bankole και John Lach. Inferring physical agitation in dementia using smartwatch and sequential behavior models. Στο *2018 IEEE EMBS International Conference on Biomedical & Health Informatics (BHI)*, σελίδες 170–173. IEEE, 2018.
- [13] Frances K Aldrich. Smart homes: past, present and future. Στο *Inside the smart home*, σελίδες 17–39. Springer, 2003.
- [14] Zakaria Alrababah. Privacy and security of wearable devices, 2020.
- [15] Alzheimer Hellas. <https://www.alzheimer-hellas.gr/index.php/en/>, Cited 10 February 2023.
- [16] Alzheimer’s Disease International. <https://www.alz.co.uk/research/statistics>, Cited 26 March 2019.
- [17] Mohsen Amiribesheli και Abdelhamid Bouchachia. Towards dementia-friendly smart homes. Στο *2016 IEEE 40th annual computer software and applications conference (COMPSAC)*, τόμος 1, σελίδες 638–647. IEEE, 2016.
- [18] Theodoros Anagnostopoulos, Kostas Kolomvatsos, Christos Anagnostopoulos, Arkady Zaslavsky και Stathes Hadjiefthymiades. Assessing dynamic models for high priority waste collection in smart cities. *Journal of Systems and Software*, 110:178–192, 2015.
- [19] Pantelis Angelidis και Eleftheria Vellidou. Independent: Technology supported autonomous living. Στο *Wireless Mobile Communication and Healthcare. Second International ICST Conference, MobiHealth 2010, Ayia Napa, Cyprus, October 18-20, 2010. Revised Selected Papers*. Springer, 2012.

- [20] Amaya Arcelus, Megan Howell Jones, Rafik Goubran και Frank Knoefel. Integration of smart home technologies in a health monitoring system for the elderly. Στο *21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW'07)*, τόμος 2, σελίδες 820–825. IEEE, 2007.
- [21] Arduino Uno Rev3. <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>, Cited 10 February 2023.
- [22] Ahmet Arı̇s, Sema F Oktuğ και Siddıka Berna Örs Yalçın. Internet-of-things security: Denial of service attacks. Στο *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, σελίδες 903–906. IEEE, 2015.
- [23] Sara Arlati, Vera Colombo, Daniele Spoladore, Luca Greci, Elisa Pedroli, Silvia Serino, Pietro Cipresso, Karine Goulene, Marco Stramba-Badiale, Giuseppe Riva και others. A social virtual reality-based application for the physical and cognitive training of the elderly at home. *Sensors*, 19(2):261, 2019.
- [24] Cathrine Arntzen, Torhild Holthe και Rita Jentoft. Tracing the successful incorporation of assistive technology into everyday life for younger people with dementia and family carers. *Dementia*, 15(4):646–662, 2016.
- [25] Kahtan Aziz, Saed Tarapiah, Salah Haj Ismail και Shadi Atalla. Smart real-time healthcare monitoring and tracking system using gsm/gps technologies. Στο *2016 3rd MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC)*, σελίδες 1–7. IEEE, 2016.
- [26] Maria Bada και Basievon Solms. A cybersecurity guide for using fitness devices. Στο *The Fifth International Conference on Safety and Security with IoT*, σελίδες 35–45. Springer, 2023.
- [27] Gee Bafhtiar, Vincent Bodinier, George Despotou, Mark T Elliott, Neil Bryant και Theodoros N Arvanitis. Providing patient home clinical decision support using off-the-shelf cloud-based smart voice recognition. Στο *WIN Health Informatics Network Annual Conference*, 2017.
- [28] Barrie M Baker και MA1951066 Ayechew. A genetic algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 30(5):787–800, 2003.
- [29] Santiago R Balseiro, Irene Loiseau και Juan Ramonet. An ant colony algorithm hybridized with insertion heuristics for the time dependent vehicle routing problem with time windows. *Computers & Operations Research*, 38(6):954–966, 2011.

- [30] Maggi Bansal, Inderveer Chana και Siobhán Clarke. A survey on iot big data: current status, 13 v's challenges, and future directions. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 53(6):1–59, 2020.
- [31] Marco Bassoli, Valentina Bianchi και Ilaria De Munari. A plug and play iot wi-fi smart home system for human monitoring. *Electronics*, 7(9):200, 2018.
- [32] Rafael Basso, Balázs Kulcsár και Ivan Sanchez-Diaz. Electric vehicle routing problem with machine learning for energy prediction. *Transportation Research Part B: Methodological*, 145:24–55, 2021.
- [33] Xavier Bellekens, Andrew Hamilton, Preetila Seeam, Kamila Nieradzinska, Quentin Franssen και Amar Seeam. Pervasive ehealth services a security and privacy risk awareness survey. Στο *2016 International Conference On Cyber Situational Awareness, Data Analytics And Assessment (CyberSA)*, σελίδες 1–4. IEEE, 2016.
- [34] Xavier JA Bellekens, Kamila Nieradzinska, Alexandra Bellekens, Preetila Seeam, Andrew W Hamilton και Amar Seeam. A study on situational awareness security and privacy of wearable health monitoring devices. *Int. J. Cyber Situational Aware.*, 1(1):74–96, 2016.
- [35] Steven M Bellovin και Michael Merritt. Augmented encrypted key exchange: A password-based protocol secure against dictionary attacks and password file compromise. Στο *Proceedings of the 1st ACM Conference on Computer and Communications Security*, σελίδες 244–250, 1993.
- [36] Jean Berger και Mohamed Barkaoui. A parallel hybrid genetic algorithm for the vehicle routing problem with time windows. *Computers & operations research*, 31(12):2037–2053, 2004.
- [37] Vankudoth Biksham και D Vasumathi. Homomorphic encryption techniques for securing data in cloud computing: A survey. *International Journal of Computer Applications*, 975:8887, 2017.
- [38] Holger Billhardt, Alberto Fernández, Lissette Lemus, Marin Lujak, Nardine Osman, Sascha Ossowski και Carles Sierra. Dynamic coordination in fleet management systems: Toward smart cyber fleets. *IEEE Intelligent Systems*, 29(3):70–76, 2014.
- [39] Bluetooth bug opens devices to man-in-the-middle attacks. <https://threatpost.com/bluetooth-bug-mitm-attacks/159124/>, Cited 23 October 2021.



- [40] Maria Iuliana Bocicor, Arthur Jozsef Molnar, Iuliana Marin, Nicolae Goga, Raúl Valor Pérez και David Cuesta Frau. Intelligent decision support for pervasive home monitoring and assisted living. Στο *2018 IEEE 14th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP)*, σελίδες 129–136. IEEE, 2018.
- [41] David Bogataj, Valerija Rogelj και Alenka Temeljotov Salaj. Social infrastructure supporting ambient assisted living in a smart silver city: Literature review and research agenda. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1):942–947, 2021.
- [42] Jennifer Boger, Jesse Hoey, Pascal Poupart, Craig Boutilier, Geoff Fernie και Alex Mihailidis. A planning system based on markov decision processes to guide people with dementia through activities of daily living. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 10(2):323–333, 2006.
- [43] Inga Lill Boman, Ann Christine Persson και Aniko Bartfai. First steps in designing an all-in-one ict-based device for persons with cognitive impairment: evaluation of the first mock-up. *BMC geriatrics*, 16(1):1–11, 2016.
- [44] Elena Borelli, Giacomo Paolini, Francesco Antoniazzi, Marina Barbiroli, Francesca Benassi, Federico Chesani, Lorenzo Chiari, Massimiliano Fantini, Franco Fuschini, Andrea Galassi και others. Habitat: An iot solution for independent elderly. *Sensors*, 19(5):1258, 2019.
- [45] Theodora S Brisimi, Ruidi Chen, Theofanie Mela, Alex Olshevsky, Ioannis Ch Paschalidis και Wei Shi. Federated learning of predictive models from federated electronic health records. *International journal of medical informatics*, 112:59–67, 2018.
- [46] Daniel Callegari, Endrigo Conte, Tiago Ferreto, Dênis Fernandes, Filipe Moraes, Fernando Burmeister και Rômulo Severino. Epicare—a home care platform based on mobile cloud computing to assist epilepsy diagnosis. Στο *2014 4th International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare—Transforming Healthcare Through Innovations in Mobile and Wireless Technologies (MOBIHEALTH)*, σελίδες 148–151. IEEE, 2014.
- [47] Ann Campbell, Lloyd Clarke, Anton Kleywegt και Martin Savelsbergh. The inventory routing problem. *Fleet management and logistics*, σελίδες 95–113, 1998.
- [48] Sara Casaccia, Roberta Bevilacqua, Lorenzo Scalise, Gian Marco Revel, Arlene J Astell, Susanna Spinsante και Lorena Rossi. Assistive sensor-based

- technology driven self-management for building resilience among people with early stage cognitive impairment. Στο *2019 IEEE International Symposium on Measurements & Networking (M&N)*, σελίδες 1–5. IEEE, 2019.
- [49] Luca Cattelani, Martino Belvederi Murri, Federico Chesani, Lorenzo Chiari, Stefania Bandinelli και Pierpaolo Palumbo. Risk prediction model for late life depression: Development and validation on three large european datasets. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 23(5):2196–2204, 2018.
- [50] Silvia Ceccacci, Andrea Generosi, Luca Giraldi και Maura Mengoni. An user-centered approach to design smart systems for people with dementia. Στο *2017 IEEE 7th International Conference on Consumer Electronics-Berlin (ICCE-Berlin)*, σελίδες 273–278. IEEE, 2017.
- [51] Alberto Huertas Celdrán, Manuel Gil Pérez, Izidor Mlakar, Jose M Alcaraz Calero, Félix J García Clemente, Gregorio Martínez Pérez και Zakirul A Bhuiyan. Protector: Towards the protection of sensitive data in europe and the us. *Computer Networks*, 181:107448, 2020.
- [52] Jayrani Cheeneebash και Caroline Nadal. Using tabu search heuristics in solving the vehicle routing problem with time windows: application to a mauritian firm. *University of Mauritius Research Journal*, 16(1):448–471, 2010.
- [53] Jonathan P Chen, Jinesh Desai και Vishwa Patel. Memaid-a therapeutic application for dementia patients and caregivers. *Department of CIS–Senior Design, University of Pennsylvania: Philadelphia, PA, USA*, 2015.
- [54] Kejun Chen, Shuai Zhang, Zhikun Li, Yi Zhang, Qingxu Deng, Sandip Ray και Yier Jin. Internet-of-things security and vulnerabilities: Taxonomy, challenges, and practice. *Journal of Hardware and Systems Security*, 2(2):97–110, 2018.
- [55] Yiqiang Chen, Xin Qin, Jindong Wang, Chaohui Yu και Wen Gao. Fedhealth: A federated transfer learning framework for wearable healthcare. *IEEE Intelligent Systems*, 35(4):83–93, 2020.
- [56] Ivan Cherapau, Ildar Muslukhov, Nalin Asanka και Konstantin Beznosov. On the impact of touch {ID} on {iPhone} passcodes. Στο *Eleventh Symposium On Usable Privacy and Security (SOUPS 2015)*, σελίδες 257–276, 2015.
- [57] Ke Wan Ching και Manmeet Mahinderjit Singh. Wearable technology devices security and privacy vulnerability analysis. *International Journal of Network Security & Its Applications*, 8(3):19–30, 2016.

- [58] Ahmad Choukeir, Batoul Fneish, Nour Zaarour, Walid Fahs και Mohammad Ayache. Health smart home. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 7(6):126, 2010.
- [59] Liezel Cilliers. Wearable devices in healthcare: Privacy and information security issues. *Health information management journal*, 49(2-3):150–156, 2020.
- [60] Liezel Cilliers, Kim Lee Anne Viljoen και Willie Tafadzwa Chinyamurindi. A study on students' acceptance of mobile phone use to seek health information in south africa. *Health Information Management Journal*, 47(2):59–69, 2018.
- [61] Nathan Clarke. *Transparent user authentication: biometrics, RFID and behavioural profiling*. Springer Science & Business Media, 2011.
- [62] Alem Čolaković και Mesud Hadžialić. Internet of things (iot): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues. *Computer networks*, 144:17–39, 2018.
- [63] Daniel Collerton, Emily Forster και Derek Packham. An exploratory study of the effectiveness of memory aids for older people living in supported accommodation. *Journal of Applied Gerontology*, 33(8):963–981, 2014.
- [64] Eric Conrad, Seth Misenar και Joshua Feldman. *Eleventh Hour CISSP®: Study Guide*. Syngress, 2016.
- [65] Diane Cook και Sajal Kumar Das. *Smart environments: technology, protocols, and applications*, τόμος 43. John Wiley & Sons, 2004.
- [66] Diane J Cook. Learning setting-generalized activity models for smart spaces. *IEEE intelligent systems*, 2010(99):1, 2010.
- [67] PLNU Cooray και Thashika D Rupasinghe. Machine learning-based parameter tuned genetic algorithm for energy minimizing vehicle routing problem. *Journal of Industrial Engineering*, 2017, 2017.
- [68] D-Link Smart Home. <https://eu.dlink.com/uk/en/for-home/smart-home>, Cited 28 May 2019.
- [69] George B Dantzig και John H Ramser. The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1):80–91, 1959.
- [70] Athanasios Dasios, Damianos Gavalas, Grammati Pantziou και Charalampos Konstantopoulos. Hands-on experiences in deploying cost-effective ambient-assisted living systems. *Sensors*, 15(6):14487–14512, 2015.

- [71] Robert David, Jared Duke, Advait Jain, Vijay Janapa Reddi, Nat Jeffries, Jian Li, Nick Kreeger, Ian Nappier, Meghna Natraj, Tiezhen Wang και others. Tensorflow lite micro: Embedded machine learning for tinymml systems. *Proceedings of Machine Learning and Systems*, 3:800–811, 2021.
- [72] Arthur Delarue, Ross Anderson και Christian Tjandraatmadja. Reinforcement learning with combinatorial actions: An application to vehicle routing. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33:609–620, 2020.
- [73] George Demiris και Brian K Hensel. Technologies for an aging society: a systematic review of “smart home” applications. *Yearbook of medical informatics*, 17(01):33–40, 2008.
- [74] Charalampos Doukas, Ilias Maglogiannis, Panagiotis Tsanakas, Flora Malamateniou και George Vassilacopoulos. m-pharmacy: A system enabling prescription and personal assistive medication management on mobile devices. Στο *Wireless Mobile Communication and Healthcare: Second International ICST Conference, MobiHealth 2010, Ayia Napa, Cyprus, October 18-20, 2010. Revised Selected Papers 1*, σελίδες 153–159. Springer, 2011.
- [75] Khalid El Makkaoui, Abderrahim Beni-Hssane και Abdellah Ezzati. Cloud-elgamal and fast cloud-rsa homomorphic schemes for protecting data confidentiality in cloud computing. *International Journal of Digital Crime and Forensics (IJDCF)*, 11(3):90–102, 2019.
- [76] Nasser A El-Sherbeny. Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods. *Journal of King Saud University-Science*, 22(3):123–131, 2010.
- [77] J Elakkiya και KS Gayathri. Progressive assessment system for dementia care through smart home. Στο *2017 International Conference on Algorithms, Methodology, Models and Applications in Emerging Technologies (ICAMMAET)*, σελίδες 1–5. IEEE, 2017.
- [78] Floyd Els και Liezel Cilliers. Improving the information security of personal electronic health records to protect a patient’s health information. Στο *2017 Conference on Information Communication Technology and Society (ICTAS)*, σελίδες 1–6. IEEE, 2017.
- [79] Raafat Elshaer και Hadeer Awad. A taxonomic review of metaheuristic algorithms for solving the vehicle routing problem and its variants. *Computers & Industrial Engineering*, 140:106242, 2020.

- [80] Eurostat. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Population\\_structure\\_and\\_ageing#The\\_share\\_of\\_elderly\\_people\\_continues\\_to\\_increase](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Population_structure_and_ageing#The_share_of_elderly_people_continues_to_increase), Cited 09 February 2023.
- [81] Diego Falsini, Angela Fumarola, MM Schiraldi και others. Sustainable transportation systems: dynamic routing optimization for a last-mile distribution fleet. Στο *Proceeding of the Conference on sustainable development: the role of industrial engineering*, σελίδες 40–47. DIMEG Università di Bari, 2009.
- [82] Lei Fang, Xiaoli Liu, Xiang Su, Juan Ye, Simon Dobson, Pan Hui και Sasu Tarkoma. Bayesian inference federated learning for heart rate prediction. Στο *International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare*, σελίδες 116–130. Springer, 2020.
- [83] Arshad Farhad, Sandra Woolley και Peter Andras. Federated learning for ai to improve patient care using wearable and iomt sensors. Στο *2021 IEEE 9th International Conference on Healthcare Informatics (ICHI)*, σελίδες 434–434. IEEE, 2021.
- [84] Mehwash Farooqui, Hina Gull, Mahira Ilyas, Sardar Zafar Iqbal, Mohammad Aftab Alam Khan, Gomathi Krishna και Mohammed Salih Ahmed. Improving mental healthcare using a human centered internet of things model and embedding homomorphic encryption scheme for cloud security. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 16(5-6):1806–1812, 2019.
- [85] Sebastian Feld, Christoph Roch, Thomas Gabor, Christian Seidel, Florian Neukart, Isabella Galter, Wolfgang Mauerer και Claudia Linnhoff-Popien. A hybrid solution method for the capacitated vehicle routing problem using a quantum annealer. *Frontiers in ICT*, 6:13, 2019.
- [86] Luis Duarte Andrade Ferreira, Mónica S Cameirão και Sergi Bermúdezi Badia. Music-based assistive feedback system for the exploration of virtual environments in individuals with dementia. Στο *2017 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)*, σελίδες 1–7. IEEE, 2017.
- [87] Follow.Me. <http://www.aal-europe.eu/projects/follow-me/>, Cited 9 March 2019.
- [88] Forensic analysis and security. Security Today. <https://securitytoday.com/articles/2018/05/01/forensic-analysis-and-security.aspx>, Cited 23 October 2021.

- [89] Nikolaus Furian, Michael O’Sullivan, Cameron Walker και Eranda Çela. A machine learning-based branch and price algorithm for a sampled vehicle routing problem. *OR Spectrum*, 43:693–732, 2021.
- [90] Future Marketing Insights. <https://www.futuremarketinsights.com/reports/wearable-gaming-technology-market>., Cited 21 October 2021.
- [91] Barbara Fyntanidou, Maria Zouka, Aikaterini Apostolopoulou, Panagiotis D Bamidis, Antonis Billis, Konstantinos Mitsopoulos, Pantelis Angelidis και Alexis Fourlis. Iot-based smart triage of covid-19 suspicious cases in the emergency department. Στο *2020 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps*, σελίδες 1–6. IEEE, 2020.
- [92] Garmin: The latest wearable attacked by ransomware and a controversial ransom. (2020, August 4). Panda Security Mediacenter. <https://www.pandasecurity.com/en/mediacenter/adaptive-defense/garmin-ransomware-attack/>., Cited 22 October 2021.
- [93] Craig Gentry. *A fully homomorphic encryption scheme*. Stanford university, 2009.
- [94] Avik Ghose, Chirabrata Bhaumik και Tapas Chakravarty. Blueeye: A system for proximity detection using bluetooth on mobile phones. Στο *Proceedings of the 2013 ACM conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication*, σελίδες 1135–1142, 2013.
- [95] Davide Giovanelli και Elisabetta Farella. Rssi or time-of-flight for bluetooth low energy based localization? an experimental evaluation. Στο *2018 11th IFIP wireless and mobile networking conference (WMNC)*, σελίδες 1–8. IEEE, 2018.
- [96] Google Glass. <https://www.google.com/glass/start/>, Cited 21 October 2021.
- [97] Joseba Gorospe, Rubén Mulero, Olatz Arbelaitz, Javier Muguerza και Miguel Ángel Antón. A generalization performance study using deep learning networks in embedded systems. *Sensors*, 21(4):1031, 2021.
- [98] GREAT. <http://www.aal-europe.eu/projects/great/>, Cited 9 March 2019.
- [99] Agnes Gruenerbl, Gerald Pirkl, Eloise Monger, Mary Gobbi και Paul Lukowicz. Smart-watch life saver: smart-watch interactive-feedback system for improving bystander cpr. Στο *Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers*, σελίδες 19–26, 2015.

- [100] Alexander Gutiérrez-Sánchez και Linda Bibiana Rocha-Medina. Vrp variants applicable to collecting donations and similar problems: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, 164:107887, 2022.
- [101] Rahman Hajian, Soheyla ZakeriKia, Seyed Hossein Erfani και M Mirabi. Shaparak: Scalable healthcare authentication protocol with attack-resilience and anonymous key-agreement. *Computer Networks*, 183:107567, 2020.
- [102] Saqib Hakak, Suprio Ray, Wazir Zada Khan και Erik Scheme. A framework for edge-assisted healthcare data analytics using federated learning. Στο *2020 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, σελίδες 3423–3427. IEEE, 2020.
- [103] Matthew L Hale, Kerolos Lotfy, Rose F Gamble, Charles Walter και Jessica Lin. Developing a platform to evaluate and assess the security of wearable devices. *Digital Communications and Networks*, 5(3):147–159, 2019.
- [104] Dalia Hanna, Alexander Ferworn, Michael Lukaczyn, Abdolreza Abhari και Janet Lum. Using unmanned aerial vehicles (uavs) in locating wandering patients with dementia. Στο *2018 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS)*, σελίδες 809–815. IEEE, 2018.
- [105] Song Han, Jeff Pool, John Tran και William Dally. Learning both weights and connections for efficient neural network. *Advances in neural information processing systems*, 28, 2015.
- [106] Meng Hao, Hongwei Li, Xizhao Luo, Guowen Xu, Haomiao Yang και Sen Liu. Efficient and privacy-enhanced federated learning for industrial artificial intelligence. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(10):6532–6542, 2019.
- [107] Kris Vera Hartmann, Nadia Primc και Giovanni Rubeis. Lost in translation? conceptions of privacy and independence in the technical development of ai-based aal. *Medicine, Health Care and Philosophy*, σελίδες 1–12, 2022.
- [108] BJJ Hattink, FJM Meiland, T Overmars-Marx, Marikede Boer, PWG Ebben, M Van Blanken, S Verhaeghe, I Stalpers-Croeze, A Jedlitschka, SE Flick και others. The electronic, personalizable rosetta system for dementia care: exploring the user-friendliness, usefulness and impact. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 11(1):61–71, 2016.
- [109] HELICOPTER. <http://www.aal-europe.eu/projects/helicopter/>, Cited 28 March 2023.

- [110] Abdeltawab M Hendawi, Aqeel Rustum, Amr A Ahmadain, David Hazel, Ankur Teredesai, Dev Oliver, Mohamed Ali και John A Stankovic. Smart personalized routing for smart cities. Στο *2017 IEEE 33rd International Conference on Data Engineering (ICDE)*, σελίδες 1295–1306. IEEE, 2017.
- [111] John Hennessy και David Patterson. A new golden age for computer architecture: domain-specific hardware/software co-design, enhanced. Στο *ACM/IEEE 45th Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA)*, 2018.
- [112] Xiaoxin He, Xiang Su, Yang Chen και Pan Hui. Federated learning on wearable devices: demo abstract. Στο *Proceedings of the 18th Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, σελίδες 613–614, 2020.
- [113] Clive Holmes, Andrew Knights, Christine Dean, Sarah Hodgkinson και Vivienne Hopkins. Keep music live: music and the alleviation of apathy in dementia subjects. *International Psychogeriatrics*, 18(4):623–630, 2006.
- [114] Homematic. <https://www.eq-3.com/solutions/smart-home.html>, Cited 28 May 2019.
- [115] André Hottung και Kevin Tierney. Neural large neighborhood search for the capacitated vehicle routing problem. *arXiv preprint arXiv:1911.09539*, 2019.
- [116] William Ho, George TS Ho, Ping Ji και Henry CW Lau. A hybrid genetic algorithm for the multi-depot vehicle routing problem. *Engineering applications of artificial intelligence*, 21(4):548–557, 2008.
- [117] Li Huang, Andrew L Shea, Huining Qian, Aditya Masurkar, Hao Deng και Dianbo Liu. Patient clustering improves efficiency of federated machine learning to predict mortality and hospital stay time using distributed electronic medical records. *Journal of biomedical informatics*, 99:103291, 2019.
- [118] Pengfei Hu, Sahraoui Dhelim, Huansheng Ning και Tie Qiu. Survey on fog computing: architecture, key technologies, applications and open issues. *Journal of network and computer applications*, 98:27–42, 2017.
- [119] Hélène Imbeault, Lise Gagnon, Hélène Pigot, Sylvain Giroux, Nicolas Marcotte, Perrine Cribier-Delande, Julie Duval, Christian Bocti, Guy Lacombe, Tamás Fülöp και others. Impact of ap@lz in the daily life of three persons with alzheimer’s disease: long-term use and further exploration of its effectiveness. *Neuropsychological rehabilitation*, 28(5):755–778, 2018.



- [120] iNELS. <https://www.inels.com/apartment>, Cited 28 May 2019.
- [121] Innovcare. <https://www.innovcare.org/project>, Cited 6 March 2019.
- [122] IoT technology stack – from IoT devices, sensors, actuators and gateways to IoT platforms. <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/iot-technology-stack-devices-gateways-platforms/>, Cited 28 May 2019.
- [123] Shubham Jain, Carlo Borgiattino, Yanzhi Ren, Marco Gruteser, Yingying Chen και Carla Fabiana Chiasserini. Lookup: Enabling pedestrian safety services via shoe sensing. Στο *Proceedings of the 13th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, σελίδες 257–271, 2015.
- [124] Emilie MD Jean-Baptiste και Alex Mihailidis. Benefits of automatic human action recognition in an assistive system for people with dementia. Στο *2017 IEEE Canada International Humanitarian Technology Conference (IHTC)*, σελίδες 61–65. IEEE, 2017.
- [125] Geonwook Jeon, Herman R Leep και Jae Young Shim. A vehicle routing problem solved by using a hybrid genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 53(4):680–692, 2007.
- [126] Hongmei Jia, Yang Li, Bo Dong και Hongying Ya. An improved tabu search approach to vehicle routing problem. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 96:1208–1217, 2013.
- [127] Li Jiang, Da You Liu και Bo Yang. Smart home research. Στο *Proceedings of 2004 international conference on machine learning and cybernetics (IEEE Cat. No. 04EX826)*, τόμος 2, σελίδες 659–663. IEEE, 2004.
- [128] Yuchae Jung. Hybrid-aware model for senior wellness service in smart home. *Sensors*, 17(5):1182, 2017.
- [129] Mariusz Kaczmarek, Jacek Ruminski και Adam Bujnowski. Accuracy analysis of the rssi ble sensortag signal for indoor localization purposes. Στο *2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, σελίδες 1413–1416. IEEE, 2016.
- [130] Athanasios Kakarountas. Disappearing computing for elderly assisted living. Στο *2014 4th International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare-Transforming Healthcare Through Innovations in Mobile and Wireless Technologies (MOBIHEALTH)*, σελίδες 36–38. IEEE, 2014.

- [131] Hitoshi Kanoh και Kenta Hara. Hybrid genetic algorithm for dynamic multi-objective route planning with predicted traffic in a real-world road network. Στο *Proceedings of the 10th annual conference on Genetic and evolutionary computation*, σελίδες 657–664, 2008.
- [132] Manasi H Kasliwal και Hemprasad Y Patil. Smart location tracking system for dementia patients. Στο *2017 International Conference on Advances in Computing, Communication and Control (ICAC3)*, σελίδες 1–6. IEEE, 2017.
- [133] Yvonne JF Kerkhof, Fatemeh Rabiee και Charles G Willems. Experiences of using a memory aid to structure and support daily activities in a small-scale group accommodation for people with dementia. *Dementia*, 14(5):633–649, 2015.
- [134] Saad Khan, Simon Parkinson, Liam Grant, Na Liu και Stephen Mcguire. Biometric systems utilising health data from wearable devices: applications and future challenges in computer security. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 53(4):1–29, 2020.
- [135] Shehroz S Khan, Tong Zhu, Bing Ye, Alex Mihailidis, Andrea Iaboni, Kristine Newman, Angel He Wang και Lori Schindel Martin. Daad: A framework for detecting agitation and aggression in people living with dementia using a novel multi-modal sensor network. Στο *2017 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)*, σελίδες 703–710. IEEE, 2017.
- [136] Keisuke Kimino, Haruka Ishii, Maher Aljehani και Masahiro Inoue. Early detection system of dementia based on home behaviors and lifestyle backgrounds. Στο *2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, σελίδες 1–2. IEEE, 2018.
- [137] Jayoung Kim, Itthipon Jeerapan, Somayeh Imani, Thomas N Cho, Amay Bandodkar, Stefano Cinti, Patrick P Mercier και Joseph Wang. Noninvasive alcohol monitoring using a wearable tattoo-based iontophoretic-biosensing system. *Acs Sensors*, 1(8):1011–1019, 2016.
- [138] Jin Kim, Hyeok soo Choi, Hui Wang, Nazim Agoulmine, M Jamal Deerv και James Won Ki Hong. Postech’s u-health smart home for elderly monitoring and support. Στο *2010 IEEE International Symposium on “A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks” (WoWMoM)*, σελίδες 1–6. IEEE, 2010.
- [139] Alexandra C King και Corinna Dwan. Electronic memory aids for people with dementia experiencing prospective memory loss: a review of empirical studies. *Dementia*, 18(6):1994–2007, 2019.

- [140] Lars Klack, Christian Möllering, Martina Ziefle και Thomas Schmitz-Rode. Future care floor: A sensitive floor for movement monitoring and fall detection in home environments. Στο *International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare*, σελίδες 211–218. Springer, 2010.
- [141] Grigorios D Konstantakopoulos, Sotiris P Gayialis και Evripidis P Kechagias. Vehicle routing problem and related algorithms for logistics distribution: a literature review and classification. *Operational research*, σελίδες 1–30, 2020.
- [142] Wouter Kool, Herkevan Hoof, Joaquim Gromicho και Max Welling. Deep policy dynamic programming for vehicle routing problems. Στο *Integration of Constraint Programming, Artificial Intelligence, and Operations Research: 19th International Conference, CPAIOR 2022, Los Angeles, CA, USA, June 20-23, 2022, Proceedings*, σελίδες 190–213. Springer, 2022.
- [143] Stamatios Panagiotis Korres, Andreas Menychtas, Panayiotis Tsanakas και Ilias Maglogiannis. A low-cost iot-based health monitoring platform enriched with social networking facilities. Στο *2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*, σελίδες 173–178. IEEE, 2018.
- [144] Junghye Lee, Jimeng Sun, Fei Wang, Shuang Wang, Chi Hyuck Jun, Xiaoqian Jiang και others. Privacy-preserving patient similarity learning in a federated environment: development and analysis. *JMIR medical informatics*, 6(2):ε7744, 2018.
- [145] Sang Bum Lee, Jae Hun Oh, Jeong Ho Park, Seung Pill Choi και Jung Hee Wee. Differences in youngest-old, middle-old, and oldest-old patients who visit the emergency department. *Clinical and experimental emergency medicine*, 5(4):249, 2018.
- [146] Fong Yoke Leng, Donald Yeo, Stacey George και Christopher Barr. Comparison of ipad applications with traditional activities using person-centred care approach: impact on well-being for persons with dementia. *Dementia*, 13(2):265–273, 2014.
- [147] CKY Lin και RCW Kwok. Multi-objective metaheuristics for a location-routing problem with multiple use of vehicles on real data and simulated data. *European journal of operational research*, 175(3):1833–1849, 2006.
- [148] Tian Li, Anit Kumar Sahu, Ameet Talwalkar και Virginia Smith. Federated learning: Challenges, methods, and future directions. *IEEE Signal Processing Magazine*, 37(3):50–60, 2020.

- [149] Hong Liu, Wenping Wang και Qishan Zhang. Multi-objective location-routing problem of reverse logistics based on gra with entropy weight. *Grey Systems: Theory and Application*, 2012.
- [150] Jessica Chia Liu, Jack Goetz, Srijan Sen και Ambuj Tewari. Learning from others without sacrificing privacy: Simulation comparing centralized and federated machine learning on mobile health data. *JMIR mHealth and uHealth*, 9(3):ε23728, 2021.
- [151] SC Liu και CC Lin. A heuristic method for the combined location routing and inventory problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26:372–381, 2005.
- [152] Wenqi Li, Fausto Milletari, Daguang Xu, Nicola Rieke, Jonny Hancox, Wentao Zhu, Maximilian Baust, Yan Cheng, Sébastien Ourselin, M Jorge Cardoso και others. Privacy-preserving federated brain tumour segmentation. Στο *International workshop on machine learning in medical imaging*, σελίδες 133–141. Springer, 2019.
- [153] LLINOIS.EDU . <https://news.illinois.edu/view/6367/233722>, Cited 21 October 2021.
- [154] Naemi Luckner, Fares Kayali, Peter Purgathofer, Katharina Werner και Matei Capatu Victoria. Technological interventions to increase mobility of older adults with dementia. Στο *2018 IEEE 6th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, σελίδες 1–6. IEEE, 2018.
- [155] Hao Lu, Xingwen Zhang και Shuang Yang. A learning-based iterative method for solving vehicle routing problems. Στο *International conference on learning representations*, 2020.
- [156] Lin Lu, Jiayao Zhang, Yi Xie, Fei Gao, Song Xu, Xinghuo Wu, Zhewei Ye και others. Wearable health devices in health care: narrative systematic review. *JMIR mHealth and uHealth*, 8(11):ε18907, 2020.
- [157] M3W. <https://m3w-project.eu/>, Cited 6 March 2019.
- [158] Maestro. <https://www.maestro-aal.eu/en/>, Cited 6 March 2019.
- [159] Ilias Maglogiannis. Human centered computing for the development of assistive environments: The sthenos project. Στο *Proceedings of the 7th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, σελίδες 1–7, 2014.

- [160] Ilias Maglogiannis, Charalampos Ioannou, George Spyroglou και Panayiotis Tsanakas. Fall detection using commodity smart watch and smart phone. Στο *Artificial Intelligence Applications and Innovations: 10th IFIP WG 12.5 International Conference, AIAI 2014, Rhodes, Greece, September 19-21, 2014. Proceedings 10*, σελίδες 70–78. Springer, 2014.
- [161] Ilias Maglogiannis, Charalampos Ioannou και Panayiotis Tsanakas. Fall detection and activity identification using wearable and hand-held devices. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 23(2):161–172, 2016.
- [162] Ilias Maglogiannis, George Spyroglou, Christos Panagopoulos, Maria Mazonaki και Panayiotis Tsanakas. Mobile reminder system for furthering patient adherence utilizing commodity smartwatch and android devices. Στο *2014 4th International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare-Transforming Healthcare Through Innovations in Mobile and Wireless Technologies (MOBIHEALTH)*, σελίδες 124–127. IEEE, 2014.
- [163] Iuliana Marin, Andrei Vasilateanu, Arthur Jozsef Molnar, Maria Iuliana Bocicor, David Cuesta-Frau, Antonio Molina-Picó και Nicolae Goga. I-light—intelligent luminaire based platform for home monitoring and assisted living. *Electronics*, 7(10):220, 2018.
- [164] Gonçalo Marques και Rui Pitarma. An indoor monitoring system for ambient assisted living based on internet of things architecture. *International journal of environmental research and public health*, 13(11):1152, 2016.
- [165] Luigi Martirano και Massimo Mitolo. Building automation and control systems (bacs): A review. Στο *2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)*, σελίδες 1–8. IEEE, 2020.
- [166] Santiago Mazuelas, Alfonso Bahillo, Ruben M Lorenzo, Patricia Fernandez, Francisco A Lago, Eduardo Garcia, Juan Blas και Evaristo J Abril. Robust indoor positioning provided by real-time rssi values in unmodified wlan networks. *IEEE Journal of selected topics in signal processing*, 3(5):821–831, 2009.
- [167] Orii McDermott, Martin Orrell και Hanne Mette Ridder. The importance of music for people with dementia: the perspectives of people with dementia, family carers, staff and music therapists. *Aging & mental health*, 18(6):706–716, 2014.

- [168] Esmaeil Mehraeen, Marjan Ghazisaeedi, Jebraeil Farzi και Saghar Mirshekari. Security challenges in healthcare cloud computing: a systematic. *Glob. J. Health Sci*, 9(3), 2017.
- [169] Marci Meingast, Tanya Roosta και Shankar Sastry. Security and privacy issues with health care information technology. Στο *2006 international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society*, σελίδες 5453–5458. IEEE, 2006.
- [170] Tal Melamed. An active man-in-the-middle attack on bluetooth smart devices. *Safety and Security Studies*, 15:2018, 2018.
- [171] Tiago DP Mendes, Radu Godina, Eduardo MG Rodrigues, João CO Matias και João PS Catalão. Smart home communication technologies and applications: Wireless protocol assessment for home area network resources. *Energies*, 8(7):7279–7311, 2015.
- [172] Hokey Min. A multiobjective vehicle routing problem with soft time windows: the case of a public library distribution system. *Socio-Economic Planning Sciences*, 25(3):179–188, 1991.
- [173] Frank Mokaya, Roland Lucas, Hae Young Noh και Pei Zhang. Myovibe: Vibration based wearable muscle activation detection in high mobility exercises. Στο *Proceedings of the 2015 ACM international joint conference on pervasive and ubiquitous computing*, σελίδες 27–38, 2015.
- [174] Roberto Montemanni, Luca Maria Gambardella, Andrea Emilio Rizzoli και Alberto V Donati. Ant colony system for a dynamic vehicle routing problem. *Journal of combinatorial optimization*, 10:327–343, 2005.
- [175] Kathryn Montgomery, Jeff Chester και Katharina Kopp. Health wearables: ensuring fairness, preventing discrimination, and promoting equity in an emerging internet-of-things environment. *Journal of information policy*, 8(1):34–77, 2018.
- [176] Hassan Moussa. Using recursive kmeans and dijkstra algorithm to solve cvrp. *arXiv preprint arXiv:2102.00567*, 2021.
- [177] Maurice Mulvenna, Huiru Zheng, Raymond Bond, Patrick McAllister, Haiying Wang και Rubén Riestra. Participatory design-based requirements elicitation involving people living with dementia towards a home-based platform to monitor emotional wellbeing. Στο *2017 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM)*, σελίδες 2026–2030. IEEE, 2017.

- [178] Tadahiko Murata και Ryota Itai. Local search in two-fold emo algorithm to enhance solution similarity for multi-objective vehicle routing problems. Στο *Evolutionary Multi-Criterion Optimization: 4th International Conference, EMO 2007, Matsushima, Japan, March 5-8, 2007. Proceedings 4*, σελίδες 201–215. Springer, 2007.
- [179] Mylife. <http://www.karde.no/mylife-project.org/>, Cited 8 March 2019.
- [180] Senthil Murugan Nagarajan, Ganesh Gopal Deverajan, Puspita Chatterjee, Waleed Alnumay και V Muthukumar. Integration of iot based routing process for food supply chain management in sustainable smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 76:103448, 2022.
- [181] David Naranjo-Hernández, Laura M Roa, Javier Reina-Tosina και Miguel Angel Estudillo-Valderrama. Som: a smart sensor for human activity monitoring and assisted healthy ageing. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 59(11):3177–3184, 2012.
- [182] Eduard Natale, Manuela Tufo και Alessandro Salvi. A fleet management service for smart cities: The s 2-move project. Στο *2016 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*, σελίδες 1–6. IEEE, 2016.
- [183] Mohammadreza Nazari, Afshin Oroojlooy, Lawrence Snyder και Martin Takác. Reinforcement learning for solving the vehicle routing problem. *Advances in neural information processing systems*, 31, 2018.
- [184] Nesos - Treat diseases by harnessing the power of the brain to regulate immune function. <https://nesos.com>, Cited 21 October 2021.
- [185] NETATMO. <https://get.netatmo.com/renovation-en/>, Cited 28 May 2019.
- [186] Ryota Nishimura, Takahiro Uchiya, Takahiro Hirano και Masaru Sakurai. Proposal of reminiscence therapy system using spoken dialog to suppress dementia. Στο *2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, σελίδες 1–2. IEEE, 2017.
- [187] Yunyun Niu, Detian Kong, Rong Wen, Zhiguang Cao και Jianhua Xiao. An improved learnable evolution model for solving multi-objective vehicle routing problem with stochastic demand. *Knowledge-Based Systems*, 230:107378, 2021.
- [188] Shahram Nourizadeh, Claude Deroussent, Jean Pierre Thomesse και others. A distributed elderly healthcare system. Στο *MobiHealth 2009*, 2009.

- [189] OLA. <http://www.aal-europe.eu/projects/ola/>, Cited 6 March 2019.
- [190] JS Olson και S Redkar. A survey of wearable sensor networks in health and entertainment. *MOJ Appl. Bionics Biomech*, 2(5):280–287, 2018.
- [191] openIoT. <https://openiot.fbkc.eu/>, Cited 23 February 2023.
- [192] R Orpwood, A Sixsmith, J Torrington, J Chadd, G Gibson και G Chalfont. Designing technology to support quality of life of people with dementia. *Technology and Disability*, 19(2-3):103–112, 2007.
- [193] Roger Orpwood, Sidsel Bjørneby, Inger Hagen, Outi Mäki, Richard Faulkner και Päivi Topo. User involvement in dementia product development. *Dementia*, 3(3):263–279, 2004.
- [194] Tanaka Osamu, Toshin Ryu, Akira Hayashida, Vasily Moshnyaga, Daiki Sakamoto, Yuki Imai και Takuma Shibata. A smart system for home monitoring of people with cognitive impairment. Στο *2014 IEEE Canada International Humanitarian Technology Conference-(IHTC)*, σελίδες 1–4. IEEE, 2014.
- [195] Oura Ring: Accurate Health Information Accessible to Everyone. <https://ouraring.com>, Cited 21 October 2021.
- [196] Prafulla Kumar Padhi και Fernando Charrua-Santos. 6g enabled tactile internet and cognitive internet of healthcare everything: Towards a theoretical framework. *Applied System Innovation*, 4(3):66, 2021.
- [197] PAMAP. <http://www.aal-europe.eu/projects/pamap/>, Cited 4 March 2019.
- [198] Christos Panagopoulos, Eirini Kalatha, Panayiotis Tsanakas και Ilias Maglogiannis. Evaluation of a mobile home care platform. Στο *European Conference on Ambient Intelligence*, σελίδες 328–343. Springer, 2015.
- [199] Nisha Panwar, Shantanu Sharma, Sharad Mehrotra, Łukasz Krzywiecki και Nalini Venkatasubramanian. Smart home survey on security and privacy. *arXiv preprint arXiv:1904.05476*, 2019.
- [200] Nicolas Papernot, Patrick McDaniel, Arunesh Sinha και Michael P Wellman. Sok: Security and privacy in machine learning. Στο *2018 IEEE European Symposium on Security and Privacy (EuroS&P)*, σελίδες 399–414. IEEE, 2018.
- [201] Hugo Peixoto, Vasco Ramos, Carolina Marques και José Machado. Predicting diabetes disease for healthy smart cities. *EAI Endorsed Transactions on Smart Cities*, 6(18):ε1–ε1, 2022.



- [202] Eduardo Pérez-Roman, Michelle Alvarado και Meredith Barrett. Personalizing healthcare in smart cities. *Smart Cities in Application: Healthcare, Policy, and Innovation*, σελίδες 3–18, 2020.
- [203] PersonAAL. <http://www.personaal-project.eu/>, Cited 6 March 2019.
- [204] PETAL. <http://www.aal-europe.eu/projects/petal/>, Cited 9 March 2019.
- [205] Sandeep Pirbhulal, Heye Zhang, Md Eshrat E Alahi, Hemant Ghayvat, Subhas Chandra Mukhopadhyay, Yuan Ting Zhang και Wanqing Wu. A novel secure iot-based smart home automation system using a wireless sensor network. *Sensors*, 17(1):69, 2016.
- [206] Lukasz Piwek, David A Ellis, Sally Andrews και Adam Joinson. The rise of consumer health wearables: promises and barriers. *PLoS medicine*, 13(2):e1001953, 2016.
- [207] PLAYTIME. <http://aal-playtime.eu/>, Cited 9 March 2019.
- [208] Amonrat Prasitsupparote, Yohei Watanabe και Junji Shikata. Implementation and analysis of fully homomorphic encryption in wearable devices. Στο *The Fourth International Conference on Information Security and Digital Forensics. The Society of Digital Information and Wireless Communications*, σελίδες 1–14, 2018.
- [209] Caroline Prodhon και Christian Prins. A survey of recent research on location-routing problems. *European Journal of Operational Research*, 238(1):1–17, 2014.
- [210] Meng Qiu, Zhuo Fu, Richard Eglese και Qiong Tang. A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with discrete split deliveries and pickups. *Computers & Operations Research*, 100:102–116, 2018.
- [211] Tauhidur Rahman, Alexander Travis Adams, Mi Zhang, Erin Cherry, Bobby Zhou, Huaishu Peng και Tanzeem Choudhury. Bodybeat: a mobile system for sensing non-speech body sounds. Στο *MobiSys*, τόμος 14, σελίδες 2–594. Citeseer, 2014.
- [212] Sajay Rai, Philip Chukwuma και Richard Cozart. *Security and Auditing of Smart Devices: Managing Proliferation of Confidential Data on Corporate and BYOD Devices*. Auerbach Publications, 2016.

- [213] Carlos Ramos, Juan Carlos Augusto και Daniel Shapiro. Ambient intelligence—the next step for artificial intelligence. *IEEE Intelligent Systems*, 23(2):15–18, 2008.
- [214] Raspberry Pi. <https://www.raspberrypi.org/>, Cited 10 February 2023.
- [215] Raspberry Pi 3 Model B+. <https://www.raspberrypi.com/products/raspberrypi-3-model-b-plus/>, Cited 10 February 2023.
- [216] Raspberry Pi Zero W. <https://www.raspberrypi.com/products/raspberrypi-zero-w/>, Cited 10 February 2023.
- [217] Julia Richter, Michel Findeisen και Gangolf Hirtz. Assessment and care system based on people detection for elderly suffering from dementia. Στο *2015 IEEE 5th International Conference on Consumer Electronics-Berlin (ICCE-Berlin)*, σελίδες 59–63. IEEE, 2015.
- [218] Vincent Ricquebourg, David Menga, David Durand, Bruno Marhic, Laurent Delahoche και Christophe Loge. The smart home concept: our immediate future. Στο *2006 1st IEEE international conference on e-learning in industrial electronics*, σελίδες 23–28. IEEE, 2006.
- [219] Nicola Rieke, Jonny Hancox, Wenqi Li, Fausto Milletari, Holger R Roth, Shadi Albarqouni, Spyridon Bakas, Mathieu N Galtier, Bennett A Landman, Klaus Maier-Hein και others. The future of digital health with federated learning. *NPJ digital medicine*, 3(1):1–7, 2020.
- [220] Juan Carlos Rivera, H Murat Afsar και Christian Prins. Mathematical formulations and exact algorithm for the multitrip cumulative capacitated single-vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 249(1):93–104, 2016.
- [221] Kurt Rohloff και Yuriy Polyakov. An end-to-end security architecture to collect, process and share wearable medical device data. Στο *2015 17th International Conference on E-health Networking, Application & Services (HealthCom)*, σελίδες 615–620. IEEE, 2015.
- [222] ROSETTA. <http://www.aal-europe.eu/projects/rosetta/>, Cited 8 March 2019.
- [223] Rashmi Ranjan Rout, Satish Vemireddy, Sanjib Kumar Raul και Durvasula VLN SomayaJulu. Fuzzy logic-based emergency vehicle routing: An iot system

- development for smart city applications. *Computers & Electrical Engineering*, 88:106839, 2020.
- [224] Enrico Russo, Maurizio Palesi, Salvatore Monteleone, Davide Patti, Andrea Mineo, Giuseppe Ascia και Vincenzo Catania. Dnn model compression for iot domain-specific hardware accelerators. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(9):6650–6662, 2021.
- [225] Seyedmostafa Safavi και Zarina Shukur. Conceptual privacy framework for health information on wearable device. *PloS one*, 9(12):ε114306, 2014.
- [226] Mikail Mohammed Salim, Inyeung Kim, Umarov Doniyor, Changhoon Lee και Jong Hyuk Park. Homomorphic encryption based privacy-preservation for iomt. *Applied Sciences*, 11(18):8757, 2021.
- [227] Ramon Sanchez-Iborra. Lpwan and embedded machine learning as enablers for the next generation of wearable devices. *Sensors*, 21(15):5218, 2021.
- [228] Filippo Sanfilippo και Claudio Pacchierotti. A wearable haptic system for the health monitoring of elderly people in smart cities. *International Journal of Online Engineering*, 14(08):1–15, 2018.
- [229] Sai Sri Sathya, Praneeth Vepakomma, Ramesh Raskar, Ranjan Ramachandra και Santanu Bhattacharya. A review of homomorphic encryption libraries for secure computation. *arXiv preprint arXiv:1812.02428*, 2018.
- [230] Alexandra Schieweck, Erik Uhde, Tunga Salthammer, Lea C Salthammer, Lidia Morawska, Mandana Mazaheri και Prashant Kumar. Smart homes and the control of indoor air quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94:705–718, 2018.
- [231] Markus Schinle, Ioannis Papantonis και Wilhelm Stork. Personalization of monitoring system parameters to support ambulatory care for dementia patients. Στο *2018 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*, σελίδες 1–6. IEEE, 2018.
- [232] Roland Schlöglhofer και Johannes Sametinger. Secure and usable authentication on mobile devices. Στο *Proceedings of the 10th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia*, σελίδες 257–262, 2012.
- [233] Secure Wi-Fi For Healthcare Applications. Aruba Network (n.d.). [https://www.arubanetworks.com/assets/wp/WP\\_Healthcare\\_WLAN.pdf](https://www.arubanetworks.com/assets/wp/WP_Healthcare_WLAN.pdf), Cited 23 October 2021.

- [234] LH Segura Anaya, Abeer Alsadoon, Nectar Costadopoulos και PWC Prasad. Ethical implications of user perceptions of wearable devices. *Science and engineering ethics*, 24(1):1–28, 2018.
- [235] Suranga Seneviratne, Yining Hu, Tham Nguyen, Guohao Lan, Sara Khalifa, Kanchana Thilakarathna, Mahbub Hassan και Aruna Seneviratne. A survey of wearable devices and challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(4):2573–2620, 2017.
- [236] Keyur Tapan Shah. *Privacy and Security Issues of Wearables in Healthcare*. Διδακτορική Διατριβή, Flinders University, College of Science and Engineering., 2019.
- [237] Sharing of wearable health device data U.S. 2018. (n.d.) Statista. <https://www.statista.com/statistics/829472/wearable-health-data-sharing-willingness-us-adults/>, Cited 22 October 2021.
- [238] Micah J Sheller, G Anthony Reina, Brandon Edwards, Jason Martin και Spyridon Bakas. Multi-institutional deep learning modeling without sharing patient data: A feasibility study on brain tumor segmentation. Στο *International MICCAI Brainlesion Workshop*, σελίδες 92–104. Springer, 2018.
- [239] Daphna Shohamy και Anthony D. Wagner. Integrating memories in the human brain: Hippocampal-midbrain encoding of overlapping events. *Neuron*, 60(2):378–389, 2008.
- [240] Shachar Siboni, Asaf Shabtai, Nils O Tippenhauer, Jemin Lee και Yuval Elovici. Advanced security testbed framework for wearable iot devices. *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)*, 16(4):1–25, 2016.
- [241] Bhagya Nathali Silva, Murad Khan και Kijun Han. Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustainable cities and society*, 38:697–713, 2018.
- [242] Panote Siriaraya και Chee Siang Ang. Developing virtual environments for older users: Case studies of virtual environments iteratively developed for older users and people with dementia. Στο *2017 2nd International Conference on Information Technology (INCIT)*, σελίδες 1–6. IEEE, 2017.
- [243] Andrew Sixsmith και Grant Gibson. Music and the wellbeing of people with dementia. *Ageing & Society*, 27(1):127–145, 2007.
- [244] SmartBEAT. <https://www.smartbeatproject.org/>, Cited 6 March 2019.

- [245] SMARTHOME+. <https://www.gosmarthomeplus.com/control/>, Cited 28 May 2019.
- [246] Petros Spachos, Jieyu Lin, Hadi Bannazadeh και Alberto Leon-Garcia. Smart room monitoring through wireless sensor networks in software defined infrastructures. Στο *2015 IEEE 4th International Conference on Cloud Networking (CloudNet)*, σελίδες 216–218. IEEE, 2015.
- [247] Xiaoqiang Sun, Peng Zhang, Mehdi Sookhak, Jianping Yu και Weixin Xie. Utilizing fully homomorphic encryption to implement secure medical computation in smart cities. *Personal and Ubiquitous Computing*, 21(5):831–839, 2017.
- [248] Nagender Kumar Suryadevara, Subhas C Mukhopadhyay, Ruili Wang και RK Rayudu. Forecasting the behavior of an elderly using wireless sensors data in a smart home. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(10):2641–2652, 2013.
- [249] Roberto Tadei, Edoardo Fadda, Luca Gobbato, Guido Perboli και Mariangela Rosano. An ict-based reference model for e-grocery in smart cities. Στο *Smart Cities: First International Conference, Smart-CT 2016, Málaga, Spain, June 15-17, 2016, Proceedings 1*, σελίδες 22–31. Springer, 2016.
- [250] Shi Yi Tan και Wei Chang Yeh. The vehicle routing problem: State-of-the-art classification and review. *Applied Sciences*, 11(21):10295, 2021.
- [251] Enrico Tanuwidjaja, Derek Huynh, Kirsten Koa, Calvin Nguyen, Churen Shao, Patrick Torbett, Colleen Emmenegger και Nadir Weibel. Chroma: a wearable augmented-reality solution for color blindness. Στο *Proceedings of the 2014 ACM international joint conference on pervasive and ubiquitous computing*, σελίδες 799–810, 2014.
- [252] Bogdan Tatomir, Leon JM Rothkrantz και Adriana C Suson. Travel time prediction for dynamic routing using ant based control. Στο *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC)*, σελίδες 1069–1078. IEEE, 2009.
- [253] Anurag Tiwari και Pei Chann Chang. A block recombination approach to solve green vehicle routing problem. *International Journal of Production Economics*, 164:379–387, 2015.

- [254] Vasileios Tsoukas, Anargyros Gkogkidis και Athanasios Kakarountas. A survey on mobile user perceptions of sensitive data and authentication methods. Στο *24th Pan-Hellenic Conference on Informatics*, σελίδες 346–349, 2020.
- [255] James Tung, Heather Snyder, Jesse Hoey, Alex Mihailidis, Maria Carrillo και Jesus Favela. Everyday patient-care technologies for alzheimer’s disease. *IEEE Pervasive Computing*, 12(4):80–83, 2013.
- [256] TV Assist Dem. <http://www.tvassistdem-aal.eu/>, Cited 8 March 2019.
- [257] Zoe Valero, Gema Ibáñez, Juan Carlos Naranjo και Pablo García. Amivital: Digital personal environment for health and well-being. Στο *International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare*, σελίδες 160–167. Springer, 2010.
- [258] Zoe Valero, Gema Ibáñez, Juan Carlos Naranjo και Pablo García. Amivital: Digital personal environment for health and well-being. Στο *Wireless Mobile Communication and Healthcare: Second International ICST Conference, MobiHealth 2010, Ayia Napa, Cyprus, October 18-20, 2010. Revised Selected Papers 1*, σελίδες 160–167. Springer, 2011.
- [259] Ashley D Vanstone και Lola L Cuddy. Musical memory in alzheimer disease. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 17(1):108–128, 2009.
- [260] Vizier. <http://www.aal-europe.eu/projects/vizier/>, Cited 4 March 2019.
- [261] Robert Andrei Voicu, Ciprian Dobre, Lidia Bajenaru και Radu Ioan Ciobanu. Human physical activity recognition using smartphone sensors. *Sensors*, 19(3):458, 2019.
- [262] Lode Vuegen, Bert Van Den Broeck, Peter Karsmakers, Bart Vanrumste και others. Automatic monitoring of activities of daily living based on real-life acoustic sensor data: A preliminary study. Στο *Fourth workshop on speech and language processing for assistive technologies (SLPAT): Proceedings*, σελίδες 113–118. Association for Computational Linguistics (ACL); Stroudsburg, 2013.
- [263] Jiang qing Wang, Xiao nian Tong και Zi mao Li. An improved evolutionary algorithm for dynamic vehicle routing problem with time windows. Στο *Computational Science-ICCS 2007: 7th International Conference, Beijing, China, May 27-30, 2007, Proceedings, Part IV 7*, σελίδες 1147–1154. Springer, 2007.

- [264] Shengling Wang, Rongfang Bie, Feng Zhao, Nan Zhang, Xiuzhen Cheng και Hyeong Ah Choi. Security in wearable communications. *IEEE Network*, 30(5):61–67, 2016.
- [265] Xiaoni Wang και Zhenjiang Zhang. Data division scheme based on homomorphic encryption in wsns for health care. *Journal of medical systems*, 39(12):1–7, 2015.
- [266] Yapeng Wang, Xu Yang, Yutian Zhao, Yue Liu και Laurie Cuthbert. Bluetooth positioning using rssi and triangulation methods. Στο *2013 IEEE 10th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, σελίδες 837–842. IEEE, 2013.
- [267] WE CARE. <http://www.aal-europe.eu/projects/we-care/>, Cited 4 March 2019.
- [268] Wearable device usage 2021. (n.d.) Statista. <https://www.statista.com/forecasts/1101110/wearables-devices-usage-in-selected-countries>, Cited 22 October 2021.
- [269] Wearable medical devices market Latin America 2025. (n.d.) Statista. <https://www.statista.com/statistics/800329/wearable-medical-devices-market-value-latin-america/>, Cited 22 October 2021.
- [270] Wearables sales volume in Russia 2021. (n.d.) Statista. <https://www.statista.com/statistics/1243485/number-of-wearables-sold-in-russia/>, Cited 22 October 2021.
- [271] What is a denial of service attack (Dos)? (n.d.). Palo Alto Networks. <https://www.paloaltonetworks.com/cyberpedia/what-is-a-denial-of-service-attack-dos>, Cited 23 October 2021.
- [272] Antoni Wiercioch, Stephanie Teufel και Bernd Teufel. The authentication dilemma. *J. Commun.*, 13(8):443–449, 2018.
- [273] Charlie Wilson, Tom Hargreaves και Richard Hauxwell-Baldwin. Smart homes and their users: a systematic analysis and key challenges. *Personal and Ubiquitous Computing*, 19:463–476, 2015.
- [274] Marcin Woźniak και Dawid Połap. Intelligent home systems for ubiquitous user support by using neural networks and rule-based approach. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(4):2651–2658, 2019.

- [275] Huai Kuei Wu, Tei Wei Hung, Ssu Han Wang και Jian Wen Wang. Development of a shoe-based dementia patient tracking and rescue system. Στο *2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI)*, σελίδες 885–887. IEEE, 2018.
- [276] Yiyong Xiao, Qihong Zhao, Ikou Kaku και Yuchun Xu. Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem. *Computers & operations research*, 39(7):1419–1431, 2012.
- [277] Zhiwen Xiao, Xin Xu, Huanlai Xing, Fuhong Song, Xinhan Wang και Bowen Zhao. A federated learning system with enhanced feature extraction for human activity recognition. *Knowledge-Based Systems*, 229:107338, 2021.
- [278] Jie Xu, Benjamin S Glicksberg, Chang Su, Peter Walker, Jiang Bian και Fei Wang. Federated learning for healthcare informatics. *Journal of Healthcare Informatics Research*, 5(1):1–19, 2021.
- [279] Srihari Yamanoor και Narasimha Sai Yamanoor. Position paper: Low-cost solutions for home-based healthcare. Στο *2021 International Conference on COMMunication Systems & NETWORKS (COMSNETS)*, σελίδες 709–714. IEEE, 2021.
- [280] Dan Yang, Bin Xu, Kaiyou Rao και Weihua Sheng. Passive infrared (pir)-based indoor position tracking for smart homes using accessibility maps and a-star algorithm. *Sensors*, 18(2):332, 2018.
- [281] Qiang Yang, Yang Liu, Tianjian Chen και Yongxin Tong. Federated machine learning: Concept and applications. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*, 10(2):1–19, 2019.
- [282] Junfeng Yao, Chao Lin, Xiaobiao Xie, Andy JuAn Wang και Chih Cheng Hung. Path planning for virtual human motion using improved a\* star algorithm. Στο *2010 Seventh international conference on information technology: new generations*, σελίδες 1154–1158. IEEE, 2010.
- [283] Kiyoshi Yasuda, Tadashi Misu, Bobbie Beckman, Osamu Watanabe, Yoshinori Ozawa και Tetsuo Nakamura. Use of an ic recorder as a voice output memory aid for patients with prospective memory impairment. *Neuropsychological Rehabilitation*, 12(2):155–166, 2002.
- [284] Samuel Yeom, Irene Giacomelli, Matt Fredrikson και Somesh Jha. Privacy risk in machine learning: Analyzing the connection to overfitting. Στο *2018*



- IEEE 31st computer security foundations symposium (CSF)*, σελίδες 268–282. IEEE, 2018.
- [285] Shanhe Yi, Zijiang Hao, Zhengrui Qin και Qun Li. Fog computing: Platform and applications. Στο *2015 Third IEEE workshop on hot topics in web systems and technologies (HotWeb)*, σελίδες 73–78. IEEE, 2015.
- [286] Xun Yi, Russell Paulet και Elisa Bertino. Homomorphic encryption. Στο *Homomorphic encryption and applications*, σελίδες 27–46. Springer, 2014.
- [287] Bin Yu και Zhong Zhen Yang. An ant colony optimization model: The period vehicle routing problem with time windows. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(2):166–181, 2011.
- [288] Chi Zhang, Hossain Shahriar και ABM Kamrul Riad. Security and privacy analysis of wearable health device. Στο *2020 IEEE 44th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC)*, σελίδες 1767–1772. IEEE, 2020.
- [289] Jianghua Zhang, Yingxue Zhao, Weili Xue και Jin Li. Vehicle routing problem with fuel consumption and carbon emission. *International Journal of Production Economics*, 170:234–242, 2015.
- [290] Shuai Zhang, Sally McClean, Bryan Scotney, Xin Hong, Chris Nugent και Maurice Mulvenna. Decision support for alzheimer’s patients in smart homes. Στο *2008 21st IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems*, σελίδες 236–241. IEEE, 2008.
- [291] Xiaoxia Zhang και Lixin Tang. A new hybrid ant colony optimization algorithm for the vehicle routing problem. *Pattern Recognition Letters*, 30(9):848–855, 2009.
- [292] Martin Zsarnoczky και others. Innovation challenges of the silver economy. *VADYBA*, 28(1):105–109, 2016.



# Συντομογραφίες

ΕΑΔ	Εμπιστευτικότητα-Ακεραιότητα-Διαθεσιμότητα
ΕΟΠΥΥ	Εθνικός Οργανισμός Παροχής Υπηρεσιών Υγείας
ΕΥΔ	Ενεργή και Υποβοηθούμενη Διαβίωση
ΚΑΡΠΑ	Καρδιοπνευμονική Αναζωογόνηση
ΟΚ	Ομομορφική Κρυπτογράφηση
ΠΔΟ	Πρόβλημα Δρομολόγησης των Οχημάτων
ΠΝ	Περιβάλλουσα Νοημοσύνη
ΤΝ	Τεχνητή Νοημοσύνη
ΤΠΕ	Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών
AAL	Active and Assisted Living
AI	Artificial Intelligence
AmI	Ambient Intelligent
ARS	Action Recognition System
BAN	Body Area Network
BLE	Bluetooth Low Energy
CIA	Confidentiality-Integrity-Availability
CLRIP	Combined Location Routing and Inventory Problem
COTS	Commercial Off-The-Shelf
CPU	Central Processing Unit
CVRP	Capacitated Vehicle Routing Problem
DDNS	Dynamic Domain Name System
DDoS	Distributed Denial of Service
DL	Deep Learning
DoS	Denial of Service
DPDP	Deep Policy Dynamic Programming
DRL	Deep Reinforcement Learning
DVRP	Dynamic Vehicle Routing Problem
EMVRP	Energy Minimizing Vehicle Routing Challenge
EVRP-CC	Electric Vehicle Routing Problem with Chance Constraints
FCVRP	Fuel Consumption Vehicle Routing Problem

---

FL	Federated Learning
GA	Genetic Algorithm
GCVRP	Green Capacitated Vehicle Routing Problem
GSM	Global System for Mobile Communications
GPS	Global Positioning System
GPU	Graphics Processing Unit
GVRP	Green Vehicle Routing Problem
HCI	Human-Computer Interface
HE	Homomorphic Encryption
IAQ	Indoor Air Quality
IaaS	Infrastructure-as-a-Service
ICMP	Internet Control Message Protocol
IoE	Internet of Everything
IoT	Internet of Things
IRP	Inventory Routing Problem
ISP	Internet Service Provider
JSON	JavaScript Object Notation
KB	Knowledge-Based
LAN	Local Area Network
LNS	Large Neighborhood Search
LPWAN	Low-Power Wide-Area Network
LQTS	Long QT
LRP	Location Routing Problem
MAN	Metropolitan Area Network
MCC	Mobile Cloud Computing
MDVRP	multi-depot VRP
MEC	Mobile Edge Computing
MITM	Man-in-the-Middle
ML	Machine Learning
MOCVRP	Multiobjective Capacitated Vehicle Routing Problem
MOLRP	Multiobjective Location Routing Problem
MOVRPTW	Multiobjective Vehicle Routing Problem with Time Windows
MO-VRPSD	Multi-Objective Vehicle Routing Problem with Stochastic Demand
mt-CCSVRP	multi-route single-vehicle capacity problem
NB-IoT	NarrowBand-IoT
PAN	Personal Area Network
PIR	Passive Infrared
PRE	Proxy Re-Encryption

---

RF	Radio Frequency
RFID	Radio-Frequency IDentification
RL	Reinforcement Learning
RSSI	Received Signal Strength Indicator
SaaP	Software as a Platform
SaaS	Software as a Service
SDVRP	Split Delivery VRP
SVRPTW	Sampled Vehicle Routing Problem with Time Windows
TinyML	Tiny Machine Learning
TRL	Technology Readiness Lever
TSP	Traveling Salesman Problem
TSPTW	TSP with time windows
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UI	User Interface
UWB	Ultra-WideBand
VM	Virtual Machine
VRP	Vehicle Routing Problem
VRPTW	Vehicle Routing Problem with Time Windows
WAN	Wide Area Network
WD	Wearable Device
WRAN	Wireless Regional Area Network
WSNs	Wireless Sensor Networks



# Κατάλογος Δημοσιεύσεων

## Δημοσιεύσεις σε Βιβλία

1. E. Boumpa, and A. Kakarountas, “Home Supporting Smart Systems for Elderly People.” *Convergence of ICT and Smart Devices for Emerging Applications*. Springer, Cham, 2020. 81-98. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-41368-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-41368-2_4)

## Δημοσιεύσεις σε Επιστημονικά Περιοδικά με Σύστημα Κριτών

1. E. Boumpa, A. Gkogkidis, I. Charalampou, A. Ntaliani, A. Kakarountas, & V. Kokkinos, “An acoustic-based smart home system for people suffering from dementia” *Technologies*, 2019, 7(1). <https://doi.org/10.3390/technologies7010029>
2. E. Boumpa, V. Tsoukas, V. Chioktour, M. Kalafati, G. Spathoulas, A. Kakarountas, P. Trivellas, & G. Malindretos, “A Review of the Vehicle Routing Problem and the Current Routing Services in Smart Cities” *Analytics*, 2023, 2(1), 1-16. <https://doi.org/10.3390/analytics2010001>
3. V. Tsoukas, A. Gkogkidis, E. Boumpa, S. Papafotikas, A. Kakarountas, “A Gas Leakage Detection Device Based on the Technology of TinyML” *Technologies* 2023, 11(2), 45. <https://doi.org/10.3390/technologies11020045>
4. V. Tsoukas, E. Boumpa, V. Chioktour, M. Kalafati, G. Spathoulas, A. Kakarountas, “Development of a Dynamically Adaptable Routing System for Data Analytics Insights in Logistic Services” *Analytics*, 2023, 2(2), 328-345, <https://doi.org/10.3390/analytics2020018>

## Δημοσιεύσεις σε Διεθνή Επιστημονικά Συνέδρια με Σύστημα Κριτών

1. E. Boumpa, and A. Kakarountas, “Smart System for Supporting the Elderly in Home Environment”, *International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare, MobiHealth 2019* Springer, Cham, 2019. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49289-2\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49289-2_14)

2. V. Tsoukas, E. Boumpa, G. Giannakas, and A. Kakarountas, “A Review of Machine Learning and TinyML in Healthcare”, in 25th Pan-Hellenic Conference on Informatics, 2021, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 69–73. <https://doi.org/10.1145/3503823.3503836>
3. E. Boumpa, V. Tsoukas, A. Gkogkidis, G. Spathoulas, & A. Kakarountas, “Security and Privacy Concerns for Healthcare Wearable Devices and Emerging Alternative Approaches”, in International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare, MobiHealth 2021, pp. 19-38, Springer, Cham, 2022. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-06368-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-06368-8_2)
4. A. Gkogkidis, V. Tsoukas, S. Papafotikas, E. Boumpa, & A. Kakarountas, “A TinyML-based system for gas leakage detection”, in 2022 11th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST), pp. 1-5, IEEE. <https://doi.org/10.1109/MOCASST54814.2022.9837510>
5. E. Boumpa, V. Tsoukas, V. Chioktour, M. Kalafati, G. Spathoulas, A. Kakarountas, “Smart Delivery for Goods Exploiting ML Algorithms”, in 26th Pan-Hellenic Conference on Informatics, 2023, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 304-308. <https://doi.org/10.1145/3575879.3576009>

### Εργασίες σε Τεχνικά Περιοδικά με Σύστημα Κριτών

1. E. Boumpa, and A. Kakarountas “Technological Memory Aids for Neurodegenerative Diseases and the AuDi-o-Mentia Approach”, Digital Health, 2019, 40



