



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΥΦΥΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΔΙΑΧΥΤΗΣ
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΕ ΥΠΟΒΟΗΘΟΥΜΕΝΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ
ΔΙΑΒΙΩΣΗΣ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

του

ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥ Θ. ΤΣΙΡΜΠΑ

Διπλωματούχου Ηλεκτρολόγου Μηχ. & Μηχ. Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Μελέτη και ανάπτυξη ευφυών αλγορίθμων κα συστημάτων για την
εφαρμογή της διάχυτης τηλεπισκόπησης σε υποβοηθούμενα περιβάλλοντα
διαβίωσης**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Χαράλαμπος Θ. Τσίρμπας

Διπλωματούχου Ηλεκτρολόγου Μηχ. & Μηχ. Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Συμβούλευτική Επιτροπή: Καθ. Δημήτριος-Διονύσιος Κουτσούρης (επιβλέπων)

Καθ. Κωνσταντίνα Νικήτα

Καθ. Παναγιώτης Τσανάκας

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Δημήτριος-Διονύσιος Κουτσούρης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Κωνσταντίνα Νικήτα
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Παναγιώτης Τσανάκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Ματσόπουλος
Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δημήτρης Φωτιάδης
Καθηγητής Παν. Ιωαννίνων

.....
Μαρία Χαρίτου
Ερευνήτρια Α' ΕΠΙΣΕΥ

.....
Αθηνά Λαζακίδου
Επίκ. Καθηγήτρια Παν. Πελοποννήσου

.....
Χαράλαμπος Θ. Τσίρμπας

Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Χαράλαμπος Θ. Τσίρμπας, 2017.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Πρωτίστως θα ήθελα να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στον επιβλέποντά μου, Καθ. Δημήτρη Κουτσούρη, τόσο για τις πλούσιες συμβουλές, γνώσεις και εμπειρίες που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής μου, όσο και για τη διαρκή ηθική συμπαράστασή του.

Ξεχωριστές ευχαριστίες οφείλω στην Καθ. Κωνσταντίνα Νικήτα και τον Καθ. Παναγιώτη Τσανάκα, που συνέβαλαν συμβουλευτικά όπου αυτό χρειάστηκε καθώς και στα υπόλοιπα μέλη της επαμελούς επιτροπής, Καθ. Δημήτρη Φωτιάδη, Αναπλ. Καθ. Γιώργο Ματσόπουλο, Ερευνήτρια Α' ΕΠΙΣΕΥ Μαρία Χαρίτου και Επίκ. Καθ. Αθηνά Λαζακίδου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω με τον πιο θερμό τρόπο την οικογένεια μου, που ήταν πάντα πυξίδα για εμένα σε κάθε δύσκολο σταυροδρόμι και σύμβουλος σε κάθε δύσκολη απόφαση. Τις αδερφές μου Ιωάννα και Ανδριάννα για την ψυχολογική υποστήριξη και τους γονείς μου Θεόδωρο και Γεωργία γιατί χωρίς αυτούς τίποτα από αυτά που πραγματεύεται η παρούσα διατριβή δεν θα μπορούσε να έχει συμβεί.

Οφείλω επίσης ευχαριστίες σε όλους τους, ανώνυμους για τον αναγνώστη αλλά επώνυμους για τον συγγραφέα, ήρωες της ζωής μου. Φίλους, συναδέλφους, και συνεργάτες που συνέβαλαν με τον τρόπο τους στη συγγραφή της διατριβής, αλλά και στη διαμόρφωση της επιστημονικής και κοινωνικής μου ταυτότητας.

Περίληψη

Σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης οι προσεγγίσεις καθώς και το όραμα διαφέρουν σημαντικά και σύμφωνα με τα διαφορετικά πεδία εφαρμογής. Ωστόσο, τρεις είναι οι βασικές προσεγγίσεις που διαφαίνονται στη βιβλιογραφία: της δικτύωσης, της τεχνολογίας των «πραγμάτων» και της σημασιολογίας της πληροφορίας. Η κατανόηση, η επεξεργασία και η συσχέτιση της διαθέσιμης πληροφορίας σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης αποτελεί πρόκληση για την επιστημονική κοινότητα.

Παρόλο που το περιεχόμενο της εκάστοτε εφαρμογής της διάχυτης τηλεπισκόπησης σε υπηρεσίες ηλεκτρονικής υγείας μπορεί να ποικίλει, μία πτυχή παραμένει σταθερή, αυτή του αριθμού των πηγών πληροφορίας. Για παράδειγμα, οι εφαρμογές που συλλέγουν δεδομένα από έναν πεπερασμένο και περιορισμένο αριθμό φυσικών και εικονικών αισθητήρων, είναι σε θέση να συλλέγουν και να αναλύουν τα δεδομένα από το σύνολο των αισθητήρων. Σε αντίθεση με τη διάχυτη τηλεπισκόπηση, η οποία οραματίζεται ως ένα περιβάλλον που συνίσταται από ένα μεγάλο πλήθος αισθητήρων, η συλλογή και επεξεργασία όλων των δεδομένων είναι ανέφικτη. Γι' αυτό, θεωρείται ότι η κατανόηση, η συσχέτιση και η αξιολόγηση της διαθέσιμης πληροφορίας θα παιξουν καταλυτικό ρόλο. Οι εξελίξεις σε ερευνητικά πεδία, όπως οι τηλεπικοινωνίες και η μηχανική μάθηση, συμβάλλουν στην εδραίωση της διάχυτης τηλεπισκόπησης σε τομείς υγείας και πιο συγκεκριμένα σε δομές όπως τα Περιβάλλοντα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης (ΠΥΔ).

Με γνώμονα τα παραπάνω, η παρούσα διδακτορική διατριβή μελετά, προτείνει και αναπτύσσει ευφυείς αλγόριθμους και συστήματα με σκοπό να καταστήσει δυνατή την εφαρμογή της διάχυτης τηλεπισκόπησης σε εφαρμογές της ηλεκτρονικής υγείας και πιο συγκεκριμένα σε δομές υποβοηθούμενης διαβίωσης.

Αρχικά, στο Κεφάλαιο 2 μελετάται η προσέγγιση της διάχυτης τηλεπισκόπησης με βάση τα πράγματα. Σε αυτό το πλαίσιο προτείνεται μια τοπολογία δικτύου συνδυάζοντας ώριμες τεχνολογίες, όπως το Radio-frequency identification (RFID) και το IPv6. Η τοπολογία αυτή εκμεταλλεύεται τα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών σε επίπεδο δικτύωσης και χρησιμοποιεί έναν ενδιάμεσο κόμβο αντιστοίχισης για να λύσει προβλήματα, τόσο σε επίπεδο επικοινωνίας όσο και σε επίπεδο διαχείρισης της διαθέσιμης πληροφορίας. Τέλος, η τοπολογία αυτή αξιολογήθηκε σε ένα γενικότερο σενάριο υγειονομικής φροντίδας.

Στη συνέχεια του Κεφαλαίου 2, προτείνεται και αξιολογείται ένα ευφυές σύστημα και ο σχετικός αλγόριθμος, για τον εσωτερικό εντοπισμό και την πλοήγηση ανθρώπου μέσα σε μία δομή ΠΥΔ. Το σύστημα βασίζεται στην τεχνολογία RFID και αναπτύσσει μια τεχνική με διασταυρούμενα μαθηματικά τρίγωνα, με σκοπό τον εντοπισμό (σταθερών και κινητών)

εμποδίων και την πλοιόγηση του χρήστη στον τελικό προορισμό, με έναν ασφαλή και φυσικό τρόπο. Για την αξιολόγηση της λύσης, υλοποιήθηκαν τόσο οι κατάλληλες RFID ετικέτες όσο και το αντίστοιχο πρωτότυπο, και δοκιμάστηκαν σε έναν αριθμό εθελοντών και σεναρίων.

Στη συνέχεια της διατριβής, έχοντας μελετήσει τη βιβλιογραφία στο Κεφάλαιο 3 και αναγνωρίσει την ανάγκη για τη χρήση πληροφορίας επίγνωσης πλαισίου στη διάχυτη τηλεπισκόπηση, προτάθηκε, υλοποιήθηκε και αξιολογήθηκε στο Κεφάλαιο 4 μια αρχιτεκτονική ευφυούς συστήματος σε ένα ΠΥΔ. Επίσης, στα πλαίσια αυτής της αρχιτεκτονικής, προτάθηκε και μια επέκταση της Semantic Sensor Network Ontology με σκοπό την καλύτερη μοντελοποίηση της πληροφορίας πλαισίου που παράγεται από τον εκάστοτε αισθητήρα. Το σύστημα αξιολογήθηκε σε ένα υβριδικό σύστημα προσομοίωσης που μας επέτρεψε να δοκιμάσουμε σενάρια, έχοντας τόσο φυσικούς όσο και εικονικούς αισθητήρες. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον το σύστημα μπόρεσε να καταστήσει δυνατή τη δυναμική διαχείριση, την κατανόηση και την επεξεργασία πληροφορίας από αισθητήρες, υλοποιώντας διάφορα επίπεδα δημιουργίας και διαχείρισης πληροφορίας πλαισίου.

Το Κεφάλαιο 6 έχει σαν στόχο να μελετήσει το πώς η έννοια της ασαφούς λογικής μπορεί να εφαρμοστεί στις ροές δεδομένων, με σκοπό τη συσχέτιση των αισθητήρων σε ένα ΠΥΔ. Πιο συγκεκριμένα, προτείνεται και αξιολογείται ένα ευφυές σύστημα που υλοποιεί τους κατάλληλους αλγόριθμους εξόρυξης ασαφών συνόλων, μέτρα ομοιότητας και τεχνικές μάθησης. Το σύστημα αξιολογήθηκε σε ροές δεδομένων από ΠΥΔ, όπως αυτά περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 5, ενώ προτάθηκε και ένα νέο μέτρο αξιολόγησης, που αντικατοπτρίζει περισσότερο τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Στο 7^ο -και τελευταίο- κεφάλαιο της διατριβής υλοποιήθηκε μια μεθοδολογία και ένας αλγόριθμος εξαγωγής προφίλ συσχέτισης των διαθέσιμων αισθητήρων, εκμεταλλευόμενοι την τεχνολογία επίγνωσης πλαισίου. Η τεχνική αυτή έχει σαν σκοπό να ορίσει τη σχέση μεταξύ των αναγκών/προτιμήσεων/δράσεων των χρηστών με τους διαθέσιμους αισθητήρες, προκειμένου να είμαστε σε θέση να εκμεταλλευόμαστε όσο το δυνατόν καλύτερα τις διαθέσιμες πληροφορίες και να διαχειριζόμαστε με αποτελεσματικό τρόπο το εγκατεστημένο δίκτυο αισθητήρων. Αυτό επιτυγχάνεται, εκτιμώντας το ποσοστό συμμετοχής των αισθητήρων για οποιαδήποτε δραστηριότητα υψηλού επιπέδου, με βάση τις προηγούμενες εκτελούμενες από το χρήστη δραστηριότητες χαμηλού επιπέδου. Τέλος, η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόστηκε και αξιολογήθηκε σε ένα ΠΥΔ.

Λέξεις Κλειδιά

Διάχυτη Τηλεπισκόπηση, Διαδίκτυο Των Πραγμάτων, Ασαφής Συσχέτιση Περιεχομένου, Εντοπισμός Εσωτερικού Χώρου, Πλοιόγηση Εσωτερικού Χώρου, RFID, Συσχέτιση Ροών Αισθητήρων, Επίγνωση Πλαισίου

Abstract

In a ubiquitous sensing environment, the approaches and the vision vary significantly according the application. However, there are three main approaches that are emerging in the literature: “Things” oriented, “Internet” oriented, Semantic oriented visions. The processing and the correlation of the available information in a ubiquitous sensing is a big challenge for the scientific community.

Although the content of every application in ubiquitous sensing, especially in electronic health care, can vary one aspect remains the same the number of sources. For example, a system that collects data from a predefined number of physical and virtual sensors, is able to manage and analyze data from all the sensors. In contrast to the ubiquitous sensing technology, which envisions an environment consisting of a large number of sensors, the collection and process of all data is impossible. That’s why, the efficient correlation and evaluation of the available information is considered as big challenge. The progress in scientific areas such as telecommunications and machine learning can contribute to the implementation of the ubiquitous sensing in health care and more particularly in Ambient Assisted Living (AAL) structures.

Based on the above, the current thesis studies, proposes and develops intelligent algorithms and systems in order to enable the implementation of ubiquitous sensing in e-health applications and more particularly in AAL.

In Chapter 2 we studied the ubiquitous sensing technology based on the «Things» oriented vision. In this context, we proposed a network topology combining mature technologies such as Radio-frequency identification (RFID) and IPv6. This topology exploits characteristics from both technologies in terms of networking. Specifically, it uses an intermediate node for mapping to solve problems both in communication and information management level. Finally, this topology was evaluated in a general health care scenario.

Furthermore, we developed an intelligent system as well as the respective algorithm for indoor human localization and navigation in AAL structure. A system that is based on RFID technology and the required technique have been developed. The system used intersecting mathematical triangles to identify (fixed and mobile) barriers and navigate the user to his/her final destination in a safe and natural way. To evaluate the solution, we developed the appropriate RFID tags and prototypes and they were tested in a number of volunteers and scenarios.

Moreover, we studied the literature in Chapter 3 and we recognized the need of use a context awareness framework in ubiquitous sensing. Then, we implemented in Chapter 4 an intelligent system architecture for AAL structure. In the context of this architecture, an extension of the Semantic Sensor Network Ontology was developed, for better modeling and understanding of the available information generated by each sensor. The system was evaluated in a hybrid simulation system that allowed us to test scenarios having both physical and virtual sensors. In

such an environment the system could enable the dynamic management, understanding and processing information from sensors by implementing various levels of creation and management of context information.

Chapter 6 aims to study the way that fuzzy logic can be applied to data streams in order to provide a ranking a list for each sensor in an AAL environment. More specifically we build an intelligent system that implements the appropriate fuzzy sets extraction algorithms, similarity metrics and machine learning techniques. The system was evaluated in datasets from AAL structures, as these have been described in Chapter 5. Finally, a new evaluation metric was proposed reflecting better the specific problem.

In the last chapter we developed an algorithm for profile generation based on the available sensors by using a context aware framework. This technique targeted to define the relationship between the needs / preferences / actions of the users and the available sensors. The goal was to exploit the available information and manage effectively the established sensor network. In order to do that, we calculated the degree of correlation of each sensor for every high level activity, based on previous performed by user low-level activities. Finally, the proposed method was evaluated in AAL data streams.

Key Words

Ubiquitous Sensing, Internet of Things, RFID, Indoor Navigation, Indoor Localization, Data Content Similarity, Fuzzy Similarity, Context Awareness, Profile Generation

Περιεχόμενα

Περίληψη	7
Abstract	9
Λίστα Εικόνων	15
Λίστα Πινάκων	17
Λίστα Διαγραμμάτων	18
Κεφάλαιο 1	21
Διάχυτη Τηλεπισκόπηση	21
1.1 Επικρατούσες Τεχνολογίες της Διάχυτης Τηλεπισκόπησης.....	25
1.2.1 Αναγνώριση, Ανίχνευση και Επικοινωνία μέσω Συστημάτων RFID	25
1.2.2 Ιστός των Πραγμάτων (Web of Things)	29
1.2.2.1 Διαλειτουργικότητα του Ιστού των Πραγμάτων	30
1.2.2.2 Αρχιτεκτονική του Ιστού των Πραγμάτων.....	31
1.2.3 Τεχνολογίες Σημασιολογικής Διαχείρισης και Διαλειτουργικότητας, Υποστηριζόμενες από Τεχνικές Αναπαράστασης, Γνώσης και Συμπερασμού.	32
Κεφάλαιο 2	35
Μελέτη και Ανάπτυξη Εφαρμογών της Διάχυτης Τηλεπισκόπησης σε Υπηρεσίες Ηλεκτρονικής Υγείας	35
2.1 Συναφείς Εφαρμογές.....	36
2.2 Σενάριο Εφαρμογής της Διάχυτης Τηλεπισκόπησης σε Υπηρεσίες Υγειονομικής Φροντίδας.....	39
2.2.1 Τεχνολογικό Υπόβαθρο	40
2.2.2 Μεθοδολογία.....	42
2.2.3 Ένα Σενάριο RFID-IPv6 στην Ιατρική Περίθαλψη.....	44
2.2.4 Συμπεράσματα Σεναρίου Εφαρμογής.....	46
2.3 Εφαρμογή της Διάχυτης Τηλεπισκόπησης στην Πλοήγηση Ηλικιωμένων και Ατόμων με Προβλήματα Όρασης σε Περιβάλλοντα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης, με Χρήση RFID	46

2.3.1 Τεχνολογικό Υπόβαθρο	47
2.3.2 Μεθοδολογία.....	50
2.3.2.1 <i>Εμπόδια</i>	52
2.3.2.2 <i>Σύνολα Τριγώνων</i>	53
2.3.2.3 <i>Χρόνος Ακινητοποίησης</i>	56
2.3.2.4 <i>Σχεδιασμός Κεραίας</i>	57
2.3.3 Εφαρμογή Ευφυή Αλγορίθμου και Συστημάτων RFID σε Εσωτερικό Χώρο, σε ένα Περιβάλλον Υποβοηθούμενης Διαβίωσης	61
2.3.3.1 <i>Σενάριο 1</i>	61
2.3.3.2 <i>Σενάριο 2</i>	62
2.3.3.3 <i>Σενάριο 3</i>	63
2.3.3.4 <i>Σενάριο 4</i>	64
2.3.4 Σχεδιασμός Συστήματος	64
2.3.4.1 <i>Αρχιτεκτονική Συστήματος</i>	66
2.3.5 Αποτελέσματα.....	68
2.4 Συμπεράσματα Σεναρίου Εφαρμογής.....	73
Κεφάλαιο 3.....	75
Μελέτη της Επίγνωσης Πλαισίου στη Διάχυτη Τηλεπισκόπηση	75
3.1 Ενδιάμεσο Λογισμικό	76
3.2 Βασικά Χαρακτηριστικά της Επίγνωσης Πλαισίου.....	77
3.2.1 Ορισμοί Σχετικοί με την Επίγνωση Πλαισίου	77
3.2.1.1 <i>Ορισμός του Πλαισίου</i>	77
3.2.1.2 <i>Ορισμός της Επίγνωσης Πλαισίου</i>	78
3.3 Δυνατότητες της Επίγνωσης Πλαισίου.....	79
3.4 Τύποι και Κατηγορίες Πλαισίου	80
3.5 Απόκτηση Πλαισίου	86
3.6 Μοντελοποίηση και Αναπαράσταση του Πλαισίου	87

3.7 Οντολογίες στην Επίγνωση Πλαισίου	92
3.8 Συμπερασμός Πλαισίου	95

Κεφάλαιο 4.....103

Αρχιτεκτονική Πλατφόρμας για την Εφαρμογή της Διάχυτης Τηλεπισκόπησης σε ένα Περιβάλλον Υποβοηθούμενης Διαβίωσης 103

4.1 Βασικές Υπηρεσίες και Προδιαγραφές σε ένα ΠΥΔ.....	104
4.2 Χαρακτηριστικά και Προκλήσεις	106
4.3 Σχεδίαση και Υλοποίηση Αρχιτεκτονικής Συστήματος	108
4.3.1 Front-end Διαχειριστής.....	108
4.3.2 Επίπεδο Διαχείρισης και Συντήρησης	109
4.3.3 Επίπεδο Επίγνωσης Πλαισίου.....	110
4.3.4 Επίπεδο Επικοινωνίας Δικτύου.....	111
4.4 Αξιολόγηση της Προτεινόμενης Αρχιτεκτονικής.....	113
4.4.1 Σενάρια Αξιολόγησης	118
4.5 Συζήτηση – Συμπεράσματα	120

Κεφάλαιο 5.....123

Σύνολο Δεδομένων Δραστηριότητας σε Περιβάλλοντα Διάχυτης Τηλεπισκόπησης123

5.1 Σενάρια Εφαρμογής Δραστηριοτήτων και Διάταξη Πειράματος	124
5.1.1 Σενάριο Εφαρμογής	126
5.1.2 Συστοιχία Αισθητήρων	127
5.1.3 Πρωτόκολλο Πειράματος	130
5.2 Διαχείριση, Συγχρονισμός και Επισήμανση του Συνόλου Δεδομένων	130
5.2.1 Διαχείριση Ετερογενών Δεδομένων	130
5.2.2 Συγχρονισμός Ετερογενών Δεδομένων	131
5.2.3 Επισήμανση Δεδομένων	131
5.3 Αξιολόγηση του Συνόλου των Δεδομένων και Συμπεράσματα	132

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	135
Ασαφής Συσχέτιση Περιεχομένου Δεδομένων σε Περιβάλλον Διάχυτης Τηλεπισκόπησης.....	135
6.1 Συναφείς Εργασίες.....	136
6.2 Μεθοδολογία.....	137
6.2.1 Εξαγωγή Ασαφών Συνόλων.....	138
6.2.2 Επιλογή Ασαφών Μέτρων Ομοιότητας.....	141
6.2.3 Εξαγωγή Λίστας Κατάταξης Συσχέτισης και Αναγωγή σε Πρόβλημα Ταξινόμησης Πολλαπλών Κλάσεων	144
6.2.4 Μέτρο Ακρίβειας Κατάταξης	146
6.3 Εφαρμογή σε ένα Περιβάλλον Υποβοηθούμενης Διαβίωσης	148
6.3.1 Εφαρμογή της Μεθοδολογίας στα Διαθέσιμα Δεδομένα	149
6.3.2 Αποτελέσματα.....	152
6.4 Συζήτηση – Συμπεράσματα	160
Κεφάλαιο 7.....	163
Μέθοδος Δημιουργίας Προφύλ σε Ένα Περιβάλλον Διάχυτης Τηλεπισκόπησης	163
7.1 Συναφείς Εργασίες.....	164
7.2 Κίνητρο	165
7.3 Μεθοδολογία.....	166
7.4 Εφαρμογή σε ένα Περιβάλλον Υποβοηθούμενης Διαβίωσης	175
7.4.1 Δεδομένα.....	175
7.4.2 Εφαρμογή της Μεθοδολογίας στα Διαθέσιμα Δεδομένα	176
7.4.2 Αποτελέσματα.....	180
7.5 Συζήτηση – Συμπεράσματα	182
Κεφάλαιο 8.....	183
Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία	183
8.1 Συμπεράσματα	184

Εφαρμογή της Διάχυτης Τηλεπισκόπησης σε Υπηρεσίες Υγείας	184
Ασαφής Συσχέτιση Ροών Δεδομένων στη Διάχυτη Τηλεπισκόπηση.....	185
Μέθοδος Δημιουργίας Προφίλ σε Ένα Περιβάλλον Διάχυτης Τηλεπισκόπησης	185
8.2 Προτάσεις για Μελλοντική Εργασία	186
Βιβλιογραφία	189
Παράρτημα Α: Δημοσιεύσεις.....	199
Παράρτημα Β: Χρησιμοποιούμενοι όροι	203

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1 Τομείς εφαρμογής της διάχυτης τηλεπισκόπησης	22
Εικόνα 2 Εφαρμογές της διάχυτης τηλεπισκόπησης σε διάφορους τομείς.....	23
Εικόνα 3 Η διάχυτη τηλεπισκόπηση ως αποτέλεσμα συγκλινουσών τεχνολογιών και διαφορετικών προσεγγίσεων.....	24
Εικόνα 4 Αρχιτεκτονική του Ιστού των Πραγμάτων [5].....	30
Εικόνα 5 Ο προβλεπόμενος αριθμός συνδεδεμένων συσκευών στο διαδίκτυο [13]	32
Εικόνα 6 Σχηματική αναπαράσταση της πρώτοτυπης υπηρεσίας «RFID - based IoT for medication control» [17].....	37
Εικόνα 7 Internet of Things e-Health μοντέλου συστήματος [18].....	38
Εικόνα 8 Διάγραμμα Τοπολογίας Δικτύου	42
Εικόνα 9 Ροη πληροφορίας μεταξύ ετικετών και χρηστών	43
Εικόνα 10 Αρχιτεκτονική προτεινόμενου συστήματος.....	45
Εικόνα 11 Το τρίγωνο «κατεύθυνσης».....	54
Εικόνα 12 Ο συνδυασμός των T1& T2	55
Εικόνα 13 Υπολογισμός τόξου.....	56
Εικόνα 14 Υπολογισμός χρόνου ακινητοποίησης.....	56

Εικόνα 15 Σπειροειδές πηνίο και υπολογισμοί	57
Εικόνα 16 Υλοποίηση συστήματος αναγνώστη και ετικέτας-κεραίας	58
Εικόνα 17 Ορθογώνιο επίπεδο σπειροειδές πηνίο επαγωγής.....	58
Εικόνα 18 Σπειροειδές πηνίο επαγωγής.....	60
Εικόνα 19 Τετραγωνικό πηνίο επαγωγής	61
Εικόνα 21 Σενάριο 2	63
Εικόνα 22 Σενάριο 3	64
Εικόνα 23 Σχεδιασμός του συστήματος.....	65
Εικόνα 24 Αρχιτεκτονική συστήματος.....	67
Εικόνα 25 Εθελοντής κατά την πειραματική διαδικασία.....	68
Εικόνα 26 Υπολογισμός της κοντινότερης διαδρομής.....	69
Εικόνα 27 Επαναυπολογισμός της κοντινότερης διαδρομής	70
Εικόνα 28 Εντοπισμός μη αναμενόμενου εμποδίου	71
Εικόνα 29 Πρόταση συστήματος για την αποφυγή εμποδίου.....	71
Εικόνα 30 Αναγκαία ακινητοποίηση χρήστη μετά από εμφάνιση εμποδίου σε πολύ κοντινή απόσταση	72
Εικόνα 31 Ανίχνευση μη αναμενόμενου εμποδίου κατά τη χρονική στιγμή που ο χρήστης βρίσκεται ήδη σε διαδικασία αποφυγής.....	72
Εικόνα 32 Οι βασικοί άξονες ενός περιβάλλοντος διάχυτης τηλεπισκόπησης.....	106
Εικόνα 33 Αρχιτεκτονική πλατφόρμας 5-επιπέδων	109
Εικόνα 34 Υβριδικό σύστημα προσομοίωσης πλαισίου Siafu	113
Εικόνα 35 Προσομοίωση μιας ΥΠΔ δομής.....	115
Εικόνα 36 Τοποθεσίες υψηλού κινδύνου για πτώση.....	115
Εικόνα 37 Προσομοίωση αισθητήρων δόνησης	116
Εικόνα 38 Επέκταση δικτύου της SSNO	118
Εικόνα 39 Το σύστημα OPPORTUNITY[108]	124
Εικόνα 40 Το δωμάτιο εξοπλισμένο με πληθώρα αισθητήρων από ψηλά [108]	125
Εικόνα 41 Θέσεις των αισθητήρων πάνω στο σώμα του εθελοντή [108].....	128
Εικόνα 42 Αισθητήρες τοποθετημένοι στα αντικείμενα [108]	128
Εικόνα 43 Ποσοστό απώλειας και η μέση διάρκεια αποσύνδεση [108]	134
Εικόνα 44 Τα 4 βήματα της αρχιτεκτονικής του προτεινόμενους συστήματος	137
Εικόνα 46 Σύγκριση 2 ροών δεδομένων με βάση τα ασαφή σύνολα τους	140
Εικόνα 47 Εξαγωγή ασαφών συνόλων από τον αισθητήρα S7.....	151
Εικόνα 48 Εξαγωγή ασαφών συνόλων από τον αισθητήρα S9.....	151

Εικόνα 49 Εξαγωγή ασαφών συνόλων από τον αισθητήρα S10	152
Εικόνα 50 Τα 5-Βήματα για την παραγωγή των προφίλ	167
Εικόνα 51 Οργάνωση ενός SOM	168
Εικόνα 52 α) Αρχικοποίηση του SOM, β) Ποσοστιαία μετακίνηση του κόμβου νικητή προς το δεδομένο εκπαιδευσης	169
Εικόνα 53 Υλοποίηση αλγορίθμου Fuzzy c-means	171
Εικόνα 54 Δομή μίας δραστηριότητας υψηλού επιπέδου	174
Εικόνα 55 Ο χάρτης με τους νευρώνες του εκπαιδευμένου SOM	178
Εικόνα 56 Αναλυτικά οι νευρώνες και ο αριθμός των διανυσμάτων εισόδου που έχουν καταταχθεί σε αυτούς	178

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 Ζώνες συχνοτήτων και εφαρμογές	29
Πίνακας 2 Τύποι βοήθειας για τους ηλικιωμένους ασθενείς [17].....	36
Πίνακας 3 Ετικέτες και χαρακτηριστικά	40
Πίνακας 4 Χαρακτηριστικά κεραίας προς υλοποίηση.....	60
Πίνακας 5 Πειραματικοί χρόνοι	73
Πίνακας 6 Συγκεντρωτικός πίνακας δυνατοτήτων ενδιάμεσων λειτουργικών για διάχυτη τηλεπισκόπηση.....	77
Πίνακας 7 Δυνατότητες επίγνωσης πλαισίου.....	80
Πίνακας 8 Συσχέτιση κύριου και δευτερεύοντος πλαισίου	81
Πίνακας 9 Συγκεντρωτικός πίνακας τύπων πλαισίων [36]	82
Πίνακας 10 Συσχέτιση κατηγοριών πλαισίου(L=Low, M=Medium, H=high) [36]	85
Πίνακας 11 Σύγκριση μεθόδων απόκτησης πλαισίου	87
Πίνακας 12 Σύγκριση των τεχνικών μοντελοποίησης του πλαισίου	91
Πίνακας 13 Σύγκριση των πιο δημοφιλών οντολογικών γλωσσών	94
Πίνακας 14 Σύγκριση των τεχνικών συμπερασμού του πλαισίου	101
Πίνακας 15 Χαρακτηριστικά των αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν	114
Πίνακας 16 Σενάρια πιθανών χρηστών	119

Πίνακας 17 Διερευνηθέντες Δυνατότητες.....	120
Πίνακας 18 Ανάλυση των χρησιμοποιούμενων αισθητήρων.....	129
Πίνακας 19 Στατιστικά στοιχεία βασισμένα στις διάφορες κατηγορίες κίνησης (δευτερόλεπτα)	
.....	133
Πίνακας 20 Επιλεχθέντες αισθητήρες.....	150
Πίνακας 21 Επιλεχθείς αισθητήρες.....	177
Πίνακας 22 Εξαγόμενα Προφίλ	179

Λίστα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 Δημοτικότητα των τεχνικών συμπερασμού[92]	96
Διάγραμμα 2 Η ακρίβεια στην περίπτωση του ίδιου χρήστη δραστηριότητας και συνεδρίας.	153
Διάγραμμα 4 Η ακρίβεια στην περίπτωση του ίδιου χρήστη διαφορετικής δραστηριότητας και συνεδρίας	154
Διάγραμμα 5 Η ακρίβεια στην περίπτωση του διαφορετικού χρήστη, δραστηριότητας και συνεδρίας	154
Διάγραμμα 6 Ανάκληση, ακρίβεια και F-measure στην περίπτωση του ίδιου χρήστη δραστηριότητας και συνεδρίας	155
Διάγραμμα 7 Ανάκληση, ακρίβεια και F-measure στην περίπτωση του ίδιου χρήστη διαφορετικής δραστηριότητας και συνεδρίας.....	156
Διάγραμμα 8 Ανάκληση, ακρίβεια και F-measure στην περίπτωση του ίδιου χρήστη διαφορετικής δραστηριότητας και συνεδρίας.....	157
Διάγραμμα 9 Ανάκληση, ακρίβεια και F-measure του διαφορετικού χρήστη, δραστηριότητας και συνεδρίας	158
Διάγραμμα 10 Η ακρίβεια για All vs All τους αισθητήρες για τον ίδιο χρήστη	159
Διάγραμμα 11 Η ακρίβεια για All vs All τους αισθητήρες ανεξαρτήτου χρήστη	159
Διάγραμμα 12 Σύγκριση των λιστών κατάταξης που προέκυψαν από τα τυχαία δάση σε σχέση με την μέση ακρίβεια από τις 3 συγχωνευμένες λίστες	160
Διάγραμμα 13 Οι τιμές p-value για τα προτεινόμενα προφίλ.....	181
Διάγραμμα 14 Αξιολόγηση της ταξινόμησης των δραστηριοτήτων.....	181

Κεφάλαιο 1

Διάχυτη Τηλεπισκόπηση

Ο όρος διάχυτη τηλε-επισκόπηση (Ubiquitous Sensing), που τις περισσότερες φορές ταυτίζεται με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things), αναφέρεται σε άμεσα προσπελάσιμα μοναδικά διευθυνσιοδοτημένα διασυνδεδεμένα αντικείμενα. Επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος όρος έναντι της «διάχυτης ανίχνευσης» διότι το πρόθεμα «τηλέ» θεωρούμε ότι είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τον όρο διάχυτη και για συντομία θα αναφερόμαστε σε αυτόν ως «διάχυτη τηλεπισκόπηση».

Η διάχυτη τηλεπισκόπηση είναι ένα όραμα, που γίνεται όλο και πιο εφικτό μέσω της εξέλιξης των σύγχρονων τηλεπικοινωνιών, καθώς και άλλων πεδίων της σύγχρονης επιστήμης και της μηχανικής. Η βασική ιδέα περιγράφει ένα περιβάλλον διάχυτης παρουσίας και τηλεπισκόπησης μέσω αντικειμένων, όπως αισθητήρες, ενεργοποιητές, κινητά τηλέφωνα, κ.α., τα οποία λόγω της αναμεταξύ τους διασύνδεσης είναι σε θέση να αλληλεπιδρούν με το περιφρέον περιβάλλον και να συνεργάζονται με τους διαθέσιμους και απαραίτητους γείτονές τους με σκοπό την επίτευξη κοινών στόχων [1].

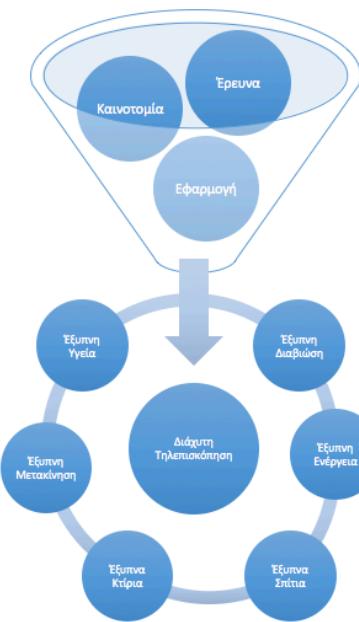
Αναμφισβήτητα, η κύρια δύναμη της ιδέας ενός περιβάλλοντος διάχυτης τηλεπισκόπησης βρίσκεται στο υψηλό αντίκτυπο που θα έχει σε πολλές πτυχές της καθημερινής ζωής και της συμπεριφοράς των χρηστών. Οι θετικές επιδράσεις της εισαγωγής της διάχυτης τηλεπισκόπησης στην καθημερινότητα των ανθρώπων θα είναι ορατές, τόσο στο οικιακό όσο και στο εργασιακό περιβάλλον. Η εδραίωσή της θα επηρεάσει τομείς όπως ο αυτοματισμός, η βιομηχανική παραγωγή, η διαχείριση επιχειρήσεων και διαδικασιών, η μετακίνηση ανθρώπων και αγαθών και τέλος ο τομέας της ηλεκτρονικής υγείας. Λαμβάνοντας υπόψιν το αναμενόμενο αντίκτυπο το οποίο θα έχει η διάχυτη τηλεπισκόπηση, το National Intelligence Council (NIC) των Ηνωμένων

Πολιτειών το συμπεριέλαβε στον κατάλογο των έξι πιο «Disruptive Civil Technologies» [2]. Το NIC προβλέπει ότι

“by 2025 Internet nodes may reside in everyday things – food packages, furniture, paper documents, and more”.

Μέχρι σήμερα έχουν αποδοθεί πολλοί ορισμοί για τον όρο της διάχυτης τηλεπισκόπησης. Οι περισσότεροι από αυτούς όμως καταλήγουν να είναι ασαφείς και αρκετά γενικοί. Η ασάφεια οφείλεται στη φύση του οράματος, καθώς και στις απαιτητικές τεχνολογικές προκλήσεις που αυτή εμπεριέχει. Αυτό διαφαίνεται καλύτερα αν αναλύσουμε τον εναλλακτικό όρο «Διαδίκτυο των Πραγμάτων» (IoT), ο οποίος αποτελείται από δύο υπο-όρους. Ο πρώτος, αυτός του Διαδικτύου, είναι εκείνος που τον προσανατολίζει σε μια λόση καθαρά δικτυακή, ενώ ο δεύτερος, μας προτρέπει να εστιάσουμε στα «πράγματα» και στο πώς αυτά θα είναι σε θέση να ενσωματωθούν κάτω από την ίδια τεχνολογική ομπρέλα και να υλοποιηθούν υπό την επίβλεψη ενός κοινού πλαισίου.

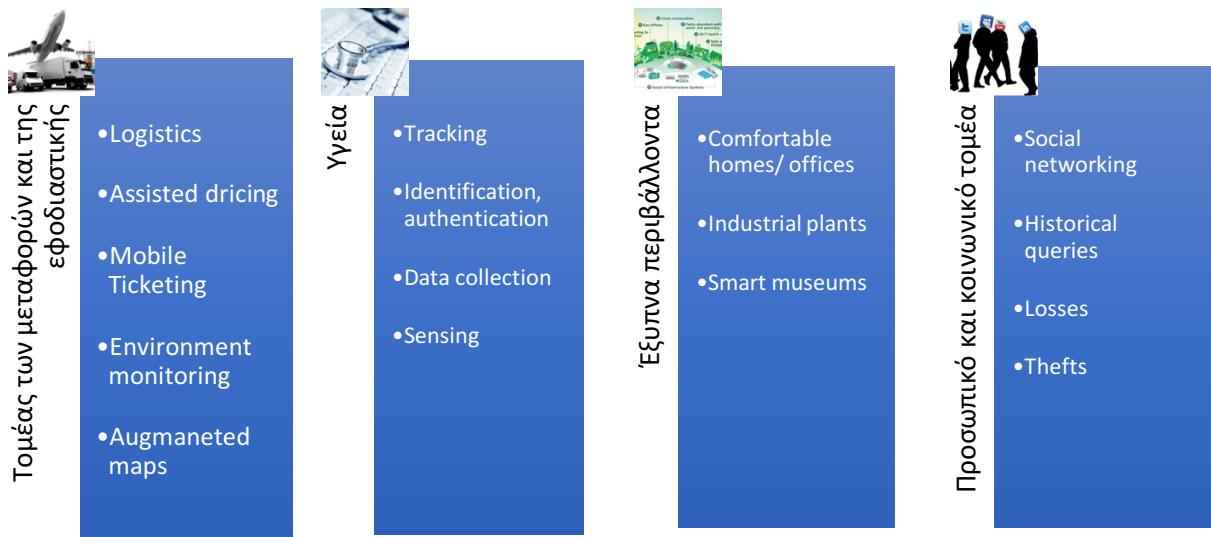
Παρά την ασάφεια στους ορισμούς, το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας παραμένει αμείωτο, μιας και οι δυνατότητες που προσφέρονται μέσω της διάχυτης τηλεπισκόπησης, θα βελτιώσουν σημαντικά την ποιότητα ζωής των πολιτών. Δυστυχώς όμως, τα περιβάλλοντα που πλαισιώνουν αυτούς τους τομείς, είναι εξοπλισμένα με αντικείμενα «πρωτόγονης» νοημοσύνης και τις περισσότερες φορές χωρίς τη δυνατότητα επικοινωνίας. Εάν σε αυτά τα αντικείμενα δοθεί η δυνατότητα επικοινωνίας και συνεργασίας για έναν κοινό στόχο, όπως είναι η επεξεργασία και η κατανόηση της πληροφορίας, τότε είναι βέβαιη η άμεση εφαρμογή της διάχυτης τηλεπισκόπησης σε ένα ευρύ φάσμα σύνθετων εφαρμογών, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1 Τομείς εφαρμογής της διάχυτης τηλεπισκόπησης

Οι πιθανοί τομείς εφαρμογής του Διαδικτύου των Πραγμάτων, και πιο συγκεκριμένα της διάχυτης τηλεπισκόπησης, μπορούν να ομαδοποιηθούν ως εξής:

- Τομέας της υγείας
- Τομέας των μεταφορών και της εφοδιαστικής
- Έξυπνα περιβάλλοντα
- Προσωπικός και κοινωνικός τομέας



Εικόνα 2 Εφαρμογές της διάχυτης τηλεπισκόπησης σε διάφορους τομείς

Στην Εικόνα 2 διαφαίνεται ανάλογα με τα πεδία εφαρμογής, το πώς οι προσεγγίσεις, καθώς και το όραμα για ένα διάχυτο περιβάλλον, διαφέρουν, και μάλιστα κάποιες φορές σημαντικά. Στην πραγματικότητα, η διάχυτη τηλεπισκόπηση ορίζει -και κατ' επέκταση προϋποθέτει- ένα δίκτυο από διασυνδεδεμένα αντικείμενα με μοναδική διευθυνσιοδότηση, βασιζόμενο σε τυποποιημένα πρωτόκολλα επικοινωνίας [3]. Αυτό συμπεριλαμβάνει, την συμμετοχή ενός τεράστιου αριθμού (κατά κύριο λόγο ετερογενών) αντικειμένων. Επιπρόσθετα, η αναγνώριση, η κατανόηση, η διαχείριση και τέλος η συσχέτιση της διαθέσιμης πληροφορίας, αποτελεί μία πρόκληση η οποία δεν διαφαίνεται ξεκάθαρα κατά την πρώτη ανάλυση του όρου, αλλά αποτελεί έναν ακόμη προσανατολισμό (σημασιολογικός προσανατολισμός) της διάχυτης τηλεπισκόπησης. Από μια τέτοια προσέγγιση, γίνεται σαφές ότι το μοντέλο της διάχυτης τηλεπισκόπησης είναι αποτέλεσμα της σύγκλισης τριών κύριων εστιάσεων όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3 [4].



Εικόνα 3 Η διάχυτη τηλεπισκόπηση ως αποτέλεσμα συγκλινουσών τεχνολογιών και διαφορετικών προσεγγίσεων

Αξίζει να γίνει μνεία στην πορεία προσέγγισης της διάχυτης τηλεπισκόπησης μέχρι σήμερα. Ο πρώτος ορισμός ήταν βασισμένος στην «Προσέγγιση στα Πράγματα». Ο ορισμός αυτός θεωρούσε τα «πράγματα» πολύ απλά αντικείμενα και πιο συγκεκριμένα [5] Radio-Frequency IDentification (RFID) ετικέτες. Στην πραγματικότητα, ο πρωτότυπος αγγλικός όρος (Internet of Things) προέρχεται από τα Auto-ID Labs [6], τα οποία ερευνούν το πεδίο της δικτύωσης RFID και νέων τεχνολογιών τηλεπισκόπησης. Η ίδια ομάδα ερευνητών δημιούργησε και το the Electronic Product Code™ (EPC), με σκοπό τη διάδοση του RFID σε νέα δίκτυα παγκόσμιας κάλυψης, και από το οποίο τελικά δημιουργήθηκαν τα πρότυπα του EPCglobal Network [7]. Τα πρότυπα αυτά εστιάζονται στην καλύτερη «ορατότητα» του αντικειμένου (π.χ. την ιχνηλασιμότητα ενός αντικειμένου, την επίγνωση της κατάστασής του, την τρέχουσα θέση του, κ.λπ.).

Εν συνεχεία, κατά την προσέγγιση της διάχυτης τηλεπισκόπησης με βάση το διαδίκτυο, συναντάμε τον όρο «Ιστό των Πραγμάτων» να αντικαθιστά πολλές φορές τον όρο «Διαδίκτυο των Πραγμάτων». Ο «Ιστός των Πραγμάτων» αποτελεί το όραμα κατά το οποίο μια ποικιλία από υπηρεσίες ιστού ανακαλύπτονται, συνθέτονται και εκτελούνται. Ουσιαστικά, εμπλουτίζει τις παραδοσιακές υπηρεσίες ιστού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπηρεσίες ιστού και προστίθενται στον υπάρχοντα Ιστό, εάν ακολουθούνται τα πρότυπα που απαιτούνται. Με αυτόν τον τρόπο, ουσιαστικά επιτυγχάνουμε ενοποίηση του κυβερνοχώρου και του φυσικού κόσμου.

Τέλος, σε μια προσέγγιση που οι Σημασιολογικές Τεχνολογίες (Semantic Technologies) διαδραματίζουν έναν πολύ σημαντικό ρόλο, η διάχυτη τηλεπισκόπηση, δεν αρκείται μόνο στον εντοπισμό συσκευών, αλλά προσανατολίζεται και στην επίτευξη της σημασιολογικής διαλειτουργικότητας. Τα τελευταία χρόνια, σημασιολογικές τεχνολογίες δικτύου έχουν αποδείξει την ικανότητά τους να συσχετίζουν δεδομένα, όσο και τα σχετικά εργαλεία και τεχνικές αναπτύσσονται συνεχώς. Καθοριστικό ρόλο θα παίξουν οι σημασιολογικές τεχνολογίες στο διαμοιρασμό, καθώς και στην επαναχρησιμοποίηση των εικονικών αντικειμένων μέσω υπηρεσιών δικτύου. Ο σχετικός σημασιολογικός συμπερασμός θα βοηθήσει τους χρήστες της διάχυτης τηλεπισκόπησης να βρίσκουν με περισσότερη ανεξαρτησία τα αντικείμενά τους και να χρησιμοποιούν με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα αντίστοιχες εφαρμογές, με σκοπό τη βελτίωση της καθημερινής τους ζωής.

1.1 Επικρατούσες Τεχνολογίες της Διάχυτης Τηλεπισκόπησης

Η υλοποίηση ενός περιβάλλοντος διάχυτης τηλεπισκόπησης προδιαγράφεται ως συνέχεια και περαιτέρω εξέλιξη των ήδη υπαρχουσών τεχνολογιών και μεθόδων. Σε αυτήν την ενότητα θα αναφερθούμε σύντομα στις βασικές τεχνολογίες που μέχρι σήμερα χρησιμοποιούνται στη διάχυτη τηλεπισκόπηση, από τη σκοπιά των τριών διαφορετικών προσεγγίσεων που δόθηκαν και φαίνονται στην Εικόνα 3. Η παρούσα διατριβή ασχολείται με τα «αντικείμενα» σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης υπηρεσιών υγείας, καθώς και με το σημασιολογικό προσανατολισμό αυτών.

1.2.1 Αναγνώριση, Ανίχνευση και Επικοινωνία μέσω Συστημάτων RFID

Η φράση «anytime, anywhere, anymedia» αποτέλεσε για μεγάλο χρονικό διάστημα ένα ιδεατό όραμα στον τομέα των επικοινωνιών, με τις ασύρματες τεχνολογίες να έχουν διαδραματίσει καίριο ρόλο [8]. Πιο συγκεκριμένα, η μείωση όσον αφορά στο μέγεθος, το βάρος, την κατανάλωση ενέργειας και το κόστος της ασύρματης επικοινωνίας, μπορεί να μας οδηγήσει σε μια νέα εποχή. Κάτι τέτοιο θα μας επέτρεπε την ενσωμάτωσή της σε όλα σχεδόν τα αντικείμενα

και ως εκ τούτου, θα μπορούσε να προστεθεί και η λέξη «anything» στο παραπάνω τρίπτυχο, πράγμα που θα μας έφερνε ακόμη πιο κοντά στην πραγματοποίηση της ιδέας της διάχυτης τηλεπισκόπησης.

Σε αυτό το πλαίσιο, η τεχνολογία που παίζει καταλυτικό ρόλο είναι, όπως αναφέραμε και παραπάνω, το RFID. Η ονομασία RFID προέρχεται από τα πρώτα γράμματα της αγγλικής ορολογίας, με την οποία έχουν γίνει ευρέως γνωστά, Radio Frequency Identification. Στα ελληνικά ο όρος αυτός αποδίδεται ως «ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνοτήτων». Τα συστήματα RFID υπάγονται στη γενικότερη κατηγορία των Συστημάτων Αυτόματου Προσδιορισμού (Automatic Identification Systems), δηλαδή τεχνολογιών που χρησιμοποιούν τα ραδιοκύματα ως κύρια πηγή ταυτοποίησης ή προσδιορισμού ενός αντικειμένου ή ακόμα και ανθρώπου[9].

Εξέλιξη των RFID κατά την πάροδο των χρόνων

Η τεχνολογία RFID δεν αποτελεί καινούργιο τεχνολογικό επίτευγμα, αφού είναι γνωστή τα τελευταία 60 χρόνια και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου από την πολεμική αεροπορία της Αγγλίας, με σκοπό την αναγνώριση εχθρικών ή φιλικών αεροπλάνων. Συγκεκριμένα, το τότε στρατιωτικό σύστημα εξέπεμπε ένα ραδιοσυχνικό σήμα σε κάθε αεροπλάνο που πλησίαζε και εάν αυτό ήταν φιλικό, τότε ανάγκαζε τον αναμεταδότη του αεροπλάνου να ανταποκριθεί στο σήμα που δεχόταν.

Κατά τις δεκαετίες 1960 και 1970, ξεκίνησε η χρήση πομπών, που εξέπεμπαν ραδιοκύματα και είχαν σκοπό την παρακολούθηση του πολεμικού εξοπλισμού. Στα 1980 και 1990 άρχισε να κατασκευάζεται ένα πιο λεπτομερές σχέδιο του κυκλώματος ενός πομπού, σε ένα πολύ μικρό κύκλωμα (chip), εξαιρούμενης της κεραίας. Αυτό αποτέλεσε ένα τεχνολογικό άλμα που σηματοδότησε την άφιξη της ετικέτας ραδιοσυχνικής αναγνώρισης (RFID tag), μιας μικρής, υψηλής συχνότητας, συσκευής αναγνώρισης, η οποία μπορεί να τοποθετηθεί πάνω σε οποιοδήποτε αντικείμενο. Έως τα μέσα της δεκαετίας του 1990, οι RFID ετικέτες έγιναν ευρέως γνωστές χάρη στη χρήση τους σε πληθώρα εφαρμογών, που εξυπηρετούσαν κυρίως καταναλωτές [10].

Στις επόμενες δεκαετίες, η εξέλιξή τους ήταν ραγδαία. Κατά τα αρχικά στάδια της εδραίωσής τους, η χρήση τους περιορίζόταν σε πειράματα και ερευνητικούς σκοπούς σε εργαστήρια. Μια από τις πρώτες τεχνολογίες που αναπτύχθηκε στον τομέα αυτό, και την οποία συναντάμε πλέον στην καθημερινή μας ζωή, ήταν οι ραβδωτοί κώδικες, ή αλλιώς με την αγγλική και ευρέως διαδεδομένη ορολογία, τα barcodes. Ουσιαστικά τα συστήματα RFID αποτελούν την τεχνολογική εξέλιξη των barcodes [15].

Λειτουργία των RFID

Ένα σύστημα RFID αποτελείται από δύο μέρη, τους πομποδέκτες (tags ή transponders), οι οποίοι τοποθετούνται πάνω στο προς αναγνώριση αντικείμενο, και τον αναγνώστη (reader ή

interrogator), ο οποίος επικοινωνεί με τον πομποδέκτη και μεταφέρει τη λαμβανόμενη πληροφορία στο σύστημα διαχείρισης και επεξεργασίας δεδομένων. Ανάλογα με την εφαρμογή που θέλουμε να υλοποιήσουμε, επιλέγουμε ξεχωριστά τα χαρακτηριστικά των τμημάτων από τα οποία θα αποτελείται το σύστημά μας.

Η μεταφορά της πληροφορίας που λαμβάνει η συσκευή ανάγνωσης, μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς τρόπους, μέσω καλωδίου usb ή δικτυακά μέσω Ethernet. Καθώς και ασύρματα μέσω τεχνολογίας Bluetooth, Wi-Fi, GPS και άλλων ευρέως χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών. Η επιλογή του καταλληλότερου μέσου μεταφοράς βασίζεται και πάλι στο είδος της προς υλοποίηση εφαρμογής.

Η λειτουργία των συστημάτων RFID επικεντρώνεται σε μία από τις δύο παρακάτω διαδικασίες: full duplex (FDX) / half duplex (HDX) συστήματα ή σειριακά (sequential- SEQ) συστήματα. Στον πρώτο τύπο συστημάτων, η απάντηση του πομποδέκτη πραγματοποιείται με μετάδοση ευρείας κάλυψης (broadcasting), όταν φυσικά βρίσκεται εντός του πεδίου ανάγνωσης του αναγνώστη. Αντιθέτως, στα σειριακά συστήματα, το πεδίο εμβέλειας του αναγνώστη απενεργοποιείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Τα διαστήματα αυτά αναγνωρίζονται από τους πομποδέκτες και χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση της πληροφορίας από τον πομποδέκτη στον αναγνώστη. Το βασικό μειονέκτημα ενός σειριακού συστήματος είναι η απώλεια ενέργειας που υφίσταται ο πομποδέκτης κατά τη διάρκεια του διαστήματος απενεργοποίησης του αναγνώστη, η οποία μπορεί να εξομαλυνθεί από συμπληρωματική παροχή ενέργειας πυκνωτών ή μπαταριών[9].

Κατηγοριοποίηση με βάση την πηγή ενέργειας

Η κατηγοριοποίηση των πομποδεκτών γίνεται ανάλογα με την προέλευση της ενέργειάς τους και χωρίζονται σε παθητικούς και ενεργητικούς. Παθητικοί πομποδέκτες είναι εκείνοι που δεν διαθέτουν ισχύ από μόνοι τους, αλλά λαμβάνουν την απαιτούμενη ενέργεια μέσω των ραδιοκυμάτων που τους στέλνει ο αναγνώστης [11]. Επίσης, δεν διαθέτουν αναμεταδότη, με αποτέλεσμα το μόνο που μπορούν να κάνουν είναι να ανακλούν προς τα πίσω τα ραδιοκύματα που δέχονται από τον αναγνώστη.

Αντιθέτως, οι ενεργητικοί πομποδέκτες διαθέτουν αναμεταδότη και δική τους ενσωματωμένη παροχή ισχύος ή αλλιώς ενέργεια. Η ενέργεια αυτή είναι συνήθως υπό την μορφή μπαταριών αλλά όχι μόνο, όπως αναφέρεται στα [9, 11]. Συγκεκριμένα, εκτός από μπαταρίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης ως πηγή η ηλιακή ενέργεια, ή άλλες μορφές της. Οι ενεργητικοί πομποδέκτες χρησιμοποιούν την ενέργεια των μπαταριών για μετάδοση των πληροφοριών, που είναι αποθηκευμένες στη μνήμη τους. Όμως, για την ενεργοποίηση της διαδικασίας αυτής, είναι απαραίτητη η εκμετάλλευση της ενέργειας, που φτάνει από τον αναγνώστη στον πομποδέκτη. Συνεπώς, οι ενεργητικοί πομποδέκτες τελικά, δεν βασίζονται αποκλειστικά και μόνο στις ενσωματωμένες μπαταρίες τους.

Τέλος υπάρχει και η κατηγορία των ημιενεργητικών και ημιπαθητικών πομποδεκτών που χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Οι δυο αυτές ορολογίες χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν μια κατηγορία πομποδεκτών, που ενώ υπάρχει ενσωματωμένη μπαταρία στο εσωτερικό τους, η μετάδοση των δεδομένων πραγματοποιείται με την ισχύ που λαμβάνουν από τον αναγνώστη και όχι από την μπαταρία. Η μπαταρία χρησιμοποιείται μόνο για τη λειτουργία του ολοκληρωμένου κυκλώματος και για τη διατήρηση των δεδομένων. Επειδή όμως η κατηγορία αυτή είναι τόσο διαδεδομένη και τα RFID αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές, αναφέρονται και αυτά ως ενεργητικά.

Οι ημιπαθητικοί πομποδέκτες, από την άλλη μεριά, για όσο διάστημα βρίσκονται εκτός περιοχής εμβέλειας του αναγνώστη και σε αντίθεση με τους παθητικούς, έχουν τη δυνατότητα να καταγράψουν ζητούμενα δεδομένα και να τα μεταδίδουν μόνο όταν βρεθούν σε περιοχή ανάγνωσης. Όπως είναι αναμενόμενο, ένας τέτοιος πομποδέκτης είναι πιο φθηνός από έναν ενεργητικό, αλλά πιο ακριβός από έναν παθητικό. Το ίδιο συμβαίνει και με την απόσταση ανάγνωσης, που στους ημιπαθητικούς πομποδέκτες είναι μεγαλύτερη από εκείνη των παθητικών, αλλά μικρότερη από εκείνη των ενεργητικών. Ένα αναμφισβήτητα μεγάλο πλεονέκτημα των ημιπαθητικών πομποδεκτών είναι ότι δεν χρειάζονται συντήρηση ή αντικατάσταση όταν οι μπαταρίες τους αποφορτίζονται.

Κατηγοριοποίηση με βάση τη συχνότητα λειτουργίας

Η βασικότερη κατηγοριοποίηση των RFID γίνεται με βάση τη συχνότητα λειτουργίας τους. Κάθε πομποδέκτης, ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία επιλέγεται, λειτουργεί σε συγκεκριμένη συχνότητα, και αυτό διότι η κεραία που βρίσκεται ενσωματωμένη στο εσωτερικό του, έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, που διαφέρουν από πομποδέκτη σε πομποδέκτη. Τα χαρακτηριστικά αυτά καθιστούν την κεραία μοναδική, όπως και τη συχνότητα στην οποία αυτή λειτουργεί. Το φάσμα συχνοτήτων χωρίζεται σε διάφορες μπάντες, ανάλογα με τη χρήση και τις διαφορετικές υπηρεσίες, οι οποίες φαίνονται αναλυτικά στον επόμενο πίνακα.

Όνομασία	Συχνότητα	Απόσταση	Εφαρμογές
Low Frequency (LF)	125 kHz-134kHz	<0.33m (έως 1 ft)	Έλεγχος πρόσβασης, ανίχνευση ζώων και προϊόντων, έλεγχος ιδιωτικής περιουσίας
High Frequency (HF)	3.56 MHz	1m (περίπου 3 ft)	Σε εφαρμογές όπου δεν θέλουμε ευαισθησία στο νερό ή στο μέταλλο
Ultra High Frequency (UHF)	433 MHz- 950MHz	Έως 100m (300 ft)	Στρατιωτικές εφαρμογές όπου απαιτούνται ενεργητικά tags, EAN, διάφορα πρότυπα

Όνομασία	Συχνότητα	Απόσταση	Εφαρμογές
Microwave	2.45 GHz	Ποικίλες	Bluetooth, 802.11 WLAN απαιτούνται
Frequency		αποστάσεις	ενεργητικά ή ημιενεργητικά tags

Πίνακας 1 Ζώνες συχνοτήτων και εφαρμογές

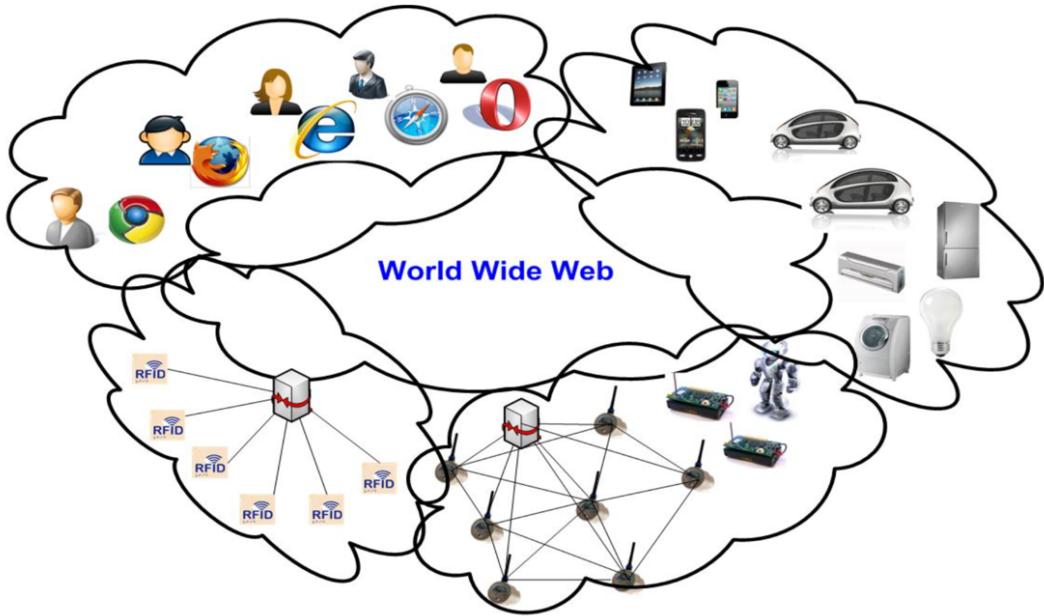
Σύμφωνα με τους Presser, M. και A. Gluhak [12], το RFID θεωρείται ως η κύρια τεχνολογία ενός περιβάλλοντος διάχυτης τεχνολογίας αλλά δεν αποτελεί και τη μοναδική. Αυτό είναι αποτέλεσμα της «ωριμότητας» της τεχνολογίας του RFID και συνάμα του χαμηλού κόστους. Παρ' όλα αυτά, τεχνολογίες όπως Near Field Communications (NFC) and Wireless Sensor and Actuator Networks (WSAN), IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN), θεωρούνται επίσης βασικές για τη διάχυτη τηλεπισκόπηση.

1.2.2 Ιστός των Πραγμάτων (Web of Things)

Τα τελευταία χρόνια, ο Ιστός αποτελεί το κύριο μέσο επικοινωνίας και πιο συγκεκριμένα οι υπηρεσίες ιστού έχουν αποδειχθεί απαραίτητες για τη δημιουργία διαλειτουργικών εφαρμογών στο σημερινό διαδίκτυο. Για πολλές δεκαετίες, ερευνήθηκε η τεχνολογία μικρών σε μέγεθος διακομιστών ιστού και ως εκ τούτου διάφοροι τέτοιοι μικροί διακομιστές είναι διαθέσιμοι σήμερα για ενσωμάτωση σε συστήματα. «Εξυπνα» αντικείμενα με ενσωματωμένους διακομιστές ιστού μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπηρεσίες ιστού και να προστεθούν στον υπάρχοντα Ιστό, εάν ακολουθούνται τα πρότυπα που απαιτούνται. Με αυτόν τον τρόπο, ουσιαστικά επιτυγχάνουμε ενοποίηση του κυβερνοχώρου και του φυσικού κόσμου. Ως αποτέλεσμα, συχνά η διάχυτη τηλεπισκόπηση αντιμετωπίζεται ως Ιστός των Πραγμάτων (Π).

Καθώς ήδη υπάρχουσες τεχνολογίες ιστού μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και να υιοθετηθούν για τη δημιουργία καινούργιων εφαρμογών και υπηρεσιών, με τη βοήθεια έξυπνων αντικειμένων, μας επιτρέπεται υψηλότερη απόδοση ευελιξίας, προσαρμοστικότητας και αποδοτικότητας στις τεχνολογίες που αναπτύσσουμε. Συνοπτικά, και σε αντίθεση με την προσέγγιση που βασίζεται στα πράγματα, η οποία παρέχει διευθύνσεις IP σε καθημερινώς χρησιμοποιούμενες συσκευές, ο ΙΠ τους επιτρέπει να μιλάνε την ίδια γλώσσα, ώστε να επικοινωνούν και να διαλειτουργούν ελεύθερα στον Ιστό [5].

Η Εικόνα 4 απεικονίζει μια γενική δομή του ΙΠ και τα είδη υπηρεσιών και έξυπνων αντικειμένων που μπορεί να περιλαμβάνει:



Εικόνα 4 Αρχιτεκτονική του Ιστού των Πραγμάτων [5]

1.2.2.1 Διαλειτουργικότητα του Ιστού των Πραγμάτων

Η επικοινωνία μεταξύ έξυπνων αντικειμένων μελετάται εδώ και μερικές δεκάδες χρόνια, με αποτέλεσμα να έχουν προταθεί διάφορες τεχνολογίες και πρότυπα σε αυτόν τον τομέα. Το πρώτο στάδιο είναι τα αντικείμενα να μπορούν να ενδοεπικοινωνούν, δηλαδή να μεταφέρουν πληροφορία από τη μια συσκευή στην άλλη. Το επόμενο και πιο σημαντικό, καθώς εκεί βρίσκεται η μεγάλη πρόκληση, είναι η διαλειτουργικότητα. Δηλαδή η ικανότητα, οι συσκευές αυτές να γίνονται μεταξύ τους κατανοητές. Η διαλειτουργικότητα αποτελεί την κυρίαρχη πρόκληση, καθώς εκεί βασίζεται η ενσωμάτωση διάφορων συσκευών στον ιστό. Μερικές τεχνολογίες που επιλύουν θέματα διαλειτουργικότητας είναι:

- Universal Plug and Play (UPnP): είναι μια σουίτα από δικτυακά πρωτόκολλα, για την ανίχνευση και την περαιτέρω εγκαθίδρυση επικοινωνίας για προσωπικές συσκευές δικτύου. Το UPnP βασίζεται σε καθιερωμένα πρωτόκολλα και πρότυπα, όπως τα TCP/IP, UDP, HTTP, HTTPU, SOAP, WSDL κ.α. Αυτή τη στιγμή αποτελεί την πιο δημοφιλή πρόταση για εφαρμογή σε προσωπικά δίκτυα, αν και παρουσιάζει θέματα σχετικά με την ασφάλεια, την πολυπλοκότητα και την παγκόσμια διαλειτουργικότητα.
- Τεχνολογία JXTA: αντίθετα με το UPnP, η τεχνολογία JXTA έρχεται να προτείνει λύση στο σχεδιασμό peer-to-peer εφαρμογών, καθιστώντας εύκολη τη διαλειτουργικότητα ετερογενών συσκευών εντός του ίδιου δικτύου. Δυστυχώς, τα JXTA πρωτόκολλα δεν έχουν καθιερωθεί και ούτε έχουν γίνει παγκοσμίως αποδεκτά για ενσωματωμένες συσκευές.
- Ενσωμάτωση συσκευών στον Ιστό: Έχει αποδειχθεί ότι είναι εφικτή η κατασκευή διακομιστών της τάξης των μερικών KB, κάνοντας πραγματοποιήσιμη την ενσωμάτωσή

τους απευθείας σε διάφορες συσκευές. Με αυτόν τον τρόπο, οι συσκευές αυτές είναι σε θέση να εξυπηρετούν ενεργά τις λειτουργίες τους μέσω του Ιστού. Χρησιμοποιώντας τον Ιστό ως την παγκόσμια πλατφόρμα που ενσωματώνει έξυπνα αντικείμενα, βγαίνουν εκτός συναγωνισμού όλες οι υπόλοιπες λύσεις που έχουν προταθεί έως τώρα, αφού υπερισχύει σε ευκολία, ευελιξία, προσαρμοστικότητα και ασφάλεια έναντι των υπολοίπων.

1.2.2.2 Αρχιτεκτονική του Ιστού των Πραγμάτων

Μια γενική αρχιτεκτονική του ΙΠ παρουσιάζεται στην Εικόνα 4. Το ΙΠ παρουσιάζει μια πιο επίπεδη αρχιτεκτονική δομή σε σύγκριση με την αρχιτεκτονική κλασικών συστημάτων διαχειριστών-πελατών. Χρησιμοποιώντας μια ήδη υπάρχουνσα αρχιτεκτονική δικτύου ως τη βασική πλατφόρμα, δίνεται η δυνατότητα ώστε μερικά έξυπνα αντικείμενα να δρουν ως διακομιστές ιστού και να παρέχουν υπηρεσίες ιστού κατευθείαν στο δίκτυο. Δύο θέματα προκύπτουν σε μια τέτοιου είδους αρχιτεκτονική: πώς να ενσωματώσουμε τα φυσικά αντικείμενα στο δίκτυο και πώς να κάνουμε τα φυσικά πράγματα να παρέχουν συναρθρωμένες και διαλειτουγικές υπηρεσίες ιστού.

Υπάρχουν δύο τρόποι ενσωμάτωσης αντικειμένων στον Ιστό: η άμεση και η έμμεση σύνδεση. Συνήθως ένα σύστημα δεν βασίζεται μόνο σε μια από τις δύο μεθόδους αλλά και στις δύο, συνδυάζοντας τες υβριδικά.

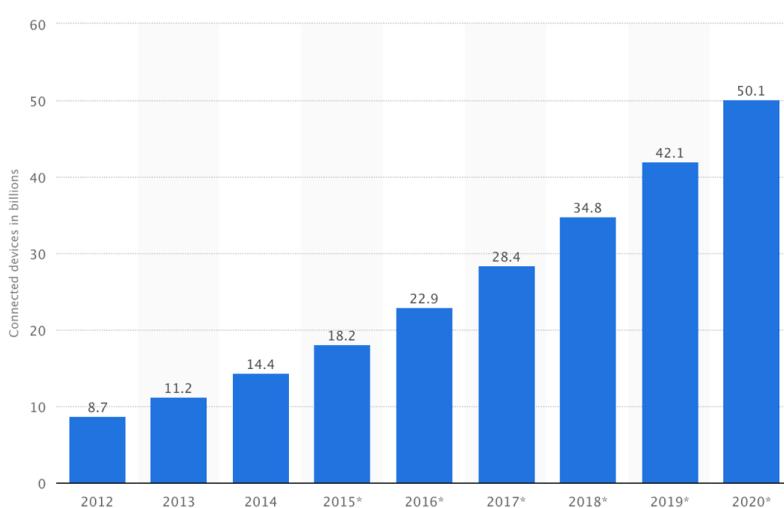
- **Άμεση σύνδεση:** για την απευθείας σύνδεση αντικειμένων στον Ιστό, αρχικά απαιτείται όλα τα πράγματα να είναι διευθυνσιοδοτημένα, δηλαδή σε όλα τα πράγματα πρέπει να έχει αποδοθεί μια διεύθυνση IP, ή να είναι IP-enabled όταν αυτά συνδέονται στο Διαδίκτυο. Το ΙΠ απαιτεί συνδεσιμότητα και διαλειτουγικότητα στο επίπεδο εφαρμογής. Ένας διακομιστής ιστού μπορεί να παρεμβάλλεται, ώστε τα αντικείμενα να αλληλοκατανοούνται μέσω προκαθορισμένων δικτυακών πρότυπων γλωσσών. Ουσιαστικά οι συσκευές αυτές μπορούν να επικοινωνήσουν με ανθρώπους από οποιοδήποτε τερματικό, με τη βοήθεια ενός πρότυπου λογισμικού πλοιόγησης (web browser). Ένα παράδειγμα απευθείας σύνδεσης αποτελούν οι έξυπνες οικιακές συσκευές.
- **Έμμεση Σύνδεση:** Από την άλλη μεριά, δεν είναι όλες οι συσκευές αρκετά δυνατές ή δομημένες, έτσι ώστε να μπορούν να έχουν ενσωματωμένο ένα διακομιστή ιστού, όπως οι ετικέτες RFID. Επίσης, μερικές φορές δεν είναι απαραίτητο να συνδεθούν όλες οι έξυπνες συσκευές στον Ιστό, όπως οι αισθητήριοι κόμβοι ενός δικτύου αισθητήρων, διότι μπορεί να μην μας συμφέρει από άποψη κόστους, ενέργειας και ασφάλειας. Για την αντιμετώπιση τέτοιων περιπτώσεων, παρεμβάλλουμε έναν εξυπηρετητή μεταξύ έξυπνων αντικειμένων και Ιστού, ο οποίος συνήθως ονομάζεται έξυπνη πύλη. Ο εξυπηρετητής αυτός θα πρέπει να είναι σε θέση να επικοινωνεί με τα αντικείμενα και όχι μόνο να κατανοεί τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν.

1.2.3 Τεχνολογίες Σημασιολογικής Διαχείρισης και Διαλειτουργικότητας, Υποστηριζόμενες από Τεχνικές Αναπαράστασης, Γνώσης και Συμπερασμού.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή της Κοινωνίας της Πληροφορίας (European Commission Information Society), έχει προβλεφθεί ότι μέχρι το 2020 θα υπάρχουν 50 με 100 δισεκατομμύρια συσκευές συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο [13]. Οι συσκευές αυτές αναμένεται να περιλαμβάνουν αισθητήρες, ενεργοποιητές και διαφόρων ειδών συσκευές με επεξεργαστική ικανότητα, με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζονται ως έξυπνες [14].

Σε ένα περιβάλλον με εκατομμύρια διασυνδεδεμένους αισθητήρες και ενεργοποιητές, καταλαβαίνουμε ότι καθίσταται πιο εύκολη η παραγωγή και η συλλογή δεδομένων, παρά η διαχείριση, η ανάλυση, η επεξεργασία, η αναπαράσταση, η αποθήκευση, η διασύνδεση και η οργάνωση της διαθέσιμης πληροφορίας. Γι' αυτό το λόγο, έχουν πραγματοποιηθεί πολλές αναφορές, αναλύσεις και συγκρίσεις τεχνολογιών διαχείρισης και μετέπειτα ανάλυσης δεδομένων όπως αυτές στα [12, 15]. Στα θέματα που προκύπτουν λόγο του μεγάλου όγκου δεδομένων που συλλέγεται έχει παίξει σημαντικό ρόλο η επίγνωση πλαισίου. Η επίγνωση πλαισίου μας επιτρέπει ειδικά σε ένα τομέα όπως η ηλεκτρονική υγεία, που παρουσιάζει τεράστια ετερογένεια στα δεδομένα του, να μοντελοποιήσουμε περιγραφές και να εφαρμόσουμε τον απαραίτητο συμπερασμό.

Στην Εικόνα 5 φαίνονται πώς έχει μεταβληθεί ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών στο Διαδίκτυο από το 2012 και μετά, καθώς και που αναμένεται να φτάσει το 2020 [13]. Να σημειώσουμε εδώ ότι το 2012, οι συνδεδεμένες συσκευές έφτασαν τα 8.7 δισεκατομμύρια, δηλαδή ξεπέρασαν ολόκληρο τον πληθυσμό της γης εκείνης της χρονιάς, κατά σχεδόν 1.7 δισεκατομμύρια.



Εικόνα 5 Ο προβλεπόμενος αριθμός συνδεδεμένων συσκευών στο διαδίκτυο [13]

Η έκρηξη του πλήθους των διαθέσιμων πηγών δεδομένων, αλλά και των δεδομένων που παράγουν, αποτελεί μεγάλο πρόβλημα σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης. Ο αριθμός των διαθέσιμων πόρων και των παραγόμενων δεδομένων δεν έχουν καμία αξία αν δεν «αναλυθούν, ερμηνευτούν και κατανοηθούν». Από αυτήν την ανάγκη προκύπτει και ο «σημασιολογικός προσανατολισμός» όπως αυτός φαίνεται και στην Εικόνα 3.

Πιο συγκεκριμένα, σημασιολογικές πληροφορίες που αφορούν έξυπνα αντικείμενα, οι πληροφορίες που τα αντικείμενα αυτά παρέχουν, καθώς και οι λειτουργίες που μπορούν να επιτελέσουν, πρέπει να είναι διαθέσιμες στο χρήστη [16]. Για παράδειγμα, δεν είναι αρκετό για ένα χρήστη να γνωρίζει μόνο το ότι υπάρχει ένας αισθητήρας θερμοκρασίας, αλλά είναι σημαντικό να γνωρίζει ποια θερμοκρασία προορίζεται να μετρήσει, π.χ. ενός δωματίου ή του ψυγείου. Επίσης, εάν υπάρχει στον εσωτερικό χώρο ένας μικρός ηλεκτρικός κινητήρας, θα πρέπει να γνωρίζει ο χρήστης τι είναι σε θέση αυτός ο κινητήρας να κάνει. Μπορεί να ανοίξει τα στόρια του παραθύρου ή να μετακινήσει κάποιο αντικείμενο σε άλλη θέση. Τέλος, είναι σημαντικό ο χρήστης να αντλεί σημασιολογικές πληροφορίες, π.χ. πληροφορίες για ένα δωμάτιο, βασισμένες σε δεδομένα που έχουν συλλέξει οι αισθητήρες, που υπάρχουν μέσα σε αυτό.

Οι πληροφορίες που συλλέγουν οι αισθητήρες από το φυσικό κόσμο, όταν συνδυαστούν με εργαλεία και υπηρεσίες διαδικτύου, δίνουν τη δυνατότητα στην εξερεύνηση και ανάπτυξη καινούργιων μεθόδων και εφαρμογών. Αυτού του είδους οι εφαρμογές, αναμένεται να φέρουν επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο επιχειρήσεις και άνθρωποι χρησιμοποιούν τις διαδικτυακές εφαρμογές και υπηρεσίες έως τώρα, καθώς θα διευκολύνουν τις καθημερινές δραστηριότητες.

Σε αυτό θα συμβάλει ο σχολιασμός, η ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται και των πόρων του Δικτύου. Θα επιτρέπεται η διαχείριση των μεγάλης κλίμακας κατανεμημένων ηλεκτρονικών δικτύων, που μέχρι τώρα περιορίζονται από διαθέσιμους πόρους και ενέργεια. Επιπρόσθετα, ο σχολιασμός και η ανάλυση των δεδομένων παρέχουν τα μέσα που θα επιτρέψουν σε τεχνικές και ευφυείς μηχανισμούς να επεξεργαστούν και να πραγματοποιήσουν το συμπερασμό των συλλεγόμενων δεδομένων.

Η σημασιολογική προσέγγιση βασίζεται λοιπόν στην παραπάνω διαδικασία σχολιασμού και διαχείρισης των δεδομένων και ονομάζεται επίγνωση πλαισίου. Η επίγνωση πλαισίου υπάρχει σαν όρος από τις αρχές του 1990 και εφαρμόστηκε σε πλειάδα εφαρμογών με μεγάλη επιτυχία. Επικεντρώνεται στην όσο το δυνατόν καλύτερη διαχείριση της διαθέσιμης πληροφορίας, λαμβάνοντας υπόψιν τις ανάγκες του εκάστοτε χρήστη, στην αποδοτικότερη διαχείριση των πηγών της πληροφορίας καθώς και στη μέγιστη εκμετάλλευση της παραγόμενης πληροφορίας.

Η επίγνωση πλαισίου εμπεριέχει -κατά κύριο λόγο- τεχνικές μοντελοποίησης/αναπαράστασης γνώσης, καθώς και μεθόδους συμπερασμού. Μερικές τεχνικές μοντελοποίησης πλαισίου είναι: κλειδί-τιμή (Key-Value), δηλωτικού σχήματος (Markup Scheme), μοντελοποίηση μέσω γράφων (Graphical Modeling), αντικειμενοστραφής μοντελοποίηση (Object Based Modeling), μοντελοποίηση με βάση τη λογική και οντολογική μοντελοποίηση (Ontology Based Modeling).

Αναλόγως, στις τεχνικές συμπερασμού του πλαισίου, ανήκουν τεχνικές από την υπολογιστική μάθηση όπως: Bayesian Networks, naive Bayes, hidden Markov models, support vector machines, k-nearest neighbour, artificial neural networks. Η επίγνωση πλαισίου στη διάχυτη τηλεπισκόπηση μελετάται αναλυτικότερα στο κεφάλαιο 3.

Κεφάλαιο 2

Μελέτη και Ανάπτυξη Εφαρμογών της

Διάχυτης Τηλεπισκόπησης σε Υπηρεσίες

Ηλεκτρονικής Υγείας

Παρ' όλη την εξέλιξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια στον τομέα της υγείας, οι υπάρχουσες εφαρμογές της διάχυτης τηλεπισκόπησης είναι ακόμα περιορισμένες και ασχολούνται κυρίως με τη διαθεσιμότητα και την προσπελασιμότητα σημαντικών ιατρικών δεδομένων ενός ασθενή από επαγγελματίες υγείας.

Παρακάτω μελετώνται εφαρμογές, που συνδυάζουν υπάρχουσες τεχνολογίες, κατά κύριο λόγο δικτύωσης, για την υλοποίηση μιας εφαρμογής ηλεκτρονικής υγείας σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης, με σκοπό τη διαχείριση του προβλήματος αυτού.

Επίσης, προτείνεται μια τοπολογία δικτύου συνδυάζοντας ώριμες τεχνολογίες, όπως το Radio-frequency identification (RFID) και IPv6. Η τοπολογία αυτή εκμεταλλεύεται τα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών σε επίπεδο δικτύωσης και χρησιμοποιεί έναν ενδιάμεσο κόμβο αντιστοίχισης για να λύσει προβλήματα, τόσο σε επίπεδο επικοινωνίας όσο και σε επίπεδο διαχείρισης της διαθέσιμης πληροφορίας. Τέλος, η τοπολογία αυτή αξιολογήθηκε σε ένα γενικότερο σενάριο υγειονομικής φροντίδας.

Επιπρόσθετα, προτείνεται και αξιολογείται ένα ευφυές σύστημα και ο σχετικός αλγόριθμος για τον εσωτερικό εντοπισμό και την πλοήγηση ανθρώπου μέσα σε μία δομή ΠΥΔ. Το σύστημα βασίζεται στην τεχνολογία RFID και αναπτύσσει μια τεχνική για τον εντοπισμό (σταθερών και

κινητών) εμποδίων και την πλοιάργηση του χρήστη στον τελικό προορισμό, με έναν ασφαλή και φυσικό τρόπο.

2.1 Συναφείς Εφαρμογές

Σκοπός της προσέγγισης των Isabel Laranjoa, et.al. [17] είναι η παρουσίαση μιας υπηρεσίας ηλεκτρονικής υγείας, βασισμένη στην τεχνολογία RFID για την απομακρυσμένη διαχείριση φαρμακοληψίας. Η συγκεκριμένη λύση απευθύνεται κυρίως στην τρίτη ηλικία, εντός των πλαισίων ενός Περιβάλλοντος Υποστηριζόμενης Διαβίωσης (ΠΥΔ).

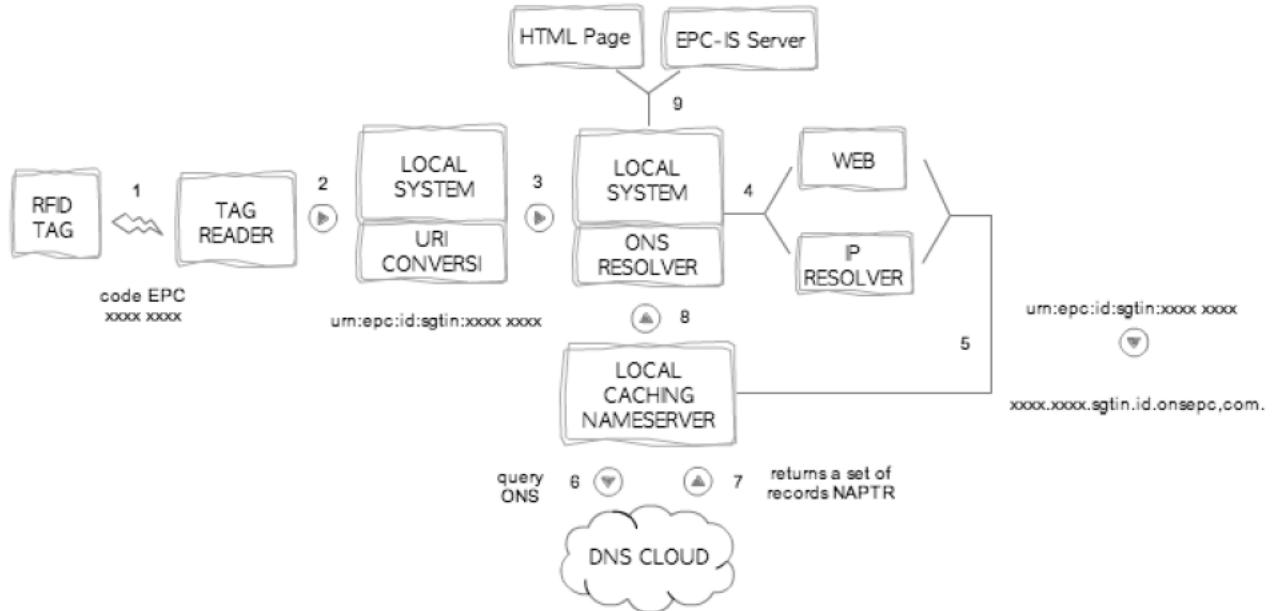
Είδος βοήθειας	Συνολικός Αριθμός	Ποσοστό%
<i>Διαχείριση φαρμακοληψίας</i>	119	36.1
<i>Πληροφορίες φαρμάκων</i>	63	19.2
<i>Επεξήγηση φαρμακευτικής αγωγής</i>	44	13.3
<i>Μετάφραση φαρμακευτικής αγωγής</i>	26	7.9
<i>Παρακολούθηση φαρμακευτικής αγωγής</i>	20	6.1
<i>Υπενθύμιση φορών λήψης φαρμάκων</i>	19	5.8
<i>Γέμισμα του δοσομετρητή φαρμάκων</i>	10	3
<i>Ανάγνωση ετικέτας φαρμάκου</i>	8	2.4
<i>Αφαίρεση φαρμάκων από τη συσκευασία</i>	4	1.2

Πίνακας 2 Τύποι βοήθειας για τους ηλικιωμένους ασθενείς [17].

Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική του συστήματος φαίνεται στην Εικόνα 6. Η διαδικασία ξεκινάει από τα εκάστοτε κέντρα παροχής υγειονομικής φροντίδας, όπου ο ιατρός είναι σηματοδοτημένος με μια RFID ετικέτα και συνταγογραφεί μία φαρμακευτική αγωγή στον - μοναδικά σηματοδοτημένο- ασθενή του. Ο κύριος σκοπός αυτών των ετικετών είναι ο έλεγχος προσβασιμότητας των εμπλεκομένων στις διαθέσιμες πληροφορίες, όπως τη δοσολογία φαρμάκου, τον τρόπο δοσοληψίας, κ.α. Επίσης επιτρέπουν την εφαρμογή κανόνων και τη δημιουργία ειδοποιήσεων, ελέγχοντας τις περιπτώσεις κατά τις οποίες οι περιορισμοί παραβιάζονται.

Οι ερευνητές στη συγκεκριμένη δημοσίευση καταδεικνύουν την ανάγκη εφαρμογής της διάχυτης τηλεπισκόπησης σε μια ευαίσθητη ομάδα ασθενών, όπως είναι αυτή της τρίτης ηλικίας. Προτείνουν μια αρχιτεκτονική και ένα σύστημα ελέγχου συμμόρφωσης του ασθενούς στη φαρμακευτική αγωγή που του έχει συνταγογραφήσει ο γιατρός του. Καθόλη τη ροή των εργασιών του προτεινόμενου πλαισίου, η πιστοποίηση χρηστών και πραγμάτων (π.χ. φαρμάκων) γίνεται μέσω RFID ετικετών. Παρ' όλα αυτά, οι συγγραφείς μένουν στο υψηλό επίπεδο αρχιτεκτονικής και σεναρίου, χωρίς να προτείνουν συγκεκριμένες λύσεις για προβλήματα

διασυνδέσμοτητας και χωρίς να λάβουν υπόψη την προοπτική ανάλυσης του περιεχομένου των διαθέσιμων πληροφοριών.

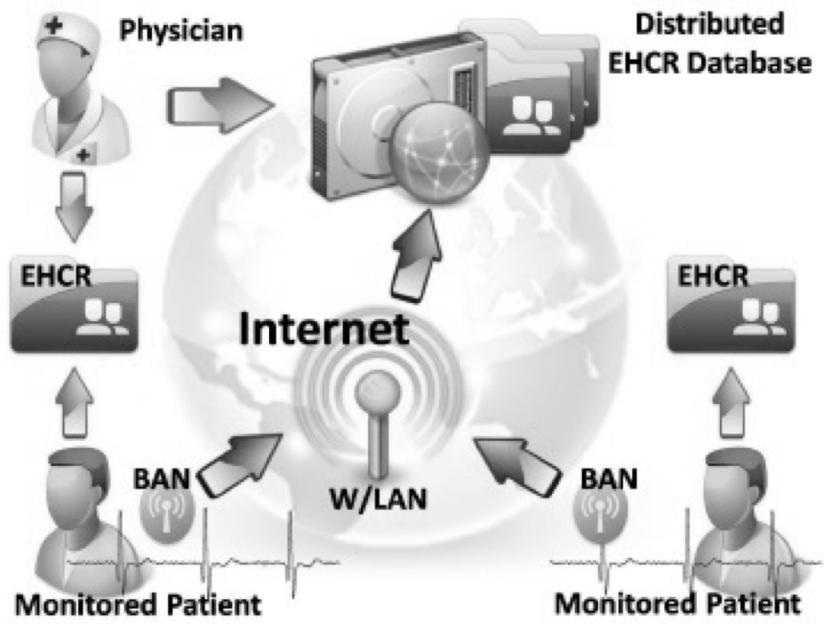


Εικόνα 6 Σχηματική αναπαράσταση της πρώτου προτούπης υπηρεσίας «RFID - based IoT for medication control» [17]

Μια άλλη προσέγγιση δόθηκε από τους Nicola Bui και Michele Zorzi [18] σε ένα διαφορετικό θέμα υγείας αυτή τη φορά, που αφορά την εφαρμογή της διάχυτης τηλεπισκόπησης σε ασθενείς με χρόνιες παθήσεις και καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης. Στη μελέτη τους ερεύνησαν το κατά πόσο, συσκευές και επικοινωνίες χαμηλού κόστους και κατανάλωσης ενέργειας, μπορούν να εφαρμοστούν σε ένα σενάριο τέτοιου είδους.

Προτείνουν μια αρχιτεκτονική σαν κι αυτή που φαίνεται Εικόνα 7, όπου τον κύριο ρόλο έχουν οι υπό παρακολούθηση ασθενείς και οι επαγγελματίες υγείας. Δεδομένα σχετικά με την υγεία, καθώς και αντίστοιχα γεγονότα, στέλνονται μέσω ενός Wireless Body Area Network (WBAN) σε ένα ξεχωριστό HealthCare Record (HCR). Η μετάδοση αυτή πραγματοποιείται μέσω α/ενσύρματων δικτύων και του διαδικτύου. Το HCR είναι προσπελάσιμο από όλους τους εμπλεκόμενους (γιατρούς, ασθενείς, κ.α.), οπουδήποτε κι αν βρίσκονται και σε οποιαδήποτε στιγμή.

Αρχικά, θέτουν τρία προαπαιτούμενα για την εφαρμογή της αρχιτεκτονικής τους: τη διαλειτουργικότητα όλων των εμπλεκόμενων διασυνδεδεμένων συσκευών, την οριοθέτηση της καθυστέρησης και της αξιοπιστίας, και πιο ειδικά σε σενάρια εκτάκτου ανάγκης, και τέλος, τη διασφάλιση της ιδιωτικότητας, της αυθεντικότητας και της ακεραιότητας των χρηστών.



Εικόνα 7 Internet of Things e-Health μοντέλου συστήματος [18]

Σε ένα σενάριο εφαρμογής, ο βασικός χρήστης είναι ένας ασθενής που πάσχει από διαβήτη τύπου II. Ο χρήστης φέρει μια εμφυτεύσιμη συσκευή (iDiab) για τη μέτρηση της γλυκόζης στο αίμα, η οποία τον ειδοποιεί σε περίπτωση που φτάσει τα προκαθορισμένα όρια. Η συσκευή είναι μέρος του συνολικού WBAN (hCheck) που παρακολουθεί τα βιοσήματα του χρήστη.

Το σύστημα hCheck είναι υπεύθυνο για δύο διακριτές διαδικασίες, σχετικές με τα βιοσήματα του χρήστη. Η πρώτη ελέγχει τους αισθητήρες στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα του ενός λεπτού και η δεύτερη ενημερώνει το HCR κάθε τριάντα λεπτά. Επίσης, το hCheck επιτρέπει την ασύγχρονη δημιουργία ειδοποιήσεων, χρησιμοποιώντας τεχνικές αναγνώρισης προτύπων και τεχνικές πρόβλεψης, που αποτυπώνουν τις φυσιολογικές συνθήκες διαβίωσης του χρήστη. Τελικά, τόσο το hCheck όσο και το iDiab επικοινωνούν με τη βάση του HCR μέσω του zPhone, το οποίο δεν είναι τίποτα παραπάνω από ένα ‘έξυπνο’ τηλέφωνο, εξοπλισμένο με τις κατάλληλες ασύρματες επικοινωνίες.

Επίσης, στα πλαίσια της συγκεκριμένης δημοσίευσης, οι ερευνητές προτείνουν τη χρήση της υπάρχουσας τεχνολογίας IPv6 και πιο συγκεκριμένα της 6LoWPAN (Low power Wireless Personal Area Networks). Η τεχνολογία αυτή προτάθηκε από το IETF για να παρέχει υπηρεσίες διαδικτύου σε συσκευές WPAN μέσω IPv6. Το 6LoWPAN ορίζει τη μορφή των μηνυμάτων, τις μεθόδους κατάτμησης και τις τεχνικές συμπίεσης επικεφαλίδας, ώστε τα IPv6 διαγράμματα να χωρέσουν σε ένα περιορισμένο IEEE 802.15.4 πλαίσιο.

Τελικά, στην έρευνά τους, οι συγγραφείς παρουσιάζουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα απομακρυσμένης παρακολούθησης ασθενών, που βασίζεται στην τεχνολογία 6LoWPAN. Παρ' όλα αυτά, οι ερευνητές αντιμετωπίζουν τη διάχυτη τηλεπισκόπηση σαν μια εφαρμογή τηλεϊατρικής, με αποτέλεσμα η προτεινόμενη αρχιτεκτονική τους να μην εκμεταλλεύεται τα

βασικά χαρακτηριστικά της διάχυτης τηλεπισκόπησης, όπως τον πλουραλισμό και τη χαρακτηριστική διάχυτη φύση της.

Από την άλλη πλευρά, ο Mari Carmen Domingo στην δημοσίευση [19] του το 2011 μελέτησε και προήγαγε την εφαρμογή της διάχυτης τηλεπισκόπησης σε υπηρεσίες υγείας για την υποστήριξη ανθρώπων με ειδικές ανάγκες. Αφού επισήμανε τις γνωστές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι άνθρωποι με ειδικές ανάγκες, όπως για παράδειγμα τη μειωμένη όραση, τεκμηρίωσε το πώς μπορεί η διάχυτη τηλεπισκόπηση να αποτελέσει ένα ισχυρό εργαλείο για τη διασφάλιση, τόσο της αυτονομίας όσο και της ποιότητας ζωής τους.

Οι ερευνητές χωρίζουν την αρχιτεκτονική τους σε 3 βασικά επίπεδα, ανάλογα με τη λειτουργικότητα τους:

Επίπεδο αντίληψης: η κύρια λειτουργία του επιπέδου αυτού είναι η αναγνώριση των αντικειμένων και η συλλογή πληροφοριών. Αποτελείται κυρίως από αισθητήρες και ενεργοποιητές, κ.α., και παρέχει πληροφορίες επίγνωσης πλαισίου του περιρρέοντος περιβάλλοντός των. Τα στοιχεία που εμπεριέχονται στο επίπεδο αυτό, διαφέρουν από χρήστη σε χρήστη και εξαρτώνται από την ειδική ανάγκη του καθενός.

Επίπεδο δικτύωσης: το συγκεκριμένο επίπεδο αποτελείται από ένα συγκλίνον δίκτυο ενσύρματων και ασύρματων επικοινωνιών. Ρόλος του είναι να μεταδίδει όποια πληροφορία συλλέγεται από το επίπεδο της αντίληψης στο Επίπεδο Εφαρμογής.

Επίπεδο Εφαρμογής: ορίζει ένα σύνολο από έξυπνες λύσεις σε επίπεδο εφαρμογής για την εξυπηρέτηση των ανθρώπων με ειδικές ανάγκες. Ουσιαστικά αποτελεί μια πλατφόρμα, η οποία παρέχει σημαντικές δυνατότητες, όπως είναι ο έλεγχος ταυτότητας, η διαχείριση υπηρεσιών, η δρομολόγηση πακέτων σύμφωνα με προκαθορισμένες πολιτικές κ.α.

Στη συνέχεια, ως απόδειξη της εφαρμοσιμότητας και της χρηστικότητας της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής, ο συγγραφέας αναφέρει μια σειρά από σενάρια εφαρμογής σε διαφορετικούς χρήστες, καθώς και σε διαφορετικούς χώρους. Τα σενάρια που περιγράφονται, ομαδοποιούνται ως εξής:

- Με βάση το χώρο διεξαγωγής, σε: οικιακό περιβάλλον, χώρο εκπαίδευσης και χώρο αγοράς προϊόντων.
- Με βάση την ειδική ανάγκη του χρήστη, σε άτομα με: προβλήματα όρασης, προβλήματα ακοής και κινητικά προβλήματα.

2.2 Σενάριο Εφαρμογής της Διάχυτης Τηλεπισκόπησης σε Υπηρεσίες Υγειονομικής Φροντίδας

Πολλά από τα προβλήματα που σχετίζονται με την υγειονομική περίθαλψη, αποδίδονται στη μη άμεση διαθεσιμότητα απαραίτητων πληροφοριών ενός ασθενούς. Ένας ευρέως αποδεκτός λόγος

μη αποτελεσματικότητας στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης είναι ο κατακερματισμός της διαδικασίας παροχής περίθαλψης και η μη αποδοτική ανταλλαγή των πληροφοριών.

Στο παρόν υποκεφάλαιο μελετάται μια εφαρμογή της διάχυτης τηλεπισκόπησης στην υγειονομική περίθαλψη σε ένα συνδυαστικό πλαίσιο RFID-IPv6. Ένα τέτοιο πλαίσιο εκμεταλλεύεται τα χαρακτηριστικά των ώριμων αυτών τεχνολογιών σε επίπεδο δικτύωσης, με σκοπό την άμεση προσπελασμότητα απαραίτητων πληροφοριών για μια αποτελεσματική νοσοκομειακή περίθαλψη.

2.2.1 Τεχνολογικό Υπόβαθρο

Σε ένα δίκτυο διάχυτης τηλεπισκόπησης, τα RFID συστήματα αποτελούν μια αυτοματοποιημένη μέθοδο αναγνώρισης αντικειμένων με τη χρήση ραδιοσυγνοήτων και μικροτσίπ (όπως έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 1). Ανάλογα με το είδος μνήμης που διαθέτουν, μπορούν να αποθηκεύσουν διάφορες πληροφορίες, με την πιο σημαντική να είναι ένας μοναδικός σειριακός αριθμός, ικανός για την ταυτοποίηση ενός αντικειμένου.

Μια ετικέτα RFID αναπαρίσταται μέσω ενός EPC (Electronic Product Code), τα οποία διαχειρίζεται η EPCglobal. Το EPC έχει διάφορα μήκη (από 64 bit, 96 bit έως 256 bit), με στόχο την ταυτοποίηση ενός αντικειμένου. Το ID μιας ετικέτας RFID δεν είναι σε θέση να πραγματοποιήσει τη διαδικασία δικτύωσης της IP, διότι αποτελεί μόνο ένα αναγνωριστικό αντικειμένου ή ανθρώπου.

Στον Πίνακας 3 που παρατίθεται παρακάτω, για λόγους που θα φανούν στην επόμενη υποενότητα, αναφέρουμε συγκεντρωτικά και συγκρίνουμε τα χαρακτηριστικά διαφορετικών τύπων RFID ετικετών.

Ετικέτες και Χαρακτηριστικά	Παθητική Ετικέτα	Ενεργητική Ετικέτα	Ημι-παθητική Ετικέτα
Εσωτερική πηγή ενέργειας	Όχι	Ναι	Ναι
Σήμα οπισθοσκέδασης	Ναι	Όχι	Ναι
Απάντηση	Αδύναμη	Δυνατή	Δυνατή
Μέγεθος	Μικρό	Μεγάλο	Μεσαίο
Εμβέλεια	0 cm έως μερικά m	Εκατοντάδες m	Εκατοντάδες m
Αισθητήρες	Όχι	Ναι	Ναι

Πίνακας 3 Ετικέτες και χαρακτηριστικά

Το πρωτόκολλο Ίντερνετ version 6 (IPv6) είναι ουσιαστικά το πρωτόκολλο επόμενης γενιάς, σχεδιασμένο έτσι ώστε να αποτελέσει το διάδοχο του τωρινού χρησιμοποιούμενου πρωτοκόλλου

version 4 (IPv4). Το IPv6 είναι εξοπλισμένο με ένα stateless autoconfiguration μηχανισμό, που δεν απαιτεί τη χειροκίνητη σύνδεση των τερματικών, απαιτεί ελάχιστη ή και καθόλου προσπάθεια διασύνδεσης των δρομολογητών και δεν απαιτεί επιπρόσθετο διαχειριστή. Ο μηχανισμός αυτός, επιτρέπει σε ένα τερματικό να παράγει τις δικές του διευθύνσεις, χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό από τοπικά διαθέσιμες πληροφορίες και πληροφορίες που συλλέγονται από τους δρομολογητές.

Οι δρομολογητές διαφημίζουν προθέματα, που προσδιορίζουν τα υποδίκτυα που σχετίζονται με μια σύνδεση. Αυτό συμβαίνει όσο τα τερματικά παράγουν έναν «interface identifier», ο οποίος αναγνωρίζει μοναδικά τη διεπαφή του υποδικτύου. Η διεύθυνση λοιπόν δημιουργείται, όταν συνδυάζουμε αυτά τα δύο. Σε περιπτώσεις που απουσιάζουν οι δρομολογητές από το σύστημα, τα τερματικά μπορούν να δημιουργήσουν μόνο τοπικές διευθύνσεις (link-local addresses).

Στο stateful autoconfiguration μοντέλο, τα τερματικά λαμβάνουν τις διευθύνσεις διεπαφών, τις πληροφορίες παραμετροποίησης από ένα διαχειριστή. Οι διαχειριστές διατηρούν μια βάση, που συγκεντρώνει ποιες διευθύνσεις έχουν δοθεί σε κάθε τερματικό. Βασικά, τα δυο πρωτόκολλα (stateful και stateless) συμπληρώνουν το ένα το άλλο. Για παράδειγμα, ένα host μπορεί να χρησιμοποιήσει stateless αυτό-παραμετροποίηση για να διαμορφώσει τις δικές του διευθύνσεις, αλλά χρησιμοποιεί μόνο stateful αυτό-παραμετροποίηση για τη λήψη περαιτέρω απαραίτητων πληροφοριών.

Ένα άλλο πρωτόκολλο, το DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), προτάθηκε για την εγκαθίδρυση στατικών ή δυναμικών διευθύνσεων. Το DHCP παρέχει τις παραμέτρους παραμετροποίησης στο τερματικό, και πιο συγκεκριμένα μπορεί να μειώσει το φόρτο εργασίας του συστήματος, όσο δικτυακές συσκευές προστίθενται στο δίκτυο, πραγματοποιώντας μικρή ή και καθόλου παραμετροποίηση της συσκευής. Το DHCP επιτρέπει επίσης την καταχώρηση παραμέτρων διαδικτύου σε ένα μοναδικό διαχειριστή DHCP ή σε ένα δίκτυο τέτοιων διαχειριστών, διάσπαρτων σε όλο το δίκτυο. Η δυναμική παραμετροποίηση των τερματικών πραγματοποιείται με την αυτόματη απόδοση διευθύνσεων IP, την IP της προκαθορισμένης πύλης, των μασκών υποδικτύου και άλλων TCP/IP παραμέτρων.

Κατά τη συνδεσιμότητά του στο δίκτυο, ένας κόμβος στέλνει ένα broadcast αίτημα στο διαχειριστή DHCP, ζητώντας τις απαραίτητες πληροφορίες. Αυτός, στη συνέχεια, του εκχωρεί μια IP διεύθυνση από μια πληθώρα IP διευθύνσεων που έχει στη διάθεσή του, καθώς και άλλες TCP/IP παραμέτρους.

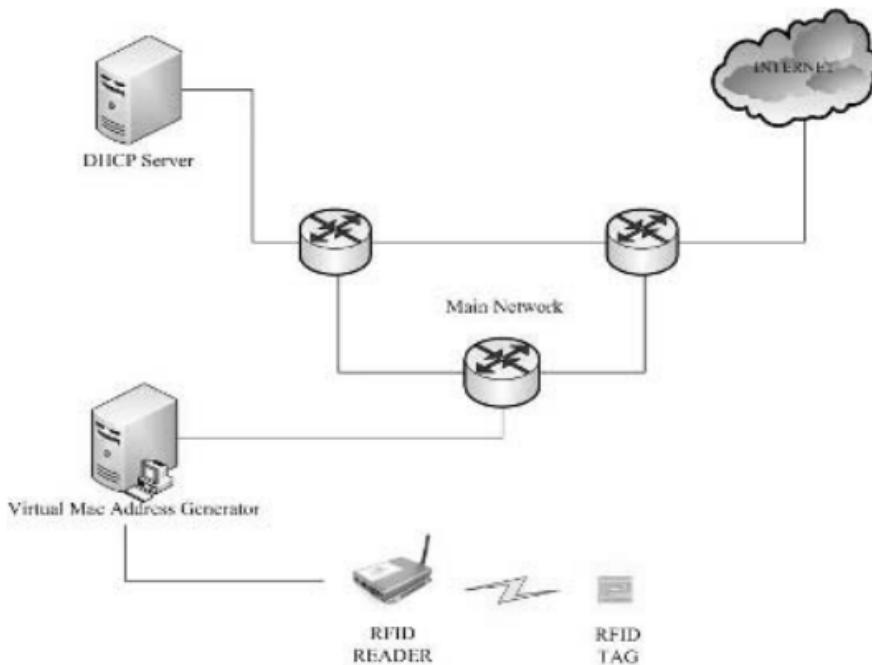
Το DHCP έχει τη δυνατότητα να εκχωρεί διευθύνσεις IP στις συσκευές δικτύου κατά τη διάρκεια τριών διαφορετικών καταστάσεων λειτουργίας: δυναμική κατάσταση, χειροκίνητη κατάσταση και στατική κατάσταση. Στη στατική κατάσταση λειτουργίας, ο διαχειριστής DHCP δεσμεύει τη διεύθυνση IP και τη φυσική διεύθυνση, και ενημερώνει τη στατική βάση δεδομένων που διατηρεί. Σε αυτήν την περίπτωση στατικής καταχώρησης, ο διαχειριστής DHCP εκχωρεί την persistent IP διεύθυνση σε έναν πελάτη.

Στη δυναμική κατάσταση λειτουργίας, αρχικά ο διαχειριστής DHCP επιβεβαιώνει εάν η φυσική διεύθυνση ενός πελάτη βρίσκεται στη στατική βάση δεδομένων. Εάν η απαραίτητη φυσική διεύθυνση υπάρχει, η μόνιμη διεύθυνση IP καταχωρείται. Σε διαφορετική περίπτωση, η διεύθυνση IP απονέμεται σε έναν πελάτη για συγκεκριμένο χρόνο. Η διεύθυνση που δίνεται από τις υπάρχουσες διαθέσιμες είναι προσωρινή. Ο διαχειριστής DHCP δεσμεύει τη διεύθυνση IP, κατά το χρονικό διάστημα που πραγματοποιείται η σύνδεση. Εάν ο χρόνος δέσμευσης της συγκεκριμένης διεύθυνσης λήξει, ο πελάτης αποδεσμεύει τη διεύθυνση και στη συνέχεια χρειάζεται να του αποδοθεί μια καινούργια.

Στη χειροκίνητη κατάσταση λειτουργίας, η διεύθυνση IP του πελάτη δίνεται από το διαχειριστή του δικτύου. Εδώ, το DHCP χρησιμοποιείται για να μεταφέρει την εκχωρημένη διεύθυνση σε έναν πελάτη [20].

2.2.2 Μεθοδολογία

Η προτεινόμενη τοπολογία, όπως αυτή απεικονίζεται στην Εικόνα 8, αποτελείται από το δίκτυο (Main Network), από έναν DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) διαχειριστή, τον VMAG (Virtual Mac Address Generator), RFID αναγνώστες και RFID ετικέτες. Ο ρόλος του καθενός περιγράφεται παρακάτω.

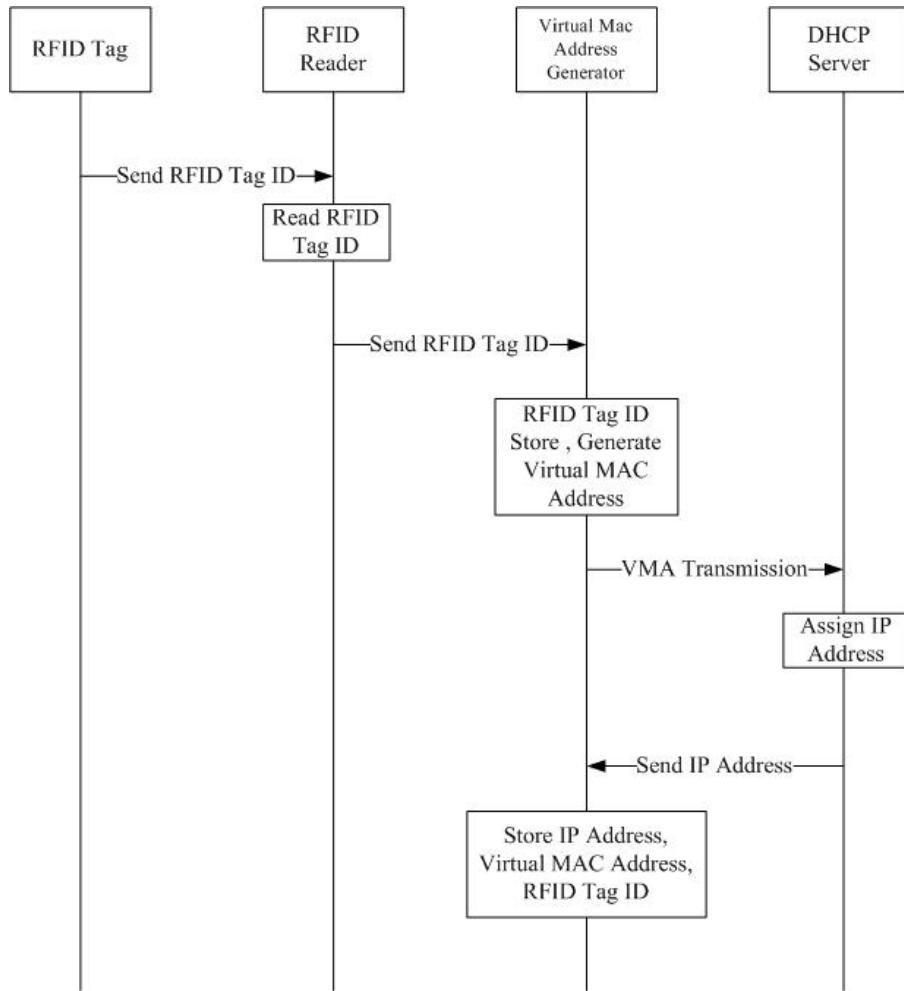


Εικόνα 8 Διάγραμμα Τοπολογίας Δικτύου

Ο ρόλος του Main Network στοιχείου αναπαριστά τη μεταφορά των πακέτων στον εκάστοτε προορισμό, μέσω δρομολογητών. Το στοιχείο του Ιντερνετ αντιπροσωπεύει όλους τους εξωτερικούς χρήστες, που δεν υπάγονται στο κυρίως δίκτυο. Ο διαχειριστής DHCP εκχωρεί

δυναμικά τις διευθύνσεις IP. Ο αναγνώστης RFID διαβάζει ή γράφει δεδομένα στις ετικέτες RFID. Επίσης, ο Virtual Mac Address Generator είναι ένας διαχειριστής όπου το RFID tag ID μεταφέρεται και δημιουργεί την εικονική διεύθυνση MAC. Ο VMAG δημιουργεί μια εικονική φυσική διεύθυνση μήκους 48 bits. Η ετικέτα RFID, η εικονική διεύθυνση και η εκχωρημένη IP στον διαχειριστή DHCP καταγράφονται και αποθηκεύονται στον VMAG.

Στην Εικόνα 9 Ροη φαίνεται όλη η ροή των εργασιών που απαιτούνται, ξεκινώντας από την RFID ετικέτα, και απεικονίζει το πώς αυτή καταλήγει να αντιστοιχίζεται με μια διεύθυνση IPv6.



Εικόνα 9 Ροη πληροφορίας μεταξύ ετικετών και χρηστών

Πιο συγκεκριμένα, το αναγνωριστικό μιας RFID ετικέτας διαβάζεται από έναν RFID αναγνώστη. Ο RFID αναγνώστης μεταδίδει το αναγνωριστικό ID της ετικέτας στον Virtual Mac Address Generator. Ο VMAG, με τη σειρά του, δημιουργεί μια εικονική MAC διεύθυνση χρησιμοποιώντας το ID της ετικέτας και το μεταδίδει στο διαχειριστή DHCP. Ο διαχειριστής DHCP καταχωρεί τη διεύθυνση IP στην εικονική MAC διεύθυνση και τη στέλνει πίσω στον VMAG. Τελικά, ο VMAG δεσμεύει και συνδέει αποκλειστικά την εικονική MAC διεύθυνση με το ID της ετικέτας και τα αποθηκεύει στον πίνακα καταχωρήσεων. Σκοπός της συγκεκριμένης

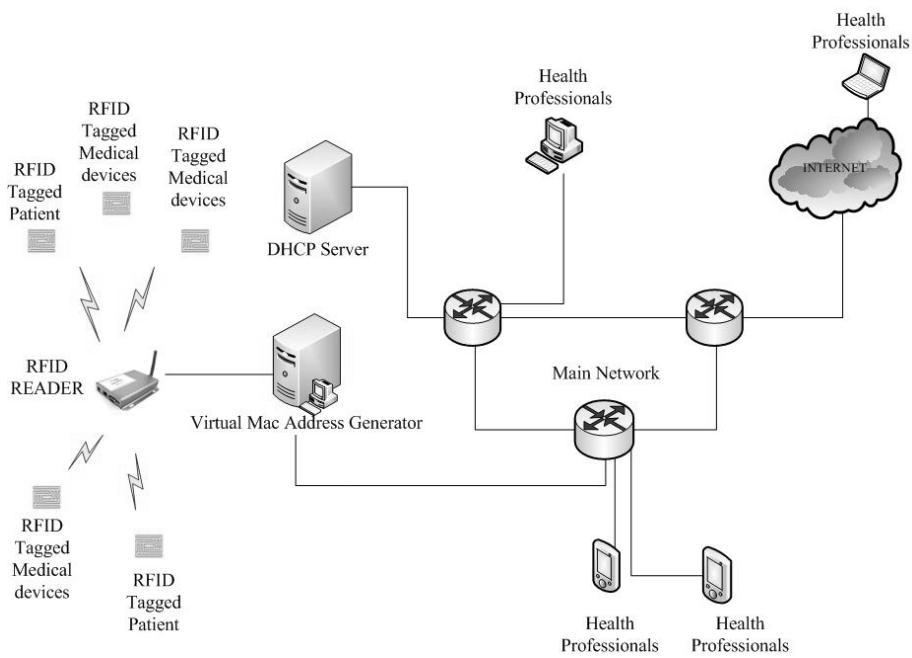
εφαρμογής είναι ο συνδυασμός και η εκμετάλλευση των χαρακτηριστικών δύο καλά ορισμένων υπαρχουσών τεχνολογιών του RFID και του IPv6, όπως αυτές αναφέρθηκαν στο σχετικό υποκεφάλαιο.

Ο ρόλος της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής είναι να αντιστοιχίζει δυναμικά, διευθύνσεις IP με τα αναγνωριστικά ID των RFID ετικετών, με βάση και τις εικονικές MAC διευθύνσεις του VMAG, ο οποίος έχει τη δική του μοναδική διεύθυνση IP. Ουσιαστικά, ο πυρήνας της αρχιτεκτονικής είναι ο VMAG, ο οποίος είναι υπεύθυνος να παράγει μια εικονική MAC address και να αιτείται με βάση αυτή μια νέα διεύθυνση IP από τον DHCP διακομιστή. Ο VMAG παράγει τις εικονικές MAC διευθύνσεις, με βάση τα μοναδικά αναγνωριστικά ID των RFID ετικετών, και είναι υπεύθυνος να διατηρεί τις αντιστοιχίσεις, δηλαδή την πληροφορία για το ποιο IP αντιστοιχεί σε ποιο RFID tag ID, βάσει και της προτεινόμενης τοπολογίας.

2.2.3 Ένα Σενάριο RFID-IPv6 στην Ιατρική Περίθαλψη

Στο προτεινόμενο σενάριο, παρέχεται στους επαγγελματίες υγείας η δυνατότητα να παρακολουθούν τους ασθενείς, να λαμβάνουν (read) και να στέλνουν (write) πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση των ασθενών, τη θέση τους κ.α. Το ίδιο ισχύει και για τον εξοπλισμό, για τον οποίο μπορούν να γνωρίζουν την κατάσταση, λαμβάνοντας δεδομένα από αισθητήρες που έχουν τοποθετηθεί εντός του νοσοκομείου.

Οπως φαίνεται και στην Εικόνα 10, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική σε ένα ολοκληρωμένο δίκτυο υγειονομικής περίθαλψης, προσπαθεί να ανξήσει τη διαθεσιμότητα των αναγκαίων πληροφοριών. Από τη μια πλευρά του δικτύου έχουμε τους κύριους διακομιστές (DHCP Server, VMAG, RFID Reader) και τα «αντικείμενα» τα οποία παρακολουθούμε, ενώ από την άλλη μεριά έχουμε τους επαγγελματίες υγείας (τοπικούς και απομακρυσμένους). Όλοι οι τελικοί χρήστες (end users) απαιτείται να είναι συνδεδεμένοι στο Διαδίκτυο.



Εικόνα 10 Αρχιτεκτονική προτεινόμενου συστήματος

Στην περίπτωση που ένας τοπικός χρήστης, για παράδειγμα κάποιος επαγγελματίας υγείας, θέλει να διαβάσει ή να γράψει μια RFID ετικέτα, τότε στέλνει ένα πακέτο με την IP του αντικειμένου. Το πακέτο ενθυλακώνεται με τη διεύθυνση IP του VMAG και μεταδίδεται στο δίκτυο, με σκοπό να φτάσει στον VMAG. Όταν φτάσει το πακέτο στον VMAG, πραγματοποιείται αποθυλάκωση και τελικά ανακτάται το ID του αντικειμένου, με βάση τον πίνακα αντιστοίχισης σε IP που αυτός διατηρεί. Εάν το αναγνωριστικό της ετικέτας υπάρχει στον πίνακα αποθήκευσης του VMAG, τότε μεταδίδεται ένα πακέτο με το αναγνωριστικό στον RFID αναγνώστη, ο οποίος με τη σειρά του στέλνει το αναγνωριστικό στη συγκεκριμένη ετικέτα RFID.

Στην περίπτωση που πρόκειται για ενεργή ετικέτα, μπορεί να μεταδοθούν δεδομένα στον επαγγελματία υγείας. Σε αυτήν την περίπτωση, ο αναγνώστης RFID στέλνει το πακέτο στον VMAG. Ο οποίος ουσιαστικά διαχειρίζεται την επεξεργασία για τη μετάδοση του πακέτου και μεταδίδει το πακέτο στη διεύθυνση IP του επαγγελματία υγείας, χρησιμοποιώντας τη διεύθυνση προορισμού και αποστολής κατά την προηγούμενη μετάδοση που πραγματοποίησε. Επίσης, ενθυλακώνει το πακέτο πριν το στείλει και τελικά ο επαγγελματίας υγείας είναι υπεύθυνος για την αποθυλάκωση του παραληφθέντος πακέτου.

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται, μέσω διαδικτύου, και στην περίπτωση που ο χρήστης είναι εξωτερικός, καθώς οι αιτήσεις είναι σε επίπεδο IP, κάτι που δεν απαιτεί διαφοροποιήσεις στη διαδικασία. Η μόνη διαφορά είναι ότι τώρα τα πακέτα μεταδίδονται από τον τελικό εξωτερικό χρήστη στην ετικέτα RFID μέσω του κύριου δικτύου και αντιστρόφως.

2.2.4 Συμπεράσματα Σεναρίου Εφαρμογής

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο προτείναμε ένα συνδυαστικό πλαίσιο RFID-IPv6, το οποίο εκμεταλλεύεται τα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών τους σε επίπεδο δικτύωσης. Χρησιμοποιήσαμε έναν ενδιάμεσο κόμβο αντιστοίχισης, ο οποίος λύνει πολλά προβλήματα, τόσο σε επίπεδο επικοινωνίας όσο και σε επίπεδο διαχείρισης της διαθέσιμης πληροφορίας, αλλά δεν μελετήθηκε σε πραγματικές συνθήκες, ειδικά στις περιπτώσεις που οι κλήσεις και τα αντικείμενα σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης αυξηθούν σημαντικά. Επίσης, μελετήσαμε τη διασύνδεση του εκάστοτε αντικειμένου, χωρίς να συνδυάζουμε την παρεχόμενη πληροφορία με βάση το περιεχόμενο της, αλλά θεωρώντας ότι όλοι οι πόροι είναι της ίδιας σημαντικότητας.

2.3 Εφαρμογή της Διάχυτης Τηλεπισκόπησης στην Πλοήγηση Ηλικιωμένων και Ατόμων με Προβλήματα Όρασης σε Περιβάλλοντα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης, με Χρήση RFID

Είναι γεγονός ότι παγκοσμίως, 285 εκατομμύρια άνθρωποι πάσχουν από προβλήματα όρασης, εκ των οποίων 39 εκατομμύρια είναι τυφλοί. Η Παγκόσμια Επιτροπή Υγείας έχει ανακοινώσει ότι το 85% των ανθρώπων με απούσα την αίσθηση της όρασης, κατατάσσετε ηλικιακά άνω των 50 χρόνων[21]. Επίσης, έχει βρεθεί ότι τα προβλήματα όρασης αυξάνονται σημαντικά με την ηλικία, ειδικά στις ομάδες άνω των 65. Οι νευροβιολογικές αλλαγές που σχετίζονται με την ηλικία, περιλαμβάνουν εκτός των άλλων, νοητικές ασθένειες όπως η νόσος Alzheimer και η γεροντική άνοια. Δηλαδή, ασθένειες που σχετίζονται με: μείωση των νοητικών ικανοτήτων, απώλεια μνήμης, συγκέντρωσης, αντίληψης, αλλά και της ικανότητας επίλυσης προβλημάτων.

Είναι γνωστό ότι η πλειοψηφία των ηλικιωμένων ακολουθεί περισσότερες από μια φαρμακευτικές αγωγές κατά την ίδια χρονική περίοδο. Το γεγονός αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές παρενέργειες, όπως σύγχυση ή μερικές φορές ακόμα και απουσία της ικανότητας λήψης αποφάσεων. Συνεπώς, είναι απαραίτητο γι' αυτήν την κατηγορία ανθρώπων να παρέχεται ειδική υποστήριξη και παρακολούθηση της κατάστασης υγείας τους.

Μια από τις κυριότερες προκλήσεις για τους ηλικιωμένους και τα άτομα με προβλήματα όρασης είναι η αδυναμία να αυτοπεριγγηθούν σε άγνωστους εσωτερικούς χώρους. Διάφορα συστήματα πλοήγησης έχουν προταθεί με στόχο την επίλυση αυτού του προβλήματος. Ωστόσο, οι προτάσεις αυτές δεν εξετάζονται επαρκώς σε σενάρια πραγματικού χρόνου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι τεχνολογίες αυτές να αντιμετωπίζουν μια πληθώρα από τεχνικά προβλήματα, καθώς και θέματα σχετικά με τη χρηστικότητά τους.

Στο συγκεκριμένο σενάριο εφαρμογής παρουσιάζουμε μια μοναδική αρχιτεκτονική ενός συστήματος, που αναπτύξαμε για τον εντοπισμό και την καθοδήγηση ατόμων σε ένα εσωτερικό χώρο, όπως είναι ένα περιβάλλον υποβοηθούμενης διαβίωσης [22]. Επίσης υλοποιήσαμε την εφαρμογή μας στο εργαστήριο, με σκοπό να μελετήσουμε περαιτέρω την απόδοσή της σε διάφορα σενάρια πραγματικού χρόνου. Η προτεινόμενη λύση επιτρέπει τον εντοπισμό της θέσης του χρήστη, καθώς επίσης και την καθοδήγησή του στο χώρο αυτό, μέσω οδηγιών που δίνονται από το σύστημα.

Οι ηλικιωμένοι, είτε ταλαιπωρούνται με προβλήματα όρασης είτε με προβλήματα μνήμης, αντιμετωπίζουν μερικές φορές δυσκολία στο να προσδιορίσουν ακριβώς πού βρίσκονται, ή/και πώς να φτάσουν στον προορισμό που επιθυμούν. Συχνά, μπορεί να νιώθουν αποπροσανατολισμένοι και απομονωμένοι από την κοινωνία και το περιβάλλον μέσα στο οποίο ζουν. Μερικές φορές, μπορεί να θεωρηθεί μέχρι και επικίνδυνο τα άτομα αυτά να αφήνονται χωρίς επίβλεψη, μέσα σε ένα νέο ή ακόμη και οικείο για εκείνους περιβάλλον. Συνεπώς, το θέμα της πλοιήγησης παίζει σημαντικό ρόλο στη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης των ηλικιωμένων και μη, προσφέροντάς τους ανέσεις απαραίτητες για ένα ΠΥΔ.

2.3.1 Τεχνολογικό Υπόβαθρο

Όπως αναφέρθηκε, αρκετοί ηλικιωμένοι χρήζουν συνεχόμενης βιοήθειας και προσοχής, όχι μόνο στο εξωτερικό περιβάλλον, αλλά και στο εσωτερικό. Το Παγκόσμιο Σύστημα εντοπισμού θέσης (Global Positioning System, GPS) χρησιμοποιείται για την περίπτωση πλοιήγησης στον εξωτερικό χώρο, και βασίζεται στην πλοιήγηση μέσω δορυφόρου, παρέχοντας στο χρήστη πληροφορίες για την τοποθεσία στην οποία βρίσκεται. Αν και η πλοιήγηση στον εξωτερικό χώρο έχει μελετηθεί διεξοδικά και είναι διαθέσιμη σχεδόν υπό όλες τις περιβαλλοντικές συνθήκες, η πλοιήγηση στον εσωτερικό χώρο παραμένει ένα τεχνολογικό πεδίο δίχως αποτελεσματικές και ολοκληρωμένες λύσεις. Όλες οι προσφάτως αναπτυγμένες τεχνολογίες που έχουν δημιουργηθεί, υπόκεινται σε σημαντικούς περιορισμούς, όπως την ακρίβεια, τον υλικό εξοπλισμό, το κόστος, την πολυπλοκότητα της διάταξης, καθώς και τη χρηστικότητα, αλλά και την έλλειψη προσαρμοστικότητας σε αλλαγές.

Με την πάροδο των χρόνων, αρκετές ενδιαφέρουσες λύσεις έχουν αναπτυχθεί στον τομέα των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (Information and Communications Technology, ICT). Οι λύσεις αυτές κατηγοριοποιούνται σε δύο ομάδες: την πλοιήγηση βασιζόμενη στο δίκτυο και τον αυτόνομο εντοπισμό του χρήστη. Συστήματα που χρησιμοποιούν το δίκτυο, βασίζονται σε τεχνολογίες όπως το Bluetooth, το Ultra Wide Band (UWB), το Wi-Fi ή το RFID. Η κατηγορία που χρησιμοποιεί ανεξάρτητη πλοιήγηση, βασίζεται σε μεθόδους Dead Reckoning (DR) και περιλαμβάνει πληροφορίες όπως η ταχύτητα και η κατεύθυνση, που συλλέγονται από ειδικούς αισθητήρες, που ονομάζονται Micro-Electro-Mechanical Sensors (MEMS).

Οι τεχνολογίες Wi-Fi και UWB, παρουσιάζουν μεγαλύτερη ακρίβεια στον εντοπισμό της θέσης από το Bluetooth και τα RFID [23], ωστόσο υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί που σχετίζονται με το κόστος και κάποιες προκύπτουσες τεχνικές δυσκολίες. Για παράδειγμα, το Wi-Fi έχει πιο ακριβά σημεία πρόσβασης σε σχέση με άλλες τεχνολογίες και όμοια το UWB παρουσιάζει προβλήματα σχετικά με: τη συμβατότητα των κεραιών, τις χαμηλής ισχύος μεταδόσεις και τις εξωτερικές παρεμβάσεις άλλων συστημάτων. Στην περίπτωση των RFID και του Bluetooth, το κύριο μειονέκτημα είναι η ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης. Αν και οι Bluetooth δέκτες δεν είναι εμπορικά προσιτοί, η τεχνολογία τους είναι απλή, συμβατή και μικρής εμβέλειας. Η ακρίβεια τους εξαρτάται από τον αριθμό των μονάδων που χρησιμοποιούνται, και σε περιπτώσεις που η ακρίβεια δεν αποτελεί έναν τόσο σημαντικό παράγοντα, τότε συνήθως προτιμάται η τεχνολογία Bluetooth. Όσον αφορά στην ακρίβεια και το κόστος της RFID τεχνολογίας, αυτά σχετίζονται με τον τύπο του RFID αναγνώστη, καθώς και με το πλήθος και το είδος των RFID ετικετών που χρησιμοποιούνται. Συνήθως οι ενεργητικές ετικέτες κοστίζουν περισσότερο από τις παθητικές, λόγω της ενσωματωμένης μπαταρίας με την οποία είναι εξοπλισμένες.

Επίσης, λόγω των κινητών τηλεφώνων που υποστηρίζουν την Near Field Technology (NFC), οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν κινητά ως τερματικά εντοπισμού θέσης αυξάνονται ταχύτατα. Πρόσφατα, ο Ivanov [24] χρησιμοποίησε ένα συνδυασμό από NFC ετικέτες τοποθετημένες σε πόρτες δωματίων, για την αυτόματη ενεργοποίηση μιας εφαρμογής στο κινητό, τη στιγμή που ο χρήστης πλησιάζει κοντά σε μια NFC ετικέτα. Οι Aydin et al. [23] ανέπτυξαν την εφαρμογή ακόμα περισσότερο και πρότειναν ένα ολοκληρωμένο σύστημα, το οποίο ονόμασαν NFC Internal. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η NFC τεχνολογία για την καθοδήγηση χρηστών μέχρι τον προορισμό τους. Τα κινητά τηλέφωνα πρέπει να υποστηρίζουν την NFC τεχνολογία κι επίσης να έχουν εγκαταστημένη μια εφαρμογή πλοήγησης για εσωτερικό χώρο. Οι πληροφορίες για την τρέχουσα τοποθεσία του χρήστη, συλλέγονται όταν ο χρήστης ακουμπήσει το κινητό του τηλέφωνο στις ετικέτες NFC, που βρίσκονται τοποθετημένες σε διάφορα σημεία του κτιρίου.

Εκτός από την NFC τεχνολογία, οι υπέρυθρες είναι επίσης μια αρκετά διαδεδομένη τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε τεχνικές πλοήγησης. Ο Guerrero et al. [25] εξετάζοντας τις μελέτες του Sonnenblick, [26] ο οποίος υλοποίησε ένα σύστημα που βασίζεται σε υπέρυθρα LED, πρότεινε ένα βελτιωμένο σύστημα πλοήγησης βασιζόμενο στην υπέρυθρη τεχνολογία. Στην έρευνα που διεξήγαγε ο Sonnenblick, οι πληροφορίες συλλέγονταν από ένα δέκτη υπερύθρων, ο οποίος περιόριζε αρκετά την κάλυψη του περιβάλλοντος, κι αυτό διότι οι δέκτες υπερύθρων πρέπει να είναι τοποθετημένοι έτσι, ώστε να «βλέπουν» απευθείας τα LED. Ο Guerrero αφαίρεσε αυτόν τον περιορισμό, τοποθετώντας υπέρυθρα LED ακτινικά πάνω σε ένα μπαστούνι για τυφλούς, με αποτέλεσμα να αυξήσει κατακόρυφα την ορατότητα μεταξύ πηγής φωτός και δέκτη. Σε αυτήν την περίπτωση, ο δέκτης είναι ένα κανονικό Wii mote (χειριστήριο παιχνιδομηχανής), με μια κάμερα υπερύθρων στο μπροστινό μέρος, που εκτός από την ανίχνευση του

μεταδιδόμενου σήματος, υπολογίζει και τη σχετική θέση της πηγής φωτός, συνεπώς και του χρήστη.

Υπάρχουν τρεις τύποι πλοιήγησης, η εξωτερική, η εσωτερική και εκείνη που συνδυάζει τους προαναφερθέντες τύπους. Ένα τέτοιο σύστημα είναι το σύστημα Drishti, που δημιουργήθηκε από τους Helal, Moore και Ran [27]. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το GPS χρησιμοποιείται για πλοιήγηση στον εξωτερικό χώρο και δεν είναι διαθέσιμο στον εσωτερικό, λόγω της μη ορατότητας με το δορυφόρο (Non-Line-of-Sight: NLOS). Αυτό που κάνει το Drishti, είναι να χρησιμοποιεί το DGPS ως το δικό του σύστημα εύρεσης τοποθεσίας για εξωτερικό χώρο, και όταν ο χρήστης εισέρχεται σε ένα περιβάλλον εσωτερικού χώρου, τότε το Drishti αυτομετατρέπεται σε ένα διαφορετικό σύστημα εντοπισμού. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση αυτή, η Drishti χρησιμοποιεί πομπούς υπερήχων, εγκατεστημένους στις τέσσερις γωνίες του ταβανιού. Επιπρόσθετα, δύο beacons βρίσκονται στους ώμους του χρήστη, ενώ στη ζώνη του έχει τοποθετηθεί ένας φορητός υπολογιστής. Επιπρόσθετα, ένας ειδικός αλγόριθμος έχει αναπτυχθεί από τους συγγραφείς, για τον υπολογισμό των ακριβών συντεταγμένων του χρήστη. Φυσικά οι περιορισμοί σε αυτό το σύστημα αποτελούν τα «κνεκρά σημεία», λόγω του μικρού αριθμού των διαθέσιμων πομπών υπερήχων.

Ένα διαφορετικού τύπου σύστημα πλοιήγησης εσωτερικού χώρου είναι επίσης το PERCEIPT [28] που αποτελείται από έναν Android «πελάτη» και έναν κεντρικό διαχειριστή. Ολόκληρο το σύστημα PERCEIPT του χρήστη ενσωματώνεται σε ένα γάντι, δηλαδή μια Arduino ολοκληρωμένη πλακέτα, έναν αναγνώστη RFID, ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα Bluetooth και ένα ρυθμιστή ισχύος. Το γάντι έχει την ικανότητα να επικοινωνεί μέσω παθητικών ετικετών RFID, χρησιμοποιώντας το Android κινητό. Οι ετικέτες είναι τοποθετημένες σε κάθε πόρτα του κτιρίου. Η Arduino μητρική χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση όλων των γεγονότων που συμβαίνουν μεταξύ του χρήστη που φοράει το γάντι PERCEIPT και του περιβάλλοντος. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα είναι υπεύθυνο για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ της Arduino μητρικής και του κινητού, όπου εγκαθιδρύεται μια Wi-Fi σύνδεση μεταξύ του κινητού και του PERCEIPT διαχειριστή. Τέλος, ο διαχειριστής επιστρέφει στο χρήστη τις οδηγίες πλοιήγησης που απαιτούνται μέσω της ίδιας σύνδεσης. Το κύριο μειονέκτημα του συστήματος είναι το γεγονός ότι οι ετικέτες μπορεί να διαβαστούν κατά λάθος ή οι χρήστες να πιέσουν κουμπιά άθελά τους.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι δεν επικεντρώνονται όλες οι καινοτόμες τεχνολογίες στην πλοιήγηση ανθρώπων. Υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός εργασιών, που βασίζει την έρευνά του σε κινούμενα ρομπότ. Μια τέτοια μελέτη αποτελεί εκείνη του Vorst et al. [29], που προτείνει μια νέα μέθοδο αυτοπροσδιορισμού θέσης, βασισμένη στην όραση υπολογιστών και αξιοποιώντας RFID στιγμιότυπα για την εκτίμηση της τοποθεσίας του ρομπότ. Κατά την πρώτη φάση, που αποκαλείται και φάση εκμάθησης, λαμβάνονται στιγμιότυπα σε -εκ των προτέρων- γνωστές θέσεις στο εσωτερικό περιβάλλον και οι πληροφορίες που συλλέγονται, αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων. Τα στιγμιότυπα RFID αντιπροσωπεύουν διανύσματα συχνοτήτων ανίχνευσης και προσφάτως ανιχνεύσιμων παθητικών ετικετών. Κατά τη διάρκεια της φάσης λειτουργίας του ρομπότ, τα τρέχοντα στιγμιότυπα λαμβάνονται από την κάμερά του

και αντιστοιχίζονται με εκείνα που έχουν ήδη αποθηκευτεί, ώστε να συγκριθούν και να προκύψουν εκτιμήσεις για τη θέση του ρομπότ. Τελικά, η μέθοδος αυτοπροσδιορισμού θέσης που χρησιμοποιείται, είναι ένα particle filter, αλγόριθμος γνωστός ως και sequential Monte Carlo method. Ο αλγόριθμος αποδίδει ικανοποιητικές εκτιμήσεις θέσης και, σε μερικές περιπτώσεις, καλύτερη ακρίβεια από την παρόμοια προσέγγιση που προτείνεται από τους Hahnel et al. [30].

2.3.2 Μεθοδολογία

Σκοπός της προσέγγισης που προτείνεται σε αυτήν την ενότητα, είναι η δημιουργία μιας διαδικασίας χαρτογράφησης (mapping), μεταφράζοντας τα σχεδιαγράμματα ενός εσωτερικού χώρου με έναν αποτελεσματικό και έξυπνο τρόπο. Για να το πραγματοποιήσουμε αυτό, δημιουργούμε μια προκαθορισμένη δομή πλέγματος, αποτελούμενη από 40X40 εκ τετραγωνικά που συμβολίζουμε με sq_0 . Υποθέτουμε ότι το πλέγμα απαρτίζει έναν Ευκλείδειο χώρο \mathbb{E} , οπότε έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε όλες τις αποστάσεις σε νόρμες $\parallel \parallel$.

Άρα, το πλέγμα \mathbf{G} ορίζει ένα διανυσματικό χώρο \mathbf{S} , το οποίο εκ παραδοχής και εξ' ορισμού ικανοποιεί τα επόμενα αξιώματα¹:

$$x_1 + x_2 \in \mathbf{S} \quad (1)$$

$$x_1 + x_2 = x_2 + x_1 \quad (2)$$

$$(x_1 + x_2) + x_3 = x_1 + (x_2 + x_3) \quad (3)$$

Υπάρχει ένα διάνυσμα (ονομάζεται μηδενικό διάνυσμα) $\mathbf{0}$ στο \mathbf{S} έτσι ώστε

$$x_1 + \mathbf{0} = x_1 \quad (4)$$

$$\forall x_1 \in \mathbf{S}, \text{ υπάρχει ένα διάνυσμα } -x_1 \in \mathbf{S} \text{ που ικανοποιεί } x_1 + (-x_1) = 0 \quad (5)$$

$$cx_1 \in \mathbf{S} \quad (6)$$

$$c(x_1 + x_2) = cx_1 + cx_2 \quad (7)$$

$$(c + d)x_1 = cx_1 + dx_1 \quad (8)$$

$$(cd)x_1 = c(dx_1) \quad (9)$$

¹ Σημειώνεται ότι τα αξιώματα πρέπει να ισχύουν για $\forall x_1, x_2 \in S$ και $\forall c, d \in \mathbb{R}$

$$1x_1 = x_1 \quad (10)$$

Συνεπώς, είναι προφανές ότι κάθε σημείο i στον διανυσματικό χώρο S αντιστοιχεί σε ένα διάνυσμα x_i . Οπότε, υποθέτοντας ότι η εσωτερική περιοχή B είναι ένα υποσύνολο του διανυσματικού χώρου S , τότε εξ' ορισμού είναι και αυτό «μετρήσιμο». Με άλλα λόγια μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση ανάμεσα σε δύο τυχαία σημεία $(a, b) \in B$ μέσω των διανυσμάτων x_a, x_b . Πιο συγκεκριμένα $x_a - x_b$ στον διανυσματικό χώρο S είναι η νόρμα $\|x_a - x_b\|$. Περικόπτοντας το κτίριο σε sq_i μέρη, μπορούμε να υπολογίσουμε με ακρίβεια κάθε βήμα, μετρώντας από την αρχή G , που ορίζεται με $G_0(0,0)$. Τα διανύσματα x_i είναι της μορφής $n \times x_0$ εκ, όπου x_0 συμβολίζει την διαγώνιο κάθε sq_i (40×40 εκ. κυψέλη) στο G και n είναι ένας βαθμωτός αριθμός με $n \in \mathbb{R}$. Ορίζουμε x_0 ως το μοναδιαίο ποσό στον μοναδιαίο χώρο S . Για παράδειγμα, η απόσταση από την αρχή $G_0(0,0)$ έως το κέντρο του σημείου i του $i^{\text{στον}}$ τετραγώνου, μπορεί να εκφραστεί ως $\|x_i\| = \|n \times x_0\|$.

Το μήκος του μονοπατιού μπορεί να υπολογιστεί ως το άθροισμα όλων των διανυσμάτων x_i στο S , εμπεριέχοντας κάθε βήμα από το σημείο i (σημείο εκκίνησης) στο σημείο j (προορισμός) και περιγράφεται από την εξίσωση²:

$$\sum_{i=1}^N \|X_i\|$$

Με αυτόν τον τρόπο έχουμε ορίσει τη βάση για την πλοήγηση ενός ατόμου σε οποιαδήποτε πιθανή διαδρομή εντός μιας περιοχής εσωτερικού χώρου B θεωρώντας ότι δεν υπάρχουν εμπόδια ή δεν συμβαίνουν «απρόοπτα γεγονότα».

Εξυπηρετώντας το στόχο μας για μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας του αλγορίθμου, ή κοινώς «βρίσκοντας το δρόμο» μέσα στο κτίριο, πρέπει να υπολογίσουμε την κοντινότερη διαδρομή μεταξύ του αρχικού κόμβου i (σε αυτή την περίπτωση την τρέχουσα θέση του χρήστη) και τον κόμβο ισορροπίας j (σημεία προορισμού). Για να το πραγματοποιήσουμε αυτό, εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο Dijkstra που αναφέρεται και στη βιβλιογραφία [28].

Δοσμένου ενός συγκεκριμένου διαγράμματος που αποτελείται από κόμβους και σταθμισμένες ακμές, ο αλγόριθμος Dijkstra [28] ελαχιστοποιεί το άθροισμα των βαρών των ακμών. Συγκεκριμένα, εγγυάται τη συντομότερη διαδρομή, η οποία προσδιορίζεται με βάση την επόμενη διαδικασία:

- Ένας κόμβος N απομακρύνεται από το σύνολο $V-S$ των κόμβων (V : κόμβοι που ήδη περάστηκαν από τον αλγόριθμο, S : οι υπόλοιποι κόμβοι συνδεδεμένοι με τον αρχικό) σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου.

² Οπου x_i είναι διανύσματα στον διανυσματικό χώρο S , και $\{x_i, \dots, x_n\} \subseteq S$

- Για όλους τους γειτονικούς κόμβους M του N , η απόσταση από την αρχή υπολογίζεται αντίστοιχα για κάθε έναν από τους καινούργιους κόμβους. Η τιμή αυτή υπολογίζεται παίρνοντας την απόσταση του N και προσθέτοντας το βάρος της νέας προστιθέμενης ακμής, που ενώνει τον κόμβο N με τον κόμβο M .
- Τέλος, για τις περιπτώσεις που ο M δεν είναι μέρος του συνόλου κόμβων $V-S$, ο M προστίθεται, ενημερώνοντας την προηγούμενη απόσταση και την τιμή του κόμβου. Παρ' όλα αυτά, για τις περιπτώσεις κατά τις οποίες ο κόμβος M είναι ήδη μέρος του συνόλου $V-S$, που σημαίνει ότι η απόσταση έχει ήδη υπολογιστεί χρησιμοποιώντας μια άλλη υπάρχουσα διαδρομή, τότε οι δύο κόμβοι, «παλιός» και «καινούργιος» συγκρίνονται για να ληφθεί τελικά υπόψη ο μικρότερος. Ως εκ τούτου, εάν η «καινούργια» διαδρομή είναι μικρότερη, οι παράμετροι του M ενημερώνονται με τις τρέχουσες τιμές.
- Αυτή η μέθοδος επαναλαμβάνεται για όλα τα πιθανά μονοπάτια μέχρι να φτάσουμε στον τελικό κόμβο και ο πίνακας αποστάσεων συμπληρωθεί.

Να σημειωθεί ότι ο \mathbf{G} εκ σχεδιασμού πληροί τις προϋποθέσεις του Dijkstra, αφού $B \subseteq G$. Ο αλγόριθμος Dijkstra μπορεί να εφαρμοστεί στο \mathbf{B} , επιτρέποντάς μας να υπολογίσουμε την κοντινότερη διαδρομή. Στο παράδειγμά μας, για κάθε κυψέλη του πλέγματος x_i υπάρχει κόμβος X_i , με όλες τις πιθανές διασυνδέσεις μεταξύ γειτονικών κυψελών να απεικονίζουν «τις ακμές» του γραφήματος Dijkstra.

Έχοντας θέσει τη δομή για την αναπαράσταση των σχεδίων ενός κτιρίου \mathbf{B} σε ένα διανυσματικό χώρο \mathbf{G} , είμαστε σε θέση να προσδιορίσουμε τη βέλτιστη διαδρομή για οποιαδήποτε πιθανή διαδρομή στο \mathbf{B} . Ωστόσο, ήδη υπάρχουν διάφορες μέθοδοι με τις ίδιες ιδιότητες. Για να αντιμετωπίσουμε την πρόκληση αυτή, χρειάζεται περαιτέρω μελέτη στη «συμπεριφορά» του αλγορίθμου πλοήγησης σε τοπικό επίπεδο, δηλαδή στον εντοπισμό θέσης.

Για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας εντοπισμού, απαιτείται η εξομοίωση της «συνήθους» κίνησης ενός ατόμου που δεν πάσχει από κάποια αναπηρία, και πιο συγκεκριμένα η μίμηση των κινήσεων στις διάφορες αλλαγές κατεύθυνσής τους, κάθε φορά που προκύπτει ένα γεγονός. Για να είναι λοιπόν εφικτή η βελτιστοποίηση της μεθόδου μας, προσομοιώσαμε την κίνηση ενός ατόμου που περπατάει, και λάβαμε διαφορετικούς τύπους μεταβλητών, όπως την ταχύτητα, την αλλαγή κατεύθυνσης, το μέσο μήκος βήματος, τη συχνότητα βημάτων, το χρονικό μέσο όρο αντίδρασης σε περιπτώσεις αλλαγών κατεύθυνσης, είτε για την εύρεση της μικρότερης διαδρομής είτε για την αποφυγή ενός εμποδίου.

2.3.2.1 Εμπόδια

Ορίζουμε δύο κατηγορίες εμποδίων, τα «αναμενόμενα» και τα «μη αναμενόμενα», τα οποία στη συνέχεια υπόκεινται στην υποκατηγοριοποίηση: «κινητά» και «σταθερά». Στον αλγόριθμο που παρουσιάζουμε στη μελέτη αυτή, δίνουμε πρόσθετο βάρος στην αποφυγή εμποδίων από το χρήστη, αφού αποτελεί ένα κύριο χαρακτηριστικό της πλοήγησης στον εσωτερικό χώρο.

➤ *Αναμενόμενα*

Ορίζουμε ως αναμενόμενα τα εμπόδια εκείνα με πιθανότητα $\mathcal{P}r(.) = 1$ να συμβούν σε μια προκαθορισμένη στιγμή και σε ένα προκαθορισμένο σημείο εντός \mathbf{G} .

➤ *Μη αναμενόμενα*

Ορίζουμε ως μη αναμενόμενα τα εμπόδια εκείνα με πιθανότητα $\mathcal{P}r(.) < 1$ να συμβούν σε μια προκαθορισμένη στιγμή και σε ένα προκαθορισμένο σημείο εντός \mathbf{G} .

Προσθέτοντας στους ανωτέρω ορισμούς, υποκατηγοριοποιούμε αναμενόμενα και μη αναμενόμενα εμπόδια σε κινητά (εμπόδια με τυχαία ταχύτητα και κατεύθυνση) και σταθερά (εμπόδια με σταθερή ταχύτητα και κατεύθυνση)

Αφού εξ' ορισμού, τα αναμενόμενα εμπόδια έχουν πιθανότητα ίση με 1 να συμβούν, μπορούν να θεωρούνται ως προκαθορισμένα σημεία μέσα στο χώρο \mathbf{G} . Από εδώ και στο εξής μπορούμε φυσικά να υποθέτουμε ότι είναι σταθερές ποσότητες εντός του φάσματος \mathbf{B} , πρότερα του υπολογισμού του αλγόριθμου Dijkstra. Ως εκ τούτου, η μόνη τυχαία μεταβλητή στο σύνολό μας είναι λάθη ή απρόσμενα γεγονότα, δηλαδή τα κινητά εμπόδια. Ένα ακόμη σημαντικό χαρακτηριστικό στην πλοήγηση εσωτερικού χώρου είναι η προβλεψιμότητα, \mathcal{PE} , η οποία συσχετίζεται αρνητικά με τα κινητά εμπόδια. Επομένως,

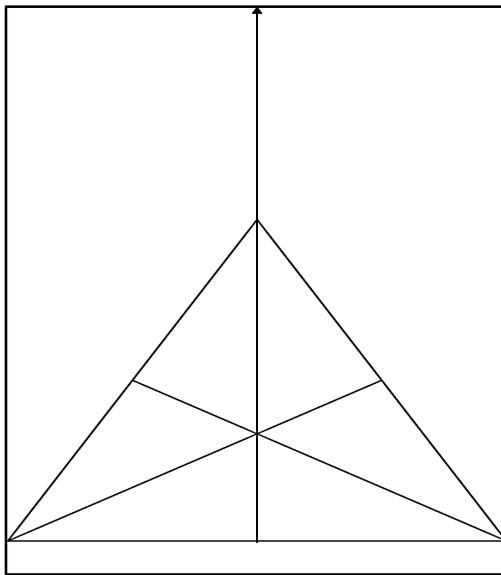
$$\mathcal{PE}^*(x_1, c_1, \dots, x_n, c_n) = \sum_i^n c_i + \mathcal{PE}(x_1, \dots, x_n,)$$

το οποίο απλουστεύεται σε $E[\mathcal{PE}(x_1, \dots, x_n,)]$, όπου $E[]$ είναι η αναμενόμενη τιμή της ισχύς προβλεψιμότητας³.

2.3.2.2 Σύνολα Τριγώνων

Επιλέξαμε τη μορφοποίηση ενός συνόλου τριγώνων, λόγω της προβλεψιμότητάς του για την ανίχνευση οποιουδήποτε κινητού γεγονότος σε ένα προκαθορισμένο πεδίο εμβέλειας, βημάτων s_i με μήκος l_i , για οποιαδήποτε γωνία $\not\propto$ μεταξύ $[0^\circ, 180^\circ]$. Υποθέσαμε ότι η αρχή είναι το κεντρικό σημείο του χρήστη $\mathbf{G}_i(0,0)$ και η κατεύθυνσή του εξελίσσεται συνεχώς μπροστά.

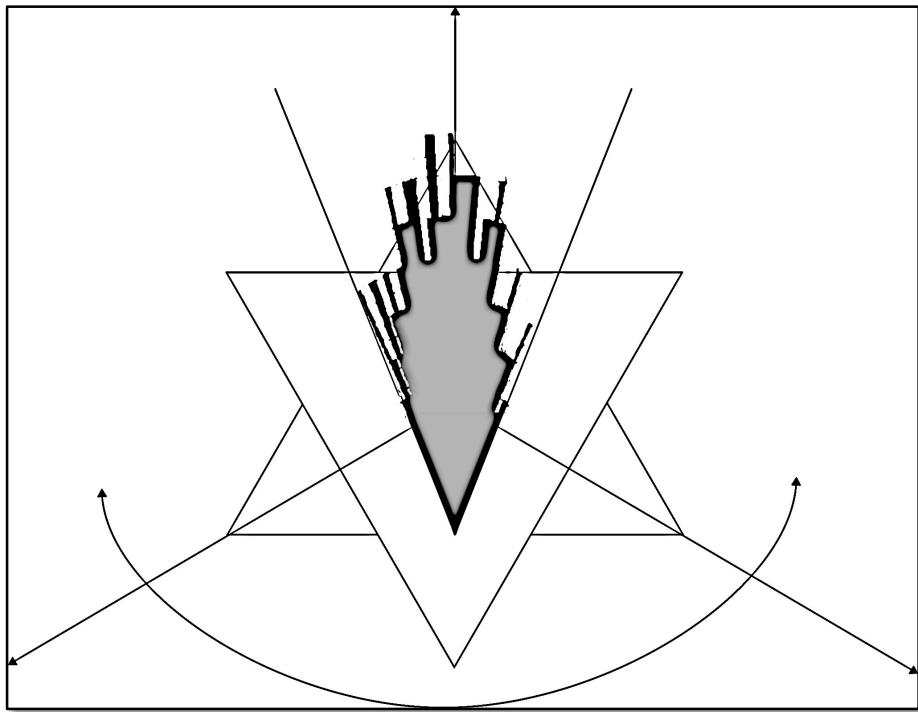
³ Σημειώνουμε ότι \mathcal{PE} θεωρείται ρητή συνάρτηση, c_i είναι σταθεροί αριθμοί ή γνωστές οντότητες και x_i είναι τυχαίες μεταβλητές με $f(x_i) \in \mathfrak{R}$.



Εικόνα 11 Το τρίγωνο «κατεύθυνσης»

Θεωρήσαμε T_1 ένα τρίγωνο του οποίου οι διχοτόμοι διασταυρώνονται ακριβώς στο σημείο $\mathbf{G}_i(0,0)$ για κάθε i . Εκφράσαμε ως «υποχρεωτική» την διχοτόμο της οποίας εάν το μήκος επεκταθεί για $l_j = n \times x_0$ διαγράφει το επόμενο $i = c(n \times x_0)$, όπου $c \in \mathbb{R}$ τα βήματα της βέλτιστης διαδρομής. Για την υπόλοιπη μελέτη μας το T_1 θα αποκαλείται τρίγωνο «κατεύθυνσης» και φαίνεται στην Εικόνα 11.

Θεωρήσαμε T_2 ένα τρίγωνο πανομοιότυπο με το T_1 που τώρα «δείχνει» στην αντίθετη κατεύθυνση του T_1 . Με άλλα λόγια, η «υποχρεωτική» διχοτόμος του T_2 , είναι $b_2 = -b_1$, όπου b_1 είναι η «υποχρεωτική» διχοτόμος του T_1 . Συνδυάζοντας τα T_1 & T_2 με το $\mathbf{G}_i(0,0)$ και λαμβάνοντας υπόψιν for φ παίρνουμε την επόμενη Εικόνα 12.

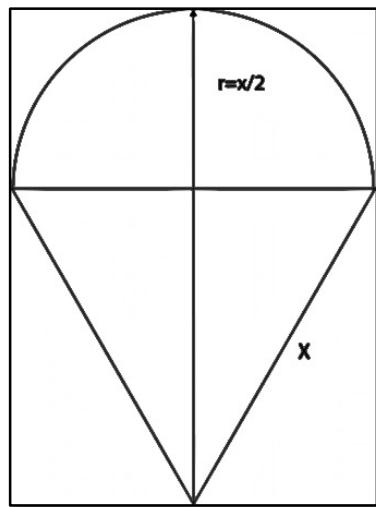


Εικόνα 12 Ο συνδυασμός των T_1 & T_2

Στη συνέχεια, θέσαμε $L_{\max}(l_j) = n \times x_0$ όπου $n \in \mathfrak{N}$ ως το μέγιστο μήκος από το $\mathbf{G}_i(0,0)$, που καθορίζει μια περιοχή έρευνας εμποδίων, μετρούμενη σε $\omega(n \times x_0)$, όπου ω είναι πραγματικός αριθμός. Τότε, παρατηρούμε ότι εάν το $L_{\max}(l_j)$ περιστραφεί στο \mathcal{P} διαγράφεται ένα τόξο όπως φαίνεται στην Εικόνα 13. Από τη θεωρία είναι γνωστό ότι εάν μας δίνεται ένα τόξο ή ένα τμήμα με γνωστό εύρος (W) και ύψος (H) τότε η ακτίνα είναι ίση με:

$$Radius^4 = \frac{H}{2} + \frac{W^2}{8H}$$

⁴ όπου W είναι το μήκος της χορδής που ορίζει την βάση του τόξου & H είναι το ύψος που μετράτε από το μέσο της βάσης του τόξου.

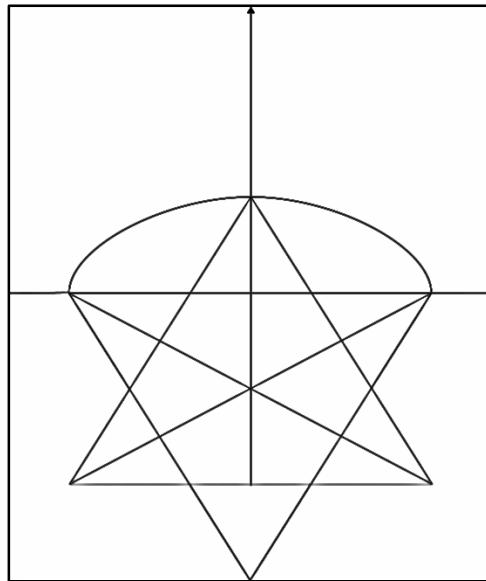


Εικόνα 13 Υπολογισμός τόξου

2.3.2.3 Χρόνος Ακινητοποίησης

Ορίζουμε ως χρόνο ακινητοποίησης St_i , το γεγονός στο οποίο ένα εμπόδιο y_i με γνωστή (ή αναμενόμενη) ταχύτητα v_i συναντάει την χρονική στιγμή (ή την αναμενόμενη χρονική στιγμή) t_i , ένα σημείο P_i όπου P_i δίνεται από:

$$P_i \cong L_{\max(l_j)} \equiv 0$$



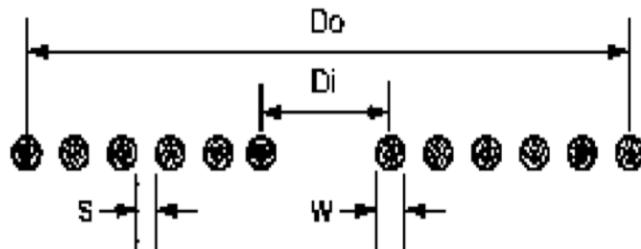
Εικόνα 14 Υπολογισμός χρόνου ακινητοποίησης

Από τα παραπάνω καθώς και από την Εικόνα 14 συμπεραίνουμε ότι τα σημεία P_i , εμφανίζονται μόνο στο υποσύνολο των «κινητών» εμποδίων αφού ισχύει $L_{\max}(l_j) \neq 0$, για τους υπόλοιπους τύπους εμποδίων (αναμενόμενα, και/ή σταθερά).

2.3.2.4 Σχεδιασμός Κεραίας

Ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό της δομής που προτείνουμε για πλοϊγηση στον εσωτερικό χώρο είναι η επιλογή του καταλληλότερου κυκλώματος κεραίας, το οποίο θα αυξήσει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων και θα βελτιώσει τις ιδιότητες του αλγορίθμου. Για να διαλέξουμε την καταλληλότερη λοιπόν κεραία, μελετήσαμε αρκετούς νόμους και θεωρήματα που διέπουν το πεδίο της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας.

Είναι ήδη γνωστό ότι οι RFID ετικέτες κατηγοριοποιούνται σε παθητικές και ενεργητικές. Οι παθητικές ετικέτες, όπως έχουμε αναφέρει, δεν παράγουν ισχύ μόνες τους, σε αντίθεση με τις ενεργητικές, αφού δεν περιέχουν μεταδότη. Η πηγή τάσης της συσκευής που απαιτείται, είναι ένα AC επαγωγικό πηνίο κεραίας, που κάνει την ετικέτα να λειτουργεί όταν DC τάση φτάνει σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο. Σε συνδυασμό με την κεραία του αναγώστη, από όπου η τάση που μεταφέρεται στην παθητική ετικέτα πηγάζει, συμπεραίνουμε ότι η μεταφορά τάσης πραγματοποιείται μέσω επαγωγικής σύζευξης των δύο πηνίων. Διαδοχικά, οι δύο κεραίες συμπεριφέρονται όπως ένας τυπικός μετατροπέας και συνεπώς η λειτουργία του πρέπει να ικανοποιεί τις βασικές αρχές της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας για πηνία κεραιών.



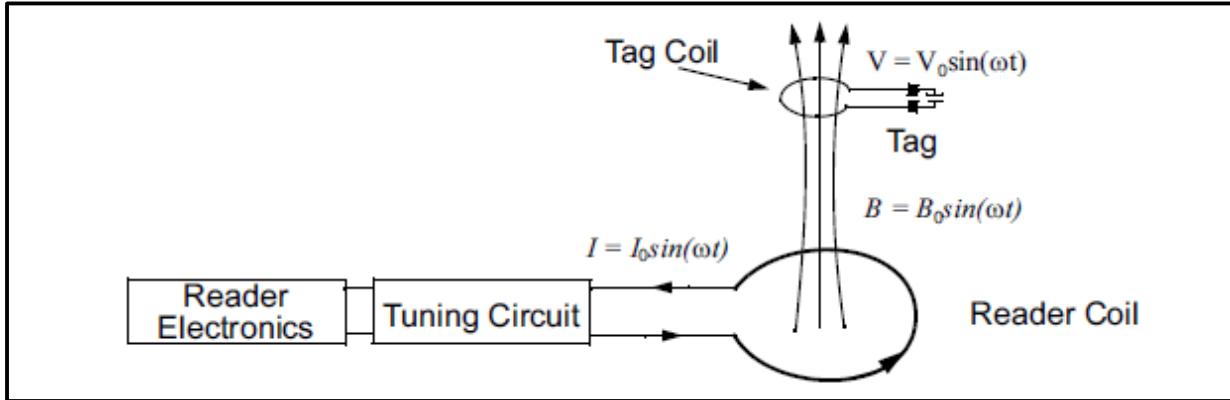
Εικόνα 15 Σπειροειδές πηνίο και υπολογισμοί

Υπάρχει πληθώρα κεραιών, που βασίζονται στον τύπο του καλωδίου, στο μήκος, στον αριθμό των βρόχων, αλλά και στον αριθμό των επιπέδων από τα οποία αποτελούνται. Ένα σπειροειδές πηνίο ενός μόνο επιπέδου χαρακτηρίζεται από την αυτεπαγωγή που δίνεται από την παρακάτω εξίσωση, όπου ο τύπος που χρησιμοποιήσαμε για τον υπολογισμό της, βασίζεται στις προσεγγίσεις του Harold A. Wheeler και στην Εικόνα 15 για ένα air core επίπεδο πηνίο αυτεπαγωγής⁵:

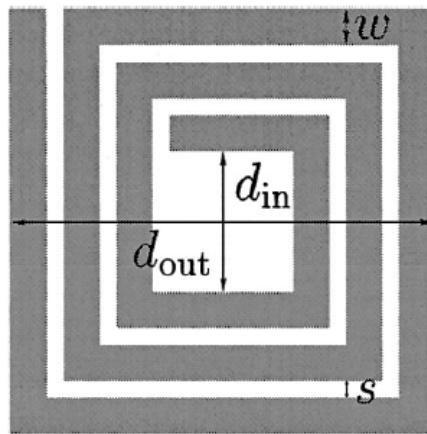
⁵ Όπου $A = \frac{(Di + N(w+s))}{2}$, Di = η εσωτερική διάμετρος σε ίντσες, s = απόσταση μεταξύ των ελικοειδών στροφών σε ίντσες, w = διάμετρος του καλωδίου σε ίντσες, N = αριθμός στροφών, Do = εξωτερική διάμετρος

$$L(\mu H) = \frac{r^2 A^2}{30A - 11Di}$$

Μια βασική υλοποίηση ενός συστήματος αναγνώστη και μιας ετικέτας-κεραίας που χρησιμοποιεί κεραία κυκλικών βρόχων απεικονίζεται στην Εικόνα 16



Εικόνα 16 Υλοποίηση συστήματος αναγνώστη και ετικέτας-κεραίας



Εικόνα 17 Ορθογώνιο επίπεδο σπειροειδές πηνίο επαγωγής

Άλλος ένας τύπος σπειροειδούς κεραίας φαίνεται στην Εικόνα 17 και αποτελεί ένα ορθογώνιο επίπεδο σπειροειδές πηνίο επαγωγής N-στροφών (planar spiral inductor). Αν και ο Wheeler [31] έχει παρουσιάσει αρκετούς τύπους για επίπεδους σπειροειδείς επαγωγείς, υπάρχει και άλλος τρόπος να υπολογίσουμε με ακρίβεια την επαγωγή μιας τέτοιου είδους κεραίας. Αυτό γίνεται προσεγγίζοντας τις πλευρές των σπειρών με συμμετρικά φύλλα μετάλλου ισοδύναμης

πυκνότητας ρεύματος [32]. Για την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω τροποποιημένη εξίσωση, για τον υπολογισμό της επαγωγής του επίπεδου σπειροειδούς πηνίου επαγωγής⁶,⁷ [33]:

$$L_{gmd} = \frac{\mu n^2 d_{avg} c_1}{2} (\ln(c_2/\rho) + c_3\rho + c_4\rho^2)$$

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής της κεραίας, έναν από τους κύριους στόχους αποτέλεσε η υψηλή ακρίβεια σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος. Γι' αυτό, η συχνότητα που επιλέξαμε ως την καταλληλότερη, ήταν τα 125 kHz. Για να πετύχουμε την απαραίτητη ανάλυση (υπενθυμίζουμε ότι οι κυψέλες είναι μεγέθους 40×40 εκ.), οι κεραίες των RFID ετικετών κατασκευάστηκαν ώστε να αποφεύγονται τα νεκρά σημεία ανάγνωσης που μπορεί να υπάρξουν. Οι τύποι που παρουσιάσαμε, χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών των κεραιών. Όπου οι χωρητικότητες υπολογίστηκαν με βάση τις παρακάτω εξισώσεις:

Η παρασιτική χωρητικότητα αποτελείται από τη χωρητικότητα μεταξύ των στροφών των σπειρών (C_{tt} την χωρητικότητα μεταξύ στροφών και υποστρώματος (C_{st}) και τη χωρητικότητα μεταξύ contact pads και υποστρώματος (C_{se}), όπου:

$$\begin{aligned} C_{tt}|F| &= \frac{\varepsilon h(l - 4D)}{N x_1} = \frac{2\varepsilon h D}{x_1} \left(1 + a - \frac{4p}{D(1-a)}\right) \\ C_{st}|F| &= \frac{\varepsilon bl}{x_2} = \frac{2\varepsilon b D^2}{x_2 p} (1 - a^2) \\ C_{se}|F| &= 2 \frac{\varepsilon A_{cp}}{x_2} \end{aligned}$$

Συγκεκριμένα, $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r = 8.84 \times 10^{-12} \text{ } \varepsilon_r |F m^{-1}|$ είναι η διαπερατότητα του υλικού μεταξύ των στροφών, x_1 και x_2 είναι οι αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών στροφών και μεταξύ στροφών και

⁶ όπου $d_{avg} = 0.5(d_{out} + d_{in})$, $\rho = (d_{out} - d_{in})/(d_{out} + d_{in})$, $c_1 = 1.27$, $c_2 = 2.07$, $c_3 = 0.18$, $c_4 = 0.13$, $n = \text{αριθμός στροφών}$, $\mu = \text{διαπερατότητα αέρα } (1.25 \times 10^{-6})$

⁷Οι τιμές των c_i προκύπτουν με βάση των παρακάτω πίνακα:

Layout	c_1	c_2	c_3	c_4
Square	1.27	2.07	0.18	0.13
Hexagonal	1.09	2.23	0.00	0.17
Octagonal	1.07	2.29	0.00	0.19
Circle	1.00	2.46	0.00	0.20

υποστρώματος αντίστοιχα, A_{cp} είναι το εμβαδό του contact pad, N είναι ο παράγοντας για τη γραμμικώς ελαττωμένη τάση, οδεύοντας από το εξωτερικό προς το εσωτερικό.

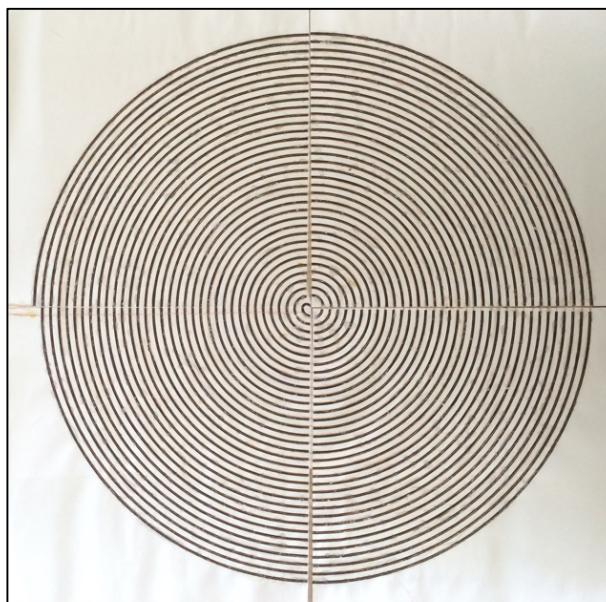
Η συνολική παρασιτική χωρητικότητα δίνεται από:

$$C_{par}|F| = C_{tt}|F| + \frac{1}{4}C_{st}|F| + \frac{1}{2}C_{se}|F|$$

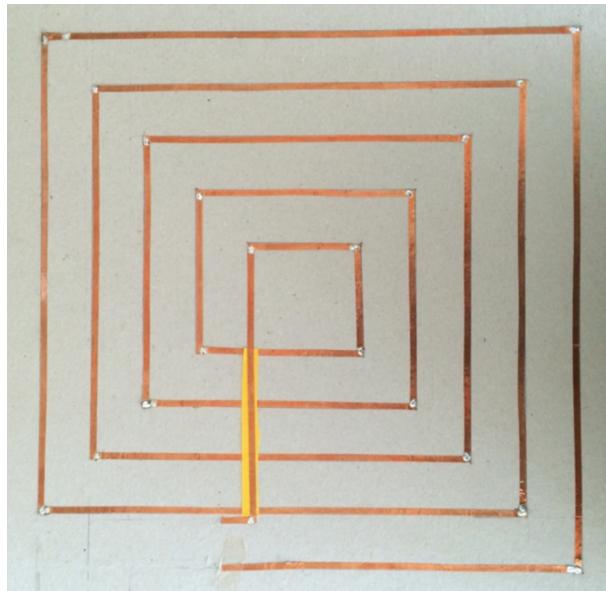
Τα χαρακτηριστικά των κεραιών, για τη συχνότητα λειτουργίας των 125 kHz, που κατασκευάστηκαν με τις παραπάνω προδιαγραφές, φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακας 4 που ακολουθεί. Στην Εικόνα 18 και στην Εικόνα 19 απεικονίζονται ένα σπειροειδές και ένα τετραγωνικό πηνίο επαγωγής αντίστοιχα.

Σπειροειδές Πηνίο Επαγωγής	Τετραγωνικός Πηνίο Επαγωγής		
Εσωτερική διάμετρος πηνίου (D_i)	10 mm	Εξωτερική διάμετρος (D_{out})	350 mm
Αριθμός στροφών (N)	34	Αριθμός στροφών (N)	5
Διάμετρος καλωδίου (w)	0,4 mm	Διάμετρος καλωδίου (w)	4 mm
Διάστημα μεταξύ στροφών (s)	5 mm	Διάστημα μεταξύ στροφών (s)	3 mm
Αυτεπαγωγή (L)	152,632 μ H	Αυτεπαγωγή (L)	193,06 μ H
Εξωτερική διάμετρος (D_o)	37,719 cm		
Μήκος καλωδίου (WI)	20,678 m		

Πίνακας 4 Χαρακτηριστικά κεραίας προς υλοποίηση



Εικόνα 18 Σπειροειδές πηνίο επαγωγής



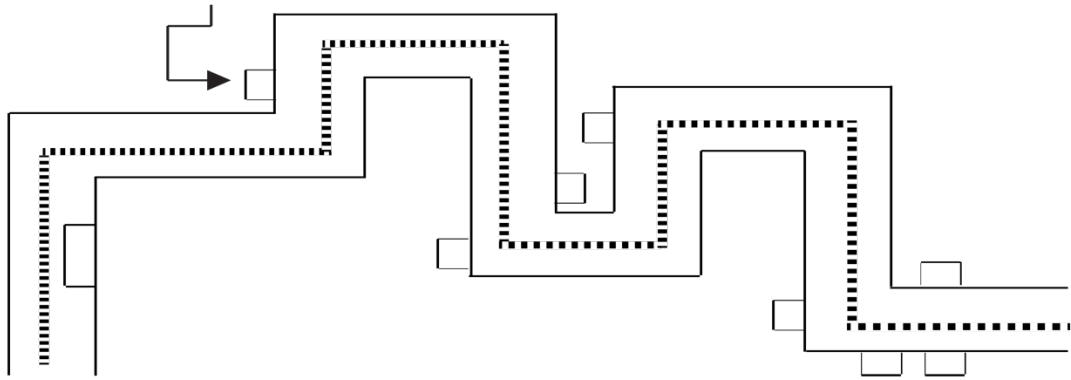
Εικόνα 19 Τετραγωνικό πηνίο επαγωγής

2.3.3 Εφαρμογή Ευφυή Αλγορίθμου και Συστημάτων RFID σε Εσωτερικό Χώρο, σε ένα Περιβάλλον Υποβοηθούμενης Διαβίωσης

Προκειμένου να αξιολογήσουμε τη συνέπεια και την αποτελεσματικότητα της μεθόδου εσωτερικής πλοήγησης σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης που παρουσιάζουμε σε αυτό το κεφάλαιο, εξετάσαμε μια σειρά από διάφορα σενάρια που συνετέλεσαν στην εξαγωγή διαφορετικών αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων.

2.3.3.1 Σενάριο 1

Σε αυτήν την περίπτωση, υποθέτουμε ότι $P_i \equiv 0$, δηλαδή ότι η διαδρομή του χρήστη $\mathbf{B}(Dj_i)$ περιέχει μόνο αναμενόμενα εμπόδια.



Εικόνα 20 Σενάριο 1

Όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 20**, η διαδρομή που απεικονίζεται, θεωρείται η βέλτιστη. Τα εμπόδια που βρίσκονται εντός του διαδρόμου, ανήκουν στην κατηγορία των αναμενόμενων και σταθερών. Αντίθετα, «κινητά» εμπόδια μπορούν εν δυνάμει να εμφανιστούν, δηλαδή P_i , όποτε ενδείκνυται μια εξωτερική έλευση.

Θεωρούμε ότι οι επόμενες ιδιότητες ικανοποιούνται:

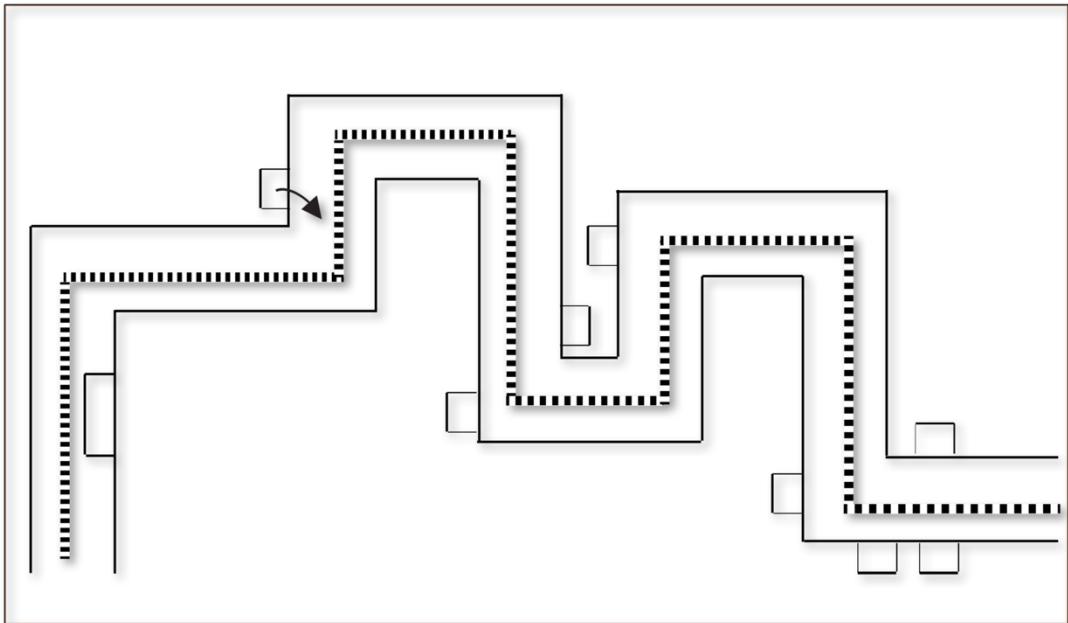
- a. $\varphi \neq 0$ με $\varphi \in [0^\circ, 180^\circ]$
- b. i_a βήμα προειδοποίησης με $\varphi \neq 0$
- c. $\min_i [\|x_{i_a} - ob_i\|]$, ελάχιστη απόσταση αντίδρασης

2.3.3.2 Σενάριο 2

Σε αντίθεση με το σενάριο 1, εδώ υποθέτουμε ότι $P_i \not\equiv 0$, δηλαδή ότι η διαδρομή του χρήστη $B(Dj_i)$ περιέχει και «κινητά» και αναμενόμενα εμπόδια.

Θεωρούμε ότι ικανοποιούνται οι επόμενες ιδιότητες:

- a. Απαιτήσεις σεναρίου 1 $\{a, b, c\}$
- b. $i, j, t_i, t_j, l_i, l_j \in \mathfrak{R}, v_i, v_j$ γνωστά,
- c. $L[P_i(i, l_i, v_i, t_i)] \not\equiv L_{max}(j, l_j, v_j, t_j), \forall t_i, t_j \in \mathfrak{R}$



Εικόνα 20 Σενάριο 2

Η διαδρομή που απεικονίζεται στην πιο πάνω Εικόνα 20 θεωρείται και πάλι ως η βέλτιστη. Τα εμπόδια σε αυτό το σενάριο είναι των κατηγοριών αναμενόμενα και σταθερά. Όπως γίνεται κατανοητό, «κινητά» αντικείμενα είναι πιθανό να εμφανιστούν, δηλαδή P_i χωρίς όμως να δημιουργούν πιθανές διασταυρώσεις με το χρήστη και κατ' επέκταση χρόνους ακινητοποίησης.

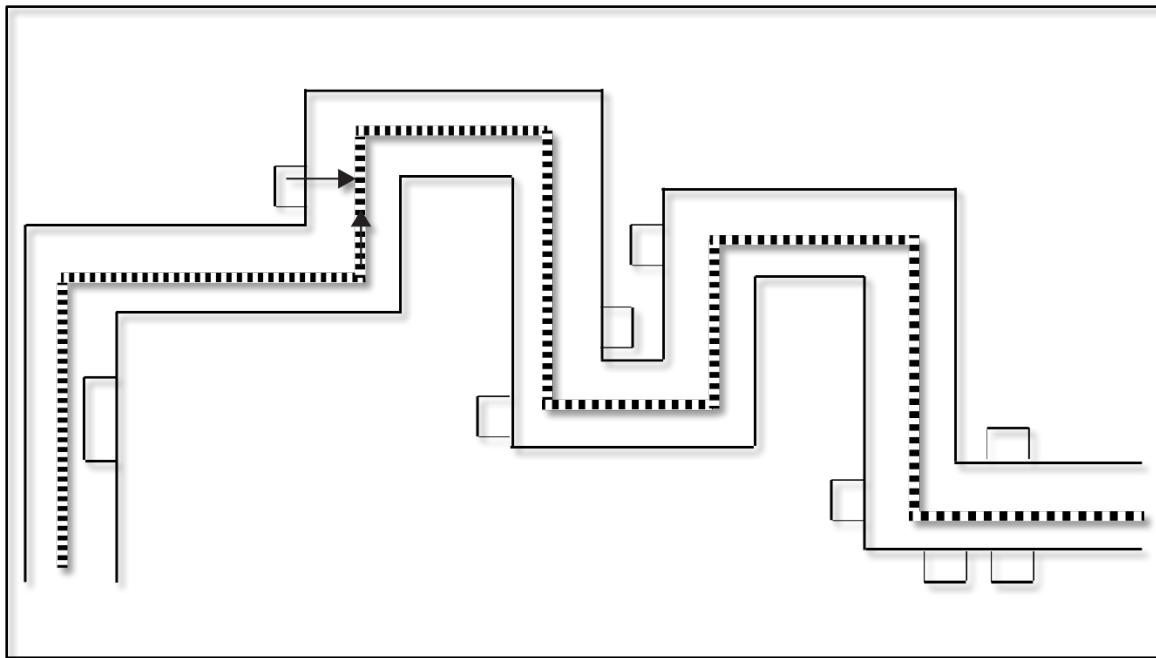
2.3.3.3 Σενάριο 3

Όμοια με το σενάριο 2, υποθέτουμε ότι $P_i \not\equiv 0$, δηλαδή η διαδρομή του χρήστη $\mathbf{B}(Dj_i)$ περιέχει και «κινητά» και αναμενόμενα εμπόδια.

Οι ιδιότητες πιο κάτω πρέπει να ικανοποιούνται⁸:

- a. Απαιτήσεις σεναρίου 1{a, b, c}
- b. $i, j, t_i, t_j, l_i, l_j \in \mathfrak{R}, v_i, v_j$ γνωστά,
- c. $L[P_i(i, l_i, v_j, t_i)] \equiv 0 \equiv L_{max}(j, l_j, v_j, t_j), \forall t_i, t_j \in \mathfrak{R}$

⁸ Σημειώνεται ότι v_j δηλώνει ένα σημείο διασταύρωσης σε μια χρονική στιγμή t για $L(P_i)$ & L_{max}



Εικόνα 21 Σενάριο 3

Το μονοπάτι που απεικονίζεται στην Εικόνα 21, όμοια με τις Εικόνα 20 και Εικόνα 20 περιλαμβάνει όλους τους τύπους των εμποδίων με τις τροχιές των P_i να δημιουργούν γεγονότα ακινητοποίησης.

2.3.3.4 Σενάριο 4

Ανάλογα με το σενάριο 3, θεωρούμε ότι $P_i \not\equiv 0$, δηλαδή η διαδρομή του χρήστη $\mathbf{B}(Dj_i)$ περιέχει και «κινητά» και αναμενόμενα εμπόδια.

Οι ιδιότητες πιο κάτω πρέπει να ικανοποιούνται:

Απαιτήσεις σεναρίου 1 {a, b, c}

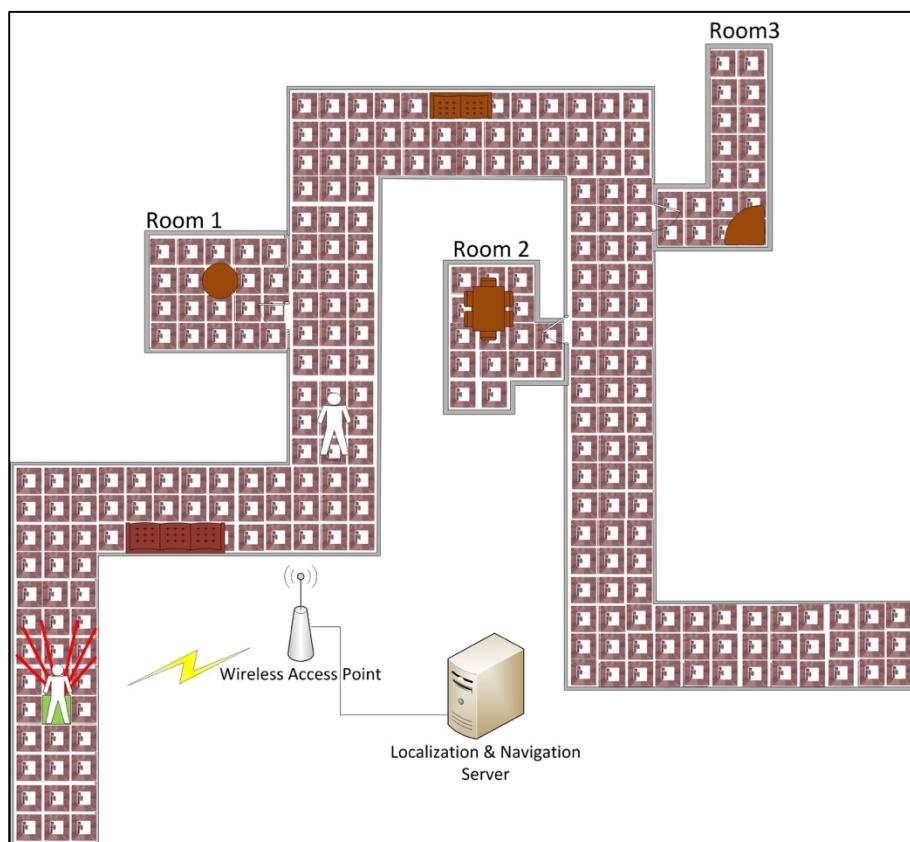
- a) $i, j, t_\omega, t_\zeta, l_\omega, l_\zeta \in \mathfrak{R}, v_\omega$ γνωστά,
- b) $L[P_\omega(\omega, l_\omega, v_\omega, t_\omega)] \equiv 0 \equiv L_{\max}(\zeta, l_\zeta, v_\omega, t_\zeta), \forall t_\omega, t_\zeta \in \mathfrak{R}$
- c) όπου $\omega, \zeta \in \cap_{i,j}\{i, j\}$, με i, j να ικανοποιούν την ιδιότητα c

2.3.4 Σχεδιασμός Συστήματος

Το προτεινόμενο σύστημα είναι σχεδιασμένο ώστε να καλύπτει όλα τα γνωστά χαρακτηριστικά, που συνήθως περιορίζουν τέτοιου είδους εφαρμογές. Μία από τις κύριες απαιτήσεις στην πλοήγηση εσωτερικού χώρου είναι η ακρίβεια της μεθοδολογίας, καθώς και το πώς αυτή επηρεάζει τα αποτελέσματα της διαδικασίας. Αυτός είναι και ο λόγος που στο συγκεκριμένο σύστημα υιοθετούμε μια τεχνολογία υψηλής ακρίβειας, όπως είναι τα RFID, υποθέτοντας ότι το

δάπεδο είναι εξοπλισμένο με τις απαραίτητες RFID ετικέτες. Έχοντας θέσει τα παραπάνω, το σύστημα είναι σε θέση να παρέχει μια αναλυτική και συνεχή διαδικασία εντοπισμού θέσης και πλοήγησης, ακόμα και όταν απαιτείται επαναπροσδιορισμός της διαδρομής.

Επιπροσθέτως, για να κρατήσουμε το υπολογιστικό κόστος σε χαμηλά επίπεδα, το σύστημα σχεδιάστηκε με την προοπτική ενός πελάτη-διακομιστή σχήματος. Αυτό κατέστη εφικτό, συμπεριλαμβάνοντας ένα μικροελεγκτή στην πλευρά του χρήστη, ο οποίος επωμίζεται μέρος του υπολογιστικού κόστους. Σχετικά με την επεκτασιμότητα και προσαρμοστικότητα σε πιθανές μεταβολές του συστήματός μας, λαμβάνονται υπόψη μεθοδολογίες και τεχνολογίες, οι οποίες δεν περιορίζονται από το μέγεθος των χρηστών ή/και του πλέγματος πλοήγησης. Η εφαρμογή έχει δομηθεί με τέτοιον τρόπο, ώστε να υποστηρίζει παράλληλες συνεδρίες από πολλαπλούς χρήστες. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος είναι ανεξάρτητος των τοπογραφικών χαρακτηριστικών του πλέγματος και κατ' επέκτασιν του εσωτερικού χώρου και ΠΥΔ.



Εικόνα 22 Σχεδιασμός του συστήματος

Όλα τα παραπάνω συνέβαλαν στο σχεδιασμό του συστήματος που απεικονίζεται στην Εικόνα 22, στην οποία ο χρήστης λαμβάνει οδηγίες από έναν κεντρικό διακομιστή και είναι σε θέση να καθοδηγηθεί αυτόνομα στον επιθυμητό τελικό του προορισμό. Ο χρήστης, εφοδιασμένος με τη φορετή συσκευή, μπορεί να πλοηγηθεί πλέον στους διαδρόμους του ΠΥΔ, ακολουθώντας τις

κατευθυντήριες οδηγίες που προτείνονται από τον κεντρικό διακομιστή του συστήματος, μέσω των ενσωματωμένων ακουστικών.

Συνοψίζοντας, το σύστημα οποιαδήποτε χρονική στιγμή ανιχνεύει εμπόδια (αναμενόμενα και/ή μη), και όχι μόνο παρέχει στο χρήστη οδηγίες για την αποφυγή τους, πέρα από την συνεχόμενη παρακολούθηση της θέσης του, αλλά του προτείνει και τον καλύτερο δυνατό συνδυασμό κινήσεων, που του επιτρέπουν να φτάσει με ασφάλεια στον προορισμό του.

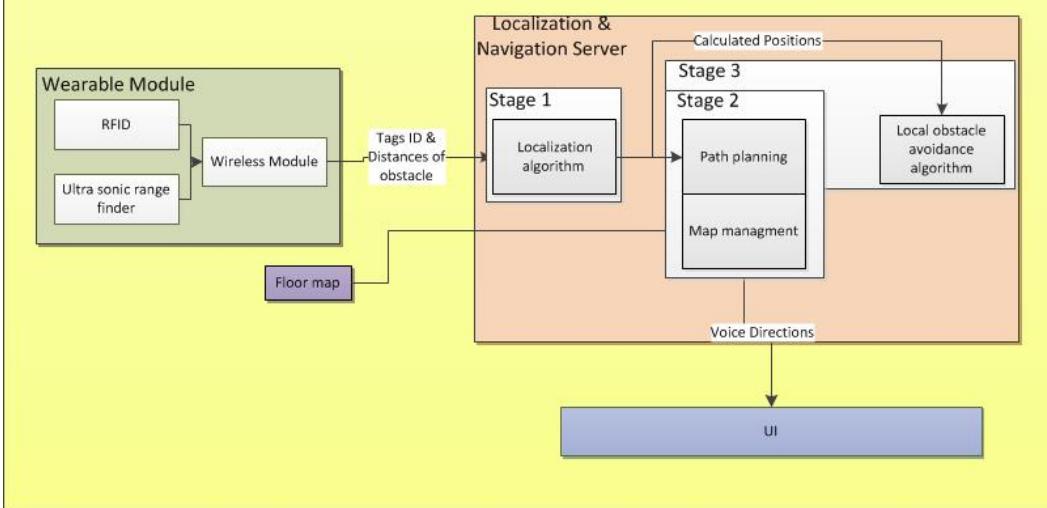
2.3.4.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Το προτεινόμενο σύστημα πλοήγησης εσωτερικού χώρου αποτελείται από δύο κύρια μέρη: μια φορετή συσκευή και έναν διακομιστή εντοπισμού και πλοήγησης, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 23. Και τα δύο αυτά δομικά στοιχεία λειτουργούν συνεχόμενα και ανταλλάσσουν πληροφορίες μέσω ενός ασύρματου σημείου σύνδεσης (wireless access point). Η φορετή συσκευή μεταφέρει τα απαραίτητα δεδομένα στο σύστημα, επιτρέποντας τον εντοπισμό και την καθοδήγηση του ηλικιωμένου ανθρώπου αποτελεσματικά και με φυσικό τρόπο. Η συσκευή αυτή αποτελείται από ένα μικροελεγκτή ATmega328, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τις διαδικασίες που διεξάγονται τοπικά, και είναι εξοπλισμένος με τους κατάλληλους αισθητήρες και αναγνώστες, ώστε να συλλέγει τα επιθυμητά δεδομένα.

Πιο συγκεκριμένα, ένας RFID αναγνώστης είναι ενσωματωμένος στη φορετή συσκευή, και τοποθετείται στο πόδι του χρήστη και είναι ικανός να διαβάζει τις παθητικές ετικέτες. Είναι σχεδιασμένος ώστε να μπορεί να διαβάζει σε συχνότητα 125 kHz και υποστηρίζει, τόσο ανάγνωση όσο και ανάγνωση/εγγραφή ετικετών. Επιπροσθέτως, η μέγιστη απόσταση αποτελεσματικής ανάγνωσης των ετικετών αυτών φτάνει τα 50mm και χρειάζεται λιγότερα από 100ms για την αποκωδικοποίηση των συλλεγόμενων δεδομένων.

Ένα δομικό στοιχείο κρίσιμης σημασίας για την εφαρμογή μας, ήταν η κατασκευή κατάλληλων ετικετών RFID, που συναντούν τις επιθυμητές απαιτήσεις του αλγορίθμου μας. Αυτό κατέστη δυνατό με τη συναρμολόγηση ετικετών RFID με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά κεραιών, που σχεδιάσαμε εξ' ολοκλήρου και αναπτύξαμε σε προηγούμενη υποενότητα του Κεφαλαίου 2. Επίσης, χρησιμοποιήσαμε ένα PIC μικροελεγκτή και τον κατάλληλο πυκνωτή (1 nF και 10nF αντίστοιχα) για την εξομοίωση γνωστών RFID πρωτοκόλλων εκπομπής, όπως το EM4100 και το EM4102.

System Architecture



Εικόνα 23 Αρχιτεκτονική συστήματος

Επιπλέον, ένας αισθητήρας υπερήχων χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση «προπορευόμενων» εμποδίων στη διαδρομή που ακολουθείται από το χρήστη, καθώς έχει κάλυψη μια περιοχή εμβέλειας, που ξεκινάει από τα 3 εκ. έως τα 6 μ. Οι παράμετροι της εμβέλειάς του, καθώς και το κέρδος του, είναι παραμετροποιήσιμες μεταβλητές, που εξαρτώνται από τις απαιτήσεις του συστήματος μας.

Ένα εξίσου σημαντικό μέρος της φορετής συσκευής είναι και ο ελεγκτής φωνής, ο οποίος είναι ικανός να παράγει ήχο συχνότητας μέχρι τα 22 KHz, των 12 bit μη συμπιεσμένων αρχείων ήχου οποιουδήποτε μήκους. Τα αρχεία ήχου διαβάζονται από μια κάρτα SD/MMC και η ένταση μπορεί να ελεγχθεί από ένα ενσωματωμένο ποτενσιόμετρο. Τέλος, για την απαραίτητη ανταλλαγή δεδομένων με το διακομιστή, χρησιμοποιείται μια κοινή μονάδα Wi-Fi.

Η άλλη πλευρά του συστήματος καταλήγει στο διακομιστή, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τις κύριες λειτουργίες του συστήματος, οι οποίες μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρία στάδια. Στο 1^ο στάδιο, το σύστημα αρχικοποιείται λαμβάνοντας υπόψιν τα σχέδια κάτοψης του ΠΥΔ και του εσωτερικού χώρου και υπολογίζει τη βέλτιστη διαδρομή. Το 2^ο στάδιο αποτελείται από μια συνεχόμενη διαδικασία εντοπισμού της θέσης του χρήστη. Το 3^ο στάδιο, εάν κριθεί απαραίτητο, περιλαμβάνει τον αλγόριθμο αποφυγής, καθώς επίσης και τον επαναύπολογισμό της κοντινότερης διαδρομής, σε περιπτώσεις που ο χρήστης ξεφύγει από τη διαδρομή που του προτείνει το σύστημα.

2.3.5 Αποτελέσματα

Στην προηγούμενη υποενότητα παρουσιάσαμε μια σειρά από πιθανά σενάρια, βασιζόμενα σε πειράματα που διεξήγαμε με το προτεινόμενο σύστημα. Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιάσουμε πιο αναλυτικά αποτελέσματα της μεθόδου μας.



Εικόνα 24 Εθελοντής κατά την πειραματική διαδικασία

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, συμμετείχαν στα διάφορα σενάρια μας, τέσσερις εθελοντές, έχοντας τα μάτια τους καλυμμένα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 24. Κύριος στόχος μας καθ' όλα τα σενάρια, ήταν ο επιτυχημένος εντοπισμός και η αποτελεσματική πλοιήγηση των ατόμων αυτών, με ένα φυσικό τρόπο, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, σε ένα περιβάλλον εσωτερικού χώρου. Η πρόκληση πίσω από τα σενάρια αυτά, διατύπωνε την ιδέα ότι ένα άτομο με προβλήματα όρασης, μπορεί να καθοδηγηθεί σε ένα χώρο μέσα από διαδρόμους και ταυτόχρονα να αποφεύγει αναμενόμενα και/ή μη αναμενόμενα εμπόδια.

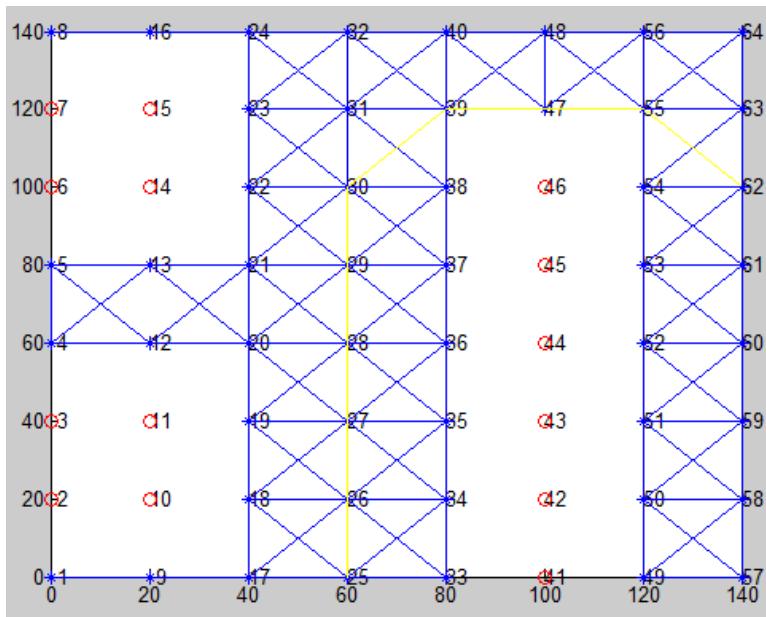
Οι οδηγίες που φτάνουν στους χρήστες, έδωσαν τη δυνατότητα στους εθελοντές να φτάσουν στον τελικό προορισμό τους με επιτυχία. Κάθε οδηγία δόθηκε σε τέτοια στιγμή, ώστε ο χρήστης να είναι σε θέση να δράσει με. Για παράδειγμα, το σύστημα προειδοποιεί το χρήστη να σταματήσει όταν ένα μη αναμενόμενο εμπόδιο εμφανιστεί στο μονοπάτι του, λαμβάνοντας

υπόψιν στους υπολογισμούς, την ελάχιστη απόσταση κατά την οποία ένας άνθρωπος που βρίσκεται εν κινήσει με μέση ταχύτητα, χρειάζεται για να σταματήσει.

Τα σύνολα των αποστάσεων μεταξύ εμποδίων και του χρήστη, που επιτρέπουν στο άτομο να μετακινηθεί εμπρός, να κάνει ένα βήμα και να αποφύγει εμπόδια, αποτελούν μια προκαθορισμένη παράμετρο. Κατά την πειραματική διαδικασία, οι αποστάσεις αυτές τέθηκαν ίσες με: 1,2 μ (3 κυψέλες) για την οδηγία ακινητοποίησης, μεταξύ 1,2 μ και 2 μ (5 κυψέλες) για τη διαδικασία αποφυγής, και πάνω από 2 μ για τη συνέχεια κίνησης προς τα εμπρός.

Η περιοχή δαπέδου που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα ήταν προσεγγιστικά 30 m^2 . Ωστόσο, στα αποτελέσματα που παρουσιάζονται πιο κάτω και για λόγους επαλήθευσης και επικύρωσης, επιδεικνύεται μόνο ένα μέρος της διαδρομής, όπου όλα τα διαφορετικά σενάρια διεξήχθησαν. Η διανομή των εμποδίων και η διαδοχή των σεναρίων ήταν διαφορετική για κάθε εθελοντή και κάθε περίπτωση επαναλήφθηκε πολυάριθμες φορές.

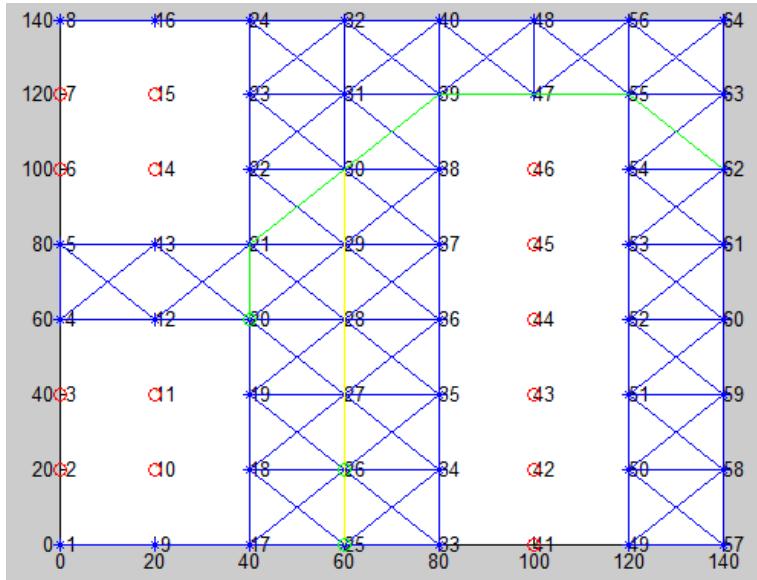
Τα αναδειχθέντα αποτελέσματα αποτέλεσαν και τα βέλτιστα του συστήματος. Να σημειώσουμε επίσης ότι σε όλες τις εικόνες που ακολουθούν, το μέγεθος του πλέγματος είναι της τάξης των 8×8 κυψελών ($10,24 \text{ m}^2$) και τα αριθμημένα σημεία των κόμβων απεικονίζουν τα κέντρα της κάθε κυψέλης. Εναλλακτικά, οι μπλε γραμμές συμβολίζουν τις διασυνδέσεις μεταξύ γειτονικών κυψελών και τα κόκκινα κέντρα αντιπροσωπεύουν τα προκαθορισμένα εμπόδια, όπως τους τοίχους και τα έπιπλα (αναμενόμενα εμπόδια). Τέλος, οι πράσινοι κύκλοι δηλώνουν την τρέχουσα θέση του χρήστη στο χώρο.



Εικόνα 25 Υπολογισμός της κοντινότερης διαδρομής

Η πρώτη έξοδος του συστήματος απεικονίζεται στην Εικόνα 25 όπου παρουσιάζεται με κίτρινη γραμμή, ο υπολογισμός της μικρότερης διαδρομής μεταξύ των κυψελών με αριθμηση 25 και 62. Σε αυτό το σενάριο, ο χρήστης φτάνει επιτυχώς στον τελικό του προορισμό, χωρίς να λαμβάνει χώρα κάποιο απρόοπτο γεγονός. Διαδοχικά, στην Εικόνα 26 Επαναυπολογισμός ο χρήστης δεν

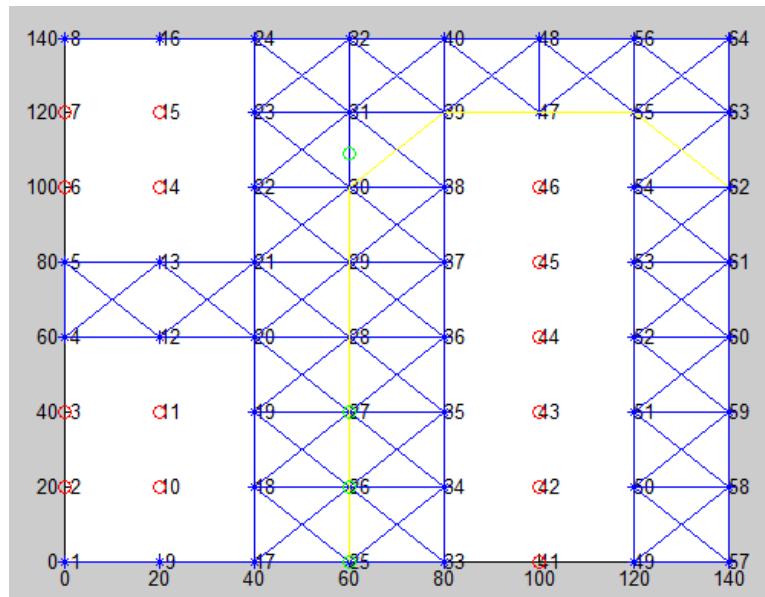
ακολουθεί τις οδηγίες του συστήματος, με αποτέλεσμα να ξεφεύγει από τη διαδρομή που του προτείνει το σύστημα. Αποτέλεσμα αυτού είναι ο εκ νέου υπολογισμός της κοντινότερης διαδρομής, λαμβάνοντας υπόψη τη νέα τρέχουσα θέση του χρήστη, με σκοπό να τον επαναφέρει με ομαλό τρόπο στην αρχική. Η διαδρομή αυτή απεικονίζεται με πράσινη γραμμή, από τη θέση στην οποία παρεκτράπηκε ο χρήστης μέχρι τον τελικό του προορισμό.



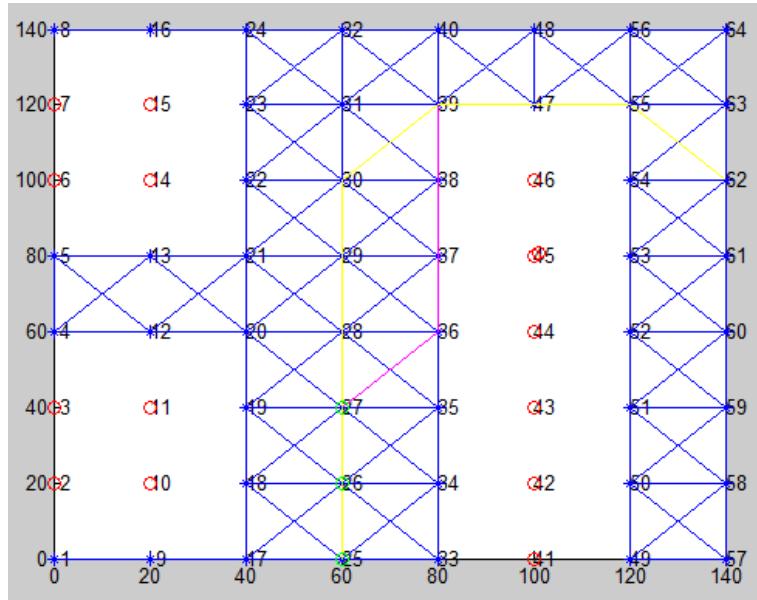
Εικόνα 26 Επαναυπολογισμός της κοντινότερης διαδρομής

Επιπλέον, ένα άλλο γεγονός που περιελήφθη στα σενάρια, είναι η εμφάνιση ενός μη αναμενόμενου εμποδίου που παρατηρείται στην κατεύθυνση του χρήστη, υποθέτοντας ότι βρίσκεται στο επόμενο βήμα του χρήστη. Στην Εικόνα 27 το αναπάντεχο αυτό εμπόδιο ανήκει στην περιοχή αποστάσεων αποφυγής ($1.2 \text{ m} < d < 2 \text{ m}$) και απεικονίζεται με πράσινο κύκλο.

Η εμφάνιση ενός μη αναμενόμενου εμποδίου σε μια απόσταση αποφυγής και πιο συγκεκριμένα σε 1.32 μ, ωθεί το σύστημα να υπολογίσει τη διαδρομή αποφυγής, όπως περιγράφεται στη θεωρία του αλγορίθμου μας. Αυτό απεικονίζεται στην Εικόνα 28 με μια κόκκινη γραμμή, που παρεκτρέπει το χρήστη όσο χρειάζεται για την αποφυγή του εμποδίου και στη συνέχεια τον επαναφέρει στη συντομότερη διαδρομή. Το σύστημα ορίζει το χρόνο κατά τον οποίο η διαδικασία αποφυγής ξεκινάει, όταν η απόσταση του χρήστη από το εμπόδιο φτάσει στο όριο των 3 κυψελών.

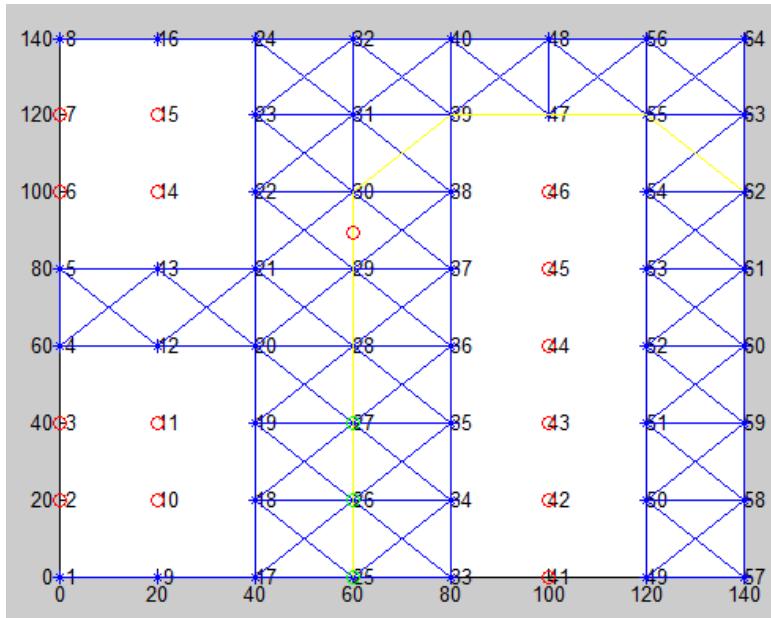


Εικόνα 27 Εντοπισμός μη αναμενόμενου εμποδίου



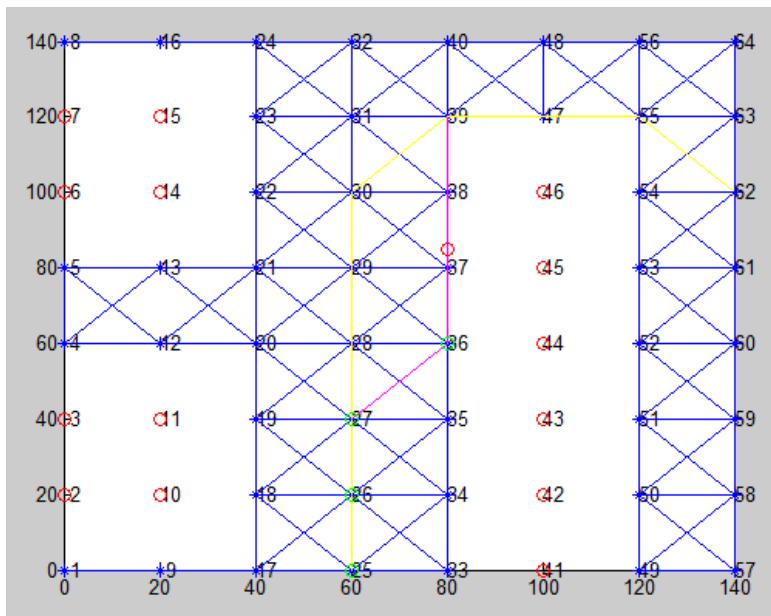
Εικόνα 28 Πρόταση συστήματος για την αποφυγή εμποδίου

Σε αντίθεση με τα παραπάνω, η Εικόνα 29, απεικονίζει τη χειρότερη περίπτωση ενός γεγονότος που μπορεί να συμβεί, και αυτή είναι η ξαφνική εμφάνιση ενός εμποδίου στη διαδρομή του χρήστη, σε απόσταση που τον υποχρεώνει να πραγματοποιήσει μια έκτακτη στάση προς αποφυγήν σύγκρουσης. Πιο συγκεκριμένα, το μη αναμενόμενο εμπόδιο ανιχνεύεται όταν αυτό βρίσκεται 1,12μ μακριά από το χρήστη.



Εικόνα 29 Αναγκαία ακινητοποίηση χρήστη μετά από εμφάνιση εμποδίου σε πολύ κοντινή απόσταση

Μια ακόμα περίπτωση που συνδέεται στενά με την προηγούμενη της Εικόνα 29, είναι εκείνη κατά την οποία ένα μη αναμενόμενο εμπόδιο ανιχνεύεται κατά τη χρονική στιγμή που ο χρήστης βρίσκεται ήδη σε διαδικασία αποφυγής. Σε αυτήν την ιδιαίτερη περίσταση, το σύστημα προειδοποιεί το χρήστη να σταματήσει αμέσως, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 30.



Εικόνα 30 Ανίχνευση μη αναμενόμενου εμποδίου κατά τη χρονική στιγμή που ο χρήστης βρίσκεται ήδη σε διαδικασία αποφυγής

2.4 Συμπεράσματα Σεναρίου Εφαρμογής

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο προτάθηκε ένα ευφυές σύστημα πλοϊγησης εσωτερικού χώρου. Το σύστημα μπορεί με ασφάλεια και με φυσικό τρόπο να καθοδηγήσει άτομα σε ένα χώρο, όπως είναι αυτός του ΠΥΔ. Πιο συγκεκριμένα, ορίστηκε η διαδικασία «χαρτογράφηση» ερμηνεύοντας τα σχεδιαγράμματα ενός εσωτερικού χώρου και προτάθηκε ένας καινοτόμος αλγόριθμος εντοπισμού και αποφυγής εμποδίων. Επιπλέον, κατασκευάστηκαν οι κατάλληλες RFID ετικέτες ώστε να βελτιωθούν οι ιδιότητες του προτεινόμενου συστήματος. Τέλος, όλα τα παραπάνω ενσωματώθηκαν στις κατάλληλες μονάδες (φορετά πρωτότυπα και διακομιστές εντοπισμού) σε μια ολιστική λύση πλοϊγησης, που παρέχει όλα τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά, όπως ο ακριβής εσωτερικός εντοπισμός, η φυσική πλοϊγηση και η αποτελεσματική φωνητική καθοδηγηση. Αυτά τα χαρακτηριστικά δοκιμάστηκαν σε τέσσερις εθελοντές με δεμένα τα μάτια.

Ο μικρός αριθμός των εθελοντών δεν επιτρέπει μια πιο αυστηρή αξιολόγηση του προτεινόμενου συστήματος. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, πρόσθετες μετρήσεις καταγράφηκαν για την επικύρωση διαφορετικών προκλήσεων της προτεινόμενης λύσης. Για την αξιολόγηση της γενικότερης επίδοσης του συστήματος, μετρήσαμε τη χρονική περίοδο μεταξύ της στιγμής που ο χρήστης κάνει μια κίνηση και της στιγμής κατά την οποία η φωνή οδηγιών προαναγγέλλει μια διαφορετική κίνηση στο χρήστη. Αυτή η χρονική περίοδος ήταν κάτω των 0,5 δευτερολέπτων στο 99% των περιπτώσεων. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι δεν υπήρχε διαφορά εάν ο χρήστης βρισκόταν εν κινήσει ή παρέμενε ακίνητος.

Επιπροσθέτως, μια διαδικασία αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκε και για την κατηγοριοποίηση εν δυνάμει εμποδίων ως αναμενόμενα και μη αναμενόμενα και για να εφοδιάζει το χρήστη με τη βέλτιστη επιλογή. Στο 99% των περιπτώσεων, το σύστημα εντόπισε τα εμπόδια, επίσης κατά 99% τα κατηγοριοποίησε καταλλήλως και ο χρήστης καθοδηγήθηκε βέλτιστα στον προορισμό του. Επιπλέον, άλλες μετρήσεις που σχετίζονται με το χρόνο, και που παρουσιάζονται στον Πίνακας 5 είναι ο χρόνος που χρειάζεται ώστε να υπολογιστεί το συντομότερο μονοπάτι σε δύο φάσεις, ο εντοπισμός θέσης οποιαδήποτε χρονική στιγμή και η ανάγνωση μιας RFID ετικέτας οπουδήποτε στο κτίριο.

Υπολογισμός συντομότερου μονοπατιού	Επαναπροσδιορισμός συντομότερου μονοπατιού	Ανάγνωση ετικετών RFID	Προσδιορισμός θέσης
0,3	0,1	0.3	0.6

Πίνακας 5 Πειραματικοί χρόνοι

Κεφάλαιο 3

Μελέτη της Επίγνωσης Πλαισίου στη

Διάχυτη Τηλεπισκόπηση

Η επίγνωση πλαισίου ορίστηκε και εφαρμόστηκε από τις αρχές του 1990 ως ένα βασικό χαρακτηριστικό των διάχυτων υπολογιστικών συστημάτων. Τις τελευταίες δεκαετίες, η επίγνωση πλαισίου εξελίχθηκε και πέρασε σε εφαρμογή, από τους σταθερούς υπολογιστές, τα κινητά και τη διάχυτη υπολογιστική, στη διάχυτη τηλεπισκόπηση. Η υπολογιστική επίγνωση έγινε πιο διάσημη με την εισαγωγή του όρου «ubiquitous computing» από τον Mark Weiser [34] και εδραιώθηκε με την χρήση του όρου «context-aware» ο οποίος και χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από τον Schilit και Theimer [35] το 1994. Από τότε η έρευνα πάνω στην επίγνωση πλαισίου έχει καθιερωθεί ως μία σημαντική ερευνητική περιοχή της επιστήμης των υπολογιστών.

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες, ερευνητές έχουν αναπτύξει ένα σημαντικό αριθμό από πρωτότυπα συστήματα και λύσεις, χρησιμοποιώντας τεχνικές της υπολογιστικής επίγνωσης πλαισίου. Στην εκάστοτε εφαρμογή τεχνολογίας, ο αριθμός των πηγών πληροφορίας ποικίλει. Οι περισσότερες από τις προτεινόμενες λύσεις συλλέγουν δεδομένα από έναν πεπερασμένο και περιορισμένο αριθμό φυσικών και εικονικών αισθητήρων, γεγονός που καθιστά εφικτή τη συλλογή και την ανάλυση των δεδομένων από το σύνολο των αισθητήρων. Όμως στην περίπτωση της διάχυτης τηλεπισκόπησης, η οποία οραματίζεται ένα περιβάλλον, που συνίσταται από δισεκατομμύρια διασυνδεδεμένους αισθητήρες, η συλλογή και επεξεργασία όλων των δεδομένων είναι ουσιαστικά ανέφικτη και μη υλοποιήσιμη. Γι' αυτό θεωρείται ότι η επίγνωση πλαισίου θα παίξει σημαντικό ρόλο στην επιλογή των δεδομένων και στον τρόπο που θα πρέπει να αναλυθούν.

Ταυτόχρονα, λόγω της προόδου της τεχνολογίας αισθητήρων, οι αισθητήρες γίνονται πιο ισχυροί, πιο φτηνοί και ακόμη πιο μικροί, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα την ευρεία εφαρμογή τους, ειδικά σε μεγάλης κλίμακας εφαρμογές. Ο αριθμός των αισθητήρων, που έχουν ήδη βρει εφαρμογή, είναι μεγάλος και αναμένεται να αυξηθεί με ταχείς ρυθμούς τις επόμενες δεκαετίες.

Γεγονός που θα αυξήσει εκθετικά τον αριθμό των παραγόμενων δεδομένων, τα οποία όμως δεν θα έχουν καμία αξία, αν δεν αναλυθούν και ερμηνευτούν με σκοπό να κατανοηθούν.

Η υπολογιστική επίγνωση πλαισίου έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση παρόμοιας πρόκλησης σε προηγούμενες περιπτώσεις, όπως τη διάχυτη και διεισδυτική υπολογιστική. Οδηγούμαστε έτσι στην πεποίθηση ότι η επιτυχημένη συμβολή της θα συνεχιστεί και στην περίπτωση της διάχυτης τηλεπισκόπησης, καθώς η υπολογιστική επίγνωση πλαισίου μάς επιτρέπει την αποθήκευση σχετικών (με τα δεδομένα που παράγει ένας αισθητήρας) πληροφοριών πλαισίου, ούτως ώστε να πραγματοποιείται η ερμηνεία αυτών πιο εύκολα και με πιο εμφανή αποτελέσματα. Επιπρόσθετα, η κατανόηση του πλαισίου κάνει ευκολότερη την από μηχανή σε μηχανή (machine to machine) επικοινωνία, η οποία είναι και ο πυρήνας του οράματος της διάχυτης τηλεπισκόπησης.

Επιπλέον, οι παραδοσιακές εφαρμογές, βασισμένες στην προσέγγιση της ανεξάρτητης χειροκίνητης επικοινωνίας, αποτυγχάνουν να διαχειριστούν το μεγάλο αριθμό δεδομένων που προκύπτει από τον αντίστοιχο αριθμό αισθητήρων. Οι ερευνητές, με σκοπό να χειριστούν την αναποτελεσματικότητα αυτής της προσέγγισης, έχουν προτείνει ένα σημαντικό αριθμό από λύσεις ενδιάμεσων λογισμικών. Κάθε τέτοια λύση επικεντρώνεται και σε διαφορετικό χαρακτηριστικό της διάχυτης τηλεπισκόπησης, όπως τη διαχείριση των συσκευών, τη διαλειτουργικότητα, τη φορητότητα, την επίγνωση πλαισίου, την ασφάλεια και την ιδιωτικότητα.

3.1 Ενδιάμεσο Λογισμικό

Λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της διάχυτης τηλεπισκόπησης, η χρήση ενδιάμεσου λογισμικού κρίνεται απαραίτητη. Το ενδιάμεσο λογισμικό είναι ένα επίπεδο λογισμικού, το οποίο βρίσκεται ανάμεσα σε διασυνδεδεμένα λειτουργικά συστήματα και εφαρμογές, και παρέχει δυναμικές λύσεις σε συχνά προβλήματα, όπως η ετερογένεια, η διαλειτουργικότητα, η ασφάλεια και η αξιοπιστία.

Οι Pereza et al. [36] και Bandyopadhyay et al. [37] ανέλυσαν και συνέκριναν κυρίαρχες τεχνολογίες ενδιάμεσων λογισμικών, λαμβάνοντας υπόψιν βασικές δυνατότητες και διάφορους παράγοντες της λειτουργικότητάς τους. Η σύγκριση έγινε με βάση τα εξής χαρακτηριστικά: διαχείριση συσκευών, διαλειτουργικότητα, φορητότητα πλατφόρμας, επίγνωση πλαισίου καθώς και ασφάλεια/ιδιωτικότητα. Οι λειτουργίες που πρέπει να έχει ένα ενδιάμεσο λογισμικό της διάχυτης τηλεπισκόπησης περιγράφονται και αναλύονται διεξοδικά στην εργασία Sundmaeker, H., et al. [38] καθώς και οι πιο συνήθεις προκλήσεις στο Nagy, M., et al. [39]. Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει και παρουσιάζει τα κυρίαρχα ενδιάμεσα λογισμικά και όσες λειτουργικές δυνατότητες αυτά περιλαμβάνουν.

Ενδιάμεσο λογισμικό	Διαχείριση Συσκευών	Διαλειτητήτα	Φορητότα Πλατφόρμας	Επίγνωση πλαισίου	Ασφάλεια & Ιδιωτικότητα
Hydra [40]	✓	✓	✓	✓	✓
ISMB	✓	X	✓	X	X
ASPIRE [41]	✓	X	✓	X	X
UBIWARE [42]	✓	X	✓	✓	X
UBISOAP [43]	✓	✓	✓	X	X
UBIROAD [44]	✓	✓	✓	✓	✓
GSN [45]	✓	X	✓	X	✓
SMEPP	✓	X	✓	✓	✓
SOCRADES [46]	✓	✓	✓	X	✓
SIRENA [47]	✓	✓	✓	X	✓
WHEREX [48]	✓	✓	✓	X	X

Πίνακας 6 Συγκεντρωτικός πίνακας δυνατοτήτων ενδιάμεσων λειτουργικών για διάχυτη τηλεπισκόπηση

Από τον παραπάνω Πίνακας 6 προκύπτει ότι όλα τα ενδιάμεσα λογισμικά παρέχουν την απαραίτητη λειτουργικότητα για τον τρόπο διασύνδεσης των συσκευών με το ενδιάμεσο λογισμικό, καθώς και τη φορητότητα της πλατφόρμας. Όσον όμως αφορά την επίγνωση πλαισίου, μια μειονότητα μόνο αυτών συμπεριλαμβάνει αυτήν την δυνατότητα.

3.2 Βασικά Χαρακτηριστικά της Επίγνωσης Πλαισίου

3.2.1 Ορισμοί Σχετικοί με την Επίγνωση Πλαισίου

3.2.1.1 Ορισμός του Πλαισίου

Πολλοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να αποδώσουν τον όρο “πλαίσιο” (context). Μια συγκεντρωτική αναφορά στους ορισμούς αυτούς γίνεται από Dey et al. [49]. Στην αναφορά τους οι Dey καταλήγουν στο ότι οι περισσότεροι δεν περιγράφουν τον όρο πλαίσιο με μια ευρεία έννοια, αλλά με μία πιο συγκεκριμένη. Αυτό περιορίζει την αναγνωρισμό της πλαισίων από δεδομένα γενικού περιεχομένου και καθιστά δύσκολη την αναγνώριση και την περιγραφή οποιουδήποτε νέου πλαισίου. Λαμβάνοντος υπόψη όλα αυτά, ο ορισμός που δίνουν τελικά οι Dey, και ο οποίος θεωρείται και ο επικρατέστερος, λόγω της γενικής περιγραφής του όρου, είναι:

“Context is any information that can be used to characterize the situation of an entity. An entity is a person, place, or object that is considered relevant to the interaction between a user and an application, including the user and applications themselves.”

Επιπρόσθετα, οι Sanchez et al. [50] με στόχο να αποδώσουν καλύτερα τον όρο «πλαισίο» έκαναν την εξής διάκριση, διαχωρίσαν τα ανεπεξέργαστα δεδομένα από την πληροφορία πλαισίου. Η διάκριση αυτή κάνει σίγουρα τον όρο πλαισίο πιο κατανοητό και περισσότερο ενιαίο.

- Ανεπεξέργαστα δεδομένα: Τα δεδομένα που ανακτώνται απευθείας από μια πηγή δεδομένων, όπως έναν αισθητήρα, χωρίς να έχουν υποστεί οποιασδήποτε μορφής επεξεργασία.
- Πληροφορία πλαισίου: Τα ανεπεξέργαστα δεδομένα επεξεργάζονται και παράγουν την πληροφορία πλαισίου. Επιπρόσθετα ελέγχονται για την ορθότητα και τη συνοχή τους και, όπου κρίνεται απαραίτητο, προστίθενται μετα-δεδομένα

Μία διαφορετική διάκριση προτείνεται από τους Ahn και Kim [51], οι οποίοι διαχωρίζουν τα διακριτά από τα συνεχή γεγονότα και στη συνέχεια ορίζουν το πλαίσιο ως ένα σύνολο από αλληλένδετα γεγονότα. Τα γεγονότα αυτά συσχετίζονται και μπορεί να συνδέονται λογικά και χρονικά. Υπάρχουν δύο κατηγορίες γεγονότων: τα διακριτά και τα συνεχή. Αν λοιπόν θεωρήσουμε ως ρυθμό δειγματοληψίας l , τότε με βάση τον ορισμό:

- Διακριτά γεγονότα: Ένα γεγονός το οποίο συμβαίνει σε χρόνο t και $t + l$, θεωρείται σαν 2 διαφορετικά γεγονότα.
- Συνεχή γεγονότα: Ένα γεγονός το οποίο διαρκεί τουλάχιστον χρόνο l , όπου ένα γεγονός που συμβαίνει σε χρόνο t και $t + l$, δεν θεωρούνται σαν δύο διαφορετικά γεγονότα, αλλά ένα συνεχές γεγονός.

3.2.1.2 Ορισμός της Επίγνωσης Πλαισίου

Ο όρος επίγνωση πλαισίου πρωτοεισήχθη από τους Schilit και Theimer [35] το 1994 και ήταν κυρίως επικεντρωμένος στις εφαρμογές για υπολογιστές. Αργότερα δόθηκε ένας γενικότερος ορισμός από τους Dey et al., ο οποίος ονομάζει ένα σύστημα επίγνωσης, αυτό που χρησιμοποιεί πλαισίο, για να παρέχει σχετικές πληροφορίες για τις παρεχόμενες υπηρεσίες στο χρήστη, με την προϋπόθεση όμως η σχετικότητα αυτή να ορίζεται από τις ανάγκες του ίδιου του χρήστη [52]. Ο ορισμός της επίγνωσης πλαισίου κατά Dey et al., είναι ο εξής:

“A system is context aware if it uses context to provide relevant information and/or services to the user, where relevancy depends on the user’s task”

Για να μπορέσει κάποιος να υλοποιήσει μια εφαρμογή επίγνωσης πλαισίου, μπορεί να ακολουθήσει τρεις βασικές αρχές:

- No application-level context model: Κάθε εφαρμογή πραγματοποιεί όλες τις απαραίτητες διαδικασίες, όπως την απόκτηση πλαισίου απευθείας από τον αισθητήρα, την

επεξεργασία των δεδομένων του αισθητήρα με σκοπό τη λήψη αποφάσεων, την αποθήκευση και το συμπερασμό.

- **Implicit context model:** Οι εφαρμογές είναι φτιαγμένες χρησιμοποιώντας διαμοιραζόμενες βιβλιοθήκες [53] και εργαλεία συμπερασμού πλαισίου, που βοηθούν στην πραγματοποίηση όλων των παραπάνω διεργασιών (απόκτηση πλαισίου, κλπ.).
- **Explicit context model:** Οι εφαρμογές έχουν τα δικά τους καθορισμένα μοντέλα πλαισίου [53] και χρησιμοποιούν μια διαμοιραζόμενη υποδομή διαχείρισης πλαισίου ή κάποιο αντίστοιχο ενδιάμεσο λογισμικό, ώστε να πραγματοποιούνται οι απαραίτητες διεργασίες εκτός της εφαρμογής, καθώς η διαχείριση του πλαισίου και η εφαρμογή διαχωρίζονται μεταξύ τους.

3.3 Δυνατότητες της Επίγνωσης Πλαισίου

Για να χρησιμοποιηθεί η πληροφορία πλαισίου επιτυχώς, πρέπει να κατανοήσουμε -εκτός των άλλων- και τους τρόπους με τους οποίους μπορεί αυτή να χρησιμοποιηθεί. Η δυνατότητα επιλογής συγκεκριμένης πληροφορίας πλαισίου κρίνεται απαραίτητη για την αποτελεσματικότητα, τη συμπεριφορά και τις δυνατότητες της εκάστοτε εφαρμογής [32].

Έγιναν αρκετές προσπάθειες κατηγοριοποίησης των δυνατοτήτων της επίγνωσης πλαισίου. Μία σύγκριση αυτών φαίνεται στον Πίνακας 7 και βασιζεται στις μελέτες του Schilit et al. [54] and Pascoe [55], Abowd et al.[52]. Σύμφωνα με Abowd et al. των οποίων η κατηγοριοποίηση είναι η πιο ολοκληρωμένη, ορίζονται 3 βασικές δυνατότητες που μπορεί να έχει μία εφαρμογή που υποστηρίζει την επίγνωση πλαισίου.

- **Παρουσίαση:** Η απόφαση για το πότε κάποια πληροφορία ή υπηρεσία πρέπει να παρουσιαστεί στο χρήστη, λαμβάνεται με τη βοήθεια της επίγνωσης πλαισίου. Για παράδειγμα, όταν κάποιος πάει στο φαρμακείο, να του έρχεται η λίστα με τα φάρμακα που του έχει συνταγογραφήσει ο γιατρός.
- **Εκτέλεση:** Η αυτοματοποιημένη εκτέλεση των υπηρεσιών ή μιας γενικότερης δράσης, που κρίνεται και ως ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό για ένα διάχυτο τηλεπισκοπικό περιβάλλον. Για παράδειγμα, σε ένα περιβάλλον υποβοηθούμενης διαβίωσης, υποστηριζόμενο από την επίγνωση πλαισίου, στην περίπτωση που κάποιος ηλικιωμένος είναι σε υψηλό κίνδυνο να πέσει ή έχει ήδη πέσει, τότε ειδοποιείται η απαραίτητη βοήθεια.
- **Σήμανση:** Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης περιλαμβάνει εκατομμύρια αισθητήρες, με αποτέλεσμα να παράγεται ένας τεράστιος αριθμός από μη επεξεργασμένα δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά πρέπει να συλλεχθούν,

να αναλυθούν, να συγχωνευθούν και κατ' επέκταση να ερμηνευτούν. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια της τεχνικής σήμανσης πλαισίου (context annotation). Η σήμανση πλαισίου -εκτός των άλλων- συλλέγει πληροφορίες για τον τύπο του πλαισίου, την τιμή του, το χρόνο δημιουργίας του και την πηγή προέλευσης.

<i>Author</i>	Schilit	Pascoe	Abowd
<i>Features</i>	Proximate Selection	Contextual Sensing	Presentation
	Content Triggered Actions	Contextual Adaptation	Execution
	Automatic Contextual Reconfiguration	Contextual Resource Discovery	Tagging
		Contextual Augmentation	

Πίνακας 7 Δυνατότητες επίγνωσης πλαισίου

3.4 Τύποι και Κατηγορίες Πλαισίου

Ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή, έχουν ορισθεί και διαφορετικοί τύποι πλαισίου. Δεδομένα όπως η τοποθεσία, το αναγνωριστικό, ο χρόνος και η δραστηριότητα αποτελούν κάποιους από τους κύριους τύπους πλαισίου. Επιπρόσθετα ο Abowd, G.D., et al. [52] θέτει σαν δευτερεύοντες τύπους πλαισίου, εκείνα που προκύπτουν από την επεξεργασία των κύριων τύπων πλαισίων. Ο Πίνακας 9 αποτελεί μια συγκεντρωτική παρουσίαση των πιο βασικών τύπων πλαισίου.

Παράλληλα δίνεται από τους Perera, C., et al. [36] και ένα σχήμα κατηγοριοποίησης πλαισίου με το οποίο μπορεί να κατηγοριοποιηθεί μια συγκεκριμένη τιμή ενός δεδομένου και να κριθεί ως κύριο ή δευτερεύον, με βάση τα διαφορετικά σενάρια και τον τρόπο απόκτησης. Στον Πίνακας 8 φαίνεται το πώς κάποιες από τις κύριες κατηγορίες πλαισίου μπορούν να θεωρηθούν και ως δευτερεύουσες.

	Κύριο	Δευτερεύον
Θέση	Δεδομένα θέση από GPS (γεωγραφικό πλάτος/ μήκος)	Απόσταση μεταξύ δύο αισθητήρων με βάση μεμονωμένων τιμών του GPS
Αναγ/κο	Μοναδικό αναγνωριστικό χρήση (RFID tag)	Αναγνώριση του χρήστη κάνοντας χρήση τεχνολογίας αναγνώρισης προσώπου
Χρόνος	Χρονική στιγμή κάνοντας χρήση ρολογιού	Υπολογισμός της χρονικής στιγμής με βάση την δραστηριότητα και το ημερολόγιο
Δρα/τα	Αναγνώριση ανοίγματος πόρτας από τον αντίστοιχο αισθητήρα	Αναγνώριση της δραστηριότητας χρησιμοποιώντας του αισθητήρες ενός κινητού

Πίνακας 8 Συσχέτιση κύριου και δευτερεύοντος πλαισίου

Δύο είναι οι γενικοί τύποι πλαισίου:

- Κύριο/Πρωτεύον πλαίσιο: Κάθε ανακτημένη πληροφορία χωρίς τη χρήση προϋπάρχοντος πλαισίου και χωρίς τη σύντηξη άλλων πληροφοριών, για παράδειγμα ένα μοναδικό αναγνωριστικό ετικέτας.
- Δευτερεύον πλαίσιο: Κάθε πληροφορία που προέκυψε κάνοντας χρήση κύριων πλαισίων, όπως η αναγνώριση του χρήστη.

<i>Tύποι πλαισίων</i>	1994) Schilit	(1994) Schilit	1997) Ryan	(1999) Abowd	(2000) Chen and Kotz	(2003) Henricks en	(2003) Prekop & Bennett Gustavse n Hofer	(2005) Van	(2006) Miao and Yuan	(2007) Guan	(2007) Chong	(2009) Zhong	(2009) Mei & Easterbr ook	(2010) Rizou	(2011) Liu	(2011) Yanwei
User Computing(<i>System</i>)	✓				✓						✓	✓		✓		✓
Physical (<i>Environment</i>)	✓	✓			✓						✓	✓		✓		✓
Historical											✓					
Social												✓				
Networking															✓	
Things																✓
Sensor																
Who(<i>Identity</i>)	✓		✓		✓											
Where(<i>Location</i>)	✓		✓		✓											
When(<i>Time</i>)		✓	✓		✓						✓	✓				
What(<i>Activity</i>)	✓			✓												
Why			✓													
Sensed						✓					✓					
Static							✓									
Profiled								✓								
Derived								✓			✓					
Operational									✓	✓						
Conceptual									✓							
Objective																
Cognitive																
External(<i>Physical</i>)							✓					✓				
Internal(<i>Logical</i>)								✓				✓				
Low-level(<i>Observable</i>)										✓				✓		
High-level										✓				✓		

Πίνακας 9 Συγκεντρωτικός πίνακας τύπων πλαισίων [36]

Επιπρόσθετα τρία από τα πιο γνωστά σχήματα κατηγοριοποίησης πλαισίου που εμπλουτίζουν το βασικό διαχωρισμό του κύριου και δευτερεύοντος πλαισίου, είναι των παρακάτω :

- Schilit et al. [54]: Χρησιμοποίησαν την εννοιολογική ταξινόμηση για να κατηγοριοποιήσουν το πλαίσιο σε 3 τύπους. Οι τρεις κοινές ερωτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη, και με βάση τις οποίες προσδιορίζεται ο τύπος του πλαισίου, είναι:
 - Ποια είναι η τοποθεσία του χρήστη: περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικές με την τοποθεσία, όπως GPS συντεταγμένες, κοινά ονόματα, όπως είδη καταστημάτων, αλλά και πιο συγκεκριμένα ονόματα τοποθεσιών και κτιρίων, καθώς και συγκεκριμένες διευθύνσεις. Μπορεί να περιλαμβάνει και την προτίμηση του χρήστη για τη συγκεκριμένη τοποθεσία.
 - Ποιοι είναι αυτοί που περιβάλλουν το χρήστη: Πληροφορίες για τους ανθρώπους που ο χρήστης έχει γύρω του και αλληλεπιδρά.
 - Τι βρίσκεται κοντά στο χρήστη: Αυτό περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τους πόρους, όπως τα έξυπνα αντικείμενα που υπάρχουν στην περιοχή που βρίσκεται ο χρήστης.
- Henricksen [56]: Σχεδόν μια δεκαετία αργότερα, ο Henricksen κατηγοριοποίησε το πλαίσιο σε 4 τύπους χρησιμοποιώντας μια τεχνική που ονομάζεται τεχνική λειτουργικής ταξινόμησης με βάση την κατηγοριοποίηση των δεδομένων σε:
 - Μετρήσιμα: Είναι τα δεδομένα που συλλέγονται απευθείας από αισθητήρες και έχουν την ιδιότητα να μεταβάλλονται με μεγάλη συχνότητα κατά την πάροδο του χρόνου. Τέτοια δεδομένα μπορεί να είναι η υγρασία και η ατμοσφαιρική πίεση.
 - Στατικά: Είναι οι πληροφορίες που δεν αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου, όπως ο κατασκευαστής και οι δυνατότητες ενός αισθητήρα.
 - Προφίλ: Είναι οι πληροφορίες που αλλάζουν με μικρή συχνότητα σε σχέση με το χρόνο.
 - Υπολογίσιμα: Είναι τα δεδομένα που προέρχονται από την επεξεργασία κύριων πλαισίων. Για παράδειγμα, βάσει των γνωστών θέσεων δυο αισθητήρων (κύρια πλαίσια), μπορεί να υπολογιστεί η απόσταση που μεσολαβεί ανάμεσά τους.
- Van Bunningen et al. [57]: Προσέγγισαν την ταξινόμηση πλαισίων με διαφορετικό τρόπο από τους προαναφερθέντες. Συγκεκριμένα, αντί να κατηγοριοποιήσουν το πλαίσιο, κατηγοριοποίησαν το σχήμα ταξινόμησης πλαισίου σε 2 ευρύτερες κατηγορίες: την εννοιολογική και τη λειτουργική ταξινόμηση.

- Λειτουργική ταξινόμηση: Ταξινόμηση πλαισίου με βάση το πώς αυτό αποκτήθηκε και χρησιμοποιήθηκε.
- Εννοιολογική ταξινόμηση: Ταξινόμηση πλαισίου με βάση την αυτοτελή έννοια και την εννοιολογική συσχέτιση των πλαισίων.

Τύποι πλαισίου

	User	Computing(Sys tem)	Physical	Historical	Social	Networking	Things	Sensor	Who (Identity)	Where (Location)	When(Time)	What(Activity)	Why	Sensed	Static	Profiled	Derived	Operational	Conceptual	Objective	Cognitive	External	Internal	Low-level	High-level
<i>User Computing(System)</i>																									
<i>Physical (Environment)</i>	L																								
<i>Historical</i>	M	M																							
<i>Social</i>	M	M	M																						
<i>Networking</i>	M	L	M	M																					
<i>Things</i>	M	M	M	M	M																				
<i>Sensor</i>	M	H	M	M	M	M																			
<i>Who(Identity)</i>	M	M	M	M	M	M	M																		
<i>Where(Location)</i>	L	M	M	M	M	M	L	L																	
<i>When(Time)</i>	L	L	M	L	L	L	L	L																	
<i>What(Activity)</i>	M	M	M	M	M	M	M	L	L	L															
<i>Why</i>	L	L	M	L	L	L	L	L	L	L	L														
<i>Sensed</i>	H	H	M	H	H	H	H	H	H	H	H	H													
<i>Static</i>	L	L	M	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L												
<i>Profiled</i>	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	L	L										
<i>Derived</i>	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	L	L	L									
<i>Operational</i>	L	L	M	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	M	M	M	M								
<i>Conceptual</i>	H	H	M	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	M	M	M	M	M							
<i>Objective</i>	M	M	M	M	M	M	M	H	H	H	H	H	H	H	M	M	M	M	L	M					
<i>Cognitive</i>	L	L	M	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	M	M	H	H	L	M	L					
<i>External(Physical)</i>	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	H	M	M	L	L	M	M	M	L				
<i>Internal(Logical)</i>	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	L	M	M	H	H	M	M	M	H	L			
<i>Low-level(Observable)</i>	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	L	H	M	M	L	L	M	M	M	L	H	L	
<i>High-level</i>	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	L	M	M	H	H	M	M	M	H	H	H	L

Πίνακας 10 Συσχέτιση κατηγοριών πλαισίου(L=Low, M=Medium, H=high) [36]

3.5 Απόκτηση Πλαισίου

Είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι η επιλογή της τεχνικής που θα χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση επίγνωσης πλαισίου, αποτελεί μία ακόμη πρόκληση στη διάχυτη τηλεπισκόπηση. Αυτό οφείλεται στο ότι η ποιότητα, η εγκυρότητα, η ακρίβεια, το κόστος για την απόκτηση πλαισίου, ποικίλλουν από τεχνική σε τεχνική. Στο περιβάλλον της διάχυτης τηλεπισκόπησης, οι πηγές πληροφορίας είναι πολυάριθμες, με αποτέλεσμα μια πληροφορία να είναι διαθέσιμη από πολλαπλές και διαφορετικές πηγές. Γι' αυτόν το λόγο, η σωστή επιλογή τεχνικής και πηγής πληροφορίας είναι κρίσιμης σημασίας.

Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι αισθητήρων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απόκτηση πλαισίου και άρα των δεδομένων. Σε γενική χρήση, ο όρος «αισθητήρας» χρησιμοποιείται για να αναφερθεί σε μία απτή αισθητήρια συσκευή. Ωστόσο, είναι γνωστό μεταξύ της επιστημονικής κοινότητας, ότι ο όρος αισθητήρας αναφέρεται γενικά σε οποιαδήποτε πηγή δεδομένων παρέχει και το σχετικό πλαίσιο. Ως εκ τούτου, οι αισθητήρες μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες [58]: φυσικούς, εικονικούς, και λογικούς. Η παρουσία και των τριών κατηγοριών κρίνεται βέβαιη και απαραίτητη σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης.

Φυσικοί αισθητήρες: Είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος τύπος αισθητήρων. Είναι απτοί και παράγουν αισθητήρια δεδομένα από μόνοι τους. Οι περισσότερες από τις συσκευές που χρησιμοποιούμε σήμερα είναι εξοπλισμένες με διάφορους αισθητήρες (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, μικρόφωνο, αφή). Εκτενής αναφορά για τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους αισθητήρες και τα αντίστοιχα δεδομένα γίνεται από τους Balavalad, et. al [59]. Τα δεδομένα που προέρχονται από φυσικούς αισθητήρες αποτελούν ένα χαμηλού επιπέδου πλαίσιο. Είναι λιγότερο σημαντικά, εννοιολογικά απλά, και ευάλωτα σε μικρές αλλαγές.

Εικονικοί αισθητήρες: Οι αισθητήρες αυτοί δεν παράγουν υποχρεωτικά οι ίδιοι αισθητήρια δεδομένα. Οι εικονικοί αισθητήρες ανακτούν δεδομένα από πολλές πηγές και τα δημοσιεύουν ως δεδομένα ενός αισθητήρα (π.χ. ημερολόγιο, κατάλογο, αριθμό επαφών, κ.α.). Αυτοί οι αισθητήρες δεν έχουν φυσική παρουσία.

Λογικοί/εικονικοί αισθητήρες (που ονομάζονται επίσης αισθητήρες λογισμικού): Συνδυάζουν φυσικούς και εικονικούς αισθητήρες, ώστε να παράγουν πιο ουσιαστική πληροφορία. Μια διαδικτυακή υπηρεσία, που παρέχει πληροφορίες για τον καιρό, μπορεί να χαρακτηριστεί ως λογικός αισθητήρας. Οι μετεωρολογικοί σταθμοί

χρησιμοποιούν χιλιάδες φυσικούς αισθητήρες για τη συλλογή πληροφοριών καιρού. Μπορούν επίσης να συλλέγουν πληροφορίες από εικονικούς αισθητήρες, όπως χάρτες, ημερολόγια και ιστορικά δεδομένα.

Στον Πίνακας 11 παρουσιάζεται μια σύγκριση των τριών αυτών κατηγοριών αισθητήρων, όπως αυτές ορίστηκαν παραπάνω.

Κριτήρια	Φυσικός αισθητήρας	Εικονικοί αισθητήρες	Λογικοί/εικονικοί αισθητήρες
Θετικά	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Εντόπιση λάθους ▪ Διαχείριση και εντόπιση ελλιπών δεδομένων ▪ Παραμετροποίηση αισθητήρα σε χαμηλό επίπεδο 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Εξαλείφει την ανάγκη διαχείρισης των φυσικών αισθητήρων ▪ Παρέχει δεδομένα πλουσιότερα σε πληροφορία και υψηλότερου επιπέδου 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Παρέχει δεδομένα πολύ πλούσια σε πληροφορία ▪ Είναι συνήθως το πιο ακριβές ▪ Εξαλείφει την ανάγκη διαχείρισης των φυσικών αισθητήρων
Αρνητικά	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ανεπεξέργαστα δεδομένα ▪ Υψηλό το κόστος συντήρησης ▪ Υψηλή τεχνική απαίτηση σε προγραμματισμό και σχεδιασμό σε χαμηλό επίπεδο εφαρμογής 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Είναι δύσκολος ο εντοπισμός λάθους ▪ Είναι δύσκολη η διαχείριση ελλιπών δεδομένων 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Είναι δύσκολος ο εντοπισμός λάθους ▪ Είναι δύσκολη η διαχείριση ελλιπών δεδομένων

Πίνακας 11 Σύγκριση μεθόδων απόκτησης πλαισίου

3.6 Μοντελοποίηση και Αναπαράσταση του Πλαισίου

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές μοντελοποίησης πλαισίου, [60], [59] που χρησιμοποιούνται με επιτυχία στην υπολογιστική επίγνωση. Πριν αναφερθούμε στις πιο σημαντικές τεχνικές που αναλύονται στη βιβλιογραφία, θεωρείται σκόπιμο να αναφερθούν οι βασικές αρχές της μοντελοποίησης πλαισίου. Τα μοντέλα πλαισίου μπορεί να είναι δυναμικά ή στατικά. Οι απαιτήσεις που πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά την διάρκεια μοντελοποίησης μιας πληροφορίας πλαισίου

περιγράφονται από τους Bettini et al. [61] και επιγραμματικά αποτελούνται από την ετερογένεια, τη φορητότητα, τις συσχετίσεις και εξαρτήσεις, την επικαιρότητα, την ατέλεια και τη συλλογιστική.

Σύμφωνα με μια τυπική διαδικασία μοντελοποίησης, υπάρχουν 2 βήματα για την αναπαράσταση ενός πλαισίου:

- 1 Η διαδικασία μοντελοποίησης πλαισίου: Σε αυτό το πρώτο βήμα, μια νέα πληροφορία πλαισίου ορίζεται σε όρους από ιδιότητες, χαρακτηριστικά, ποιότητα των χαρακτηριστικών του, καθώς και σχέσεις με προηγούμενα πλαίσια. Αυτό το βήμα είναι που ουσιαστικά μοντελοποιεί το πλαίσιο.
- 2 Οργάνωση του πλαισίου σύμφωνα με το μοντέλο: Για να συγχωνευτεί η νέα πληροφορία πλαισίου με το υπάρχον αποθετήριο, πρέπει πρώτα να επιβεβαιωθούν τα αποτελέσματα από τη διαδικασία μοντελοποίησης πλαισίου που προηγήθηκε. Τότε -και μόνο τότε- η νέα πληροφορία πλαισίου ενσωματώνεται με την υπόλοιπη και γίνεται διαθέσιμη για χρήση όπου απαιτείται.

Παρ' όλους, όμως, τους κανόνες και τα προκαθορισμένα βήματα, οι παράγοντες και οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψιν κατά τη μοντελοποίηση, είναι σε πολλές περιπτώσεις υποκειμενικοί και σχετίζονται με το «εκάστοτε σενάριο». Κάποιες διάσημες τεχνικές μοντελοποίησης πλαισίου ερευνώνται επίσης στα [62, 63]. Θα αναφερθούμε επιγραμματικά στις 6 πιο συχνές τεχνικές μοντελοποίησης πλαισίου: κλειδί-τιμή (Key-Value), δηλωτικού σχήματος (Markup Scheme), μοντελοποίηση μέσω γράφων (Graphical Modeling), αντικειμενοστραφή μοντελοποίηση (Object Based Modeling), μοντελοποίηση με βάση τη λογική και οντολογική μοντελοποίηση (Ontology Based Modeling).

- 1) Κλειδί-Τιμή (Key-Value) μοντελοποίηση: Πρόκειται για την απλούστερη μορφή αναπαράστασης και ανταλλαγής πλαισίου. Ουσιαστικά μοντελοποιεί πληροφορίες πλαισίου ως ζευγάρια τιμή-κλειδί σε διαφορετικούς τύπους και μορφές αρχείων, όπως είναι τα αρχεία κειμένου και τα δυαδικά αρχεία. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα περιγράφονται από μια λίστα με γνωρίσματα, κάθε μια από τις οποίες αναπαρίσταται με ένα πλαίσιο κλειδί και ένα πλαίσιο τιμής, φτιάχνοντας έτσι ένα ζευγάρι τιμή-κλειδί [64]. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιείται καλύτερα σε περιπτώσεις με μικρό μέγεθος δεδομένων. Δεν είναι κατάλληλη για περίπλοκα δεδομένα και επίσης δεν είναι επεκτάσιμη. Αυτό την καθιστά

ακατάλληλη για εφαρμογές με ιεραρχική δομή, καθώς οι περίπλοκες συσχετίσεις δεν μπορούν να αναπαρασταθούν από ζευγάρια κλειδί-τιμή, με αποτέλεσμα η χρήση της να προτιμάται για προσωρινή αποθήκευση δεδομένων και για λιγότερο σημαντικές πληροφορίες.

- 2) Δηλωτικού Σχήματος (Markup Scheme) Μοντελοποίηση: Αυτή η τεχνική πλαισιώνει μια ιεραρχική δομή δεδομένων και παρουσιάζεται βελτιωμένη σε σχέση με την τεχνική ζευγάρι κλειδί-τιμή, όπου υπήρχαν οι περιορισμοί που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Τα γνωρίσματα σε αυτού του τύπου την τεχνική μοντελοποιούνται με τη βοήθεια ετικετών ιδιοτήτων και περιεχομένου. Ως εκ τούτου, το πλαίσιο αποθηκεύεται μέσα σε ετικέτες, και οριοθετείται από μια ετικέτα αρχής και μια ετικέτα τέλους. Το πλεονέκτημα της χρήσης δηλωτικών ετικετών είναι ότι μας επιτρέπει να ανακτήσουμε τα δεδομένα μας με πιο αποτελεσματικό τρόπο. Επίσης, πλεονέκτημα αποτελεί και η εφαρμοσιμότητα της μεθόδου σε υπάρχουσες υπολογιστικές δομές στον διάχυτο υπολογισμό μέσω διαδικτυακών υπηρεσιών δηλωτικού σχήματος [65]. Η πιο γνωστή δηλωτική γλώσσα είναι η Extensible Markup Language (XML). Γλώσσες σαν την XML χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές για τη διευκόλυνση του χειρισμού, την προσωρινή αποθήκευση, τη διακίνηση και επεξεργασία δεδομένων μεταξύ των εφαρμογών, αλλά και μεταξύ μερών της εφαρμογής. Το μειονέκτημά τους είναι ότι δεν προσφέρουν προηγμένες δυνατότητες εκφραστικής ικανότητας, που θα μας επέτρεπαν να εφαρμόσουμε και συμπερασματικές τεχνικές. Τις συμπερασματικές τεχνικές θα τις αναλύσουμε με μεγαλύτερη λεπτομέρεια την επόμενη ενότητα. Υπάρχουν διάφορα παραδείγματα τέτοιων σχημάτων [66, 67] ένα από αυτά είναι το Composite Capabilities/Preference Profiles (CC/PP) το οποίο αποτελεί ένα W3C πρότυπο και το Comprehensive Structured Context Profile (CSCP).
- 3) Μοντελοποίηση μέσω γράφων (Graphical Modeling): Μοντελοποιεί το πλαίσιο με συσχετίσεις. Μερικά παραδείγματα τέτοιων τεχνικών είναι η Unified Modeling Language (UML) [68] και η Object Role Modeling (ORM) [69]. Σε σχέση με τη δυναμική και σε σχέση με την εκφραστικότητα, η μοντελοποίηση μέσω γράφων είναι καλύτερη από τα δηλωτικά σχήματα και την τεχνική ζευγάρι κλειδί-τιμή, καθώς μας επιτρέπει να ορίσουμε συσχετίσεις μεταξύ των πλαισίων.
- 4) Αντικειμενοστραφής Μοντελοποίηση (Object Based Modeling): Η ιδέα της αντικειμενοστράφιας δομήθηκε βασιζόμενη στην έννοια των “αντικειμένων”, τα οποία μπορεί να εμπεριέχουν δεδομένα σε φόρμες πεδίων,

γνωστές και ως χαρακτηριστικά, και έγκειται στη μοντελοποίηση των δεδομένων με ιεραρχικές δομές και συσχετίσεις [70, 71]. Η χρήση της προωθεί την επεκτασιμότητα και την επαναχρησιμοποίηση και μπορεί να ενταχθεί εύκολα σε ένα περιβάλλον επίγνωσης πλαισίου, κάτι που έλειπε από τις προηγούμενες τεχνικές. Παρ' όλα αυτά, όπως και η μοντελοποίηση μέσω γράφων, έτσι και η αντικειμενοστραφής μοντελοποίηση δεν εμπεριέχει δυνατότητες συμπερασμού. Επιπρόσθετα, ο έλεγχος της εγκυρότητάς του γίνεται με δυσκολία, λόγω έλλειψης προτύπων και σχετικών προδιαγραφών.

5) Μοντελοποίηση με βάση τη λογική: Η αναπαράσταση της πληροφορίας πλαισίου πραγματοποιείται μέσω γεγονότων, εκφράσεων και κανόνων. Οι κανόνες χρησιμοποιούνται κυρίως για να εκφράσουν τις πολιτικές, τους περιορισμούς και τις προτιμήσεις. Η συγκεκριμένη τεχνική παρέχει έναν πιο ολοκληρωμένο τρόπο για την περιγραφή και τη συσχέτιση των πλαισίων, σε σχέση με τις τεχνικές που περιγράψαμε παραπάνω. Ένα ακόμα πλεονέκτημα, είναι ότι σε κάποιο βαθμό υποστηρίζεται και ο συμπερασμός, μια ικανότητα που μέχρι τώρα απουσίαζε από τις άλλες τεχνικές. Ωστόσο υπολείπεται σαν τεχνική σε επίπεδο τυποποίησης, δυνατότητας επαναχρησιμοποίησης και εφαρμοσιμότητας. Η μοντελοποίηση βασιζόμενη σε λογική επιτρέπει να εξαχθούν νέες πληροφορίες για πλαίσια υψηλού-επιπέδου από πληροφορίες πλαισίου χαμηλού-επιπέδου. Ως εκ τούτου, μπορεί να λειτουργήσει συμπληρωματικά και με άλλες τεχνικές μοντελοποίησης. Οι κανόνες χρησιμοποιούνται και από άλλες τεχνικές, όπως η τεχνική που βασίζεται στις οντολογίες και αναφέρουμε αμέσως μετά.

6) Οντολογική Μοντελοποίηση (Ontology Based Modeling): Το πλαίσιο οργανώνεται σε οντολογίες, χρησιμοποιώντας σημασιολογικές τεχνικές. Ανάλογα με την περίπτωση, είναι διαθέσιμος ένας αριθμός από διαφορετικές τυποποιήσεις (RDF, RDFS, OWL/ OWL2) και δυνατότητες συμπερασμού, για να χρησιμοποιηθούν όπου χρειάζονται. Ωστόσο, όταν η ποσότητα των δεδομένων αυξάνεται, τότε η ανάκτηση πλαισίου μπορεί να καταλήξει να έχει υψηλότερο υπολογιστικό κόστος, καθώς και να είναι αρκετά χρονοβόρα σε σύγκριση με άλλες τεχνικές. Σύμφωνα όμως με έρευνες που έχουν γίνει, οι οντολογίες αποτελούν μια δημοφιλή και αρκετά επιτυχημένη μέθοδο διαχείρισης και μοντελοποίησης στην υπολογιστική επίγνωση και στην διαχείριση δεδομένων από αισθητήρες παρά τις προαναφερθείσες αδυναμίες της [72-74].

Τεχνική	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Εφαρμοσμότητα
Κλειδί-Τιμή	<ul style="list-style-type: none"> • Απλή • Ευέλικτη • Εύκολη στη διαχείριση όταν το μέγεθός του είναι μικρό 	<ul style="list-style-type: none"> • Έντονα εξαρτώμενη από τις εκάστοτε εφαρμογές <ul style="list-style-type: none"> • Δεν είναι επεκτάσιμη • Δεν έχει δομή ή σχήμα • Είναι δύσκολο να ανακτηθούν πληροφορίες • Δεν υπάρχει τρόπος να αναπαραστήσεις σχέσεις <ul style="list-style-type: none"> • Δεν υπάρχει υποστήριξη επικύρωσης • Δεν είναι διαθέσιμα εργαλεία επεξεργασίας 	<p>Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση περιορισμένης ποσότητας δεδομένων, όπως είναι οι προτιμήσεις των χρηστών και οι ρυθμίσεις της εφαρμογής.</p> <p>Είναι κυρίως ανεξάρτητο και μη συνδεδεμένο με κομμάτια των πληροφοριών. Είναι επίσης κατάλληλο για περιορισμένα στοιχεία, όσον αφορά τη μεταφορά και οποιαδήποτε άλλη λιγότερο πολύπλοκη προσωρινή απαίτηση της μοντελοποίησης.</p>
Δηλωτικό Σχήματος	<ul style="list-style-type: none"> • Ευέλικτη • Πιο δομημένη • Επικύρωση μέσω σχήματος • Διαθέσιμα εργαλεία επεξεργασίας 	<ul style="list-style-type: none"> • Εξαρτάται από την εφαρμογή, καθώς δεν υπάρχουν πρότυπα για τις δομές • Μπορεί να είναι περίπλοκη όταν είναι πολλά τα επίπεδα των πληροφοριών που εμπλέκονται • Είναι δύσκολο να ανακτηθούν πληροφορίες 	<p>Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ενδιάμεση οργάνωση της μορφής των δεδομένων, καθώς και της λειτουργίας της μεταφοράς αυτών μέσω δικτύου. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποσυνδέσει τις δομές δεδομένων που χρησιμοποιούνται από δύο μέρη ενός συστήματος.</p>
Μοντελοποίηση μέσω γράφων (Graphical Modeling)	<ul style="list-style-type: none"> • Επιτρέπει σχέσεις μοντελοποίησης • Η ανάκτηση πληροφοριών είναι σχετικά ευκολότερη • Διαθέσιμα διαφορετικά πρότυπα και εφαρμογές • Επικύρωση με περιορισμούς 	<ul style="list-style-type: none"> • Η υποβολή ερωτημάτων μπορεί να είναι πολύπλοκη • Μπορεί να απαιτούνται επιμέρους ρυθμίσεις • Η διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών είναι δύσκολη • Δεν υπάρχουν πρότυπα, αλλά διέπεται από σχεδιαστικές αρχές 	<p>Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μακροπρόθεσμη και μεγάλου όγκου μόνιμη αρχειοθέτηση δεδομένων. Παρελθοντικό πλαίσιο μπορεί να αποθηκευτεί σε βάσεις δεδομένων.</p>
Αντικειμενοστραφής Μοντελοποίηση	<ul style="list-style-type: none"> • Επιτρέπει σχέσεις μοντελοποίησης • Μπορεί να συνεργαστεί καλά με πολλές γλώσσες προγραμματισμού • Διαθέσιμα εργαλεία επεξεργασίας 	<ul style="list-style-type: none"> • Η ανάκτηση πληροφορίας είναι δύσκολη • Δεν υπάρχουν πρότυπα, αλλά διέπεται από σχεδιαστικές αρχές • Έλλειψη της επικύρωσης • Δεν υπάρχουν πρότυπα • Έλλειψη της επικύρωσης • Έντονα εξαρτώμενη από εφαρμογές 	<p>Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναπαραστήσει το πλαίσιο σε προγραμματικό επίπεδο. Επιτρέπει το χειρισμό του πλαισίου σε επίπεδο εκτέλεσης.</p>
Μοντελοποίηση με βάση τη λογική:	<ul style="list-style-type: none"> • Επιτρέπει τη δημιουργία πλαισίου υψηλού- επιπέδου χρησιμοποιώντας πλαίσιο χαμηλού- επιπέδου <ul style="list-style-type: none"> • Απλό στη μοντελοποίηση και χρήση • Υποστηρίζει το λογικό συμπερασμό • Διαθέσιμα εργαλεία επεξεργασίας 	<ul style="list-style-type: none"> • Υποστήριξη σημασιολογικού συμπερασμού • Επιτρέπει πιο εκφραστική αναπαράσταση του πλαισίου • Ισχυρή επικύρωση • Ανεξάρτητη εφαρμογή και επιτρέπει επίσης το διαμοιρασμό • Ισχυρή υποστήριξη από τυποποιήσεις • Διαθέσιμα εξελιγμένων εργαλείων 	<p>Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργηθεί πλαίσιο υψηλού- επιπέδου χρησιμοποιώντας πλαίσιο χαμηλού-επιπέδου (δηλαδή δημιουργία νέας γνώσης), τη μοντελοποίηση γεγονότων και δράσεων (π.χ. ανίχνευση συμβάν), και να ορίσετε περιορισμούς</p>
Οντολογική Μοντελοποίηση	<ul style="list-style-type: none"> • Υποστήριξη σημασιολογικού συμπερασμού • Επιτρέπει πιο εκφραστική αναπαράσταση του πλαισίου • Ισχυρή επικύρωση • Ανεξάρτητη εφαρμογή και επιτρέπει επίσης το διαμοιρασμό • Ισχυρή υποστήριξη από τυποποιήσεις • Διαθέσιμα εξελιγμένων εργαλείων 	<ul style="list-style-type: none"> • Η αναπαράσταση μπορεί να είναι περίπλοκη • Η ανάκτηση πληροφοριών μπορεί να είναι πολύπλοκη 	<p>Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση της γνώσης ενός τομέα και τη δομή των πλαισίων, με βάση τις σχέσεις που έχει η οντολογία. Τα δεδομένα μπορούν να αποθηκεύονται σε κατάλληλες πηγές δεδομένων (π.χ. βάσεις δεδομένων), ενώ η δομή να παρέχεται από τις οντολογίες.</p>

Πίνακας 12 Σύγκριση των τεχνικών μοντελοποίησης του πλαισίου

Ο Πίνακας 12 είναι μια σύγκριση των τεχνικών μοντελοποίησης του πλαισίου, όπως αυτές παρουσιάστηκαν παραπάνω. Καθώς διαφαίνεται, οι οντολογίες είναι μια από τις βασικές τεχνικές για τη μοντελοποίηση του πλαισίου [63] και, καθώς αποτελεί την πιο διαδεδομένη τεχνική, θα αναφερθούμε περαιτέρω σε αυτήν, στην επόμενη ενότητα.

3.7 Οντολογίες στην Επίγνωση Πλαισίου

Οι οντολογίες προσφέρουν μια εκφραστική γλώσσα, όχι μόνο για την αναπαράσταση των σχέσεων που διέπουν το πλαίσιο, αλλά και για αυτό καθεαυτό το πλαίσιο. Υπάρχουν πολλοί λόγοι που υπερτερεί σαν τεχνική από τις υπόλοιπες. Οι βασικότεροι, κατά τους Noy et al. και Wang et. al. [75, 76] είναι ότι οι οντολογίες μπορούν να αναπαραστήσουν και να επικοινωνήσουν τη δομή της πληροφορίας μεταξύ ανθρώπων ή/και εφαρμογών. Μέσω αυτής της ικανότητας μπορούμε να προσδιορίσουμε ένα πεδίο γνώσης, να το αναλύσουμε και να το διαχωρίσουμε από τη λειτουργική γνώση. Επίσης, καθιστά δυνατή την επαναχρησιμοποίηση του πεδίου και επιτρέπει τις ρητές σε αυτό υποθέσεις. Τέλος, οι οντολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το συμπερασμό επιπρόσθετης πληροφορίας πλαισίου, χρησιμοποιώντας το πεδίο γνώσης ενός συγκριμένου τομέα (π.χ. ο τομέας της υγείας).

Ο Studer et al. [77] ορίζουν την έννοια της οντολογίας ως:

“An ontology is a formal, explicit specification of a shared conceptualisation. A conceptualisation refers to an abstract model of some phenomenon in the world by having identified the relevant concepts of that phenomenon. Explicit means that the type of concepts used, and the constraints on their use are explicitly defined. For example, in medical domains, the concepts are diseases and symptoms, the relations between them are causal and a constraint is that a disease cannot cause itself. Formal refers to the fact that the ontology should be machine readable, which excludes natural language. Shared reflects the notion that an ontology captures consensual knowledge, that is, it is not private to some individual, but accepted by a group.”

Παρόμοιος ορισμός δίνεται και από τους Noy and McGuinness [75].

Κατά το σχεδιασμό μιας οντολογίας, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι απαιτήσεις και οι στόχοι, όπως η απλότητα, η ευελιξία, η επεκτασιμότητα, η γενικότητα, καθώς και η εκφραστικότητα [78]. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση της μοντελοποίησης και αναπαράστασης πλαισίου, μερικά από τα γενικά προαπαιτούμενα είναι το μοναδικό αναγνωριστικό, η επικύρωση, η επαναχρησιμοποίηση, ο χειρισμός της αβεβαιότητας και των ελλιπών πληροφοριών [79]. Κατά τους Koripaa and Mantyjarvi [80] οι 9 πιο σημαντικές

αρχές στην ανάπτυξη μιας οντολογίας είναι: το πεδίο αναφοράς, η απλότητα, η πρόσβαση, η ευελιξία, η επεκτασιμότητα, η διευκόλυνση της εξαγωγής συμπερασμάτων, η δυνατότητα γενίκευσης, η αποτελεσματικότητα, και τέλος η εκφραστικότητα.

Οι οντολογίες αποτελούνται από πολλά κοινά χαρακτηριστικά [81, 82], όπως τα άτομα, οι κατηγορίες, οι ιδιότητες, οι σχέσεις, οι λειτουργικοί όροι, οι περιορισμοί, οι κανόνες, τα αξιώματα και τα γεγονότα. Η ανάπτυξή τους εμπεριέχει 2 βήματα. Κατά το πρώτο βήμα ορίζεται το πεδίο και ο σκοπός του. Ενώ κατά το δεύτερο, αξιολογείται αν υπάρχουν πρότερες οντολογίες, και μελετάται η δυνατότητα εκμετάλλευσής τους.

Ήδη οι οντολογίες έχουν βρει εφαρμογή σε δίκτυα αισθητήρων όπως αυτό αναφέρεται και στο [83], όπου γίνεται μια ευρεία σύγκριση και αξιολόγηση των δυνατοτήτων διαφόρων οντολογιών. Τα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν μια περιοχή, όπου η κλίμακα, η πολυπλοκότητα και η ανάγκη ενσωμάτωσής τους σε διάφορα ετερογενή πρότυπα, καθιστούν αναγκαία την εφαρμογή της σημασιολογίας. Πιο συγκεκριμένα, αν και η Open Geospatial Consortium (OGC) Sensor Web Enablement (SWE) σουίτα προτύπων παρέχει ένα συντακτικό μοντέλο για αισθητήρες, θέματα που αφορούν την ενσωμάτωση, τη μετάφραση και την ερμηνεία των κωδικοποιημένων πληροφοριών, χρησιμοποιώντας τα πρότυπα αυτά, δεν έχουν ακόμα επιλυθεί.

Τα δίκτυα αυτά των αισθητήρων δημιουργούνται από κόμβους που επικοινωνούν μεταξύ τους. Τέτοιοι κόμβοι μπορεί να είναι συσκευές με ενσωματωμένους αισθητήρες. Η περιοχή εμβέλειάς τους ξεκινάει από αισθητήριες μονάδες ενός μόνο συγκεκριμένου σκοπού και καταλήγει να περιλαμβάνει μεγάλα δίκτυα ετερογενών συσκευών, που με τη βοήθεια σχετικών υπηρεσιών προσφέρουν δεδομένα πραγματικού χρόνου ή δεδομένα που έχουν ληφθεί κατά παρελθούσες στιγμές, ανάλυση, ερμηνεία αυτών, αλλά και μελλοντικές προβλέψεις.

Αρχιτεκτονικές για σημασιολογικά δίκτυα αισθητήρων χρησιμοποιούν πολλαπλά επίπεδα σημασιολογίας και τεχνολογίας, για να παρέχουν τις επιθυμητές υπηρεσίες και υποδομές. Ένα σημασιολογικό δίκτυο αισθητήρων (semantic sensor network) χρησιμοποιεί δηλωτικές περιγραφές αισθητήρων και δικτύων, με σκοπό την αναζήτηση και τη διαχείριση του δικτύου και των δεδομένων. Από την άλλη μεριά, ένας σημασιολογικός ιστός αισθητήρων (semantic sensor web) είναι ένας ιστός τύπου OGC, εμπλουτισμένου με ικανότητες σημασιολογικού σχολιασμού και συμπερασμού.

Οι Avancha, Patel και Joshi [84], περιγράφουν μια οντολογία για προσαρμοσμένα δίκτυα αισθητήρων, κατά την οποία οι κόμβοι αντιδρούν με βάση τη διαθέσιμη ενέργεια και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, καθορίζοντας τις καταλληλότερες καταστάσεις λειτουργίας για αυτά.

Για τη δημιουργία οντολογιών, έχουν αναπτυχθεί διάφορες σημασιολογικές γλώσσες. Μερικές από τις πιο δημοφιλείς είναι οι Resource Description Framework (RDF), Resource Description Framework Schema (RDFS) [85], OWL [86]. Η RDF είναι ένα πρότυπο μοντέλο για την ανταλλαγή δεδομένων στο Διαδίκτυο. Έχει την ιδιότητα να διακινεί συγχωνευμένα δεδομένα, ακόμα και αν τα υπόλοιπα σχήματα διαφέρουν. Η RDFS είναι μια επέκταση της RDF. Η επικρατέστερη σημασιολογική γλώσσα είναι η OWL 2, η οποία αποτελεί μια επέκταση της OWL. Μερικοί λόγοι υιοθέτησης της OWL, ως μια σημασιολογική γλώσσα για τη δημιουργία οντολογιών στη διάχυτη τηλεπισκόπηση, αναλύονται στα [81, 87] και εμείς αναφέρουμε επιγραμματικά τους παρακάτω:

- Η W3C (World Wide Web Consortium) υποστηρίζει την τυποποίηση του OWL.
- Υπάρχει ένα πλήθος από εργαλεία για τη διαχείριση των OWL οντολογιών.
- Η OWL υποστηρίζει σε υψηλό επίπεδο τη συμπερασματολογία/συμπερασμό.

Στον Πίνακας 13 παρουσιάζεται μία σύγκριση των πιο δημοφιλών οντολογικών γλωσσών (RDF(s) και OWL2) όσον αφορά στη διάχυτη τηλεπισκόπηση.

	RDF(s)	OWL2
Πλεονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> • Παροχή βασικών στοιχείων για την περιγραφή και οργάνωση της γνώσης. • Σχετικά απλή • Ταχύτερη στην επεξεργασία • Ταχύτερη στο συμπερασμό 	<ul style="list-style-type: none"> • Βελτιωμένη έκδοση του RDF(S). Με αποτέλεσμα η προσαρμοστικότητα από την RDF(S) στην OWL να είναι υψηλή • Μεγαλύτερος αριθμός εργαλείων που την υποστηρίζουν • Περισσότερο εκφραστική (π.χ. μεγαλύτερο λεξιλόγιο, περιορισμοί και κανόνες) • Μέγιστη διαλειτουργικότητα • W3C εγκεκριμένο πρότυπο για τη σημασιολογία (από το 2004)
Μειονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> • Έλλειψη ελέγχου ασυνέπειας και συμπερασμού • Περιορισμένη εκφραστικότητα 	<ul style="list-style-type: none"> • Σχετικά σύνθετη • Χαμηλή απόδοση (απαιτείται περισσότερη υπολογιστική ισχύς και χρόνος)

Πίνακας 13 Σύγκριση των πιο δημοφιλών οντολογικών γλωσσών

Υπάρχει μεγάλη συσχέτιση μεταξύ των τεχνικών μοντελοποίησης πλαισίου και των τεχνικών συμπερασμού. Στην επόμενη ενότητα θα αναφέρουμε συνοπτικά κάποιες από τις πιο σημαντικές τεχνικές συμπερασμού, που βρίσκουν εφαρμογή στην επίγνωση πλαισίου, και ειδικότερα όταν αυτές εφαρμόζονται σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης.

3.8 Συμπερασμός Πλαισίου

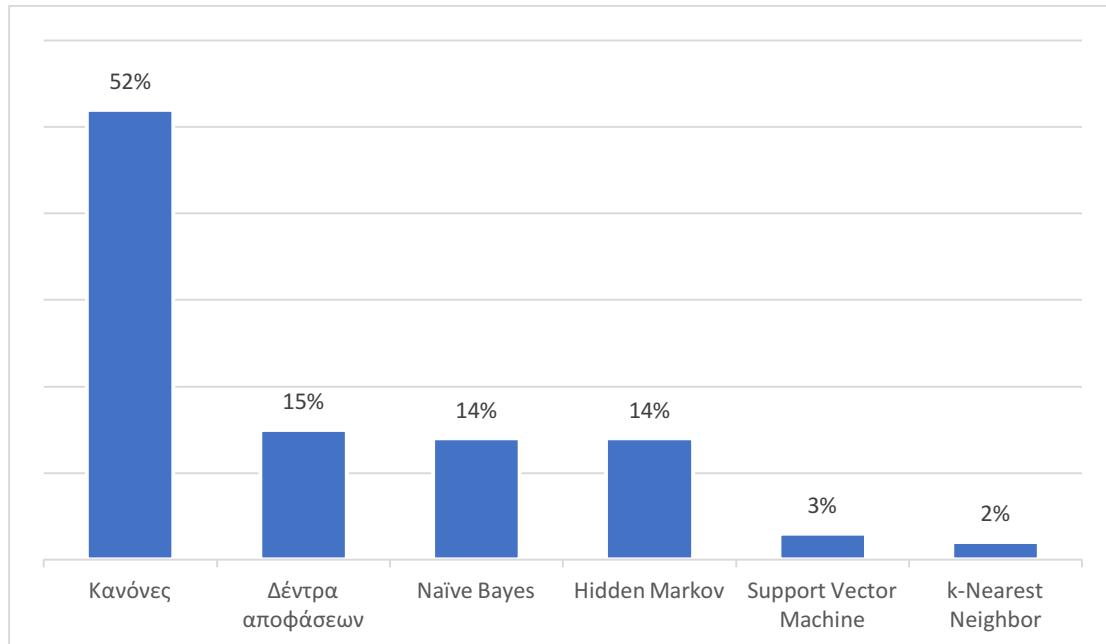
Ο συμπερασμός πλαισίου μπορεί να οριστεί ως μια μέθοδος εξαγωγής νέων γνώσεων και καλύτερης κατανόησης με βάση το υπάρχον πλαίσιο [88]. Επίσης μπορεί να ερμηνευτεί ως μία διαδικασία εξαγωγής σε υψηλό επίπεδο συμπερασμάτων πλαισίου από ένα σύνολο διαθέσιμων πλαισίων [89]. Η ανάγκη του συμπερασμού προέκυψε από δύο κύρια χαρακτηρίστηκα των ακατέργαστων δεδομένων: την ατέλεια (δηλαδή το ότι μπορεί να είναι διφορούμενα, ανακριβή και λανθασμένα) και την αβεβαιότητα. Μία τεχνική συμπερασμού μπορεί να μετρηθεί ως προς την αποτελεσματικότητα, την ορθότητα, την πληρότητα και τη διαλειτουργικότητα της [79].

Ο συμπερασμός πλαισίου περιλαμβάνει αρκετά βήματα, τα οποία μπορούν να ομαδοποιηθούν σε 3 φάσεις:

- 1) Προ-επεξεργασία πλαισίου: Σε αυτό το πρώτο στάδιο επεξεργάζονται και «καθαρίζονται» τα δεδομένα των αισθητήρων. Σε πολλές περιπτώσεις, λόγω προβλημάτων με τον υλικό εξοπλισμό των αισθητήρων, αλλά και της επικοινωνίας του δικτύου, τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται, μπορεί να μην είναι ακριβή ή ολοκληρωμένα (δηλαδή κάποια από αυτά μπορεί να λείπουν). Ως εκ τούτου, τα δεδομένα πρέπει να «καθαρίζονται» με συμπλήρωση των τιμών που λείπουν, να αφαιρούνται οι ακραίες τιμές, να επικυρώνεται το πλαίσιο μέσω πολλαπλών πηγών και πολλά άλλα. Τα πεδία αυτά έχουν ερευνηθεί εκτενώς από αντίστοιχα πεδία έρευνας, όπως η επεξεργασία σήματος και οι προχωρημένες τεχνικές φιλτραρίσματος.
- 2) Συγχώνευση δεδομένων αισθητήρα: Είναι μια μέθοδος που συνδυάζει τα δεδομένα από πολλαπλούς αισθητήρες για να παράγουν πιο ακριβή, πιο πλήρη και πιο αξιόπιστη πληροφορία [90].
- 3) Συμπερασμός πλαισίου: Εξάγει σε υψηλό επίπεδο πληροφορία πλαισίου, με βάση τα διαθέσιμα πλαίσια από χαμηλότερο επίπεδο. Ένα παράδειγμα, που αναπαριστά τα πλαίσια ως πλειάδες, είναι αυτό του W4 Diary [91]. Στο συγκεκριμένο, ένα πλαίσιο από χαμηλότερο επίπεδο μπορεί να υποστεί συμπερασμό από διάφορους μηχανισμούς, ώστε να προκύψει η τελική πληροφορία υψηλότερου επιπέδου.

Το πεδίο έρευνας τεχνητής νοημοσύνης και εκμάθησης μηχανής είναι τομείς που τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί με εξαιρετικά ταχείς ρυθμούς. Ως εκ τούτου, πολλοί αλγόριθμοι και τεχνικές συμπερασμού έχουν δημιουργηθεί για να καλύψουν τις ανάγκες αυτών των δύο πεδίων έρευνας, όπως είναι τα: decision tree, naive Bayes, hidden Markov models, support

vector machines, k-nearest neighbour, artificial neural networks, Dempster-Shafer, ontology-based, rule-based, fuzzy reasoning, καθώς και πολλά άλλα. Πρέπει να αναφέρουμε ότι οι τεχνικές αυτές δεν χρησιμοποιούνται μόνο για το συμπερασμό πλαισίου, αλλά βρίσκουν εφαρμογή και σε πολλά άλλα πεδία της μηχανικής και της υπολογιστικής. Στο Διάγραμμα 1 φαίνεται μια μελέτη της δημοτικότητας των τεχνικών συμπερασμού πλαισίου στις διάφορες εφαρμογές. Η συγκεκριμένη έρευνα αρχικά διεξήχθη από τους Lim και Dey [92] και στην συνέχεια αναδιατυπώθηκε από Pereza et al. [36]. Οι Lim και Dey βασίστηκαν στην βιβλιογραφία από τρία πολύ σημαντικά συνέδρια πάνω σε στον τομέα της διάχυτης τηλεπισκόπησης που διεξήχθησαν σε διάρκεια πέντε χρόνων: Computer-Human Interaction (CHI) 2003-2009, Ubiquitous Computing (Ubicomp) 2004-2009, and Pervasive 2004-2009.



Διάγραμμα 1 Δημοτικότητα των τεχνικών συμπερασμού[92]

Στο περιβάλλον, όμως, της διάχυτης τηλεπισκόπησης, η πληροφορία που θα καλείται να διαχειριστεί το σύστημα, θα προέρχεται από 50 δισεκατομμύρια αισθητήρες. Όπως είναι κατανοητό, η ποσότητα των δεδομένων που παράγονται από έναν τέτοιο αριθμό αισθητήρων είναι τεράστιου μεγέθους. Η χρήση λοιπόν όλων των αναμενόμενων πλαισίων που απαιτούνται για τη διαδικασία του συμπερασμού, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, είναι φυσικά αδύνατον να διεκπεραιωθεί. Οι Guan et al. [36] κατέληξαν σε ένα συμπέρασμα, που έρχεται τελικά να διευκολύνει κατά πολύ την επεξεργασία αυτού του όγκου των δεδομένων. Παρατήρησαν ότι δεν αυξάνεται αναγκαστικά η ακρίβεια του συμπερασμού με τη χρήση περισσότερων πλαισίων.

Στην έρευνά τους χρησιμοποίησαν 2 τεχνικές συμπερασμού: back-propagation neural networks and k-nearest neighbours. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, η ακρίβεια των τεχνικών έφτασε στο 93%, χρησιμοποιώντας μόνο δέκα πλαίσια. Στα επόμενα 30 πλαίσια που προστέθηκαν επιπλέον, η ακρίβεια αυξήθηκε μόλις 1.63%. Επομένως, σε υψηλό επίπεδο η επιλογή των κατάλληλων πλαισίων αποδεικνύεται πολύ σημαντική για την επίτευξη μεγάλης ακρίβειας συμπερασμού πλαισίου, αφού από ένα επίπεδο και πάνω η ακρίβεια δεν μεταβάλλεται με αξιοσημείωτη αύξηση.

Εκτενής αναφορά, καθώς και σύγκριση των τεχνικών συμπερασμού, γίνεται και στα [61, 79, 88]. Αναφέρουμε με μια σύντομη περιγραφή τις τεχνικές που διαφαίνονται ως οι επικρατέστερες για τη διαχείριση του συμπερασμού πλαισίου σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης [20]. Ένας συνήθης διαχωρισμός σε κατηγορίες είναι ο εξής: Μάθηση με επίβλεψη, Μάθηση χωρίς επίβλεψη, Κανόνες, Ασαφής λογική, Οντολογικός συμπερασμός, Πιθανοτικός συμπερασμός. Μία σύντομη σύγκριση των παραπάνω κατηγοριών παρουσιάζεται στον Πίνακας 14.

Μάθηση με επίβλεψη: Σε αυτήν την κατηγορία, αρχικά συλλέγονται τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για την εκπαίδευση. Στη συνέχεια πραγματοποιείται μια διαδικασία επισήμανσης, σύμφωνα με το αναμενόμενο αποτέλεσμα. Βασιζόμενοι στα προηγούμενα βήματα, συντάσσουμε τώρα μια συνάρτηση, η οποία μπορεί να παράγει τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Μια τεχνική που εμπίπτει στη μάθηση με επίβλεψη είναι τα δέντρα απόφασης. Στην τεχνική αυτή, με βάση τα δεδομένα εκπαίδευσης, δημιουργούμε ένα δέντρο απόφασης, όπου κάθε εσωτερικός κόμβος προσδιορίζει τον έλεγχο των γνωρισμάτων και κάθε κλαδί, που συνδέει τους εσωτερικούς με τους απόγονους, αντιστοιχεί σε μια πιθανή τιμή για το γνώρισμα.

Επιπρόσθετα, μια άλλη τεχνική είναι αυτή των *Bayesian* δικτύων. Τα Bayesian δίκτυα χτίζονται εξάγοντας τις υπό συνθήκη «ανεξαρτησίες» από μια κατανομή, έτσι ώστε να κατασκευαστεί μια συμπαγής και φυσική αναπαράσταση της κατανομής αυτής. Ο κορμός ενός τέτοιου δικτύου είναι ο κατευθυνόμενος άκυκλος γράφος (DAG - Directed Acyclic Graph), έστω G αυτός, του οποίου οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τις τυχαίες μεταβλητές και οι ακμές την επιρροή του ενός κόμβου στον άλλο. Ο γράφος G μπορεί να μελετηθεί μέσα από τις εξής δύο οπτικές:

- ως μια κατασκευαστική δομή που παράγει ένα σκελετό για την παρουσίαση μιας από κοινού κατανομής με έναν παραγοντοποιημένο τρόπο.

- ως μια συμπαγής αναπαράσταση για ένα σύνολο υπό συνθήκη ανεξαρτησιών γύρω από την κατανομή.

Σε ένα τέτοιο δίκτυο, κάθε μεταβλητή εξαρτάται άμεσα μόνο από τους «γονείς» της και ως πληροφορία δίνεται ο τρόπος με τον οποίο εξαρτάται. Αυτό σημαίνει ότι αν γνωρίζουμε την τιμή της πιθανότητας των κόμβων που αποτελούν τους γονείς της μεταβλητής μας, δεν επηρεάζεται η τιμή της από καμία άλλη πληροφορία, που συνδέεται άμεσα ή έμμεσα με τους γονείς ή τους γείτονές της.

Μερικά παραδείγματα χρήσης των Bayesian δικτύων περιγράφονται στα [82, 93]. Έχουν την δυνατότητα να συνδυάζουν αβέβαιες πληροφορίες που προέρχονται από ένα μεγάλο αριθμό πηγών ώστε να κατασκευάζουν υψηλότερου επιπέδου πλαίσια. Ως εκ τούτου αποτελεί μια τεχνική που χρησιμοποιείται συχνά στον συμπερασμό.

Τα νευρωνικά δίκτυα επίσης περιλαμβάνονται στις κατηγορίες δημοφιλών τεχνικών, που μιμείται σε μεγάλο βαθμό το νευρικό βιολογικό σύστημα. Ουσιαστικά χρησιμοποιούνται για την εύρεση μοτίβων μεταξύ δεδομένων, καθώς και για τη μοντελοποίηση περίπλοκων σχέσεων μεταξύ των εισόδων και των εξόδων ενός συστήματος απόφασης. Τέλος, μία ακόμη τεχνική που χρησιμοποιείται ευρέως και έγκειται στην κατηγορία μάθησης με επίβλεψη, είναι οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης [94], που αποτελούν μια μέθοδο επεξεργασίας δεδομένων με μεγάλη επιτυχία σε πληθώρα προβλημάτων ταξινόμησης. Η χρήση τους στην περίπτωση της ταξινόμησης δεδομένων καταφέρνει το διαχωρισμό αυτών, με βάση μια διαχωριστική ευθεία (ή επίπεδο ή πιο γενικά υπερ-επίπεδο).

Μάθηση χωρίς επίβλεψη: Οι τεχνικές αυτής της κατηγορίας βρίσκουν μοτίβα και συσχετίσεις σε μη επισημασμένα δεδομένα. Εδώ, κύριο γνώρισμα είναι ότι δεν χρησιμοποιούνται δεδομένα εκπαίδευσης (όπως στη μάθηση με επίβλεψη) και τεχνικές ομαδοποίησης, όπως η K-Nearest Neighbour, που είναι πολύ διαδεδομένες. Επίσης, σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου χρησιμοποιούνται ευρέως τα νευρωνικά δίκτυα χωρίς επίβλεψη, όπως και το Kohonen Self-Organizing Map (SOM) .

Κανόνες: Αποτελεί την πιο απλή και δημοφιλή μέθοδο, διότι είναι η πιο κοντινή τεχνική στη μοντελοποίηση της ανθρώπινης σκέψης και συνεπώς αναμένεται να έχει κυρίαρχο ρόλο σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 8, οι κανόνες είναι συνήθως δομημένοι σε μια IF-THEN-ELSE μορφή. Η μέθοδος επιτρέπει την παραγωγή πλαισίων ανωτέρου επιπέδου, χρησιμοποιώντας πλαίσια από κατώτερα επίπεδα. Είναι σύνηθες να συνδυάζεται με τεχνικές οντολογικού συμπερασμού [95-97]. Ένα παράδειγμα είναι αυτό του PRIAMOS [98] που χρησιμοποιεί σημασιολογικούς κανόνες για σήμανση δεδομένων από αισθητήρες.

Ασαφής λογική: Αυτή η τεχνική επιτρέπει τον προσεγγιστικό συμπερασμό αντί του συμπαγή. Η ασαφής λογική έχει αρκετές ομοιότητες με τον πιθανοτικό συμπερασμό. Μια διαφορά τους είναι ότι οι τιμές εμπιστοσύνης στην τεχνική ασαφούς λογικής αναπαριστούν το βαθμό συμμετοχής, και όχι την πιθανότητα, όπως στον πιθανοτικό [99]. Επίσης, στην ασαφή λογική, αποδεκτές τιμές είναι το 0, το 1 και ενδιάμεσες, σε αντίθεση με την κλασική θεωρία της λογικής, όπου οι αποδεκτές τιμές αληθείας είναι 0 ή 1. Επιτρέπει με πιο φυσικό τρόπο την παρουσίαση και την ποσοτικοποίηση γεγονότων που συμβαίνουν στον πραγματικό κόσμο. Μια τέτοια τεχνική επιτρέπει τη χρήση της φυσικής γλώσσας (π.χ. θερμοκρασία: ελαφρώς ζέστη, αρκετά κρύο), σε αντίθεση με ακριβείς αριθμητικές τιμές (π.χ. θερμοκρασία: 10 βαθμοί Κελσίου). Ως συνέπεια, επιτρέπει μη συμπαγείς έννοιες, όπως αδύνατος, παχουλός, φως, ευγενικός και ειλικρίνεια να αποτυπωθούν, κάτι που είναι πολύ σημαντικό στην επεξεργασία πληροφοριών πλαισίου. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, η ασαφής μέθοδος συμπερασμού συνδυάζεται με άλλες τεχνικές, όπως τους κανόνες, τις πιθανοτικές και τις οντολογικές μεθοδολογίες (που θα αναφέρουμε αμέσως μετά), καθώς δεν μπορεί από μόνη της να αποτελέσει μια βασική τεχνική συμπερασμού.

Οντολογικός συμπερασμός: Είναι μια τεχνική που βασίζεται στην περιγραφική λογική. Η περιγραφική λογική αποτελεί μέλος της ευρύτερης οικογένειας της λογικής αναπαράστασης γνώσης. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην υποενότητα 3.6, ο οντολογικός συμπερασμός βασίζεται σε δύο βασικές τεχνικές: RDF(S) and OWL(2). Οι τεχνικές αυτές αποτελούν γλώσσες σημασιολογικού ιστού και ολοκληρώνονται με τις εξής γλώσσες ερωτήσεων: RDQL, RQL, TRIPLE, SPARQL και μηχανισμούς συμπερασμού: FACT [100], RACER, Pellet [101]. Αναμενόμενο είναι ο οντολογικός συμπερασμός να ενσωματώνεται σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό με την οντολογική μοντελοποίηση. Ένα μειονέκτημά του είναι ότι ο οντολογικός συμπερασμός δεν επιτρέπει την εύρεση ελλιπών τιμών ή αμφιλεγόμενων πληροφοριών. Όπως θα δούμε παρακάτω, το κενό αυτό έρχονται να καλύψουν οι τεχνικές πιθανοτικού συμπερασμού. Αναλυτικές έρευνες, που έγιναν από τους Allemang, D. et al., Yu, L., et al. Hitzler, P. et al., Bikakis, A., et al. για τον σημασιολογικό συμπερασμό παρουσιάζεται στα [72-74, 88]. Επίσης, στα [15, 102] παρουσιάζονται αρχιτεκτονικές βασισμένες σε σημασιολογικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την σύντηξη δεδομένων από αισθητήρες.

Πιθανοτικός συμπερασμός: Στη συγκεκριμένη κατηγορία τεχνικών, οι αποφάσεις λαμβάνονται με βάση τις πιθανότητες που συνοδεύουν τα σχετικά με το πρόβλημα γεγονότα. Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συνδυαστούν πληροφορίες από 2 αισθητήρες, με σκοπό την παραγωγή πιο αναλυτικού πλαισίου. Σε αυτήν την κατηγορία

ανήκουν διάφορες τεχνικές, όπως τα Hidden Markov Models, Markov Logic Networks, Bayesian Network, Naïve Bayes.

Η καταλληλότερη μέθοδος για το συμπερασμό του πλαισίου είναι να υπάρχει ένας συνδυασμός των παραπάνω τεχνικών, και όχι μόνο, με τέτοιο τρόπο ώστε να αλληλοσυμπληρώνονται. Η διαδικασία συνδυασμού πολλαπλών τεχνικών παρουσιάζεται στο [61]. Το σύνηθες είναι να χρησιμοποιείται ασαφής λογική ώστε να γίνεται σύντηξη των δεδομένων από αισθητήρες, καθώς μετατρέπει τα συμπαγή δεδομένα σε πιο φυσικούς όρους. Στο επόμενο επίπεδο του συμπερασμού, τεχνικές όπως οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης και τα νευρωνικά δίκτυα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω επεξεργασία των πλαισίων. Τέλος, οι πληροφορίες πλαισίου χαμηλού επιπέδου μπορούν να συναχθούν και να αναπαρασταθούν με υψηλού επιπέδου πλαίσια, με τη βοήθεια σημασιολογικών τεχνολογιών, όπως είναι οι οντολογίες.

Τεχνική	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Εφαρμοσιμότητα
Μάθηση με επίβλεψη	<ul style="list-style-type: none"> • Διαθέσιμος αριθμός εναλλακτικών μοντέλων • Έχει ως βάση μαθηματικές και στατιστικές μεθόδους 	<ul style="list-style-type: none"> • Αρκετά ακριβής • Κάθε στοιχείο δεδομένων πρέπει να έχει μετατραπεί σε αριθμητικές τιμές • Η επιλογή ενός συνόλου χαρακτηριστικών μπορεί να είναι πρόκληση • Εξαρτάται από τους πολλούς πόρους (Επεξεργασία, αποθήκευση, χρόνος) • Λιγότερο σημασιολογικό νόημα • Τα μοντέλα μπορεί να είναι πολύπλοκα 	Κατάλληλο για περιπτώσεις όπου το σύνολο των χαρακτηριστικών είναι εύκολα αναγνωρίσιμα, τα πιθανά αποτελέσματα είναι γνωστά, και είναι διαθέσιμα πολλά δεδομένα.
Μάθηση χωρίς επίβλεψη	<ul style="list-style-type: none"> • Δεν απαιτούνται δεδομένα εκπαίδευσης • Δεν χρειάζεται να είναι γνωστή η πιθανή έκβαση 	<ul style="list-style-type: none"> • Τα μοντέλα μπορεί να είναι πολύπλοκα • Λιγότερο σημασιολογικό νόημα • Δύσκολο να επιβεβαιωθεί • Το αποτέλεσμα δεν είναι προβλέψιμο 	Για καταστάσεις όπου το αποτέλεσμα δεν είναι γνωστό (Για παράδειγμα: εντοπισμός ασυνήθιστης συμπεριφοράς)
Κανόνες	<ul style="list-style-type: none"> • Εύκολα ορίζονται οι κανόνες • Εύκολα επεκτείνονται • Απαιτούνται λιγότεροι πόροι 	<ul style="list-style-type: none"> • Πρέπει να καθοριστούν χειροκίνητα • Μπορεί να είναι επιρρεπής σε σφάλματα λόγω χειροκίνητου ορισμού 	Για καταστάσεις όπου χρειάζεται τα μη επεξεργασμένα δεδομένα να μετατραπούν σε πλαίσιο υψηλού επιπέδου.
Ασαφής λογική	<ul style="list-style-type: none"> • Επιτρέπει πιο φυσική αναπαράσταση • Εύκολα ορίζεται • Απαιτούνται λιγότεροι πόροι • Μπορεί να χειριστεί την αβεβαιότητα 	<ul style="list-style-type: none"> • Πρέπει να καθοριστούν χειροκίνητα • Μπορεί να είναι επιρρεπής σε σφάλματα λόγω χειροκίνητου ορισμού • Μπορεί να μειώσει την ποιότητα (π.χ. ακρίβεια) των αποτελεσμάτων 	Για την κατάσταση όπου το πλαίσιο χαμηλού επιπέδου χρειάζεται να μετατραπεί σε υψηλού επιπέδου. Αυτό το είδος της απλούστευσης το καθιστά πιο εύκολο στην περαιτέρω επεξεργασία.
Οντολογικός συμπερασμός	<ul style="list-style-type: none"> • Επιτρέπει τον πολύπλοκο συμπερασμό • Επιτρέπει τη σύνθετη αναπαράσταση • Επιτρέπει τον έλεγχο ποιότητας • Επιτρέπει τόσο το συμπερασμό σε κείμενο όσο και σε αριθμητικά δεδομένα 	<ul style="list-style-type: none"> • Τα δεδομένα θα πρέπει να διαμορφωθούν σε μια συμβατή μορφή (π.χ. OWL, RDF) • Περιορισμένος συμπερασμός σε αριθμητικά δεδομένα • Χαμηλή απόδοση (π.χ. απαιτούν περισσότερη υπολογιστική δύναμη και χρόνο) 	Για καταστάσεις όπου η γνώση είναι ζωτικής σημασίας. Επιτρέπει στην πληροφορία του πλαισίου να αποθηκευτεί με βάση τη δομή της οντολογίας και αυτόματα να είναι σε θέση να εφαρμοστεί η διαδικασία του συμπερασμού όταν αυτό κριθεί αναγκαίο.
Πιθανοτικός συμπερασμός	<ul style="list-style-type: none"> • Επιτρέπει το συνδυασμό αποδείξεων • Μπορεί να χειριστεί μη εμφανείς καταστάσεις • Είναι διαθέσιμα εναλλακτικά μοντέλα • Μπορεί να χειριστεί την αβεβαιότητα 	<ul style="list-style-type: none"> • Θα πρέπει να είναι γνωστές οι πιθανότητες • Συμπερασμός σε αριθμητικά δεδομένα μόνο 	Για καταστάσεις όπου οι πιθανότητες είναι γνωστές. Επίσης η συσχέτιση αποδείξεων από διαφορετικές πηγές είναι απαραίτητη.

Πίνακας 14 Σύγκριση των τεχνικών συμπερασμού του πλαισίου

Κεφάλαιο 4

Αρχιτεκτονική Πλατφόρμας για την Εφαρμογή της Διάχυτης Τηλεπισκόπησης σε ένα Περιβάλλον Υποβοηθούμενης Διαβίωσης

Η εξέλιξη των υπηρεσιών επίγνωσης πλαισίου για ένα περιβάλλον υποβοηθούμενης διαβίωσης (ΠΥΔ), θέτει ειδικές απαιτήσεις στη μέθοδο της μοντελοποίησης, της κατανόησης και της εκμετάλλευσης των αναγκαίων πλαισίων. Συνήθως, οι σύγχρονες μέθοδοι περιγραφής και απόκτησης πλαισίων, όπως περιγράφηκαν και στο Κεφάλαιο 3, δεν εστιάζουν σε αυτές τις εξειδικευμένες απαιτήσεις. Είναι απαραίτητη λοιπόν, μια συνεπής μέθοδος, που επιτρέπει διαφορετικές πτυχές χρησιμοποίησης του πλαισίου, συμπεριλαμβανομένης της δυναμικής ενσωμάτωσης αισθητήρων πλαισίου σε ένα περιβάλλον έξυπνου σπιτιού, την περιγραφή συγκεκριμένων υπηρεσιών μοντέλων πλαισίου για την εξυπηρέτηση και την παρουσίαση υπηρεσιών που εξαρτώνται από πλαίσια.

Στο παρόν κεφάλαιο, προτείνεται ως λύση σε αυτήν την πρόκληση, μια αρχιτεκτονική πλατφόρμας πολλαπλών επιπέδων. Κάθε επίπεδο επικεντρώνεται σε διαφορετική πτυχή του προβλήματος. Επιπρόσθετα, παρουσιάζουμε μια εφαρμογή της προσέγγισής μας, καθώς και τα αποτελέσματα της αξιολόγησης αυτής.

4.1 Βασικές Υπηρεσίες και Προδιαγραφές σε ένα ΠΥΔ

Η πλατφόρμα σχεδιάστηκε με τέτοιον τρόπο, ώστε όλοι οι ενδιαφερόμενοι φορείς σε ένα ΠΥΔ, να έχουν πρόσβαση και να παρέχουν τις επιθυμητές υπηρεσίες. Ως ενδιαφερόμενοι φορείς, ορίζουμε όλους τους χρήστες που έχουν ένα σαφή ρόλο στην παροχή υπηρεσιών υποβοηθούμενης διαβίωσης, όπως είναι οι γενικοί γιατροί (GP), οι πάροχοι βασικής περίθαλψης, οι ερευνητές, οι πάροχοι υπηρεσιών σε τρίτους, κλπ. Όσον αφορά στις παρεχόμενες υπηρεσίες, λαμβάνουμε υπόψιν προδιαγραφές επιθυμητών υπηρεσιών, βασιζόμενοι στην κατηγοριοποίηση που αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 1 (υγεία, ασφάλεια, άνεση, κοινωνικό περιβάλλον και οικονομία). Αυτές οι υπηρεσίες απεικονίζονται στην Εικόνα 31 και αναφέρονται επιγραμματικά παρακάτω, μαζί με πιθανές τεχνολογίες υλοποίησης:

Βοήθεια εντοπισμού θέσης

Ένα ΠΥΔ επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της κίνησης του χρήστη στο εσωτερικό ενός σπιτιού.

- Χρησιμοποιώντας μια τοπική υπηρεσία διαχείρισης πληροφοριών, ο χρήστης θα είναι σε θέση να κάνει τις λιγότερες δυνατές κινήσεις, που απαιτούνται για την ολοκλήρωση μιας συγκεκριμένης εργασίας. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι και ο εντοπισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο με τη χρήση ετικετών RFID, όπως είδαμε και στο Κεφάλαιο 2.
- Επιπρόσθετα, ετικέτες μπορούν να τοποθετηθούν σε αντικείμενα, που συνήθως χάνονται εύκολα, όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα, τα γυαλιά οράσεως, τα κλειδιά αυτοκινήτου και σπιτιού. Η θέση αυτών των αντικειμένων απεικονίζεται στην κεντρική οθόνη, που βρίσκεται σε κεντρικό σημείο του σπιτιού.

Διαχείριση πληροφορίας τοπικά

Η διαχείριση πληροφορίας σε τοπικό επίπεδο βεβαιώνει ότι ο χρήστης θα γνωρίζει όλες τις πιθανές καταστάσεις των υπηρεσιών που ενσωματώνονται στην πλατφόρμα. Σε αυτό συμπεριλαμβάνεται μια κεντρική οθόνη πληροφόρησης: η οθόνη αυτή αποσκοπεί στο να αποτελέσει το κυρίαρχο σημείο πληροφόρησης του χρήστη. Τοποθετείται κοντά στην είσοδο της οικίας, έτσι ώστε ο χρήστης να έχει εύκολη πρόσβαση σε αυτή. Η οθόνη μπορεί να είναι ένας ενεργός καθρέφτης ή μια έξυπνη επιφάνεια, που θα προειδοποιεί το χρήστη με μια ειδοποίηση, όποτε αυτό χρειάζεται, και θα του εμφανίζει όλες τις σχετικές με αυτήν πληροφορίες.

Υπηρεσίες Τηλεϊατρικής βοήθειας στο σπίτι

Μία μονάδα/κιόσκι υγείας που συγκεντρώνει, αποθηκεύει και μεταδίδει πληροφορίες υγείας χρησιμοποιώντας ψηφιακές τεχνολογίες. Αυτή η μονάδα αποτελεί τον κύριο σταθμό καταγραφόντων μετρήσεων βιοσημάτων. Θεωρούμε ότι αποτελείται από τα ακόλουθα:

- Σύστημα υπενθύμισης φαρμάκων.
- Μέτρηση αιματικής πίεσης.
- Μέτρηση για διαβητικούς.
- Μέτρηση Οξυμετρίας.

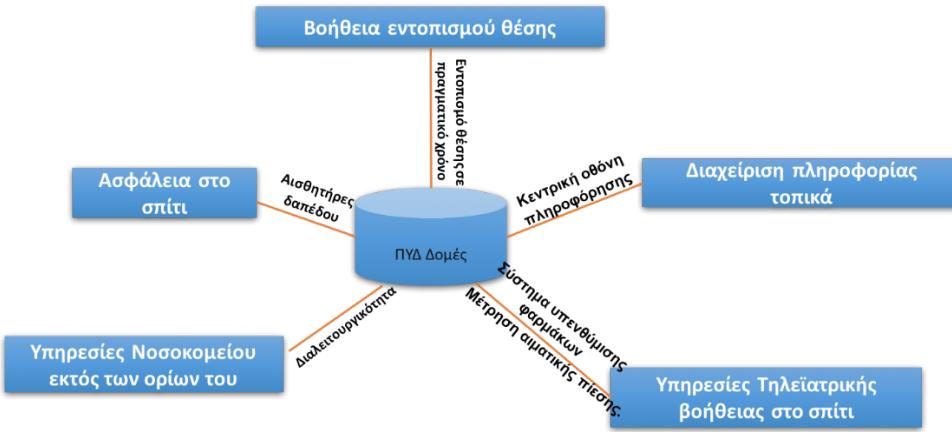
Ασφάλεια στο σπίτι

Σε ένα ΠΥΔ, μια σημαντική υπηρεσία, ειδικά για την τρίτη ηλικία, είναι η αποφυγή των πτώσεων. Ειδικότερα, έχει γίνει σημαντική πρόοδος στην ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνολογιών, εργαλείων και γενικών λύσεων για την αποτελεσματική διαχείριση αυτών. Οι παρακάτω τεχνολογίες, που σχετίζονται με την ασφάλεια του χρήστη, λαμβάνονται υπόψιν στην αρχιτεκτονική μας:

- Αισθητήρες στο έδαφος του μπάνιου και της κουζίνας (όπου τα περισσότερα περιστατικά πτώσεων λαμβάνουν χώρα) για ανίχνευση πιθανής πτώσης. Το σύστημα θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να εκπέμψει άμεσα συναγερμό εάν συμβεί κάποια πτώση σε οποιοδήποτε από τα δωμάτια στα οποία έχουν τοποθετηθεί αισθητήρες.
- Μια διακριτική φορετή ηλεκτρονική συσκευή, εξοπλισμένη με inertial measurement unit (IMU) (επιταχυνσιόμετρα, μαγνητόμετρα, πυξίδα) ανίχνευσης πτώσεων και ένα κουμπί έκτακτης ανάγκης.

Υπηρεσίες Νοσοκομείου εκτός των ορίων του

Μια δομή ΠΥΔ πρέπει αρχικά να μπορεί να προσφέρει και να λαμβάνει υπηρεσίες πέραν των ορίων ενός νοσοκομείου ή/και της βασικής ιατρικής περίθαλψης. Δεύτερον, να γνωστοποιεί τις μετρήσεις των αισθητήρων μέσω του δικτύου σε συμβατές ηλεκτρονικές συσκευές ιατρικής περίθαλψης. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε υπηρεσίας φροντίδας, τα σχετικά ιατρικά δεδομένα να ενσωματώνονται/αλληλεπιδρούν με δεδομένα από τους αισθητήρες ΠΥΔ. Με αυτόν τον τρόπο, εμπλουτίζονται οι υπηρεσίες βασικής περίθαλψης, λαμβάνοντας υπόψιν δεδομένα που δεν είναι προφανή και διαθέσιμα κατά τη διάρκεια κλινικών ή προγραμματισμένων επισκέψεων στον ιατρό.



Εικόνα 31 Οι βασικοί άξονες ενός περιβάλλοντος διάχυτης τηλεπισκόπησης

Όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω, ως οι βασικές υπηρεσίες σε ένα ΠΥΔ, αποτελούν και τους πέντε βασικούς άξονες υπηρεσιών, στους οποίους βασίστηκαν οι προδιαγραφές της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής, με σκοπό να προσφέρουμε μια λύση διάχυτης τηλεπισκόπησης (Εικόνα 31).

4.2 Χαρακτηριστικά και Προκλήσεις

Μελετώντας τις προδιαγραφές των περιγραφόμενων ως επιθυμητών υπηρεσιών υποβοηθούμενης διαβίωσης σε περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης, έχουμε καταλήξει σε διάφορες προκλήσεις, με σκοπό τη διασφάλιση έξι κύριων χαρακτηριστικών: την ευφυία, το δυναμικό χαρακτήρα της αρχιτεκτονικής, την πολυπλοκότητα του συστήματος, τον παράγοντα του μεγέθους της πληροφορίας, τα στοιχεία του χρόνου και του χώρου της παρεχόμενης πληροφορίας, και τέλος, τη δινατάτητα κάθε ηλεκτρονικής υπηρεσίας να μπορεί να εφαρμοστεί σαν εικονικός αισθητήρας. Τα χαρακτηριστικά αυτά λαμβάνονται υπόψη κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής σε όλες τις φάσεις, από το σχεδιασμό μέχρι την αξιολόγηση:

Ευφυία: Αποτελεί ουσιαστικά την εφαρμογή της γνώσης. Η γνώση θα εξορυχθεί από τη συλλογή δεδομένων και αφού εφαρμοστεί ο κατάλληλος συμπερασμός. Επομένως, τα συλλεγόμενα, αλλά μη επεξεργασμένα δεδομένα, θα μετατραπούν σε γνώση, αφού συλλεχθούν, μοντελοποιηθούν και εφαρμοστεί συμπερασμός πλαισίου.

Δυναμική Αρχιτεκτονική: Η διάχυτη τηλεπισκόπηση θα πρέπει να βασίζεται σε μια υβριδική αρχιτεκτονική. Πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν αρχιτεκτονικές, καθοδηγούμενες από γεγονότα στο χρόνο. Μερικοί αισθητήρες παράγουν δεδομένα όταν συμβαίνει ένα γεγονός, για παράδειγμα όταν ένας ασθενής πέφτει. Οι υπόλοιποι αισθητήρες παράγουν δεδομένα συνεχόμενα, βασιζόμενα σε συγκεκριμένα χρονικά πλαίσια. Ο υβριδικός χαρακτήρας της αρχιτεκτονικής θα πρέπει να διασφαλίζει τη διαλειτουργικότητα της ετερογενούς πληροφορίας, που παράγεται από την πληθώρα αισθητήρων που απαρτίζουν ένα ΠΥΔ.

Πολυπλοκότητα συστήματος: Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η διάχυτη τηλεπισκόπηση αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό αισθητήρων και ενεργοποιητών, που αλληλεπιδρούν αυτόνομα. Ανά περιπτώσεις, υπάρχοντες αισθητήρες θα αρχίσουν να εξαλείφονται όταν θα εμφανιστούν καινούργιοι και θα ξεκινήσουν να επικοινωνούν. Οι επικοινωνίες μπορεί να διαφέρουν σημαντικά, ανάλογα με τις ικανότητες των αισθητήρων και των ενεργοποιητών. Μερικοί αισθητήρες μπορεί να συλλέγουν μόνο συγκεκριμένο μέρος της προσφερόμενης πληροφορίας, καθώς και να μην προβαίνουν στην επεξεργασία της.

Υπάρχουν και μερικά αντικείμενα - αισθητήρες με μεγαλύτερη επεξεργαστική ικανότητα και συμπερασμού, δυνατότητες που τα καθιστά πιο ευφυή από άλλα. Τέτοια παραδείγματα, σε ένα περιβάλλον υποβοηθούμενης διαβίωσης, αποτελούν οι μικρουπολογιστές, που έχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας της πληροφορίας και παροχής δευτερογενών πλαισίων πληροφορίας, καθώς και ηλεκτρονικές υπηρεσίες, που βασιζόμενες σε μη επεξεργασμένη πληροφορία άλλων αισθητήρων, παρέχουν δευτερογενή πληροφορία πλαισίου.

Χρονικοί παράγοντες: Σε ένα σύστημα διάχυτης τηλεπισκόπησης, ο χρόνος επεξεργασίας δεδομένων είναι υψηλής σημασίας, λόγω του μεγάλου αριθμού συνδέσεων που υπάρχουν. Ωστόσο, εξίσου σημαντικός είναι και ο χρονικός παράγοντας, ως μέτρο συσχέτισης της πληροφορίας, ο οποίος αποτελεί ένα χαρακτηριστικό απαραίτητο για ένα σύστημα υποστηριζόμενο από πολλούς ετερογενείς αισθητήρες.

Χωρικοί παράγοντες: Η τοποθεσία παίζει σημαντικό ρόλο στην υπολογιστική πλαισίου και ειδικά σε ένα ΠΥΔ. Η ακριβής τοποθεσία ενός αισθητήρα στον εσωτερικό χώρο, αλλά και η σχετική θέση του με κάποιον άλλον, είναι μεγάλης σημασίας. Όσο αυξάνεται ο αριθμός των αισθητήρων, τόσο ο εντοπισμός/ανίχνευση του κάθε αισθητήρα αποτελεί μια αυτόνομη και βασική πηγή πληροφορίας για την εξαγωγή πλαισίων υψηλότερου επιπέδου. Για παράδειγμα, η επικοινωνία μεταξύ των αισθητήρων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις τοποθεσίες τους (βλ. Κεφάλαιο 6), τον περιβάλλοντα χώρο και την ύπαρξη άλλων οντοτήτων (για παράδειγμα άνθρωποι ή έπιπλα στην ίδια περιοχή). Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις, πληροφορίες από ετερογενείς αισθητήρες μπορούν να συσχετιστούν μόνο όταν αναφέρονται στον ίδιο σχετικό χώρο. Ένα παράδειγμα είναι αυτό των αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας εσωτερικού χώρου, που μπορούν να συσχετιστούν μόνο όταν αναφέρονται στο ίδιο δωμάτιο.

Οποιαδήποτε ηλεκτρονική υπηρεσία ως εικονικός αισθητήρας: Αντίθετα με τους φυσικούς αισθητήρες, που αντιπροσωπεύουν τον αισθητήρα ως μια απτή συσκευή, μια ηλεκτρονική υπηρεσία σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης, υλοποιείται ως ένα είδος εικονικού αισθητήρα ή ενεργοποιητή. Αυτός ο εικονικός αισθητήρας μπορεί να παράγει ή να καταναλώνει πληροφορίες πλαισίου σε όλα τα επίπεδα. Μια τέτοια υπηρεσία θα μπορούσε να αποτελεί η πρόβλεψη καιρού, λειτουργώντας σαν αισθητήρας και αλληλεπιδρώντας με αισθητήρες θέρμανσης και κλιματισμού σε ένα περιβάλλον υποβοηθούμενης διαβίωσης.

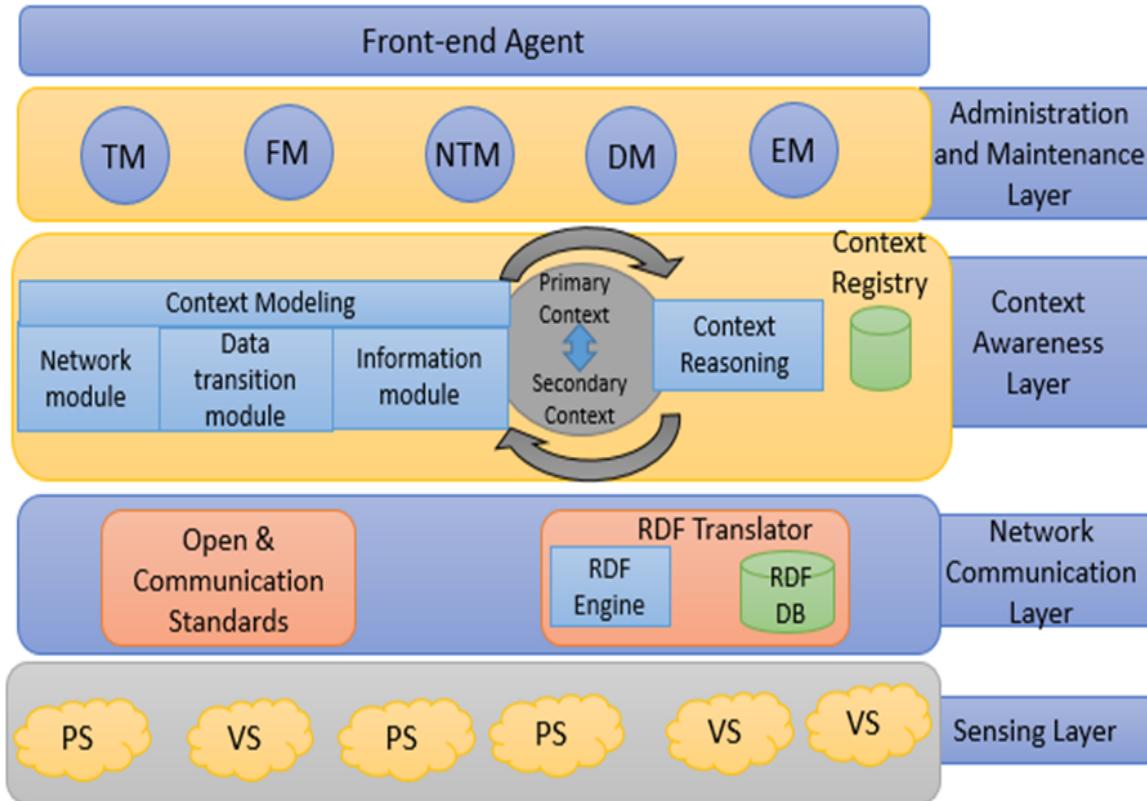
4.3 Σχεδίαση και Υλοποίηση Αρχιτεκτονικής Συστήματος

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η προτεινόμενη πλατφόρμα πρέπει να αντιμετωπίζει δυναμικά τη διαχείριση πολλαπλών ετερογενών φυσικών και εικονικών αισθητήρων και υπηρεσιών. Για να είναι αυτό πραγματοποιήσιμο, προτείνουμε μια ιεραρχική δομή αρχιτεκτονικής 5-επιπέδων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 32. Τόσο η δομή, όσο και η ιεραρχική φύση της αρχιτεκτονικής αυτής, βεβαιώνει την απαιτούμενη ευελιξία και επεκτασιμότητα του συστήματος, ώστε να είναι σε θέση να διαχειριστεί και να περιλάβει νέες συσκευές, υπηρεσίες, σχέσεις/συνδέσμους και ροές εργασιών. Η αρχιτεκτονική που προτείνουμε, αποτελείται από τα επόμενα κύρια επίπεδα.

- **Front-end Διαχειριστής:** Βοηθάει στην επικοινωνία με το προτεινόμενο σύστημα σε ένα υψηλότερο επίπεδο, αφού περιλαμβάνει όλη την εννοιολογική αναπαράσταση των πραγμάτων σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης.
- **Επίπεδο Διαχείρισης και Συντήρησης:** Περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες μεθόδους και υπηρεσίες, που χρειάζονται για τη διαχείριση και συντήρηση του συστήματος.
- **Επίπεδο Επίγνωσης Πλαισίου:** Αυτό το επίπεδο είναι υπεύθυνο για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας, όσον αφορά στο απαραίτητο προσφερόμενο πλαίσιο. Ειδικά, καθορίζει τις υπομονάδες που παρέχουν τις υπηρεσίες παρουσίασης και συμπερασμού των αισθητήριων δεδομένων.
- **Μονάδα Επικοινωνίας Δικτύου:** Θεσπίζει τη μονάδα επικοινωνίας, ακολουθώντας τα απαραίτητα πρότυπα επικοινωνίας.
- **Επίπεδο Αισθητήρων:** Απαρτίζεται από δίκτυα αισθητήρων, φυσικά και εικονικά, τα οποία αποτελούν το επίπεδο αισθητήριων δεδομένων.

4.3.1 Front-end Διαχειριστής

Ο Front-end διαχειριστής μάς επιτρέπει να διαχειριστούμε τα διάφορα συμπλέγματα πραγμάτων σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης, αφού παρέχει μια υψηλού επιπέδου επισκόπηση του διατιθέμενου δικτύου. Αυτή η μονάδα είναι πολύ σημαντική, ειδικά σε περιπτώσεις όπου ο αριθμός των φυσικών/εικονικών αισθητήρων και τα αντίστοιχα συμπλέγματά τους αυξάνονται δυναμικά.



Εικόνα 32 Αρχιτεκτονική πλατφόρμας 5-επιπέδων

4.3.2 Επίπεδο Διαχείρισης και Συντήρησης

Το Επίπεδο Διαχείρισης και Συντήρησης (Administration and Maintenance Layer, AML) περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες υπηρεσίες και μεθόδους για τη συντήρηση του επιπέδου ανίχνευσης. Πιο συγκεκριμένα, το AML δεν στοχεύει στο να αποτελέσει λύση δικτύωσης ανάμεσα στους αισθητήρες, αλλά κατέχει έναν κεντρικό ρόλο διαχείρισης των διασυνδεδεμένων πραγμάτων. Επιπροσθέτως, είναι εξοπλισμένο με την κατάλληλη διεπαφή, με σκοπό να λαμβάνει αιτήσεις από το υψηλότερο επίπεδο της αρχιτεκτονικής (front-end agent). Ο front-end διαχειριστής διαχειρίζεται, απεικονίζει και ελέγχει το καθορισμένο δίκτυο, μέσω διαφόρων λειτουργιών που παρέχει. Κάποιες από αυτές τις λειτουργίες αφορούν υπηρεσίες που σχετίζονται με την επικοινωνία, για την πρόσθεση νέων πραγμάτων και τη γενικότερη διαχείριση της τοπολογίας δικτύου. Τέλος, είναι υπεύθυνο για την εξασφάλιση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών, όπως επίσης και για τη σωστή διαχείριση των πόρων του συστήματος.

Επιπλέον, το AML υλοποιεί ακόμα μια διασύνδεση, για την επικοινωνία με το χαμηλότερο επίπεδο της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής. Για να είναι αυτό εφικτό, η διεπαφή συνδέεται απευθείας με τη μονάδα Δικτύου Επικοινωνίας. Η μονάδα αυτή έχει δομηθεί βασιζόμενη σε διάφορες προδιαγραφές, όπως είναι ο τύπος των συνδεδεμένων πραγμάτων (φυσικοί/εικονικοί, ενσύρματοι/ασύρματοι αισθητήρες). Ουσιαστικά, ο ρόλος της διεπαφής είναι η αποστολή αιτήσεων του AML στο Επίπεδο Αισθητήρων, μέσω του επιπέδου της Επικοινωνίας Δικτύου.

Οι υπηρεσίες και οι διεργασίες, για τις οποίες είναι υπεύθυνη η μονάδα AML, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Διαχείριση των Πραγμάτων (Thing Management, TM): χειρίζεται τις μεθόδους που σχετίζονται με τη διαχείριση των πραγμάτων, όπως τη διαδικασία καταχώρησης ενός καινούργιου κόμβου ή τη διαχείριση ενός ήδη υπάρχοντος.
- Διαχείριση Τοπολογίας Δικτύου (Network Topology Management, NTM): μία μέθοδος για τη διατήρηση σύνθετων σχέσεων μεταξύ δικτυακών στοιχείων κόμβου, που αφορούν την τοπολογία τους.
- Παρακολούθηση/Καταγραφή Λαθών (Fault Monitoring, FM): εμπεριέχει όλες τις πληροφορίες σχετικά με την ανίχνευση δυσλειτουργιών του δικτύου και τις μεθόδους επιδιόρθωσης/επισκευής ή απομόνωσης των αντίστοιχων κόμβων.
- Παρακολούθηση Ενέργειας (Energy Monitoring, EM): ευθύνεται για την απεικόνιση των επιπέδων της ενέργειας των αισθητήρων.
- Διαχείριση ID (ID Management, IDM): στοχεύει στην εκχώρηση και ανάκτηση μοναδικών αναγνωριστικών σε κάθε απτό ή εικονικό αντικείμενο.
- Διαχείριση Προφίλ (Profile Management, PM): είναι μια από τις πιο σημαντικές υπηρεσίες στην AML, αφού επιτρέπει στο χρήστη να διαχειριστεί τα εννοιολογικά προφίλ που πραγματοποιούνται στο επίπεδο επίγνωσης πλαισίου.
- Διαχείριση Δεδομένων (Data Management, DM): περιλαμβάνει τις διαδικασίες και τις σχετικές πληροφορίες με την πρόσβαση των υψηλότερων επιπέδων της αρχιτεκτονικής στα δεδομένα των αισθητήρων.

4.3.3 Επίπεδο Επίγνωσης Πλαισίου

Το επίπεδο επίγνωσης πλαισίου παρέχει τις απαραίτητες υπομονάδες, ώστε να διασφαλίζει την ικανότητα να παράγει, να καταλαβαίνει και να συντηρεί την πληροφορία πλαισίου των πραγμάτων. Η πληροφορία πλαισίου θα πρέπει να αποκτηθεί, σχολιαστεί και αποθηκευτεί, ώστε να είναι διαθέσιμη όταν χρειαστεί. Γι' αυτόν το λόγο προσθέτουμε έναν καταχωρητή πλαισίων. Έτσι, το σύστημα μπορεί, όχι μόνο να διασφαλίσει την απαραίτητη διαλειτουργικότητα, αλλά επίσης να μετατρέψει τα μη επεξεργασμένα δεδομένα του επιπέδου ανίχνευσης σε γνώση για τα υψηλότερα επίπεδα. Τα επίκτητα πλαίσια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το συνδυασμό των δεδομένων των πραγμάτων, με σκοπό την εξαγωγή γνώσης.

Η διαδικασία που ακολουθεί η πληροφορία πλαισίου περιλαμβάνει δυο βήματα. Αρχικά, κατηγοριοποιείται το πλαίσιο σε κυρίως και δευτερεύον, βασιζόμενα στον τρόπο με τον οποίο λήφθηκε. Πιο συγκεκριμένα, ως κύρια πλαίσια χαρακτηρίζουμε τις πληροφορίες εκείνες, που δεν έχουν υποστεί κάποια διαδικασία συγχώνευσης δεδομένων. Επιπλέον, ως δευτερεύοντα

πλαίσια ορίζουμε εκείνα που έχουν κατασκευαστεί από τα κυρίως. Στη συνέχεια, διαχωρίζουμε την πληροφορία πλαισίου με βάση το σκοπό λειτουργίας του. Πιο συγκεκριμένα, τρεις δομές έχουν φτιαχτεί, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την παραγωγή και τη διαχείριση των αντίστοιχων πλαισίων. Κάθε μια από αυτές είναι συνδεδεμένη με υψηλότερα επίπεδα και παρέχουν την ουσιώδη πληροφορία σχετικά με τη μετάδοση δεδομένων, την αναπαράστασή τους και τη διαχείριση δικτύου. Τα χαρακτηριστικά αυτής της μονάδας οριθετούνται στις παρακάτω περιγραφές.

Μονάδα Δικτύου: Η μονάδα δικτύου μάς επιτρέπει να παρουσιάσουμε με μια αφηρημένη έννοια τα πράγματα, ανάλογα με τις λειτουργίες και τα λειτουργικά τους χαρακτηριστικά, με σκοπό την ανακάλυψη αποτελεσματικών αισθητήριων μεθόδων και υπηρεσιών προς τα υψηλότερα επίπεδα. Εκτός των άλλων, αυτή η μονάδα παρέχει και τις απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με τη συντήρηση και διαχείριση του δικτύου, με σκοπό οι πληροφορίες να διαβιβαστούν στο αντίστοιχο επίπεδο.

Μονάδα Μετάδοσης Δεδομένων: Η μονάδα μετάδοσης δεδομένων παρέχει την πληροφορία πλαισίου και την απαραίτητη ευφυία, σχετικά με τη μετάδοση δεδομένων στα άλλα επίπεδα. Ορίζουμε 3 τύπους μετάδοσης δεδομένων:

- Πραγματικού χρόνου: στην οποία τα δεδομένα μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο.
- Πυροδότηση προγραμματισμένων γεγονότων: στην οποία η μετάδοση των δεδομένων αρχίζει σε μια προγραμματισμένη χρονική στιγμή ή μετά από ένα συγκεκριμένο γεγονός.
- Πυροδότηση/ενεργοποίηση μετά από αίτηση: Θεωρείται πως η μετάδοση ξεκινάει μετά από αίτηση υψηλότερου επιπέδου.

Μονάδα Πληροφορίας: Η μονάδα πληροφορίας δηλώνει ένα μοντέλο για την παροχή πλαισίων πληροφορίας και την παρουσίαση δεδομένων, καθώς επίσης και των συνδέσεων ανάμεσά τους. Αυτό είναι εφικτό, χρησιμοποιώντας εκφραστικές γλώσσες αναπαράστασης γνώσης, όπως επίσης και την αντίστοιχη μηχανή εξαγωγής συμπερασμάτων.

4.3.4 Επίπεδο Επικοινωνίας Δικτύου

Το επίπεδο επικοινωνίας δικτύου είναι απευθείας συνδεδεμένο με το επίπεδο των αισθητήρων και είναι υπεύθυνο για την απόκτηση όλων των δεδομένων από ενσύρματους, ασύρματους, εικονικούς και φυσικούς αισθητήρες. Είναι δομημένο έτσι, ώστε να είναι δυνατή η επέκτασή του, με βάση καθορισμένα και ανοιχτά πρότυπα, όπου αυτό είναι δυνατό. Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας HL7 για την ανταλλαγή ιατρικών δεδομένων και την επικοινωνία μεταξύ ιατρικών συσκευών, X.509 πιστοποιητικά γνησιότητας, Bluetooth LE/Continua για μικρού μήκους μεταδόσεις δεδομένων κ.α., καθώς και για ιατρικά συστήματα ISO 13485, ως βάση για όλες τις ιατρικές εξελίξεις συσκευών και συμμορφώσεων κατά V-Modell, ISO 60601-1-4 και

ISO 62304.

Μεγάλης σημασίας για την πλατφόρμα που παρουσιάζουμε είναι η χρηστικότητα στους ηλικιωμένους ανθρώπους (ακόμα και σε εκείνους με κινητικά προβλήματα), που μπορεί να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με το ISO 9241 (1998) και όπου ορίζεται η χρηστικότητα ως: ο βαθμός στον οποίο ένα προϊόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από συγκεκριμένους χρήστες, ώστε να επιτύχουν συγκεκριμένους στόχους με αποτελεσματικότητα, αποδοτικότητα και ικανοποίηση.

Ένα άλλο συχνά χρησιμοποιούμενο πρότυπο επικοινωνίας στην οικιακή παρακολούθηση σε ΠΥΔ δομές είναι το πρότυπο IEEE 802.15 για δίκτυα αισθητήρων σώματος. Αυτά τα δίκτυα παρέχουν συνεχόμενη παρακολούθηση κάποιων φυσιολογικών παραμέτρων. Συνήθως, κάθε έξυπνος αισθητήρας αποτελείται από μια μονάδα ανίχνευσης (Acq), μια μονάδα επεξεργασίας (DSP) και ένα μεταδότη ραδιοσυχνοτήτων (RF), συνδεδεμένου ασύρματα στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων σώματος. Τα δεδομένα που συλλέγει, μπορεί να είναι παράμετροι, όπως οι HR, RR, ECG, SpO₂ τιμές, ECG πραγματικού χρόνου, θερμοκρασία, υγρασία, κ.α.

Το ISO IEEE 11073 (X73) είναι επίσης ένα πρότυπο, το οποίο η προτεινόμενη πλατφόρμα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν. Το συγκεκριμένο πρότυπο είναι βασισμένο σε μία μέθοδο συστήματος αντικειμενοστραφούς διαχείρισης. Ένα αντικειμενοστραφές μοντέλο δεδομένων, το μοντέλο πληροφόρησης τομέα (DIM), που ορίζεται στο ISO 1173-10201, χρησιμοποιείται για τον ορισμό συγκεκριμένων αντικειμένων και των γνωρισμάτων τους, την ομαδοποίηση των γνωρισμάτων αυτών, παρέχει αναφορές γεγονότων και τελικά καθορίζει τις υπηρεσίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία δεδομένων και να ρυθμίσουν την κατάσταση και τις λειτουργίες των υποστηριζόμενων συστημάτων [103].

Επιπλέον λαμβάνεται υπόψη στο δίκτυο μας, το πρότυπο 6LoWPAN, διότι είναι ένα ανοιχτό Internet Engineering Task Force (IETF) πρότυπο, του οποίου οι υλοποιήσεις συνεπάγονται λιγότερη πολυπλοκότητα, όπως για παράδειγμα συμβαίνει με το ZigBee. Το ZigBee είναι ένα IEEE 802.15.4 πρότυπο, με βάση το οποίο προδιαγράφεται μια σονίτα πρωτοκόλλων επικοινωνίας υψηλού επιπέδου, που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία προσωπικών δικτύων με μικρές και χαμηλής ισχύος ψηφιακές ραδιοσυχνότητες. Η εφαρμογή του συνηθίζεται στη συλλογή δεδομένων ιατρικών συσκευών, αλλά και σε άλλες εφαρμογές χαμηλής ισχύος και χαμηλής απαίτησης εύρους ζώνης.

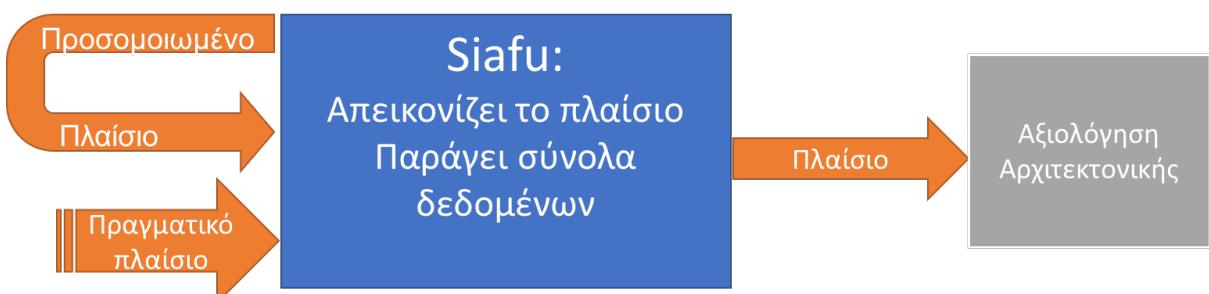
Συνοψίζοντας, το επίπεδο επικοινωνίας δικτύου αναλαμβάνει τα παραληφθέντα δεδομένα, που επεξεργάζονται από την υπομονάδα του RDF μεταφραστή, με σκοπό τη μετατροπή τους σε σημασιολογικά δεδομένα. Η κύρια λειτουργία του μεταφραστή RDF βασίζεται στα πρότυπα OGC [104], όπως είναι το «Παρατηρήσεις και Μετρήσεις» (O&M) πρότυπο και λαμβάνει υπόψη του το αντίστοιχο μηχανισμό συμπερασμού πλαισίου του επιπέδου επίγνωσης πλαισίου. Τα εξαγόμενα σημασιολογικά δεδομένα είναι αποθηκευμένα σε μια βάση RDF, η οποία είναι επεκτάσιμη και κατάλληλη για τη διαχείριση μαζικών δεδομένων, καθώς είναι και συμβατή με τις αντίστοιχες γλώσσες αναζήτησης, όπως η RDF Query Languages (SPARQL).

4.4 Αξιολόγηση της Προτεινόμενης Αρχιτεκτονικής

Στην ενότητα που ακολουθεί, περιγράφουμε τις προδιαγραφές του περιβάλλοντος εφαρμογής της προτεινόμενης πλατφόρμας, με σκοπό τη δοκιμή και τον έλεγχο της αρχιτεκτονικής της. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι η απαραίτητη ανάπτυξη έγινε σε Python, στηριζόμενη σε βιβλιοθήκες/modules, όπως Flask, Tkinter, Owl2ready, Rdflib, κ.α., με σκοπό τη διασύνδεση υπαρχουσών λύσεων, ώστε να αξιολογηθεί η προτεινόμενη 5-επιπέδων αρχιτεκτονική σε συγκεκριμένα σενάρια.

Επίσης, λόγω της περιορισμένης πρόσβασης σε φυσικές δομές με τις επιθυμητές προδιαγραφές (πολλαπλές δομές ΥΠΔ, ετερογενείς φυσικοί και εικονικοί αισθητήρες), χρησιμοποιήθηκε μια υβριδική προσέγγιση, κατά την οποία ένας προσομοιωτής πλαισίων συνδυάστηκε με εικονικούς και φυσικούς αισθητήρες σε διάφορα επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε τον προσομοιωτή πλαισίου SIAFU που βασίζεται σε JAVA [105], ο οποίος μας επιτρέπει να δημιουργήσουμε εικονικά τις επιθυμητές δομές ΠΥΔ με τις κατάλληλες προδιαγραφές. Πιο συγκεκριμένα, μπορούμε να ορίσουμε τελικούς χρήστες, οι οποίοι στην προκειμένη περίπτωση είναι ηλικιωμένοι άνθρωποι. Προδιαγράψαμε δοκιμαστικά σενάρια για την προσομοίωση δραστηριοτήτων μέσα στο περιβάλλον του συστήματος.

Στο υβριδικό μας περιβάλλον, μερικά κύρια πλαίσια παρήχθησαν απευθείας από τον προσομοιωτή και κάποια άλλα από τους εικονικούς/φυσικούς αισθητήρες, που συνδέονται στο επίπεδο επικοινωνίας δικτύου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 33. Για την αποθήκευση των RDF εφαρμόσαμε μια υβριδική βάση δεδομένων, που ονομάζεται Virtuoso, η οποία είναι ικανή να διαχειρίζεται RDF δεδομένα και να δρα και ως ένα SPARQL τερματικό.



Εικόνα 33 Υβριδικό σύστημα προσομοίωσης πλαισίου Siafu

Πιο συγκεκριμένα, υλοποιήσαμε μερικούς φυσικούς αισθητήρες, με σκοπό να καταγράψουμε πραγματικά δεδομένα. Αρχικά ενσωματώσαμε αισθητήρες θερμοκρασίας, φωτός, υγρασίας, RFID ετικέτες και την αντίστοιχη συσκευή ανάγνωσης, συνδεδεμένη στην πλατφόρμα μέσω ενός Arduino, εξοπλισμένο με την κατάλληλη ZigBee μονάδα επικοινωνίας. Στη συνέχεια, ενσωματώσαμε VO₂, BVP και θερμοκρασία δέρματος, τα οποία συνδέθηκαν στην πλατφόρμα

μέσω ενός NodeMCU, και το αντίστοιχο ολοκληρωμένο ESP8266-12E για ασύρματη σύνδεση στα 802.11b/g. Οι διασυνδεδεμένοι αισθητήρες και οι προδιαγραφές τους παρατίθενται στον Πίνακας 15.

Measure	Sensor	Cardinality	Network Standard	Characteristics
Temperature	Digital Temperature Sensor- DS18B20	2	802.15.4	Measure degrees C with 9 to 12-bit precision, -55C to 125C (+/-0.5C)
Light	TEMT6000	2	802.15.4	Range: 0–1847 lux
RFID READER	RFR101A1M	1	802.15.4	Frequency=125KHz, Operating range>50mm
Humidity & Temperature	SEN51035P	2	802.15.4	Humidity 5% -99% RH Temperature 40- 80°C
SPO₂	Valencell	1	802.11	
BVP	Valencell	1	802.11	
IR skin temperature	Texas Instrument	1	802.11	

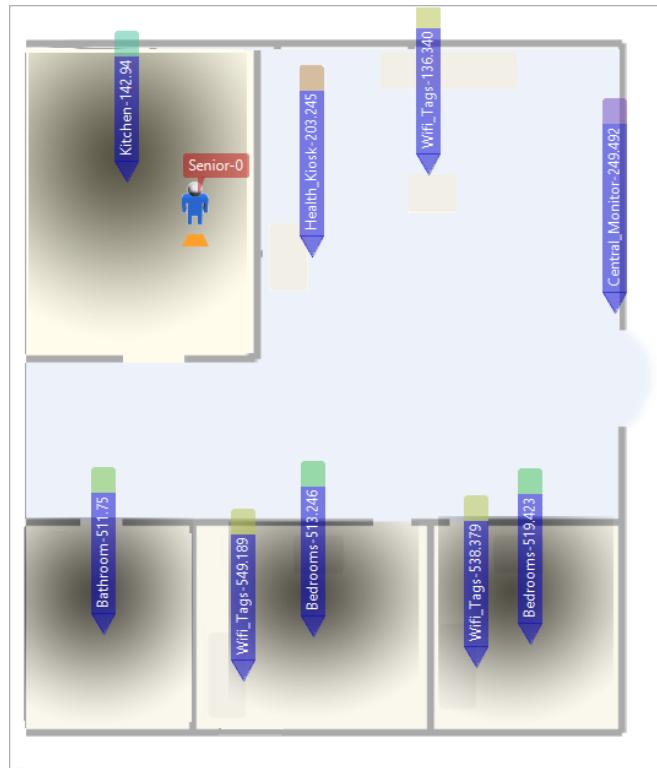
Πίνακας 15 Χαρακτηριστικά των αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν

Σε αυτό το σημείο, είναι χρήσιμο να αναφέρουμε ότι ο σκοπός της υλοποίησης αυτής δεν είναι η μελέτη των μεθοδολογιών πλοήγησης, εντοπισμού, τηλεπαρακολούθησης και των αλγορίθμων αξιολόγησης κινδύνου πτώσεων, αλλά μόνο η δοκιμή συγκεκριμένων σεναρίων, για την αξιολόγηση διαφορετικών πτυχών της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής.

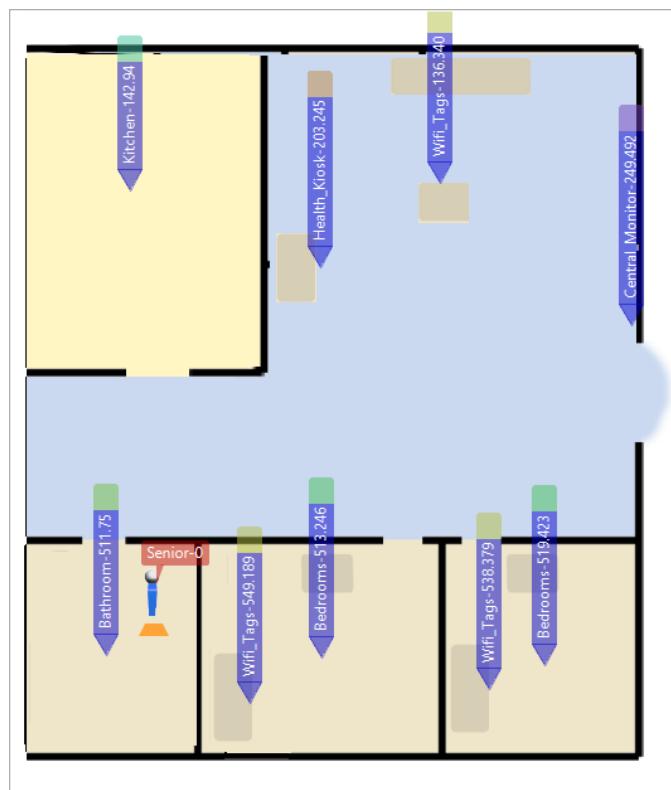
Βασιζόμενοι στα σενάρια που περιγράφονται στη συνέχεια του κεφαλαίου, ενσωματώνουμε μεθοδολογίες και αλγορίθμους όπου απαιτούνται και έχουν ήδη αναπτυχθεί και δημοσιοποιηθεί σε προηγούμενες μελέτες. Πιο συγκεκριμένα, προσαρμόζουμε καταλλήλως και αναπτύσσουμε τον αλγόριθμο εντοπισμού και πλοήγησης που περιεγράφηκε στο Κεφάλαιο 2, ο οποίος βασίζεται στην τεχνολογία RFID και την αξιολόγηση κινδύνου πτώσης [106] μέσω αισθητήρων δόνησης στο πάτωμα. Επιπλέον, ενσωματώσαμε έναν αριθμό από ηλεκτρονικές υπηρεσίες δικτύου για να χρησιμοποιηθούν ως εικονικοί αισθητήρες, όπως μετρήσεις για τον καιρό από το Wunderground, οι οποίοι ανιχνεύουν τα σχετικά δεδομένα και παρέχουν το κατάλληλο πλαίσιο.

Στις Εικόνα 34 και Εικόνα 35, και Εικόνα 36 φαίνεται η διασύνδεση του προσομοιωμένου χώρου, που απεικονίζει α) την ΥΠΔ δομή που περιέχει τις κατάλληλες εγκαταστάσεις κτιρίου με κάποια σημεία ενδιαφέροντος, όπως είναι η μονάδα υγείας, η κεντρική οθόνη κ.α., όπως φαίνεται στην Εικόνα 34, β) τις τοποθεσίες στις οποίες ένας ηλικιωμένος είναι πιο πιθανό να υποστεί μια πτώση, όπως για παράδειγμα το μπάνιο, που απεικονίζονται στην Εικόνα 35, γ) κάποιους από τους αισθητήρες που προσομοιώνονται, π.χ. τους αισθητήρες δόνησης στο

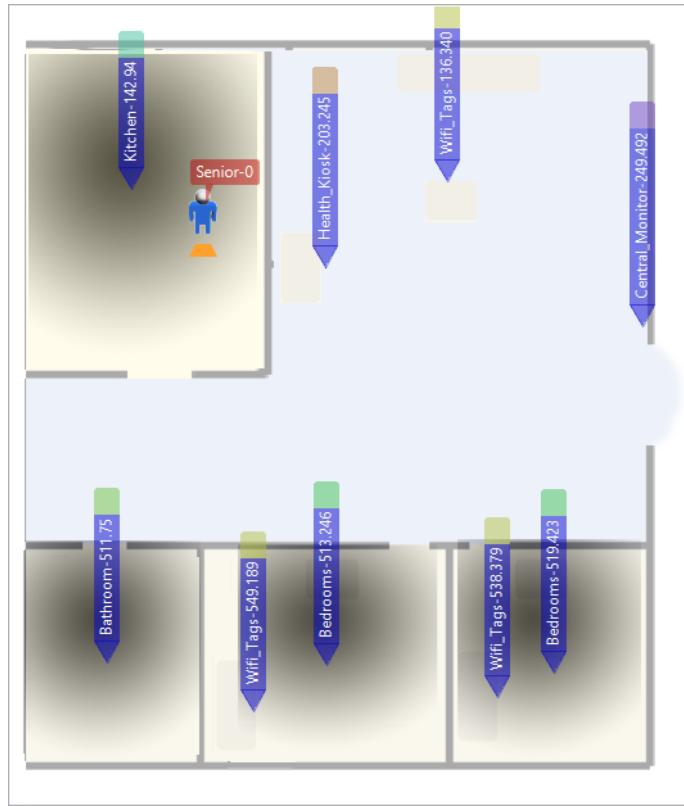
πάτωμα, όπου και φαίνεται η διάταξη και το πεδίο εμβέλειας τους στην Εικόνα 36.



Εικόνα 34 Προσομοίωση μιας ΥΠΔ δομής



Εικόνα 35 Τοποθεσίες υψηλού κινδύνου για πτώση



Εικόνα 36 Προσομοίωση αισθητήρων δόνησης

Επιπρόσθετα, με σκοπό την εξαγωγή της απαραίτητης γνώσης, υιοθετούμε μια μοντέρνα γλώσσα αναπαράστασης γνώσης, που βασίζεται στα αντικείμενα, την OWL2. Το πρότυπο αυτό παρέχει μια οικογένεια γλωσσών, όπως η OWL-DL, οι οποίες είναι εξοπλισμένες με την απαραίτητη εκφραστικότητα και τα κατάλληλα εργαλεία συμπερασμού.

Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκε η Semantic Sensor Network Ontology (SSNO) (όπως αναφέραμε στο Κεφάλαιο 3), που περιγράφει τις δυνατότητες των αισθητήρων, τη μέθοδο εξαγωγής μετρήσεων και τα εξαγόμενα συμπεράσματα. Επιπρόσθετα, μπορεί εκτός των άλλων να συγχωνευτεί και με άλλες μεθόδους οντολογιών.

Συγκεκριμένα η SSNO χρησιμοποιήθηκε στο επίπεδο επίγνωσης πλαισίου, με στόχο να παρέχει την απαραίτητη επισήμανση στον RDF μεταφραστή, που είναι υπεύθυνος για την αποθήκευση των λαμβανόμενων δεδομένων ως RDF τρίλεπτες. Όλη η πληροφορία για ένα σχήμα (κλάσεις, υποκλάσεις, υποϊδιότητες, πεδίο ορισμού και πεδίο τιμών, κλπ.) εκφράζεται σε τριπλέτες.

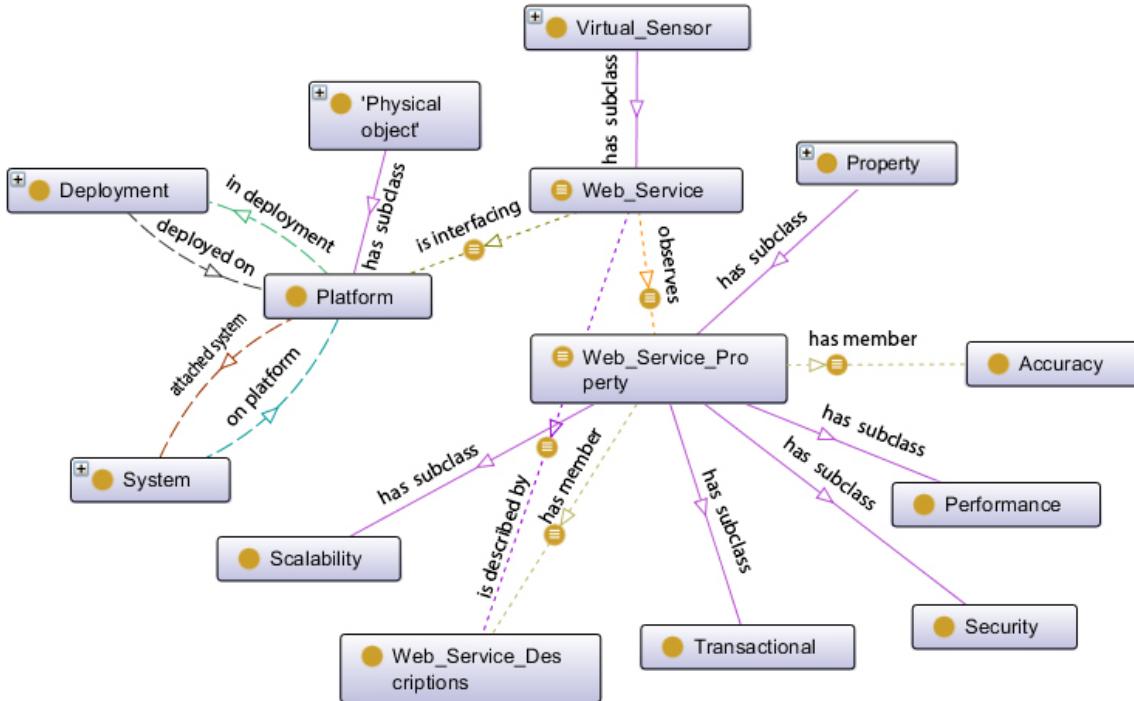
Αν και η SNN θεωρείται ότι είναι η πιο ολοκληρωμένη σημασιολογική οντολογία αισθητήρων, παρ' όλα αυτά, δεν καλύπτει τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής. Δεν περιέχει τάξεις και ιδιότητες, ικανές να περιγράψουν τις ενσωματωμένες δικτυακές

υπηρεσίες της πλατφόρμας, ως εικονικούς αισθητήρες. Γι' αυτόν το λόγο, ενσωματώνουμε στην SSNO την προέκταση που απεικονίζεται στην Εικόνα 37, η οποία περιέχει τις τάξεις:

- Εικονικός Αισθητήρας: είναι μια συσκευή ανίχνευσης, που ανιχνεύει εικονικά.
- Υπηρεσία Διαδικτύου: είναι μια συσκευή ανίχνευσης, που ανιχνεύει εικονικά, μέσω μιας υπηρεσίας δικτύου.
- Περιγραφή Υπηρεσίας Δικτύου: περιλαμβάνει όλες τις περιγραφές της υπηρεσίας δικτύου.
- Ιδιότητα Υπηρεσίας Διαδικτύου: περιλαμβάνει τις ακόλουθες ιδιότητες υπηρεσιών δικτύου:
 - Ασφάλεια: δηλώνει την ικανότητα μιας υπηρεσίας να παρέχει επαλήθευση, άδεια, προστασία προσωπικών δεδομένων, ανιχνευσιμότητα, κρυπτογράφηση και δυνατότητα μη-άρνησης (non-negation).
 - Συναλλαγή: αντιπροσωπεύει τις μεταβιβάσιμες ιδιότητες της υπηρεσίας.
 - Απόδοση: αντιπροσωπεύει το πόσο γρήγορα μια αίτηση υπηρεσίας μπορεί να ολοκληρωθεί.
 - Επεκτασιμότητα: αντιπροσωπεύει τη δυνατότητα της υπηρεσίας να ολοκληρώσει περισσότερες αιτήσεις σε ένα συγκεκριμένο ενδιάμεσο χρονικό διάστημα.

Επιπροσθέτως, η ιδιότητα διασύνδεσης έχει προστεθεί για να εκφράσει το γεγονός ότι ο κόμβος «Υπηρεσία Διαδικτύου» συνδέει μια πλατφόρμα.

Έχοντας όλα τα παραπάνω ενσωματωμένα, προσομοιώσαμε διάφορα προγραμματισμένα γεγονότα στο πλαίσιο των συγκεκριμένων σεναρίων, με σκοπό να δοκιμάσουμε την προτεινόμενη αρχιτεκτονική. Πιο συγκεκριμένα, ελέγχαμε το σύστημα όσον αφορά στην ικανότητα να διαχειριστεί τα κυρίως και τα δευτερεύοντα πλαίσια, όπως και την ευελιξία και επεκτασιμότητα στη διαχείριση και συντήρηση του ιδρυόμενου δικτύου. Τα αποτελέσματα των δοκιμών του συστήματος παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.



Εικόνα 37 Επέκταση δικτύου της SSNO

4.4.1 Σενάρια Αξιολόγησης

Τα σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν για να δοκιμάσουμε το σύστημά μας είναι τα εξής:

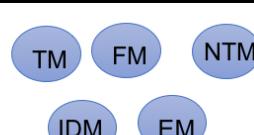
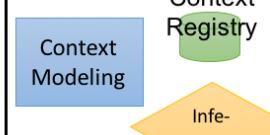
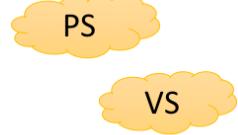
Ο Γιώργος είναι 85 χρονών και μένει μόνος του. Ένας φροντιστής έχει οριστεί να τον επισκέπτεται μια φορά την εβδομάδα. Επίσης, ο Γιώργος έχει δυσκολία στο να βρίσκει τα αντικείμενα καθημερινής χρήσης, όπως είναι τα κλειδιά, τα γυαλιά και το κινητό του τηλέφωνο. Ακόμη, ο Γιώργος χρειάζεται περιοδικά να κάνει τηλε-παρακολούθηση των βιοσημάτων του και να ενημερώνει την ηλεκτρονική καρτέλα υγείας του. Η πλατφόρμα κάνει τη ζωή του Γιώργου πιο εύκολη, αφού λαμβάνει ειδοποιήσεις σχετικά με την κατάσταση υγείας του, όπως επίσης και για τις προγραμματισμένες συναντήσεις με το γενικό του ιατρό.

Η Νίκη είναι 44 χρονών και πριν από λίγα χρόνια βίωσε ένα αυτοκινητιστικό ατύχημα. Μένει μόνη της και για να φέρνει εις πέρας τις καθημερινές δουλειές στο σπίτι, χρειάζεται βοήθεια, αφού η κινητικότητά της είναι περιορισμένη. Η πλατφόρμα τής επιτρέπει να διασφαλίζει την ανεξαρτησία της στο σπίτι, βελτιστοποιώντας τις κινήσεις της, με βάση το που είναι τοποθετημένα αρκετά από τα αντικείμενα που χρησιμοποιεί συχνά. Επίσης, οι ενσωματωμένοι αισθητήρες στο έδαφος ανιχνεύουν οποιαδήποτε πτώση σημειώθει.

Ο Πίνακας 16 απεικονίζει για κάθε επίπεδο πώς οι περιπτώσεις που εξετάστηκαν πιο πάνω, του Γιώργου και της Νίκης, ενσωματώθηκαν και εφαρμόστηκαν στην πλατφόρμα αρχιτεκτονικής που προτείνουμε. Όμοια, παρουσιάζει περιγραφικά για κάθε επίπεδο, τα βασικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής που υλοποιήθηκαν και τις αντίστοιχες εξόδους, όπου αυτές υπήρχαν. Με τα συγκεκριμένα σενάρια καταφέραμε να αξιολογήσουμε την ικανότητα

της πλατφόρμας να παρέχει τα απαραίτητα πλαίσια σε υψηλότερα επίπεδα, με σκοπό οι χρήστες να λαμβάνουν τις επιθυμητές υπηρεσίες.

Επιπροσθέτως, κατά τη διαδικασία αξιολόγησης, η προτεινόμενη πλατφόρμα αξιολογήθηκε ως προς την αξιολόγηση του δικτύου και τη διαχείριση και συντήρηση των πλαισίων. Προσδιορίσαμε και πραγματοποιήσαμε στην πράξη τα σενάρια αρκετές φορές, με σκοπό την αξιολόγηση διαφορετικών πτυχών του συστήματος κάθε φορά, όπως τη διαχείριση πλαισίου (CM), την επεκτασιμότητα (NS) και την ευελιξία διαχείρισης δικτύου (NFM).

	Σενάριο: Γιώργος	Σενάριο: Νίκη	
Front-end Agent	<ul style="list-style-type: none"> Λαμβάνει ειδοποιήσεις για την κατάσταση της υγείας Λαμβάνει κοινοποίησεις για το προγραμματισμένο ραντεβού του με το Γενικό Ιατρό του 	Applications 	
Adm\ition and Main\ce Layer	<ul style="list-style-type: none"> Αρχική εγκατάσταση του δικτύου <ul style="list-style-type: none"> Προσθήκη / Διαγραφή / Αντικατάσταση ετικετών RFID Πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της ενέργειας και δυσλειτουργίας του δικτύου 		
Context Awareness Layer	<p>Κύριο Πλαίσιο: εντοπισμός, ταυτότητα και χρόνος, αναγνώριση πτώσης Δευτερεύον Πλαίσιο: Γειτονικά αντικείμενα Κατάσταση υγείας</p>		<p>Κύριο Πλαίσιο: Εντοπισμός θέσης, ταυτότητα και χρόνος, αναγνώριση πτώσης Δευτερεύον Πλαίσιο:</p> <ul style="list-style-type: none"> Δραστηριότητα Δραστηριότητα πριν την πτώση
Network Com\ation Layer	<p>Πρωτόκολλα Επικοινωνίας:</p> <ul style="list-style-type: none"> Wi-Fi Zigbee EPCglobal <p>RDF Translator:</p> <ul style="list-style-type: none"> Python script λαμβάνοντας υπόψη τις επισημάνσεις πλαισίου από CA στρώμα 		<p>Πρωτόκολλα Επικοινωνίας:</p> <ul style="list-style-type: none"> Wi-Fi Zigbee EPCglobal <p>RDF Translator:</p> <ul style="list-style-type: none"> Python script λαμβάνοντας υπόψη τις επισημάνσεις πλαισίου από CA στρώμα
Sensing Layer	<p>Φυσικός Αισθητήρας:</p> <ul style="list-style-type: none"> RFID ετικέτες επισυναπτόμενες σε καθημερινά αντικείμενα Κινητό RFID Αναγνώστη <p>Εικονικός αισθητήρας:</p> <ul style="list-style-type: none"> Μετρήσεις καιρού 		<p>Φυσικός Αισθητήρας:</p> <ul style="list-style-type: none"> RFID ετικέτες επισυναπτόμενες σε καθημερινά αντικείμενα <ul style="list-style-type: none"> Κινητό RFID Αναγνώστη <p>Εικονικός αισθητήρας:</p> <ul style="list-style-type: none"> Αισθητήρας Θερμοκρασίας <ul style="list-style-type: none"> Αισθητήρας Φωτός

Πίνακας 16 Σενάρια πιθανών χρηστών

Τα πιο αντιπροσωπευτικά σενάρια που εξετάστηκαν σε σχέση με τις αντίστοιχες δράσεις, απεικονίζονται στον Πίνακας 17. Φαίνονται τα επίπεδα της αρχιτεκτονικής και οι μονάδες/υπηρεσίες, που είναι υπεύθυνες για την κάθε δράση. Η αξιολόγησή μας δεν περιλαμβάνει σενάρια σχετικά με τη διεπαφή του χρήστη, αφού αυτό ανήκει στο front-end

επίπεδο. Η πλατφόρμα στοχεύει στο να παρέχει την απαραίτητη επίγνωση πλαισίου και τις υπηρεσίες ανεξαρτήτων τελικών εφαρμογών.

<i>Actions</i>	<i>Aspects</i>
<i>Setup a new physical sensor</i>	NS,NFM
<i>Setup a virtual sensor (primary's healthcare web services)</i>	NS, NFM
<i>Random sensor's disconnections</i>	NS, NFM
<i>Query sensor profile capabilities and specifications</i>	NFM
<i>Query the transmission profile of a sensor</i>	NFM
<i>Group sensors based on their capabilities</i>	NFM
<i>Initiate communication between sensor and ABLE</i>	NFM
<i>Change transmission profile of a sensor</i>	NFM
<i>Add new rules in RDF translator</i>	CM
<i>Expand context aware models</i>	CM
<i>Query context aware alerts</i>	CM
<i>Manage life cycle of context</i>	CM

Πίνακας 17 Διερευνηθέντες Δυνατότητες

Επιπλέον, εξετάζοντας τις συγκεκριμένες περιπτώσεις χρηστών μεταξύ άλλων, πετύχαμε να αποτιμήσουμε όλη την προτεινομένη αρχιτεκτονική και υλοποίηση και να συμπεράνουμε ότι το προτεινόμενο σύστημα προσφέρει την απαραίτητη διαχείριση, επεκτασιμότητα και διαλειτουργικότητα, με στόχο την ικανοποίηση των τεχνικών χαρακτηριστικών της διάχυτης τηλεπισκόπησης.

4.5 Συζήτηση – Συμπεράσματα

Τα τελευταία χρόνια, η εύρεση μιας αποτελεσματικής και κατάλληλης ιατρικής περίθαλψης για ηλικιωμένους και για άτομα με κάποια αναπηρία, αποτελεί ένα σημαντικό στόχο. Σκοπός της τεχνολογίας της πληροφορίας και των επικοινωνιών, είναι να κατευθύνει τις νέες τεχνολογίες προς το ιατρικό περιβάλλον, ώστε να προσφέρει καλύτερη διαχείριση σε μια αναπτυγμένη και βελτιωμένη κλινική διαδικασία. Η συνεισφορά μας ήταν να εισάγουμε μια νέα καινοτόμα ευφυή αρχιτεκτονική, βασισμένη στις ανάγκες της διάχυτης τηλεπισκόπησης σε ένα ΥΠΔ, ώστε να πετύχουμε μια κάλυψη με τον ασθενή, τους αισθητήρες και το καθετί που τον περιβάλλει.

Κυρίαρχος στόχος αυτού του κεφαλαίου, μέσω της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής, είναι να εξασφαλίσει την παροχή της απαραίτητης επίγνωσης πλαισίου, ώστε να κάνει τη ζωή του ασθενούς ευκολότερη και την κλινική διαδικασία πιο αποτελεσματική. Για να είναι αυτό

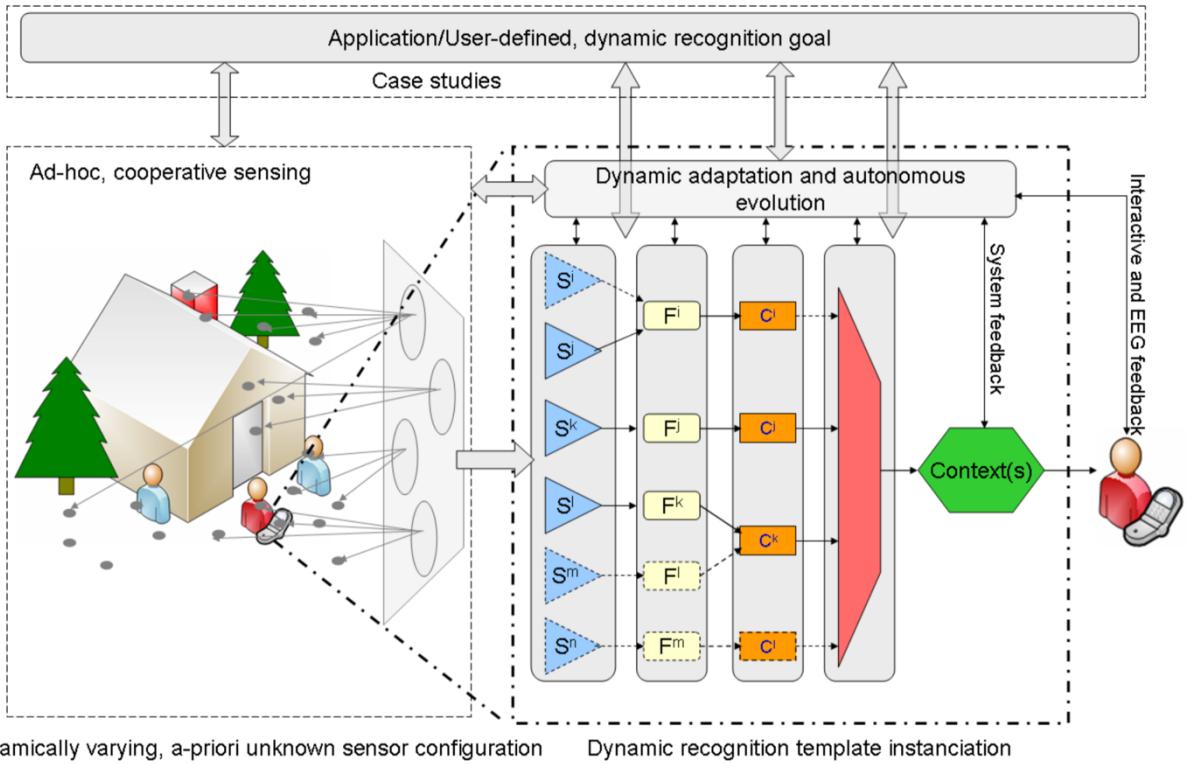
εφικτό, ελήφθησαν υπόψιν στο σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής, χαρακτηριστικά και τεχνολογίες, που προσφέρουν δυνατότητες σε διαφορετικά επίπεδα και μεγάλη ευελιξία στις επικοινωνίες, την παρακολούθηση και τον έλεγχο.

Κεφάλαιο 5

Σύνολο Δεδομένων Δραστηριότητας σε Περιβάλλοντα Διάχυτης Τηλεπισκόπησης

Στο παρόν κεφάλαιο μελετάται και αναλύεται το σύνολο των δεδομένων, που χρησιμοποιούνται στη συνέχεια της διατριβής (βλ. Κεφάλαιο 6 και 7). Σκοπός της ανάλυσης είναι η κατανόηση της δομής των δεδομένων και του πλαισίου που παράγεται από αυτά. Επίσης, αξιολογούνται η ποιότητα και ο τρόπος με τον οποίο προκύπτουν τα δεδομένα από ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης, ενσωματώνοντας έναν πολύ μεγάλο αριθμό αισθητήρων στο χρήστη και σε «καθημερινά αντικείμενα». Τέλος, λαμβάνεται υπόψιν και το γεγονός ότι τα καθημερινά αντικείμενα πρέπει να είναι ανάλογα με αυτά ενός περιβάλλοντος υποβοηθούμενης διαβίωσης (ΠΥΔ).

Το προς μελέτη σύνολο δεδομένων προέκυψε από το ερευνητικό πρόγραμμα «OPPORTUNITY», το οποίο χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση στα πλαίσια Framework Programme 7 (FP7) και είχε σκοπό την ανάπτυξη συστημάτων, ικανών να αναγνωρίζουν την ανθρώπινη δραστηριότητα μέσω οπορτουνιστικών διατάξεων αισθητήρων [107]. Οραματίστηκε σημαντικές εξελίξεις στα αυτο-οργανωμένα δίκτυα αισθητήρων, στις οπορτουνιστικές μεθόδους αναγνώρισης πλαισίων, αλλά και στην αυτόνομη προσαρμογή, όπως φαίνεται και στην παρακάτω Εικόνα 39.



Εικόνα 38 Το σύστημα OPPORTUNITY[108]

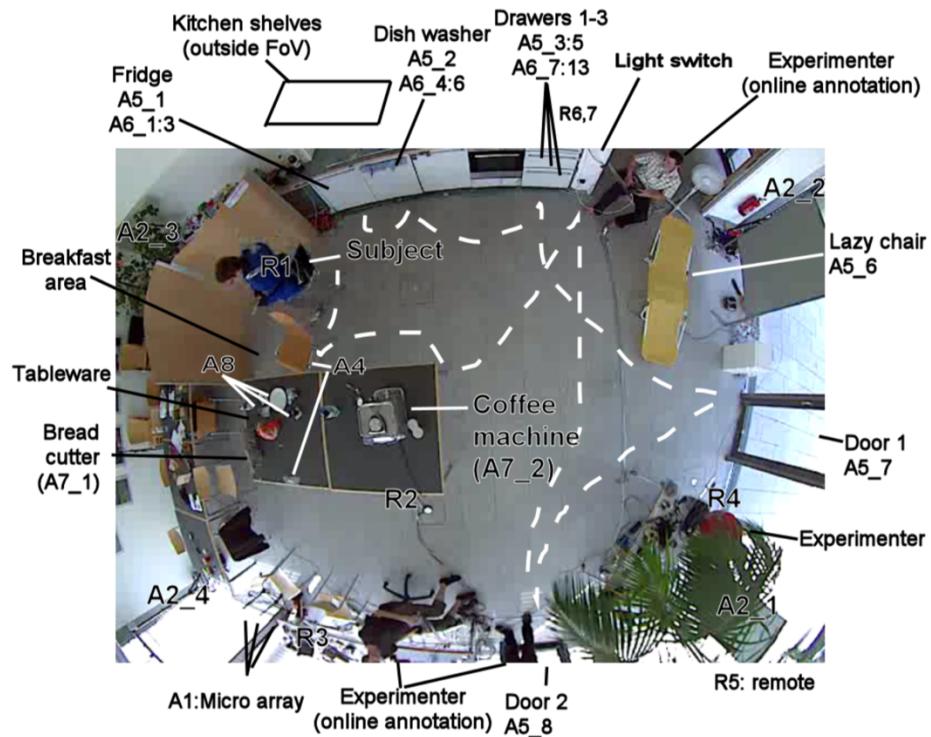
Σε ένα σύνολο δεδομένων προερχόμενο από ένα μεγάλο αριθμό αισθητήρων, όπως είναι αυτοί του OPPORTUNITY, οι μέθοδοι κατηγοριοποίησης δραστηριοτήτων θα πρέπει να είναι εύρωστοι και να προσαρμόζονται δυναμικά σε πιθανές μεταβολές των σημάτων. Έχει αποδειχτεί ότι η προσαρμογή της αναγνώρισης μιας δραστηριότητας σε μικρές αλλαγές των αισθητήρων που είναι τοποθετημένοι στο σώμα [109], είναι τελικά εφικτή με την χρήση τεχνικών χωρίς επίβλεψη.

Είναι επίσης γνωστό ότι οι αισθητήρες σώματος μπορούν αυτόνομα να αναγνωρίσουν την θέση στην οποία είναι τοποθετημένοι [110] αλλά και κατ' επέκτασιν την τοποθεσία τους μέσα σε ένα περιβάλλον [111] όπως αυτό του ΠΥΔ. Επίσης, σε ένα αυτόνομο σύστημα είναι πιθανή η αυτό-βελτίωση, χρησιμοποιώντας ελάχιστη ή και καθόλου παρέμβαση από τον χρήστη οδηγώντας έτσι σε διάφορες προσαρμοστικές μεθόδους, όπως αυτές που αναλύονται από τους Förster, K., et al [112].

5.1 Σενάρια Εφαρμογής Δραστηριοτήτων και Διάταξη Πειράματος

Το σενάριο εφαρμογής σχεδιάστηκε από τους ερευνητές με τέτοιον τρόπο, ώστε να παραχθούν όσο το δυνατόν περισσότερες πρωτογενείς δραστηριότητες με ένα ρεαλιστικό τρόπο. Η ανθρώπινη συμπεριφορά στην καθημερινή ζωή δεν περιλαμβάνεται μέσα σε αυτές, διότι

υπάρχουν άλλα σύνολα δεδομένων για το σκοπό αυτό. Επίσης, η ανάγκη για μια πολύτροπη διάταξη, την καθιστά μη πρακτική για τη συνεχόμενη και επί εβδομάδες χρήση, οδηγώντας σε ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια. Αντ' αυτού, σκοπός της διάταξης παρέμεινε η μεγιστοποίηση του αριθμού των διαφορετικών δραστηριοτήτων που μπορούν να συλλεχθούν, κρατώντας την εκτέλεσή τους σε φυσικά επίπεδα. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα υψηλού επιπέδου σενάριο, αφήνοντας στους χρήστες την ελεύθερη απόδοσή του, αλλά και ενθαρρύνοντάς τους να εκτελέσουν τις δραστηριότητες με φυσικό τρόπο και συμπεριλαμβανομένων όλων των προσωπικών συνηθειών τους. Τα πειράματα διεξήχθησαν σε ένα δωμάτιο, το οποίο προσομοίωνε ένα διαμέρισμα μεγέθους στούντιο, εξοπλισμένο με μία πολυθρόνα, κουζίνα, πόρτες με πρόσβαση στον εξωτερικό χώρο, μια μηχανή του καφέ, ένα τραπέζι και μια καρέκλα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 40.



Εικόνα 39 Το δωμάτιο εξοπλισμένο με πληθώρα αισθητήρων από ψηλά [108]

Με σκοπό την προσομοίωση των παραμέτρων των αισθητήρων, απαιτήθηκε το περιβάλλον να είναι εξοπλισμένο με πολυάριθμους αισθητήρες και με τέτοιον τρόπο, ώστε όλες οι δραστηριότητες να ανιχνεύονται ταυτόχρονα από πολλαπλούς αισθητήρες. Αυτό είναι επιθυμητό, επειδή πολλαπλοί αισθητήρες σε κοντινές αποστάσεις επιτρέπουν την καλύτερη μελέτη της ανθεκτικότητας σχετικά με τις μεταβαλλόμενες τοποθεσίες αυτών και προσομοιώνουν με τον καλύτερο τρόπο τη διάχυτη τηλεπισκόπηση. Επίσης, οι πληροφορίες που σχετίζονται με την ίδια συνηθισμένη δραστηριότητα και ανιχνεύονται από διαφορετικού

τύπου αισθητήρες, επιτρέπουν τη μελέτη μιας πιθανής δυναμικής αντικατάστασης του ενός τύπου από τον άλλο. Τέλος, η χρήση πολλαπλών αισθητήρων που ανήκουν σε διαφορετικά συστήματα εντός του ΠΥΔ, αλλά είναι του ίδιου τύπου, επιτρέπουν μια πιο ολοκληρωμένη εκτίμηση της αρχικοποίησης στην οποία υποβάλλονται, της διακριτικής ικανότητας που αποκτούν, καθώς και των μεταβολών του ρυθμού δειγματοληψίας στις οποίες υπόκεινται. Γι' αυτόν το σκοπό, αναπτύχθηκαν και υλοποιήθηκαν πολλαπλά ασύρματα και ενσύρματα συστήματα δικτύων αισθητήρων σε μικρές μεταξύ τους αποστάσεις. Κάτι τέτοιο έχει ως αποτέλεσμα, μια πολύπλοκη διάταξη αισθητήρων, τόσο πάνω στον εκάστοτε εθελοντή, όσο και σε καθημερινά αντικείμενα, που προσομοιώνουν όσο το δυνατόν καλύτερα την εφαρμογή της διάχυτης τηλεπισκόπησης σε ένα ΠΥΔ.

5.1.1 Σενάριο Εφαρμογής

Κάθε εθελοντής πραγματοποίησε 5 φορές μια καθημερινή δραστηριότητα (activity of daily living, ADL), με το όνομα «ADL run», και μια «ADL drill run», σχεδιασμένες έτσι, ώστε να παράγουν ένα μεγάλο αριθμό από επιμέρους δραστηριότητες. Η ADL run αποτελείται από προσωρινές εξελιχθείσες καταστάσεις. Η κάθε γενικότερη κατάσταση (π.χ. ετοίμασε τοστ), αποτελείται, όχι μόνο από σύνθετες (π.χ. κόβοντας το ψωμί), αλλά και από μικρότερες ατομικές (π.χ. πιάσιμο ψωμιού, μετακίνηση στο σημείο όπου βρίσκεται το μαχαίρι, εκτέλεση κοψίματος ψωμιού) δραστηριότητες. Αυτό επιτρέπει την πιο διεξοδική μελέτη των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα, αφού δύναται η επιλογή να διαχωριστούν σε επιμέρους στάδια και να εξετασθούν ως ξεχωριστά επίπεδα.

- **ADL run:** Η πρώτη κατηγορία δραστηριοτήτων που διεξήχθη, είναι η ADL run, η οποία αποτελείται από την εξής ακολουθία δραστηριοτήτων για τον κάθε εθελοντή:
 - 1) Εκκίνηση: Είναι ξαπλωμένος στην πολυθρόνα και καλείται να σηκωθεί.
 - 2) Περιπλάνηση: Περιπλανείται στο δωμάτιο, τσεκάροντας αν όλα τα αντικείμενα είναι στα σωστά σημεία, όπως μέσα στα συρτάρια και πάνω στα ράφια.
 - 3) Χαλάρωση: Πάει έξω και κάνει μια βόλτα γύρω από το κτίριο.
 - 4) Ετοιμασία καφέ: Ετοιμάζει έναν καφέ με ζάχαρη και γάλα χρησιμοποιώντας τη μηχανή του καφέ.
 - 5) Κατανάλωση του καφέ: Πίνει τον καφέ που ετοίμασε, με το δικό του φυσικό και προσωπικό τρόπο
 - 6) Ετοιμασία τοστ: Ετοιμάζει το τοστ με ψωμί, τυρί και σαλάμι, χρησιμοποιώντας το μαχαίρι του ψωμιού και όσα άλλα εργαλεία και πιάτα χρειάζεται
 - 7) Κατανάλωση τοστ: Τρώει το τοστ που ετοίμασε, με το δικό του φυσικό και προσωπικό τρόπο.

- 8) Καθαρισμός: Τοποθετεί τα χρησιμοποιημένα αντικείμενα στις θέσεις τους ή στο πλυντήριο πιάτων και στη συνέχεια καθαρίζει το τραπέζι.
- 9) Διάλειμμα: Ξαπλώνει στην πολυθρόνα.

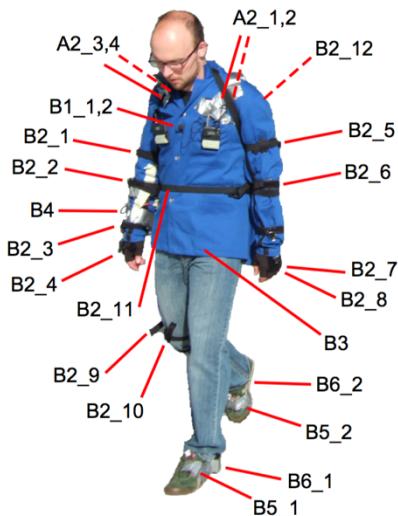
Σε ένα ακόμα πιο περιεκτικό επίπεδο, η παραπάνω ακολουθία μπορεί να συνοψιστεί στις 5 κυρίαρχες ως εξής: σήκω, καφές, τοστ, καθάρισε, διάλειμμα.

- Drill run: Στη συνέχεια, ο κάθε εθελοντής πραγματοποίησε 20 επαναλήψεις της επόμενης ακολουθίας, με στόχο την παραγωγή και καταγραφή πολλών επιμέρους δραστηριοτήτων. Συγκεκριμένα, του ζητάτε να:

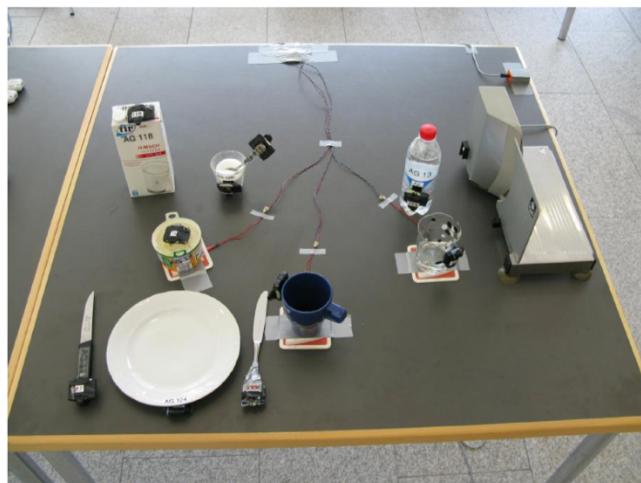
- 1) Ανοίξει και να κλείσει το ψυγείο
- 2) Ανοίξει και να κλείσει το πλυντήριο πιάτων
- 3) Ανοίξει και να κλείσει 3 συρτάρια (που βρίσκονται σε διαφορετικά ύψη μεταξύ τους)
- 4) Ανοίξει και να κλείσει την πόρτα 1
- 5) Ανοίξει και να κλείσει την πόρτα 2
- 6) Ανοίξει και να κλείσει τα φώτα
- 7) Καθαρίσει το τραπέζι
- 8) Πιει όρθιος
- 9) Πιει καθιστός

5.1.2 Συστοιχία Αισθητήρων

Όπως μπορούμε να δούμε από την Εικόνα 41, πολλαπλά συστήματα αισθητήρων τοποθετήθηκαν επάνω στο σώμα των εθελοντών, καθώς και σε αντικείμενα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 42 αλλά και στο περιβάλλον, Εικόνα 40. Τα συστήματα αισθητήρων σώματος που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και οι λειτουργίες τους, επεξηγούνται αναλυτικά στον Πίνακας 18. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν ασύρματοι αισθητήρες (συμπεριλαμβανομένων 24 προσαρμοσμένων ασυρμάτων Bluetooth αισθητήρων επιτάχυνσης και γυροσκοπίων), 2 Sun SPOTs (802.15.4) και 2 Intertiacube3 (προσαρμοσμένα στο πρωτόκολλο 2.4GHz). Επιπρόσθετα, το Ubisense σύστημα εντοπισμού τοποθεσίας λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 5 GHZ.



Εικόνα 40 Θέσεις των αισθητήρων πάνω στο σώμα του εθελοντή [108]



Εικόνα 41 Αισθητήρες τοποθετημένοι στα αντικείμενα [108]

ID	Συστήματα αισθητήρων	Τοποθεσία και Λειτουργία
B1	Ασύρματα μικρόφωνα	Στο στήθος και στον κυρίαρχο καρπό. Ανιχνεύει τη δραστηριότητα χρήστη.
B2	Προσαρμοσμένοι ασύρματοι Bluetooth αισθητήρες επιτάχυνσης [113]	12 τοποθεσίες πάνω στο σώμα. Ανιχνεύει κίνηση των άκρων
B3	Προσαρμοσμένο μπουφάν [114]	Μπουφάν που περιλαμβάνει 5 RS485- XSense (IMU)
B4	Προσαρμοσμένος μαγνητικός αισθητήρας αναγνώρισης σχετικής θέσης [115]	Πομπός στον ώμο, δέκτης στο κυρίαρχο χέρι. Ανιχνεύει την απόσταση από το χέρι μέχρι το σώμα.

ID	Συστήματα αισθητήρων	Τοποθεσία και Λειτουργία
B5	InertiaCube3 αδρανειακό σύστημα αισθητήρων	Ένα για κάθε πόδι, πάνω στα κορδόνια.
B6	Sun SPOT αισθητήρες επιτάχυνσης	Ένα για κάθε πόδι, τοποθετημένα στον αστράγαλο. Ανιχνεύει την κίνηση.
O1	Προσαρμοσμένοι ασύρματοι Bluetooth αισθητήρες επιτάχυνσης και ρυθμού περιστροφής	Τοποθετημένοι σε 12 αντικείμενα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια σεναρίου. Ανιχνεύουν τη χρήση αντικειμένου.
A1	Ενσύρματων δομών μικροφώνων	4 στη μια πλευρά του δωματίου, ανιχνεύει τον ήχο από το περιτρέον περιβάλλον.
A2	Ubisense σύστημα εντοπισμού τοποθεσίας	Στις γωνίες του δωματίου, ανιχνεύει τη θέση του χρήστη
A3	Axis κάμερες δικτύου	Βρίσκονται σε 3 τοποθεσίες, για εντοπισμό και οπτική επισήμανση
A4	XSense IMU [114]	Στο τραπέζι και στην καρέκλα. Ανιχνεύει δονήσεις και χρήση των αντικειμένων
A5	USB δικτυακοί αισθητήρες επιτάχυνσης [116]	8 στο σύνολο, που τοποθετούνται στις πόρτες, στα συρτάρια, στα ράφια και στην πολυθρόνα. Ανιχνεύει τη χρησιμοποίηση του αντικειμένου
A6	Μαγνητικοί διακόπτες	13 συνολικά, που τοποθετούνται στις πόρτες, στα συρτάρια, στα ράφια. Ανιχνεύει τη χρησιμοποίηση του αντικειμένου
A7	Προσαρμοσμένοι αισθητήρες ισχύος	Τοποθετημένοι στη μηχανή του καφέ και στο μαχαίρι του ψωμιού. Ανιχνεύει τη χρησιμοποίηση του αντικειμένου
A8	Προσαρμοσμένοι αισθητήρες πίεσης	Βρίσκονται 3 στο τραπέζι, όπου ο χρήστης τοποθετεί πιάτα και ποτήρια. Ανιχνεύει τη χρησιμοποίηση του αντικειμένου.

Πίνακας 18 Ανάλυση των χρησιμοποιούμενων αισθητήρων

Η απόκτηση δεδομένων σε ένα μόνο σημείο αποτελεί πρόκληση σε ένα σύστημα που χαρακτηρίζεται από τόσο μεγάλη ετερογένεια. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν με τη βοήθεια 7 υπολογιστών, όπου ένας φορητός υπολογιστής τοποθετημένος σε σακίδιο πλάτης, ήταν υπεύθυνος για το χειρισμό των αισθητήρων στο σώμα των εθελοντών (τοπική αποθήκευση δεδομένων, αφού δεν υπάρχει WLAN έξω από το δωμάτιο). Οι πληροφορίες από διάχυτους αισθητήρες, αλλά και από αισθητήρες αντικειμένων, αποκτήθηκαν μέσω πολλαπλών υπολογιστών, σύμφωνα πάντα με το απαιτούμενο εύρος ζώνης (π.χ. ρόές από βίντεο και ήχο, το κάθε ένα σε έναν αποκλειστικό υπολογιστή), τους πιθανούς τρόπους καλωδίωσης (π.χ. η

υλοποίηση μιας κεραίας), την απόσταση μέχρι τους ενσύρματους διάχυτους αισθητήρες και την ανάγκη για ελαχιστοποίηση πρόσθετων ασύρματων μεταδόσεων, με στόχο την ελαχιστοποίηση της απώλειας δεδομένων.

5.1.3 Πρωτόκολλο Πειράματος

Οι εθελοντές ενημερώθηκαν για το γενικό πειραματικό πρωτόκολλο που απαιτούσε η διαδικασία να ακολουθηθεί. Στη συνέχεια, εκτελέστηκαν 5 ADL runs με ένα διάλειμμα 10-20 λεπτών μεταξύ τους, για λόγους αντιγραφής των δεδομένων, ελέγχου των επιπέδων των μπαταριών και επαλήθευσης της συνολικής συμπεριφοράς του συστήματος. Ένας επιτηρητής ακολουθούσε τον κάθε εθελοντή κατά τη διάρκεια της πρώτης τους εκτέλεσης, για να υποδείξει τη σωστή ακολουθία των ενεργειών. Κατά τις επόμενες 4 εκτελέσεις, ο εθελοντής διεκπεραίωσε μόνος του την ακολουθία των δραστηριοτήτων. Η χρονική διάρκεια μιας εκτέλεσης, κατά μέσο όρο, αντιστοιχούσε σε περίπου 15-25 λεπτά.

Επιπρόσθετα πρέπει να αναφέρουμε ότι όπως αναφέρουν και οι συγγραφείς στο [108] ενώ υπήρχαν κάποιοι βασικοί περιορισμοί στον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες καλούνταν να εκτελέσουν τις προτεινόμενες δραστηριότητες, στην πραγματικότητα ενθαρρύνθηκαν ιδιαιτέρως στο να ενεργούν φυσικά, π.χ. τη χρησιμοποίηση και των δυο χεριών καθ' όλη τη διάρκεια αλληλεπίδρασής τους με τα αντικείμενα ή το περιρρέον περιβάλλον. Για παράδειγμα, οι εθελοντές κλήθηκαν να ακολουθήσουν τη διαδικασία των δραστηριοτήτων σε υψηλό επίπεδο και να συμπεριφερθούν όσο γίνεται με φυσικό τρόπο. Επιτρεπόταν επίσης στους χρήστες η παρεμβολή μιας δραστηριότητας με μια άλλη (π.χ. να ξεκινήσουν την προετοιμασία του τοστ, ενώ έπιναν τον καφέ τους). Μετά το πέρας της ADL run, οι εθελοντές εκτέλεσαν το drill run που περιγράφηκε πιο πάνω, η διάρκεια του οποίου ήταν 20-35 λεπτά.

5.2 Διαχείριση, Συγχρονισμός και Επισήμανση του Συνόλου Δεδομένων

5.2.1 Διαχείριση Ετερογενών Δεδομένων

Λόγω του μεγάλου όγκου των ακατέργαστων δεδομένων (>130 GB) και της ανάγκης για πρόσβαση σε αυτά για να επιτευχθούν λειτουργίες ανάγνωσης ή/και εγγραφής, τα δεδομένα αποθηκεύτηκαν σε ένα σύστημα χρησιμοποιώντας το εργαλείο συγχρονισμού Unison[117] [118]. Το Unison επιτρέπει τον αποτελεσματικό και αυτόματο συγχρονισμό δυο κατευθύνσεων (τοπικώς τροποποιημένα δεδομένα στέλνονται στο διακομιστή και τα τροποποιημένα δεδομένα του διακομιστή στέλνονται τοπικά), καθώς ελαχιστοποιεί το φορτίο του δικτύου, μεταφέροντας μόνο ελλιπή δεδομένα.

5.2.2 Συγχρονισμός Ετερογενών Δεδομένων

Ιδανικά, οι κόμβοι ενός δικτύου αισθητήρων είναι συγχρονισμένοι και δείγματα δεδομένων επισημαίνονται με τον ακριβή χρόνο συλλογής τους για την εκ των υστέρων απλοποίηση της ανακατασκευής μιας συγχρονισμένης ροής δεδομένων. Αυτό είναι σημαντικό για ένα σύστημα, στο οποίο υπεισέρχονται συχνά μεταβλητές καθυστερήσεις λόγω δικτύου. Σε ετερογενή συστήματα, συναντώνται τα εξής προβλήματα:

- α) Οι αισθητήρες μπορεί να μην έχουν επισημάνει τα δεδομένα με χρονοσφραγίδα (timestamp) κατά την απόκτησή τους,
- β) Οι αισθητήρες μπορεί να είναι ιδιόκτητοι κι έτσι να μην είναι δυνατή η επισήμανση των δεδομένων, αλλά και ούτε να είναι σε θέση να υποστούν σχετική τροποποίηση, ώστε να υποστηρίζεται η διαδικασία,
- γ) Ακόμα και να επιτρέπονται οι χρονοσφραγίδες, ο συγχρονισμός μεταξύ διαφορετικών δικτύων παραμένει μια πρόκληση.

Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε από τους Roggen, D., et al [108] είναι η εξής:

- α) Συγχρονισμός των δεδομένων που προέρχονται από μη συνδεδεμένα συστήματα αισθητήρων
- β) Τα δεδομένα επισημαίνονται με το μοναδικό χρόνο απόκτησής τους. Στο συγχρονισμό αναγνώρισης των δραστηριοτήτων, οι απαιτήσεις (<100ms) ορίζονται με βάση τη δυναμική του ανθρώπινου σώματος. Όλοι οι αισθητήρες σε ένα συγκεκριμένο υπολογιστή καταγραφής μοιράζονται το ίδιο ρολόι και έτσι μπορούν εύκολα να συγχρονιστούν μεταξύ τους.
- γ) Ορίστηκε ξανά ο χρόνος λήψης των πακέτων για την εξασφάλιση ενός κανονικού χρόνου μεσολάβησης μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, μεταφράζονται σε ακαθόριστα διαστήματα χρόνου μεταξύ των λαμβανόμενων πακέτων δεδομένων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος των ελαχίστων τετραγώνων (Least-Square Regression) για τον υπολογισμό μιας γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των αριθμήσεων των πακέτων δεδομένων και του χρόνου λήψης τους. Στη συνέχεια, ορίστηκε ξανά ο χρόνος λήψης των πακέτων για την εξασφάλιση ενός κανονικού χρόνου μεσολάβησης μεταξύ τους.

5.2.3 Επισήμανση Δεδομένων

Κατά τη διάρκεια του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ένα ειδικό εργαλείο ανοιχτού κώδικα, που δημιουργήθηκε από το πανεπιστήμιο του Πασό για τη συγχρονισμένη αναζήτηση σε τρεις ροές βίντεο και των εν λόγω λαμβανόμενων δεδομένων από αισθητήρες, ώστε να είναι δυνατό το μαρκάρισμα εκείνων των περιστατικών που σχετίζονται μεταξύ τους (π.χ. χειρονομίες ή

ενέργειες). Οι επισημάνσεις έχουν χωριστεί σε 4 κατηγορίες. Το πρώτο στάδιο περιέχει περιπτώσεις κίνησης και στάσεων (π.χ. περπάτημα, καθήμενος, όρθιος). Άλλες δύο ξεχωριστές κατηγορίες υποδεικνύουν τις κινήσεις του αριστερού και δεξιού χεριού (π.χ. τέντωμα, πιάσιμο, χαλάρωση) αντίστοιχα, χρησιμοποιώντας ένα ειδικό χαρακτηριστικό που υποδηλώνει το αντικείμενο για το οποίο πρόκειται (π.χ. γάλα, διακόπτης, πόρτα). Η τέταρτη κατηγορία υποδηλώνει τις δραστηριότητες υψηλού επιπέδου (π.χ. ετοίμασε τοστ). Αυτό το επίπεδο επισήμανσης είναι επαρκές για τις περισσότερες εφαρμογές και επιτρέπει την άντληση πιο υψηλού επιπέδου επισημάνσεων, όπου κρίνεται απαραίτητο. Η διαδικασία επισήμανσης εκτελέστηκε από φοιτητές, που χρειάστηκαν περίπου 7-10 ώρες για την επισήμανση ενός βίντεο 30 λεπτών.

5.3 Αξιολόγηση του Συνόλου των Δεδομένων και Συμπεράσματα

Στην αξιολόγηση των δεδομένων λάβαμε υπόψιν την ετερογένεια και το πλήθος των δεδομένων, καθώς και την αλληλεπίδραση διαφορετικών αισθητήρων σε διαφορετικές δραστηριότητες από το χρήστη.

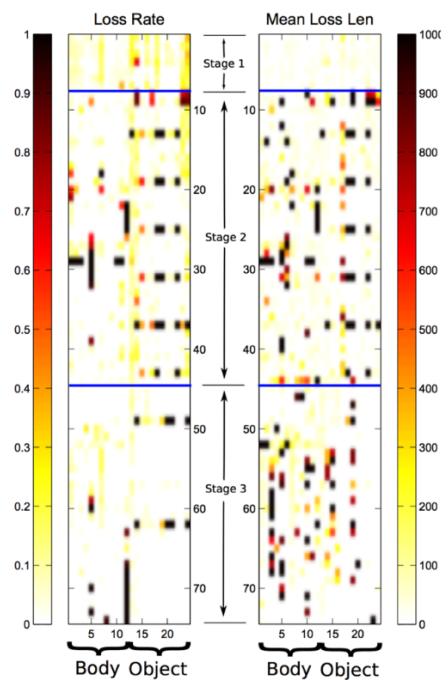
Όπως φαίνεται και στον Πίνακας 19, όπου παρουσιάζονται στατιστικά στοιχεία βασισμένα στις διάφορες περιπτώσεις κίνησης και μη ενός εθελοντή, το σύνολο και η ετερογένεια των καταγραφόντων δεδομένων είναι σημαντικά. Σε όλο το σύνολο δεδομένων, πάνω από 13000 αλληλεπιδράσεις με αντικείμενα και 14000 αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον έχουν καταγραφεί. Επεκτείνοντας σε όλο το σύνολο δεδομένων, πάνω από 13000 αλληλεπιδράσεις με αντικείμενα και 14000 αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον έχουν καταγραφεί. Όπως ήταν αναμενόμενο, οι δραστηριότητες συμβαίνουν σε πολλαπλάσια των 20 instances (οι εθελοντές επανέλαβαν 20 φορές την ακολουθία Drill run).

Οι δραστηριότητες υπολογίζονται συνολικά σε 25 ώρες καταγεγραμμένων δεδομένων. Το συνολικό μήκος όλων των επισημάνσεων για όλες τις κατηγορίες αναλογεί σε περίπου 57 ώρες επισήμανσης ετικετών. Αυτές εμπεριέχουν ετικέτες σχετικές με την κίνηση ή μη των εθελοντών και με τις αλληλεπιδράσεις χεριών, που συχνά συμβαίνουν σε επικαλυπτόμενες δραστηριότητες και συμπεριλαμβάνουν πολλαπλά αντικείμενα. Η επισήμανση των δραστηριοτήτων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια βίντεο, μετά το πέρας της καταγραφής του. Τα 16 από τα 60 ADL runs και τα 3 από τα 12 drill runs είναι στη διάθεσή μας μέχρι τη στιγμή που συγγράφεται η παρούσα διδακτορική διατριβή.

	#	Μέσο μήκος	Συνολικό μήκος
Περπάτημα	1414	5.6	7900.5
Στεκούμενος	1043	7.5	
			7770.9
Ξαπλωμένος	56	21.8	1219.5
Καθήμενος	127	26.4	3349.5

Πίνακας 19 Στατιστικά στοιχεία βασισμένα στις διάφορες κατηγορίες κίνησης (δευτερόλεπτα)

Μια ακόμη πτυχή που λάβαμε υπόψιν κατά την αξιολόγηση του συγκεκριμένου συνόλου είναι η ποιότητα των δεδομένων. Χαρακτηριστικό της ποιότητας των δεδομένων είναι η Εικόνα 43 όπου βλέπουμε ότι η ροή της μεταδιδόμενης πληροφορίας από τους αισθητήρες χαρακτηρίζεται από πολύ μικρή απώλεια πακέτων και διακρίνουμε μόνο κάποιες σποραδικές εξαιρέσεις. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο μέσος αριθμός των πακέτων που χάθηκαν ήταν κάτω των 30 δειγμάτων (δεξί γράφημα). Συγκεκριμένα, η απώλεια πακέτων υπολογίζεται σε ένα μέσο όρο της τάξης του 2.5% στο στάδιο 3, το οποίο τελικά είναι το πιο «ώριμο και σταθερό». Στο στάδιο 2 και μέρος του σταδίου 3 απενεργοποιήθηκαν κάποιοι από τους αχρησιμοποίητους αισθητήρες κατά τη διάρκεια των Drill συνεδρίων. Οπότε μπορούμε να συμπεράνουμε ότι, όχι μόνο το συνολικό ποσοστό απώλειας πακέτων ήταν μικρό, αλλά κατανεμήθηκε με τέτοιον τρόπο, ώστε για ένα μεγάλο μέρος των καταγραφών, σχεδόν όλοι οι αισθητήρες μετέδιδαν δεδομένα την ίδια χρονική στιγμή. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων μάς παρέχει, τόσο την ποιότητα, όσο και την ποσότητα και ετερογένεια που χρειαζόμαστε για την ανάπτυξη και αξιολόγηση των ευφυών αλγορίθμων και τεχνικών, που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια της διατριβής.



Εικόνα 42 Ποσοστό απώλειας και η μέση διάρκεια αποσύνδεση [108]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Ασαφής Συσχέτιση Περιεχομένου

Δεδομένων σε Περιβάλλον Διάχυτης

Τηλεπισκόπησης

Υπάρχουν πάνω από 2 δισεκατομμύρια κινητά τερματικά που χρησιμοποιούνται σήμερα και πάνω από 1 δισεκατομμύριο χρήστες του διαδικτύου παγκοσμίως. Ασύρματες, κινητές και δικτυακές τεχνολογίες έδωσαν σε πρώτη φάση τη δυνατότητα διάχυτης επικοινωνίας μεταξύ συστημάτων και εφαρμογών. Ωστόσο, αυτό ήταν μόνο η αρχή: εξελισσόμενες τεχνολογίες δικτύωσης, αισθητήρων και άλλων ερευνητικών πεδίων βοηθούν ώστε να αναπτυχθούν εκατοντάδες δισεκατομμύρια “αντικείμενα”, ικανά να επικοινωνούν και να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, σε μια σχεδόν απεριόριστη γκάμα εφαρμογών.

Σήμερα, με τον όρο διάχυτη τηλεπισκόπηση αναφερόμαστε σε άμεσα προσπελάσιμα μοναδικά διευθυνσιοδοτημένα διασυνδεδεμένα αντικείμενα. Οι εξελίξεις σε ερευνητικά πεδία, όπως οι τηλεπικοινωνίες και η μηχανική μάθηση, συμβάλλουν στην εδραίωσή της σε τομείς υγείας και πιο συγκεκριμένα σε δομές, όπως τα Περιβάλλοντα Υποβοηθούμενης Διαβίωσης (ΠΥΔ). Ο όρος ΠΥΔ χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις τεχνολογίες και τις εφαρμογές, οι οποίες θα συμβάλλουν στην επέκταση του χρόνου, στην καλυτέρευση των συνθηκών κάτω από τις οποίες ζουν οι ηλικιωμένοι στο σπίτι, αυξάνοντας την αυτονομία και βοηθώντας στην εκτέλεση των καθημερινών δραστηριοτήτων τους.

Η βασική ιδέα είναι ένα περιβάλλον διάχυτης παρουσίας και τηλεπισκόπησης από αντικείμενα, όπως αισθητήρες, ενεργοποιητές, κινητά τηλέφωνα, κ.α., τα οποία λόγω της αναμεταξύ τους διασύνδεσης, είναι σε θέση να αλληλεπιδρούν με το περιβρέον περιβάλλον και να συνεργάζονται με τους διαθέσιμους και απαραίτητους γείτονές τους, για την επίτευξη κοινών στόχων.

Το παρόν κεφάλαιο έχει σαν στόχο να μελετήσει το πώς η έννοια της ασαφούς λογικής μπορεί να εφαρμοστεί στις ροές δεδομένων, με σκοπό τη συσχέτιση των αισθητήρων (εικονικών και φυσικών) σε ένα περιβάλλον υποβοηθούμενης διαβίωσης. Πιο συγκεκριμένα, προτείνεται και αξιολογείται ένα ευφυές σύστημα, που είναι σε θέση να μετατρέπει τις ροές των δεδομένων σε ασαφή σύνολα και να τα συσχετίζει σε λίστες κατάταξης, εκπαιδεύοντας τα κατάλληλα μοντέλα μηχανικής μάθησης.

6.1 Συναφείς Εργασίες

Ο υπολογισμός του βαθμού ομοιότητας μεταξύ ροών δεδομένων είναι ένα θεμελιώδες και σύνηθες πρόβλημα, το οποίο έχει μελετηθεί σε διαφορετικές εφαρμογές και πλαίσια [119]. Στα παραδοσιακά συστήματα πολυμέσων λαμβάνεται υπόψιν η ομοιότητα του ήχου, των εικόνων και των ροών των βίντεο, όπως παρουσιάζουν και οι Daras, P et. al και Wang, Z., et al. [120, 121]. Ωστόσο, οι μέθοδοι αυτοί συνήθως δεν είναι προσαρμοσμένοι για να είναι ανεξάρτητοι σε σχέση με το είδος των αισθητήρων.

Η μελέτη που έχει διεξαχθεί από τους Bahi, J.M. et al. [122] στοχεύει στον καθορισμό ομοιοτήτων μεταξύ ροών δεδομένων που παρήχθησαν από γειτονικούς κόμβους σε ένα δίκτυο αισθητήρων, έτσι ώστε οι ροές να μπορούν να συναθροίζονται. Μια ροή δεδομένων διαιρείται σε πολλαπλά τμήματα και αυτά τα τμήματα συγκρίνονται, χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση Jaccard, με τμήματα άλλων δεδομένων ώστε να εντοπιστούν ομοιότητες.

Οι συγγραφείς του [123] βασίζουν την ομαδοποίηση ροών δεδομένων στην ομοιότητα, αναπτύσσοντας μια online εκδοχή του K-means αλγορίθμου, που περιλαμβάνει διακριτό μετασχηματισμό Fourier και pairwise υπολογισμό απόστασης δεδομένων. Εν συνεχείᾳ, οι Zhao, S., et. al [124] προτείνουν ένα πολυδιάστατο σημασιολογικό μοντέλο για να περιγράψει τους πόρους ενός περιβάλλοντος διάχυτης τηλεπισκόπησης σε πολλαπλές διαστάσεις χαρακτηριστικών. Κάθε διάσταση συνιστά ένα μοντέλο οντολογίας, που περιλαμβάνει μια καλά καθορισμένη ταξινόμηση, περιγραφές, και περιορισμούς της αντίστοιχης διάστασης. Με βάση αυτό το μοντέλο πολυδιάστατων πόρων, οι ερευνητές προτείνουν έναν αποδοτικό αλγόριθμο αντιστοίχισής τους.

Επιπρόσθετα, στη μελέτη [125] οι συγγραφείς δημιουργούν με βάση τις ροές των δεδομένων, οι συγγραφείς δημιουργούν συστάδες αισθητήρων, που βασίζονται στην ομοιότητα μεταξύ των εξόδων τους. Η προσέγγιση αυτή έχει ένα υψηλό ίχνος (footprint) μνήμης, καθώς όλες οι μετρήσεις των αισθητήρων χρειάζεται να αποθηκεύονται, είτε σε ένα κεντρικό σημείο επεξεργασίας είτε στους αισθητήρες. Στην ίδια λογική, οι Du, C. et. al [126] προτείνουν μια μέθοδο πολλαπλών δεικτών, για να ομαδοποιήσουν τους διαθέσιμους αισθητήρες και υπηρεσίες σε συστάδες, με βάση την περιγραφή της λειτουργείας τους και τον

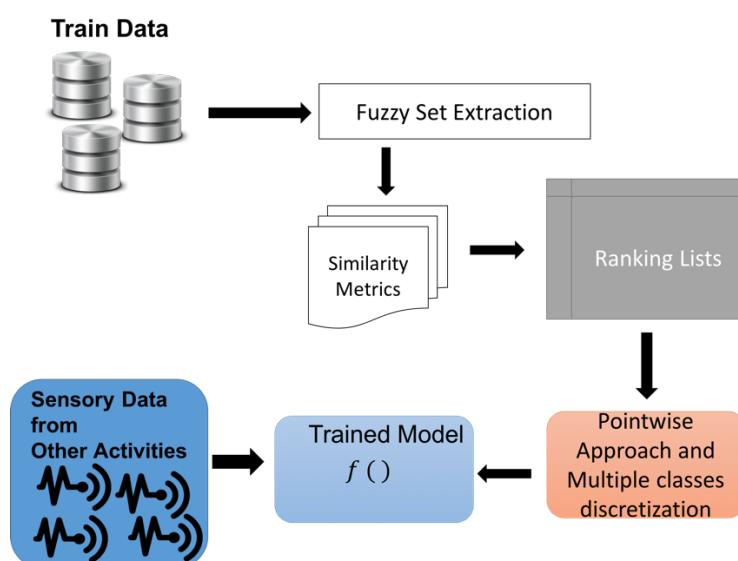
όποιο χωρικό ή/και χρονικό περιορισμό τους. Επίσης, στην ίδια εργασία αναπτύσσουν ένα μηχανισμό αναζήτησης, που εκμεταλλεύεται τις προκύπτουσες συστάδες με αποδοτικό τρόπο

Τέλος, οι Holmquist, L.E., et al. και Lester, J., et al. [127] [128] αναλύουν κατά πόσο οι αισθητήρες συνδεμένων συσκευών παράγουν παρόμοια δεδομένα εξόδου (π.χ. δύο IMU εάν κουνούνται μαζί αποκτούν τα ίδια μοτίβα επιτάχυνσης). Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της ομοιότητας των εξόδων των αισθητήρων βασίζεται σε μια coherence συνάρτηση για την μέτρηση της συσχέτισης στο πεδίο της συχνότητας μεταξύ των ροών των δεδομένων.

6.2 Μεθοδολογία

Η προσέγγιση που προτείνεται, νιοθετεί μια ασαφή σύγκριση των αισθητήρων, με σκοπό την εξόρυξη μιας κατάταξης συσχέτισης μεταξύ αυτών. Πιο συγκεκριμένα, η προτεινόμενη λύση βασίζεται στη μετατροπή των ροών των αισθητήρων σε ασαφή σύνολα και τη σύγκριση αυτών, χρησιμοποιώντας διαφορετικά ασαφή μέτρα ομοιότητας. Ο τρόπος δημιουργίας των ασαφών συνόλων, η επιλογή των μέτρων ομοιότητας και ο συνδυασμός αυτών σε ευφυή μοντέλα μηχανικής μάθησης, αποτελούν μέρη του προτεινόμενου ευφυούς συστήματος.

Στην Εικόνα 43 φαίνονται αναλυτικά τα εξής βήματα: 1) η εξαγωγή των ασαφών συνόλων, 2) ο υπολογισμός των ασαφών μέτρων ομοιότητας, 3) ο υπολογισμός της λίστας κατάταξης συσχέτισης των αισθητήρων και η μετατροπή αυτής σε πρόβλημα ταξινόμησης πολλαπλών κλάσεων, 4) η εκπαίδευση του μοντέλου μηχανικής μάθησης, 5) η ταξινόμηση των νέων δεδομένων αισθητήρων από διαφορετικές δραστηριότητες του ίδιου ή και διαφορετικού χρήστη, με βάση το εκπαιδευμένο μοντέλο σε μια λίστα κατάταξης συσχέτισης.

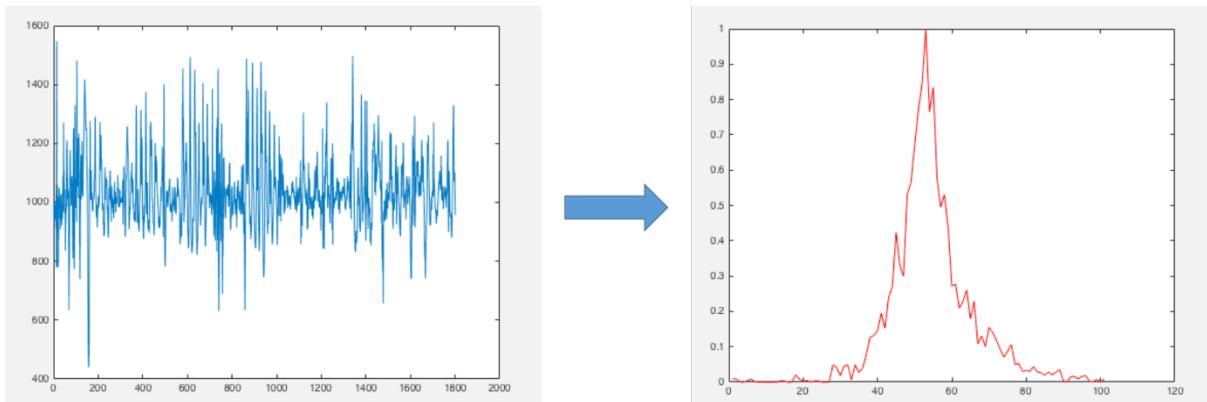


Εικόνα 43 Τα 4 βήματα της αρχιτεκτονικής του προτεινόμενου συστήματος

6.2.1 Εξαγωγή Ασαφών Συνόλων

Στο **πρώτο** στάδιο, οι ροές δεδομένων από τον κάθε αισθητήρα μετατρέπονται στα αντίστοιχα ασαφή σύνολα. Στη συνέχεια, αναλύεται το πώς ένα ασαφές σύνολο μπορεί να κατασκευαστεί από ένα δοσμένο σύνολο μετρήσεων από έναν αισθητήρα.

Αν θεωρήσουμε ότι στην Εικόνα 45 έχουμε στο αριστερό μέρος τη χρονοσειρά των μετρήσεων ενός αισθητήρα επιτάχυνσης S σε μια χρονική περίοδο Δt , τότε το γράφημα στο δεξί μέρος απεικονίζει το κατασκευασμένο ασαφές σύνολο. Θέτεται F_S το κατασκευασμένο σύνολο ασάφειας και το σύνολο των μετρήσεων του. Σκοπός είναι η εύρεση μιας συνάρτησης συμμετοχής $\mu_s(x)$ η οποία θα αντιπροσωπεύει τις μετρήσεις που ελήφθησαν από τον αισθητήρα στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 45 Μετατροπή χρονοσειράς μετρήσεων από επιταχυνσιόμετρο σε ασαφές σύνολο

Ορίζονται ως x_{min}^S και $x_{max}^S \in U_S$ οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές μεταξύ των μετρήσεων του αισθητήρα S , αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπόψιν το διάστημα $\Delta x = [x - r, x + r] \subset [x_{min}^S, x_{max}^S]$ για $r > 0$, το ενδιαφέρον έγκειται στο πόσες μετρήσεις $x \in U_S$ πέφτουν στο διάστημα $[x - r, x + r]$ στο Δt , διότι αυτό αντιπροσωπεύει τη συμπεριφορά του αντικειμένου που μετράει ο αισθητήρας: τείνει η θερμοκρασία να είναι μέσα στο διάστημα Δx . Με άλλα λόγια, η πυκνότητα του πληθυσμού των μετρήσεων στο Δx περιγράφει την πιθανότητα μια τιμή επιτάχυνσης να βρίσκεται εντός Δx . Υποθέτοντας ότι $r \rightarrow 0$ και μεταφέροντας το Δx στο σύνολο $[x_{min}^S, x_{max}^S]$, μπορούμε να υπολογίσουμε την πιθανότητα για κάθε τιμή θερμοκρασίας x στο πεδίο εμβέλειας. Τέλος το $\mu_s(x)$ ορίζεται ως αυτή η πιθανότητα του $x \in [x_{min}^S, x_{max}^S]$.

Οι Truong, C., et al. [119] βασιζόμενοι στο [129] παρουσιάζουν έναν τρόπο υπολογισμού της πυκνότητας, με την οποία ένα δεδομένο περιβάλλεται από άλλα σημεία δεδομένων σε μια κοντινή απόσταση. Χρησιμοποιείται αυτή η τεχνική για τον υπολογισμό της πυκνότητας των

μετρήσεων μέσα σε ένα διάστημα $[x - r, x + r]$ γύρω από μια μέτρηση τιμής x , και αποκαλείται το $ndg^S(x)$ ως «πυκνότητα γειτνίασης» του x . Η κανονικοποίηση της $ndg^S(x)$ σε τιμές μεταξύ 0 και 1, χρησιμοποιώντας τη μέγιστη-ελάχιστη μέθοδο κανονικοποίησης, έχει ως αποτέλεσμα η $\mu_s(x)$ να ορίζεται ως η κανονική μορφή της $ndg^S(x)$.

$$ndg^S(x) = \sum_{i=1}^{|U_S|} e^{-\left[\frac{2d_E(x, S(t_i))}{r}\right]^2}$$

όπου $d_E(x, y)$ είναι η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ δυο τιμών x και y . Λόγω της εκθετικής συνάρτησης, μετρήσεις που βρίσκονται εκτός του διαστήματος $[x - r, x + r]$ έχουν μικρή επίδραση στο $ndg(x)$. $S(t_i), i = 0..|U_S|$ οι μετρήσεις του αισθητήρα S που μπορούν να παρουσιαστούν ως μια διακριτή χρονική συνάρτηση. Το fuzzy σύνολο που αποκτάται είναι το

$$F_S = \{(x, \mu_s(x)) | x \in U_S\}.$$

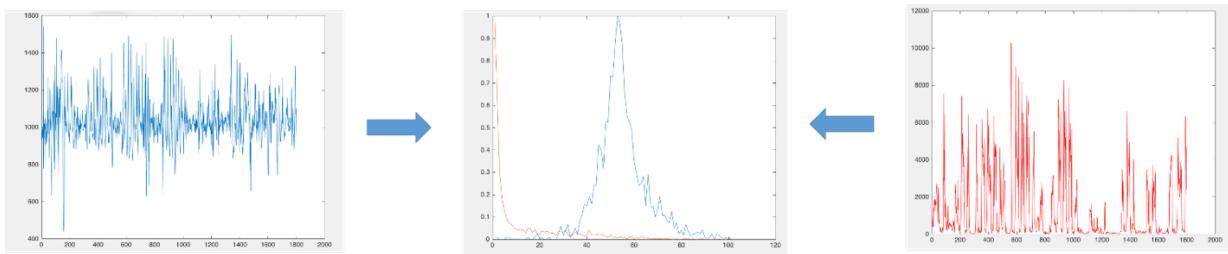
Στην ίδια λογική και για την δημιουργία μίας πιο χαρακτηριστικής συνάρτησης συμμετοχής, προτείνεται η χρήση αλγόριθμου κατακερματισμού με βάση τον κανόνα του Freedman–Diaconis [130]. Ο συγκεκριμένος κανόνας χρησιμοποιείται για την κατάλληλη επιλογή του μεγέθους του δοχείου (bin) B :

$$B = 2 \frac{IQR(x)}{\sqrt[3]{n}}$$

όπου $IQR(x)$ είναι το διατεταρτημοριακό εύρος. Τα τεταρτημόρια χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουμε έναν ακόμα δείκτη μεταβλητότητας, το διατεταρτημοριακό εύρος, το οποίο ορίζεται ως $IQR = q_3 - q_1$, όπου το q_3 είναι στο 75% και q_1 το 25% του σήματος.

Στο **δεύτερο στάδιο**, λαμβάνει χώρα ο υπολογισμός των ασαφών μέτρων ομοιότητας, με σκοπό τη σύγκριση 2 ροών δεδομένων από 2 διαφορετικούς αισθητήρες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 44. Έχοντας τις εξόδους των μετρήσεων από δύο διαφορετικούς αισθητήρες που βρίσκονται τοποθετημένοι σε δύο διαφορετικές τοποθεσίες, ένα επιταχυνσιόμετρο στον ώμο και ένα angle-velocity αισθητήρα στο παπούτσι, υποθέτουμε ότι για κάθε έναν τέτοιο αισθητήρα χτίζεται ένα ασαφές σύνολο με ληφθήσες μετρήσεις. Πιο συγκεκριμένα,

$$F_{arm} = \{(x, \mu_{shoe}(x)) | x \in \mathbb{R}\} \text{ και } F_{shoe} = \{(x, \mu_{arm}(x)) | x \in \mathbb{R}\}$$



Εικόνα 44 Σύγκριση 2 ροών δεδομένων με βάση τα ασαφή σύνολα τους

Αν και διάφορες μέθοδοι και τεχνικές ασαφών μέτρων ομοιότητας (AMO) και ασαφών αποστάσεων (AA) έχουν μελετηθεί και συζητηθεί αρκετά, οι ιδιότητές τους δεν είναι ακόμα ευρέως χρησιμοποιούμενες. Οι μελέτες που έχουν διεξαχθεί πάνω στα μέτρα ομοιότητας είναι περισσότερο θεωρητικές [131-135] και αποτελούν το πεδίο έρευνας πολλών δημοσιεύσεων.

Οι ερευνητές των [136-138] εφάρμοσαν AMO στην επεξεργασία εικόνας, ενώ επίσης στην ίδια εφαρμογή οι συγγραφείς του [139] παρουσίασαν ένα νέο μέτρο και μέθοδο για ασαφή συμπερασμό. Από την άλλη, ο Gadi et. al [140] πρότεινε και εφάρμοσε ένα μέτρο ομοιότητας στην ανάκτηση μορφής από εικόνα και αντίστοιχα στο [141] εφαρμόστηκε ένα ασαφές μέτρο για την κατηγοριοποίηση της μορφής. Στα [142, 143] εφαρμόστηκαν παρόμοια μέτρα για την αναγνώριση χειρόγραφων προτάσεων στα Αραβικά. Επίσης, στο [144] παρουσιάστηκε ένα σύστημα αναγνώρισης χειρόγραφων λέξεων στα Λατινικά βασισμένο στα φίλτρα Gabor, χρησιμοποιώντας την ασαφή λογική για τις μικρές μεταβολές του προσωπικού τρόπου γραφής (handwriting style) του κάθε συγγραφέα. Επιπρόσθετα, άλλες σχετικές μελέτες μπορούν να βρεθούν στα [145-148], στις οποίες παρουσιάζονται διάφορα μέτρα ομοιότητας, καθώς και συγκρίσεις μεταξύ μερικών από αυτών σε συγκεκριμένους τομείς, όπως στην επεξεργασία εικόνας [136, 137]. Τα μέτρα ομοιότητας μεταξύ ασαφών συνόλων είναι πολυάριθμα. Είναι σημαντικό να μπορείς να προβλέψεις το μέτρο το οποίο παρέχει τα καλύτερα αποτελέσματα στην εκάστοτε εφαρμογή. Οπότε, οι αριθμητικές συγκρίσεις μεταξύ AMO είναι σημαντικές στην απόδειξη των πειραματικών τους διαφορών.

Για να γίνει κατανοητή η επιλογή συγκεκριμένων AMO και AA για το προτεινόμενο ευφυές σύστημα, συνοψίζουμε παρακάτω μερικούς ορισμούς και ιδιότητες που χρησιμοποιούνται πιο συχνά.

Ορίζουμε το X , και ένα δείγμα $x \in X$ έχοντας p χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπου: $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$

- Θέτουμε $P(X)$ το σύνολο όλων των συγκεκριμένων συνόλων στο X , $FS(X)$ το σύνολο όλων των ασαφών συνόλων στο X , και A , B αποτελούν ασαφή σύνολα στο X που ορίζονται ως:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X, \mu_A(x) \in [0,1]\}, \quad B = \{(x, \mu_B(x)) | x \in X, \mu_B(x) \in [0,1]\}$$

- Θεωρούμε $A^C \in FS(X)$ το συμπλήρωμα του $A \in FS(X)$ και $\mu_{A^C}(x) = 1 - \mu_A(x), \forall x \in X$
- Οι τελεστές της τομής και της ένωσης που χρησιμοποιούνται για όλες τις εξισώσεις είναι το ελάχιστο και το μέγιστο που προτείνονται στο [149].
- Το πλήθος ενός ασαφούς συνόλου A σε ένα X ορίζεται ως : $|A| = \sum_{x \in X} \mu_A(x)$

Ένα AMO ή AA ορίζει την ομοιότητα μεταξύ δύο δειγμάτων ή αντικειμένων. Για ένα μέτρο ομοιότητας, η ομοιότητα είναι πιο μεγαλύτερη όταν η τιμή της αυξάνεται. Ωστόσο, για ένα μέτρο ανομοιομορφίας (π.χ. μέτρο απόστασης) η ομοιότητα είναι πιο μεγάλη όταν η τιμή της μειώνεται. Οπότε, όταν τα AMO και AA κανονικοποιηθούν ισχύει ότι το μέτρο ομοιότητας είναι ίσο με 1- μέτρο απόστασης και αντίστροφα.

Οι ιδιότητες των AMO συζητούνται σε μερικές μελέτες όπως [134, 150, 151] οι οποίες παρουσιάζουν ιδιότητες βασισμένες στα μέτρα εγγύτητας. Επιπρόσθετα, οι ερευνητές στα [139] και [152] πραγματοποίησαν μερικές τροποποιήσεις σε αυτές τις ιδιότητες και όρισαν μερικές ακόμα.

6.2.2 Επιλογή Ασαφών Μέτρων Ομοιότητας

Παρακάτω, παρουσιάζονται όλα τα AMO τα οποία επιλέχθηκαν με βάση τον ορισμό και τις ιδιότητές τους, ως τα πιο κατάλληλα για την εφαρμογή αισθητήρων σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης. Επισημαίνουμε ότι σε όλες τις εξισώσεις τα μ_A^i και μ_B^i συμβολίζουν αντίστοιχα το βαθμό συμμετοχής των $i^{οστών}$ στοιχείων στα σύνολα n στοιχείων A και B.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα AMO που βασίζονται στην τομή και στο πλήθος των ασαφών συνόλων.

Οι Pappis et al. [134] πρότειναν:

$$SM_1(A, B) = \frac{\sum_{i=1}^n \min(\mu_A^i, \mu_B^i)}{\sum_{i=1}^n \max(\mu_A^i, \mu_B^i)}$$

Στο [131] πρότειναν τα ακόλουθα AMO μεταξύ των ασαφών τιμών:

$$SM_2(A, B) = \max_i \left(\min(\mu_A^i, \mu_B^i) \right)$$

$$SM_3(A, B) = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_A^i \cdot \mu_B^i}{\max(\sum_{i=1}^n \mu_A^i \cdot \mu_A^i, \sum_{i=1}^n \mu_B^i \cdot \mu_B^i)}$$

Στο [151] προτάθηκε το επόμενο AMO:

$$SM_4(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\min(\mu_A^i, \mu_B^i)}{\max(\mu_A^i, \mu_B^i)}$$

Στο [138] παρουσιάζονται τα εξής ΑΜΟ:

$$SM_5(A, B) = \frac{|A^c \cap B^c|}{|A^c \cup B^c|}$$

$$SM_6(A, B) = \frac{|A \cap B|}{\max(|A|, |B|)}$$

$$SM_7(A, B) = \frac{|A^c \cap B^c|}{\max(|A^c|, |B^c|)}$$

$$SM_8(A, B) = \frac{|A \cap B|}{\min(|A|, |B|)}$$

$$SM_9(A, B) = \frac{|A^c \cap B^c|}{\min(|A^c|, |B^c|)}$$

Στο [139] προτείνεται:

$$SM_{10}(A, B) = \sum_{i=1}^n \frac{2 * \min(\mu_A^i, \mu_B^i)}{\mu_A^i + \mu_B^i}$$

Εάν $\mu_A^i + \mu_B^i = 0$ τότε $S_3(A, B) = 1$.

Στο [138] παρουσιάζονται ΑΜΟ που βασίζονται κυρίως στην συμμετρική διαφορά δυο ασαφών συνόλων.

$$S_{M11}(A, B) = \frac{|(A \Delta B)^c|}{\max(|(A \setminus B)^c|, |(B \setminus A)^c|)}$$

$$S_{M12}(A, B) = \frac{|(A \Delta B)^c|}{\min(|(A \setminus B)^c|, |(B \setminus A)^c|)}$$

$$S_{M13}(A, B) = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A \Delta B)(x_i)$$

Στην συνέχεια επιλέγουμε μέτρα που βασίζονται κυρίως στις ασαφείς αποστάσεις.
Στο [134] προτείνονται τα εξής AMO:

$$S_{M14}(A, B) = 1 - \max_i(|\mu_A^i - \mu_B^i|) \quad (14)$$

$$S_{M15}(A, B) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |\mu_A^i - \mu_B^i|}{\sum_{i=1}^n |\mu_A^i + \mu_B^i|}$$

Στο [131] μελετήθηκαν τα measures που προτείνονται στο [134] και αποδείχτηκε ότι το μέτρο (14) βασίζεται στο μοντέλο γεωμετρικής απόστασης όπως αυτό παρουσιάζεται στο [153]:

$$d_r(A, B) = \left(\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^r \right)^{\frac{1}{r}}$$

όπου $a = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ και $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ είναι δύο σημεία σε ένα n -διάστατο χώρο.
Όταν το r τείνει στο ∞ d_r τότε γίνεται:

$$S_{M16} = \max_i |a_i - b_i|$$

Οπότε οι Chen et al. πρότειναν το ακόλουθο μέτρο μεταξύ ασαφών τιμών:

$$S_{M17}(A, B) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |\mu_A^i - \mu_B^i|}{n}$$

και ο Wang [139] πρότεινε το επόμενο:

$$S_{M18}(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (1 - |\mu_A^i - \mu_B^i|)$$

Τελος, οι Truong, C., et al. [119] προτείνουν :

$$S_{M19}(A, B) = \frac{1}{\delta(A, B)} \frac{1}{|U_S|} \sum_{x \in U_S} \mu_A(x)$$

Όπως είδαμε και παραπάνω $U_S \subset \mathbb{R}$ είναι το σύνολο μετρήσεων ενός αισθητήρα A. Επίσης, ορίζεται το $\delta(A, B)$ ως το εύρος της διαφοράς των μετρήσεων μεταξύ δυο αισθητήρων A και B, που δίνεται από:

$$\delta(A, B) = |q_1^S - q_1^V| + |q_3^S - q_3^V|$$

Όπου $q_1^S, q_3^S \in U_S$ και $q_1^V, q_3^V \in U_V$ είναι τα σύνολα μετρήσεων των πρώτων και τρίτων τεταρτημορίων των αισθητήρων A και B, αντίστοιχα. Τα τεταρτημόρια ενός συνόλου σε διάταξη τιμών είναι τα τρία σημεία που χωρίζουν το σύνολο σε τέσσερα ίσα γκρουπ, το κάθε ένα από αυτά αντιπροσωπεύει ένα τέταρτο του πληθυσμού των τιμών.

Για να αποκτηθούν τα τεταρτημόρια των συνόλων των μετρήσεων του αισθητήρα A , αρχικά τοποθετούνται οι τιμές σε φθίνουσα σειρά. Το πρώτο τεταρτημόριο του U_S , συμβολίζεται με q_1^S , και είναι το μέγιστο μεταξύ των 25% των μετρήσεων του U_S . Το δεύτερο τεταρτημόριο, ή αλλιώς μέσος, είναι η τιμή που χωρίζει το U_S στην μέση, δηλαδή το 50% των μετρήσεων του U_S είναι μικρότερο αυτής της τιμής. Το τρίτο τεταρτημόριο, που συμβολίζεται με q_3^S είναι το ελάχιστο μεταξύ των υψηλότερων 25% μετρήσεων του U_S . Η χρήση των τεταρτημόριων βεβαιώνει ότι η επιρροή των ακραίων τιμών απαλείφεται, επειδή οι ακραίες τιμές των μετρήσεων θα βρίσκονται εκτός της περιοχής εμβέλειας του τεταρτημόριου $[q_1^S, q_3^S]$.

6.2.3 Εξαγωγή Λίστας Κατάταξης Συσχέτισης και Αναγωγή σε Πρόβλημα Ταξινόμησης Πολλαπλών Κλάσεων

Το **τρίτο** στάδιο αποτελείται από δυο φάσεις: την εξαγωγή της λίστας κατάταξης συσχέτισης των αισθητήρων και την μετατροπή αυτής σε πρόβλημα ταξινόμησης πολλαπλών κλάσεων. Η λίστα κατάταξης συσχέτισης προκύπτει ταξινομώντας το εκάστοτε ασαφές μέτρο συσχέτισης με φθίνουσα σειρά. Για κάθε μέτρο συσχέτισης προκύπτει και η αντίστοιχη λίστα. Επιπρόσθετα, εξάγουμε ακόμη 3 λίστες οι οποίες είναι αποτέλεσμα συγχώνευσης όλων των λιστών από κάθε μέτρο συσχέτισης.

Η συγχώνευση κατάταξης (ranking aggregation) αποτελεί ένα κλασικό πρόβλημα κοινωνικής επιλογής και θεωρίας ψηφίσματος. Περιληπτικά, το πρόβλημα της συγχώνευσης κατάταξης είναι ο συνδυασμός πολλών διαφορετικών κατατάξεων για το ίδιο σύνολο υποψηφίων (αισθητήρων στην περίπτωση μας), με σκοπό την καλύτερη κατάταξη [154].

Μια μέθοδος συγχώνευσης κατάταξης παίρνει ως είσοδο έναν αριθμό από κατανεμημένες λίστες και παράγει ως έξοδο μια άλλη κατανεμημένη λίστα [155]. Υλοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές τεχνικές συγχώνευσης για τον έλεγχο της βέλτιστης κατανομής για το πρόβλημα του συνδυασμού των διαφορετικών λιστών συσχέτισης αισθητήρων, και οι οποίες αναλύονται αμέσως μετά:

- **Borda (BC)**: Ο αριθμός Borda ενός στοιχείου είναι η μέση θέση στις κατατάξεις των εισόδων, δηλαδή:

$$Borda(i) = \sum_{j=1}^n \pi_j(\mathbf{f}_i)$$

όπου $\pi_j(\mathbf{f}_i)$ είναι η θέση της κατανόμησης του στοιχείου \mathbf{f}_i στην κατανόμηση π_j . Ο αλγόριθμος Borda κατανέμει τα στοιχεία σε αύξουσα σειρά των Borda μέτρων.

- **Condorcet (CD)** : Λαμβάνει υπόψιν μια σύγκριση ζευγαριών μεταξύ κατατάξεων δυο στοιχείων. Το κριτήριο Condorcet ορίζει ότι εάν υπάρχει κάποια εναλλακτική τιμή που

νικάει όλα τα υπόλοιπα κατά τις συγκρίσεις των ζευγαριών, τότε αυτή η τιμή είναι ο «Condorcet νικητής». Βασιζόμενη σε αυτήν την ιδιότητα, η μέθοδος Condorcet δουλεύει ως εξής: για κάθε κατάταξη που είναι είσοδος, συγκρίνει την κατάταξη $\pi_j(f_i)$ ενός στοιχείου f_i με την κατάταξη όλων των υπόλοιπων στοιχείων, ένα ζευγάρι κάθε φορά και αποφασίζει για ένα «νικητή», που αποτελεί το υψηλότερο κατανεμημένο στοιχείο. Στη συνέχεια, προσθέτει όλους τους νικητές για όλες τις κατατάξεις, διατηρώντας ξεχωριστά μετρήσεις για κάθε συνδυασμό σύγκρισης μεταξύ ζευγαριών. Το στοιχείο που κερδίζει με το πέρας των συγκρίσεων είναι εκείνο που προτιμάται όλων των υπολοίπων και άρα εκείνο που πρέπει να εμφανίζεται στην κορυφή της συγχώνευσης. Το στοιχείο αυτό απομακρύνεται, ώστε να υπολογιστεί εκ νέου ένας επόμενος Condorcet νικητής, ο οποίος τοποθετείται δεύτερος στη συγχώνευμένη λίστα κο.κ. Στις περιπτώσεις που είναι αδύνατον να κηρυχθεί μια τιμή ως Condorcet νικητής λόγω ισοτιμίας, τότε η επιλογή γίνεται με τυχαίο τρόπο μεταξύ των δυο (random tie break).

- Schulze (SSD): Τέλος, η μέθοδος αυτή είναι γνωστή και ως Schwartz Sequential Dropping (SSD) και υπακούει εξίσου στο κριτήριο Condorcet. Για κάθε ζευγάρι στοιχείου f_x και f_y μετρούνται τα μέτρα κατάταξης που έχουν συμβεί όπου επιλέχθηκε το f_x αντί του f_y , και πόσα μέτρα κατάταξης έχουν συμβεί όπου έχει επιλεχθεί το f_y αντί του f_x . Εάν ο πρώτος αριθμός είναι μεγαλύτερος τότε το f_x κερδίζει το f_y , και εάν ο δεύτερος αριθμός είναι μεγαλύτερος τότε το f_y κερδίζει το f_x . Στην περίπτωση που οι δύο αριθμοί είναι ίσοι, τότε υπάρχει ισοπαλία. Ένα σχετικό γράφημα μπορεί να κατασκευαστεί από αυτές τις πληροφορίες, όπου τα στοιχεία είναι οι κορυφές, και όποτε το f_x νικάει το f_y , προστίθεται μια ακμή με αρχή το f_x και τέλος το f_y . Αυτή η διαδικασία οδηγεί σε ένα γράφο, που πάντα έχει τουλάχιστον ένα κύκλο ή μεμονωμένο στοιχείο, το οποίο δεν έχει νικηθεί από κάποιο άλλο στοιχείο. Η συλλογή όλων αυτών των στοιχείων καλείται σύνολο Schwartz. Εάν υπάρχουν κύκλοι στο σύνολο Schwartz, αφαιρούμε ακμές. Σε έναν κύκλο, η ακμή που συνδέει το f_x στο f_y αφαιρείται, εάν ο αριθμός των κατατάξεων όπου το f_x έχει επιλεχθεί αντί του f_y και είναι το ελάχιστο σε σχέση με τις υπόλοιπες ακμές του κύκλου. Εάν υπάρχουν αρκετές ακμές με ένα συγκεκριμένο αριθμό ψήφων, τότε αφαιρούνται όλοι στο ίδιο βήμα. Η αφαίρεση ακμών μπορεί να κάνει το σύνολο Schwartz μικρότερο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι το σύνολο Schwartz να μην περιέχει κύκλους. Μετά τη διάσπαση των κύκλων, το σύνολο Schwartz αποτελείται μόνο από μεμονωμένους κόμβους και οι απομείνασες επιλογές είναι οι νικητές. Οι κόμβοι αυτοί αφαιρούνται από το γράφο και ένα καινούργιο σύνολο νικητών υπολογίζεται. Τα στοιχεία κατανέμονται στη συγχώνευμένη λίστα, σύμφωνα με την ακολουθία των νικητών κατά την οποία εμφανίζονται. Τυπικά υπάρχει μόνο ένας νικητής στον κάθε γύρο. Όταν υπάρχει μόνο ένας νικητής, οι ισοβαθμίες λύνονται με τυχαίο τρόπο.

Η δεύτερη φάση του 3^{ου} σταδίου αποτελείται από την αναγωγή του προβλήματος κατάταξης σε κλασικό πρόβλημα ταξινόμησης πολλαπλών κλάσεων. Επιλέγουμε λοιπόν, για να λύσουμε το πρόβλημα της κατάταξης, μια «Pointwise Approach», κατά την οποία χρησιμοποιούνται τεχνικές μηχανικής μάθησης για να «μάθει να κατατάσσει» (Learn to Rank) [156]. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιώντας την κατάλληλη διακριτοποίηση σε αντίστοιχο αριθμό κλάσεων, μας επιτρέπεται να χρησιμοποιήσουμε τεχνικές όπως Naive Bayes και SVM. Στο στάδιο 4 και 5 γίνεται η εκπαίδευση του μοντέλου μηχανικής μάθησης και αντίστοιχα η ταξινόμηση των νέων δεδομένων αισθητήρων από διαφορετικές δραστηριότητες του ίδιου ή και διαφορετικού χρήστη, σε λίστα κατάταξης συσχέτισης. Περισσότερα για αυτά τα στάδια θα περιγραφούν κατά την εφαρμογή των ευφυών μοντέλων στα δεδομένα διάχυτης τηλεπισκόπησης, όπου και θα αξιολογηθούν.

6.2.4 Μέτρο Ακρίβειας Κατάταξης

Πριν προχωρήσουμε στην εφαρμογή και αξιολόγηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας, κρίνεται χρήσιμο στο παρόν σημείο να οριστεί ο υπολογισμός της ακρίβειας σε ένα σύστημα κατάταξης συσχέτισης.

Αν και το kendall's τ παρουσιάζεται στη βιβλιογραφία ως η πιο ασφαλής και λογική επιλογή για τη σύγκριση δυο λιστών κατάταξης (rankings), υπάρχει μια σημαντική λεπτομέρεια σχετικά με αυτήν τη στατιστική μεθοδολογία, που σχετίζεται με την απόδοσή της. Το kendall's τ , τουλάχιστον για το περιεχόμενο που αφορά την ανάκτηση πληροφοριών, έχει την ιδιότητα να «τιμωρεί» (penalizes) ισότιμα τα σφάλματα που δημιουργούνται σε οποιοδήποτε μέρος της λίστας. Με άλλα λόγια, δεν διακρίνει μεταξύ των σφαλμάτων που συμβαίνουν στο πάνω μέρος της λίστας από εκείνα που συμβαίνουν προς το τέλος της λίστας [157]. Ωστόσο, σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις που αφορούν την ανάκτηση πληροφοριών, μας ενδιαφέρουν περισσότερο μόνο τα αντικείμενα που είναι κατανεμημένα προς τη μια πλευρά της λίστας (είτε το πάνω μέρος είτε το κάτω). Στην προτεινόμενη μεθοδολογία συσχέτισης του περιεχομένου των δεδομένων αισθητήρων, ο στόχος είναι συχνά η σωστή αναγνώριση των πιο σχετικών αισθητήρων, τα οποία βρίσκονται στο πάνω μέρος της λίστας, αφού έχουν κατανεμηθεί με βάση το μέτρο ομοιότητας.

Θα παρουσιάσουμε εδώ ένα παράδειγμα των προαναφερθέντων. Θεωρούμε 8 διαφορετικούς αισθητήρες και υποθέτουμε ότι η κατάταξή τους είναι η ακόλουθη: $< 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 >$. Υποθέτοντας ότι υπάρχουν δυο εναλλακτικές μέθοδοι για την αξιολόγηση τέτοιων συστημάτων, και έχοντας ως σκοπό να συγκρίνουμε την σχετική απόδοση των δυο αυτών μεθόδων, ακολουθούμε την εξής διαδικασία αξιολόγησης. Κατατάσσουμε τους αισθητήρες χρησιμοποιώντας την πρώτη μέθοδο και παίρνουμε ως αποτέλεσμα τη βαθμονομημένη σειρά $< 4 \ 3 \ 1 \ 2 \ 5 \ 6 \ 7 \ 8 >$. Στην Στη συνέχεια, εφαρμόζουμε την δεύτερη μέθοδο, που δίνει ως έξοδο την επόμενη κατάταξη $< 1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 8 \ 7 \ 5 \ 6 >$.

Όπως παρατηρούμε, η πρώτη μέθοδος έχει τα πρώτα τέσσερα συστήματα σε αντίστροφη σειρά, ενώ η δεύτερη έχει τα τελευταία τέσσερα συστήματα σε αντίστροφη σειρά. Η συγχέτιση kendall's τ για κάθε ranking υπολογίζεται και είναι η ίδια και για τις δυο ακολουθούμενες μεθόδους, αφού ισούται με 0.6429. Οπότε, βασιζόμενοι στα αποτελέσματα των τιμών kendall's τ, οι 2 μέθοδοι είναι ισοδύναμες στον τρόπο με τον οποίο κατανέμουν τα συστήματα. Ωστόσο, στη μεθοδολογία μας είναι πολύ πιο σημαντική η αποτελεσματικότητα της μεθόδου για τα πάνω μισά των αισθητήρων, παρά για τα κάτω μισά, με αποτέλεσμα η μέθοδος τελικά να υστερεί [158].

Οι συγγραφείς του [158] προτείνουν ένα νέο τρόπο υπολογισμού της ακρίβειας σε ένα σύστημα κατάταξης βασιζόμενοι στην μέση ακρίβεια. Η μέση ακρίβεια ορίζεται ως ο μέσος όρος της ακρίβειας σε σχετικούς αισθητήρες. Είναι επίσης γνωστό ότι αποτελεί μια προσέγγιση της περιοχής κάτω από την καμπύλη ακρίβειας-ανάκλησης (precision-recall curve).

Τροποποιώντας λοιπόν οι ερευνητές την πιθανοτική ερμηνεία της μέσης ακρίβειας [159] ελαφρώς, μπορούμε να λάβουμε ένα καινούργιο στατιστικό βαθμού συγχέτισης (rank correlation statistic) που δίνει περισσότερη βαρύτητα στα αντικείμενα που βρίσκονται στο πάνω μέρος της λίστας. Η κύρια ιδέα πίσω από το «AP correlation coefficient» (τ_{ap}) όπως ονομάστηκε, είναι ότι αφού οι κατατάξουμε στο πάνω μέρος της λίστας είναι πιο σημαντικές, δεδομένου ενός αντικειμένου, τότε το ενδιαφέρον έγκειται στο εάν αυτό το αντικείμενο είναι κατανεμημένο σε σχέση με τα αντικείμενα πάνω από το τρέχων. Οπότε, η συγχέτιση βασίζεται στον υπολογισμό της πιθανότητας ότι κάθε αντικείμενο είναι κατανεμημένο σωστά σε σχέση με τα αντικείμενα πάνω από το τρέχον αντικείμενο και παίρνοντας τον μέσο όρο όλων των αντικειμένων.

Θεωρούμε ως *Λίστα1* και *Λίστα2*, δύο λίστες αντικειμένων μήκους N και υποθέτουμε *Λίστα2* είναι η πραγματική σειρά κατάταξης των αντικειμένων και *Λίστα1* είναι μια σειρά κατάταξης αντικειμένων, των οποίων η συγχέτιση με την πραγματική σειρά κατάταξης *Λίστα2*, θα θέλαμε να υπολογίσουμε. Με μαθηματικούς όρους:

$$\tau_{ap} = \frac{1}{N - 1} \cdot \sum_{i=2}^N \frac{C(i)}{(i - 1)}$$

Οπου $C(i)$ είναι ο αριθμός των αντικειμένων πάνω από την θέση i και σωστά κατανεμημένο σε σχέση με το αντικείμενο στη θέση i στην *Λίστα1*.

Τέλος, οι Truong, C., et al. [119] πρότειναν ένα νέο μέτρο επικεντρωμένο στην κατάταξη αισθητήρων από ασαφή σύνολα. Ορίζουν ένα μέτρο που δείχνει μία βαθμωτή τιμή μεταξύ 0 (χειρότερο αποτέλεσμα) και 1 (καλύτερο αποτέλεσμα). Για κάθε αντιστοιχισμένο αισθητήρα, υπολογίζεται το σφάλμα κατάταξης π.χ. ο αριθμός των μη-σχετιζόμενων (non-matching) αισθητήρων που έχουν καταταχθεί ψηλότερα. Στη συνέχεια, υπολογίζεται το μέσο σφάλμα κατάταξης για όλους τους αντιστοιχισμένους αισθητήρες, το οποίο στην καλύτερη περίπτωση ισούται με 0, και στη χειρότερη συμπίπτει με τον αριθμό των μη-σχετιζόμενων αισθητήρων.

Για την κανονικοποίηση στο διάστημα $[0,1]$ διαιρείται με τον αριθμό των μη-σχετιζόμενων αισθητήρων. Τέλος, αφαιρώντας την τιμή από το 1 έχουμε το επιθυμητό μέτρο. Οπότε, ο προτεινόμενος από τους ερευνητές βαθμός ακρίβειας κατάταξης (DOA), ορίζεται όπως φαίνεται παρακάτω:

$$DOA(L) = 1 - \frac{1}{C_L(N_L - C_L)} \times \sum_{i=1}^{N_L} e_L(i)$$

όπου N_L είναι το μήκος της λίστας κατάταξης L , C_L είναι ο αριθμός των σχετιζόμενων (matching) αισθητήρων στο L , και $e_L(i)$ είναι το σφάλμα κατάταξης ενός σχετιζόμενου αισθητήρα σε μια βαθμίδα (rank) i , π.χ ο αριθμός των μη-σχετιζόμενων αισθητήρων ψηλότερα από i . Εάν το i είναι ένας μη σχετιζόμενος αισθητήρας τότε $e_L(i) := 0$.

Κανένα όμως από τα παραπάνω μέτρα αξιολόγησης κατάταξης δεν λαμβάνουν υπόψιν το πόσο λάθος είναι τα μη-σχετιζόμενα στοιχεία. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα σε περιπτώσεις που έχουμε ισοβαθμίες σε συγχωνεύσεις λιστών (που η επιλογή γίνεται τυχαία) ή πολύ μικρών διαφορών στα μέτρα ομοιότητας, που ακόμα και στη χειροκίνητη επισήμανση του ground-truth είναι πολύ δύσκολη η κατάταξη, να προσμετρώνται σαν μη σχετιζόμενοι αισθητήρες και λάθος. Για να μπορέσουμε να αξιολογήσουμε σωστά την επίδοση του προτεινόμενου συστήματος, προτείνουμε συμπληρωματικά ένα νέο μέτρο αξιολόγησης κατάταξης, όπου η αστοχία 1 θέσης προσμετράται σαν μερική ευστοχία και η αστοχία 2 θέσεων προσμετράται και αυτή σαν μικρότερη μερική ευστοχία κ.ο.κ. Μαθηματικά ορισμένα:

$$Vm = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=2}^N \frac{C(i) + \sum_{o=1}^i C_n(o)/L_s(o)}{(i-1)}$$

Όπου N είναι το μήκος της λίστας κατάταξης L , $C(i)$ είναι ο αριθμός των αντικειμένων πάνω από το τη θέση i και σωστά κατανεμημένο σε σχέση με το αντικείμενο στη θέση i . $C_n(o)$ είναι ο αριθμός των αντικειμένων πάνω από τη θέση i και μη σωστά κατανεμημένα και $L_s(o)$ είναι πόσες θέσεις είναι μετατοπισμένα τα κάθε μη σωστά κατανεμημένα σε σχέση με το αντικείμενο στη θέση i .

6.3 Εφαρμογή σε ένα Περιβάλλον Υποβοηθούμενης Διαβίωσης

Ως δεδομένα εκπαίδευσης και επαλήθευσης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την ανοικτής-πρόσβασης επίγνωσης πλαισίου βάση δεδομένων, η οποία δημιουργήθηκε στα πλαίσια του έργου OPPORTUNITY [105], όπως αυτή παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 5.

Υπενθυμίζουμε ότι η βάση εμπεριέχει ένα σύνολο από δεδομένα, παραγόμενα από φυσικές ανθρώπινες δραστηριότητες, σε ένα περιβάλλον πλούσιο σε αισθητήρες. Το περιβάλλον αυτό είναι μια αίθουσα, που προσομοιώνει ένα σπίτι με κουζίνα, καναπέ και εξωτερική πρόσβαση, όπου εκτελέστηκαν καθημερινά σενάρια δραστηριοτήτων και προσημειώνει επαρκώς ένα ΠΥΔ. Το συγκεκριμένο περιβάλλον είναι ένα παράδειγμα ανάπτυξης ενός μεγάλου αριθμού δικτυωμένων συστημάτων αισθητήρων διαφορετικών προελεύσεων (διαφόρων κατασκευαστών και πανεπιστημίων). Στα πλαίσια των πειραμάτων, έλαβαν μέρος 12 εθελοντές, εκτελώντας πρωινές δραστηριότητες, παράγοντας πάνω από 25 ώρες δεδομένων. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, πραγματοποιήθηκαν 60 συνεδρίες, στις οποίες καταγράφηκαν στο σύνολο 162 βίντεο, 2196 ροές δεδομένων και 39839 ετικέτες. Υπολογίζεται επίσης ότι έγιναν πάνω από 14000 αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον.

6.3.1 Εφαρμογή της Μεθοδολογίας στα Διαθέσιμα Δεδομένα

Για να έχουμε τα βέλτιστα αποτελέσματα αναπαράστασης και παρουσίασης, τόσο στα τελικά όσο και στα ενδιάμεσα, επιλέχθηκαν 30 αισθητήρες συνολικά και πιο αναλυτικά φαίνονται στον Πίνακας 20. Για κάθε αισθητήρα, λαμβάνονται 29 διανύσματα από τις συγκρίσεις με τους υπόλοιπους αισθητήρες. Αυτό ισχύει για 2 διαφορετικούς χρήστες (S1, S2), σε 2 διαφορετικές δραστηριότητες (Early morning, Cleanup), σε 4 διαφορετικές συνεδρίες (ADL1-4). Για κάθε έναν από αυτούς τους συνδυασμούς, η κάθε ροή μας δίνει 4 λεπτά χρονοσειρών δεδομένων δειγματοληπτώντας στα 20 Hz. Συνολικά, μας παρέχονται για εκπαίδευση και αξιολόγηση 13920 ροές δεδομένων με 19 χαρακτηριστικά το καθένα και 278400 δείγματα συνολικά στις χρονοσειρές τους. Αυτό αποτελεί ένα αρκετά μεγάλο δείγμα για να βγάλουμε σαφή συμπεράσματα. Στο υπόλοιπο της τρέχουσας υποενότητας, θα περιγραφούν τα βήματα της μεθοδολογίας που ακολουθήσαμε για την υλοποίηση της εφαρμογής, καθώς θα παρουσιάσουμε και τα αποτελέσματα της αξιολόγησης αυτής.

Τοποθεσία	Κατηγορία	Αριθμός Ροών δεδομένων
Right Arm	S1	accRUAL
	S2	accRUAU
	S3	accIMURUA
	S4	gyroIMURUA
	S5	magnIMURUA
	S6	quatIMURUA
Shoe	S7	eulerLSHOE
	S8	accLSHOE

Τοποθεσία	Κατηγορία	Αριθμός Ροών δεδομένων	
	S9	angVLSHOE	3
Fridge	S10	reedFRIDGE	1
UPDRAW	S11	reedUPDRAW	1
	S12	accIMURLA	3
Right Arm	S13	gyroIMURLA	3
	S14	magnIMURLA	3
	S15	quatIMURLA	3
	S16	accCUP	3
	S17	gyroCUP	3
Cheese	S18	accCHEESE	3
	S19	gyroCHEESE	3
Door	S20	accDOOR	3
	S21	gyroDoor	3
TAG1	S22	locationTAG1	1
Glass	S23	accGLASS	3
Lazychair	S24	accLazychair	3
Dishwasher	S25	reedDISHWASHER	1
Milk	S26	accMILK	3
	S27	gyroMILK	3
Spoon	S28	accSPOON	3
	S29	gyroSPOON	3
	S30	magnSpoon3	3

Πίνακας 20 Επιλεχθέντες αισθητήρες

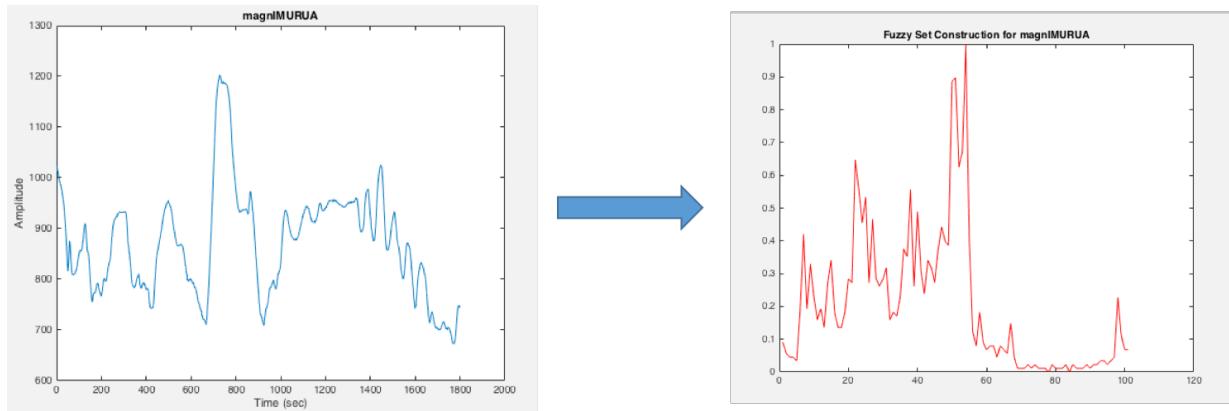
Στο πρώτο βήμα εξήχθησαν τα ασαφή σύνολα για κάθε έναν από τους αισθητήρες και υπολογίστηκε το κατάλληλο ground truth. Το ground truth της λίστας συσχέτισης για κάθε αισθητήρα κατασκευάζεται με βάση την απόσταση και την κατηγορία του αισθητήρα. Για παράδειγμα, ένα επιταχυνσιόμετρο στο χέρι θεωρείται πιο σχετικό με ένα επιταχυνσιόμετρο στο υπόλοιπο σώμα, παρά με αυτό του ψυγείου και ακόμη λιγότερο με το μαγνητόμετρο στην καρέκλα. Για να μπορεί το ground truth να υπολογιστεί για όλες τις περιπτώσεις και τους συνδυασμούς, ορίσαμε τις «σχετικές αποστάσεις» μεταξύ των τοποθεσιών μέσα στο δωμάτιο ως D_L αλλά και μεταξύ των κατηγοριών των αισθητήρων D_C . Ορίζεται ως το ground truth μέτρο ομοιότητας μεταξύ ενός αισθητήρα A και B:

$$GTS(A, B) = D_L(A, B) + D_C(A, B) + D_L(A, B) * D_C(A, B)$$

Ανάλογα με το σενάριο αξιολόγησης που θέλουμε να μελετήσουμε, παράχθηκε και το αντίστοιχο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης και δοκιμής. Για παράδειγμα, αν θέλουμε να

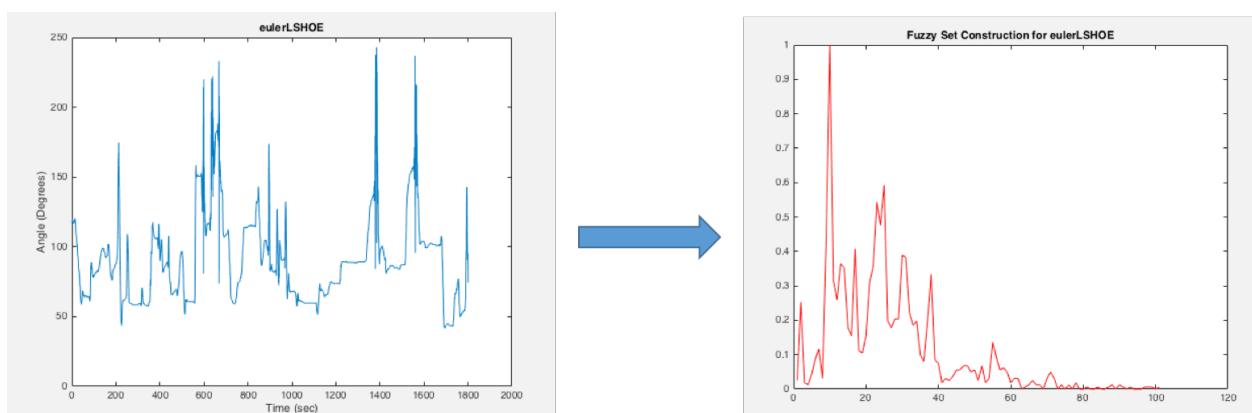
εξακριβώσουμε αν η τεχνική είναι εξαρτημένη από την εκπαίδευση του μοντέλου στα δεδομένα του εκάστοτε χρήστη, χωρίζουμε τα δεδομένα μας σε εκπαίδευσης από τον χρήστη Α και δεδομένα δοκιμής από τον χρήστη Β. Τα σενάρια αξιολόγησης και τα αντίστοιχα αποτέλεσματα αυτών αναλύονται στο επόμενο υπο-κεφάλαιο.

Στο δεύτερο βήμα λαμβάνει χώρα ο υπολογισμός των AMO του κάθε αισθητήρα με κάθε έναν από τους υπόλοιπους 30. Μερικά παραδείγματα των S7, S9, S10, φαίνονται στις Εικόνα 45, Εικόνα 46 και Εικόνα 47.

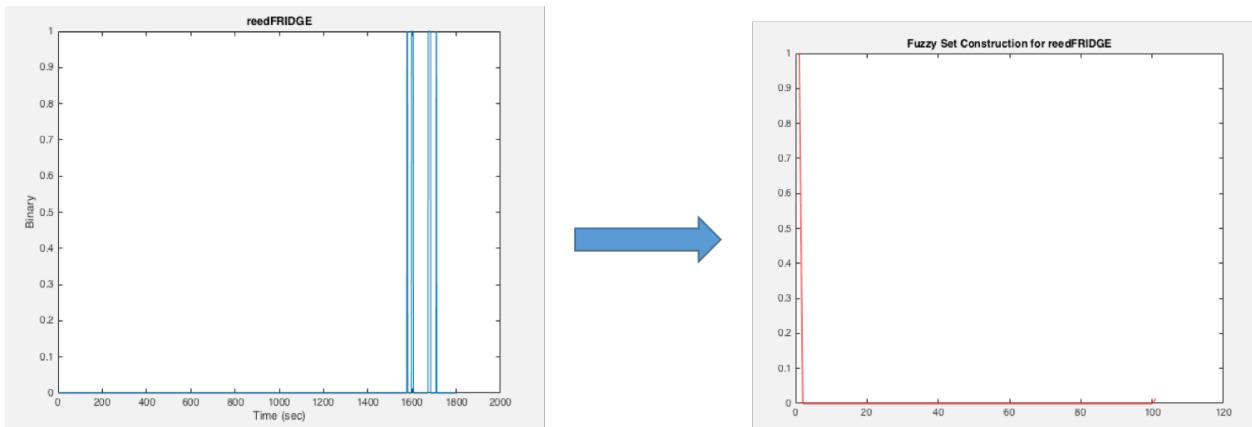


Εικόνα 45 Εξαγωγή ασαφών συνόλων από τον αισθητήρα S7

Στο επόμενο βήμα εξάγονται οι λίστες κατάταξης με βάση το κάθε AMO ξεχωριστά και οι 3 συγχωνευμένες λίστες από τις υπόλοιπες 19. Στην συνέχεια, θα διακριτοποιήσουμε το αποτέλεσμα, ώστε να ανάγουμε το πρόβλημα σε πρόβλημα μηχανικής μάθησης.



Εικόνα 46 Εξαγωγή ασαφών συνόλων από τον αισθητήρα S9



Εικόνα 47 Εξαγωγή ασαφών συνόλων από τον αισθητήρα S10

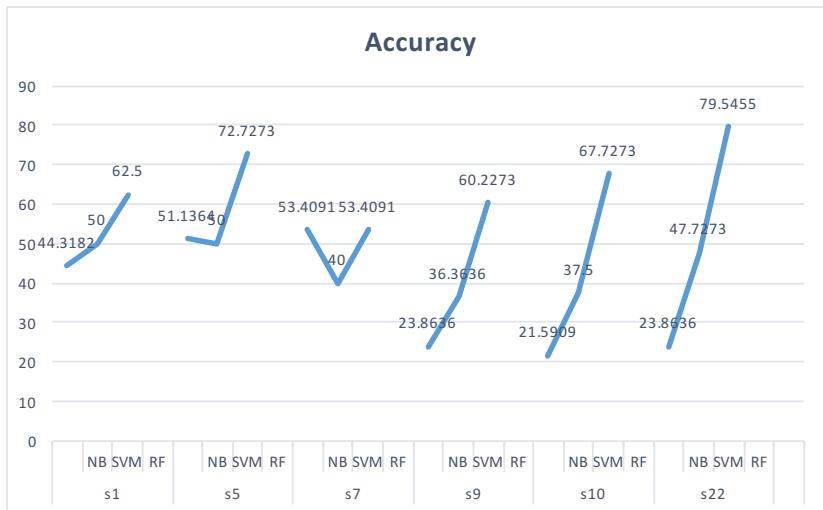
Στο βήμα 4 εκπαιδεύουμε τρεις ευρέως διαδεδομένες τεχνικές μηχανικής μάθησης, Naïve Bayes, SVM και τέλος Τυχαία Δάση (Random Forest). Για την παραμετροποίηση του SVM, έχουμε επιλέξει ένα γραμμικό μοντέλο, ενώ για τα τυχαία δάση έχουμε επιλέξει να εκπαιδευτούν 200 τυχαία δάση και τυχαία επιλογή χαρακτηριστικών. Τέλος, το βήμα περιέχει τη δοκιμή των εκπαιδευμένων μοντέλων με νέα δεδομένα αισθητήρων από άλλες συνθήκες πειράματος (ίδιο και διαφορετικό, χρήστη, δραστηριότητα και συνεδρία). Επιπρόσθετα εξάγεται από τα ταξινομημένα δείγματα η λίστα κατάταξης. Για να είναι αυτό εφικτό και έστω $\{y_i, x_i\}_i^L$ τα δεδομένα επαίδευσης, N ο αριθμός των κλάσεων με $c_i \in \{1, 2, 3, \dots, N\}$ και $p_{ic} = \Pr(y_i = k)$ η η κατανομή πιθανότητας μετά την ταξινόμηση, τότε ορίζεται σαν εξαγόμενο μέτρο συσχέτισης το:

$$s_{cl} = \sum_{c=0}^N p_{ic} * k$$

όπου k είναι το επίπεδο βαρύτητας της κλάσης.

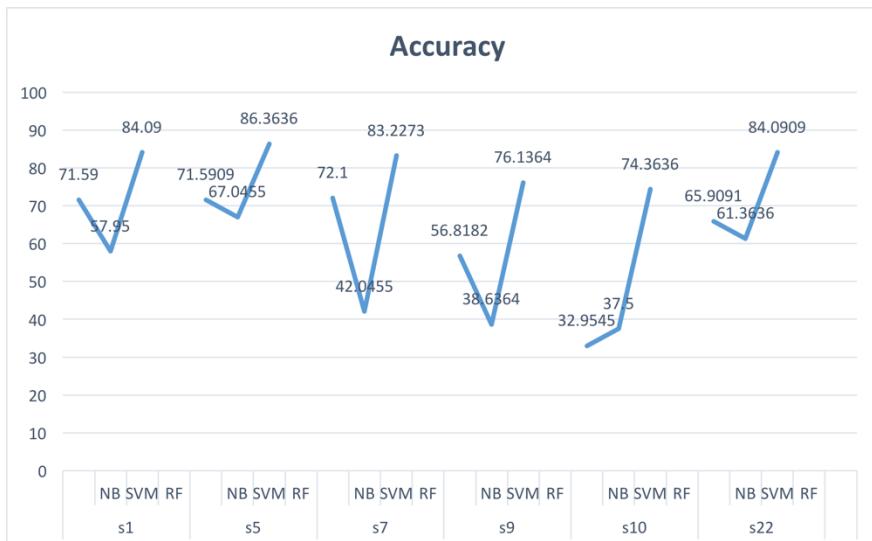
6.3.2 Αποτελέσματα

Στόχος αυτής της ενότητας είναι η αξιολόγηση της προτεινόμενης ευφυούς μεθοδολογίας. Δοκιμάστηκαν διάφοροι συνδυασμοί συνθηκών και δεδομένων εκπαίδευσης και δοκιμής (πχ. διαφορετικές συνεδρίες, χρήστες και δραστηριότητες) ανά αισθητήρα (S1, S5, S7, S9, S10, S22) και δύο συνδυασμοί για τους 30 αισθητήρες. Πιο συγκεκριμένα, στο Διάγραμμα 2 βλέπουμε την ακρίβεια, βασισμένη σε 10-fold επικύρωση με ροές δεδομένων εκπαίδευσης από το ίδιο άτομο, την ίδια δραστηριότητα και την ίδια συνεδρία. Σε αυτήν την περίπτωση βλέπουμε ότι συνολικά τα τυχαία δάση με μέσο όρο ακρίβειας 66.02%. Οι μετρήσεις για τη μέση ανάκληση (recall), ακρίβεια (precision) και F measure φαίνονται στο Διάγραμμα 5.



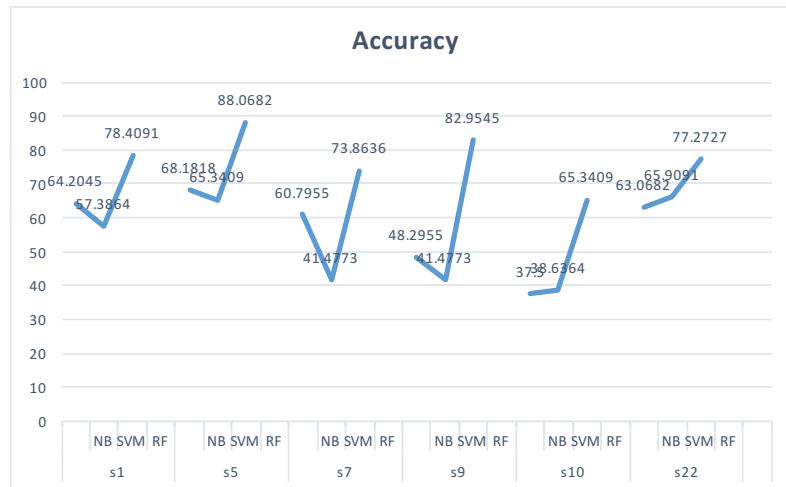
Διάγραμμα 2 Η ακρίβεια στην περίπτωση του ίδιου χρήστη δραστηριότητας και συνεδρίας.

Στη συνέχεια, οι τεχνικές μηχανικής μάθησης εκπαιδεύτηκαν με δεδομένα από τον ίδιο χρήστη, αλλά και από πιο πολλές συνεδρίες στην ίδια δραστηριότητα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Διάγραμμα 3 και αντίστοιχα στο Διάγραμμα 6 φαίνονται η μέση ακρίβεια, η ανάκληση και η F-measure. Τα τυχαία δάση είναι πάλι πιο ψηλά με μέσο όρο ακρίβειας 81,3%.



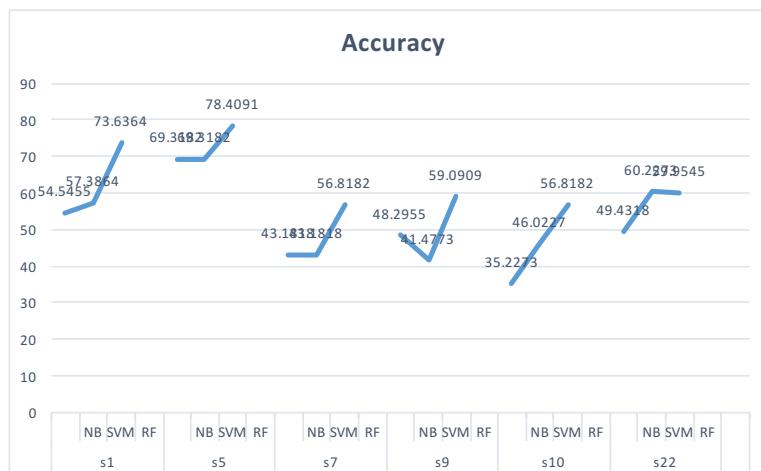
Διάγραμμα 3 Η ακρίβεια στην περίπτωση του ίδιου χρήστη και δραστηριότητας, αλλά διαφορετικής συνεδρίας.

Στη συνέχεια βλέπουμε στο Διάγραμμα 3 τα σχετικά αποτελέσματα για την περίπτωση που ο χρήστης παραμένει ίδιος αλλά τώρα έχουμε 4 συνεδρίες και 2 διαφορετικές δραστηριότητες. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε σαν μέθοδο επιβεβαίωσης 10 – fold. Ο καλύτερος μέσος όρος της ακρίβειας στους 6 αισθητήρες είναι 77,7% και ανήκει ξανά στα τυχαία δάση.

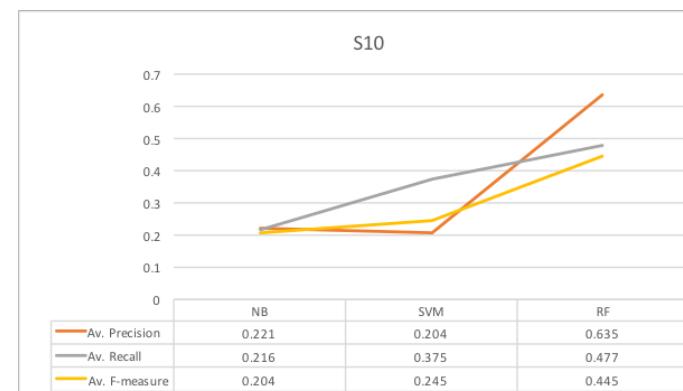
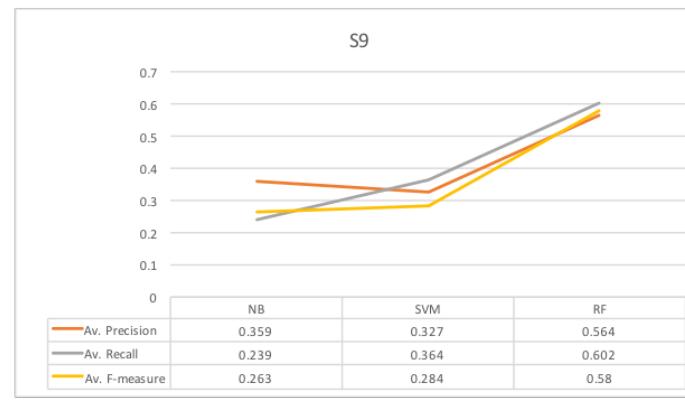
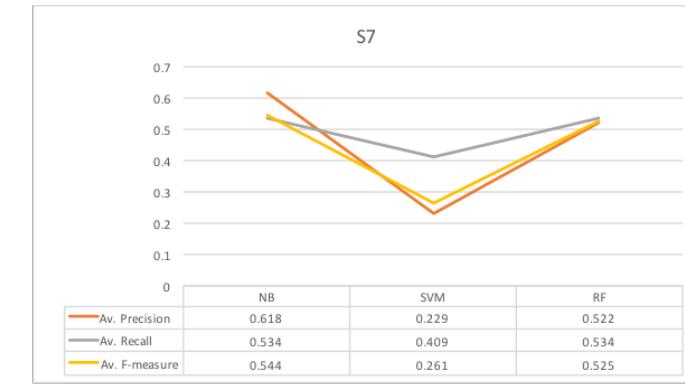
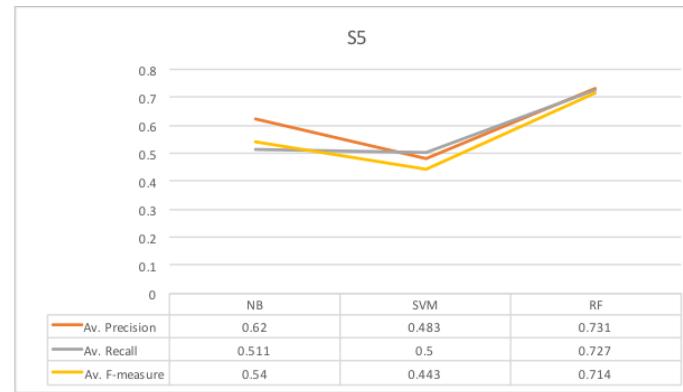
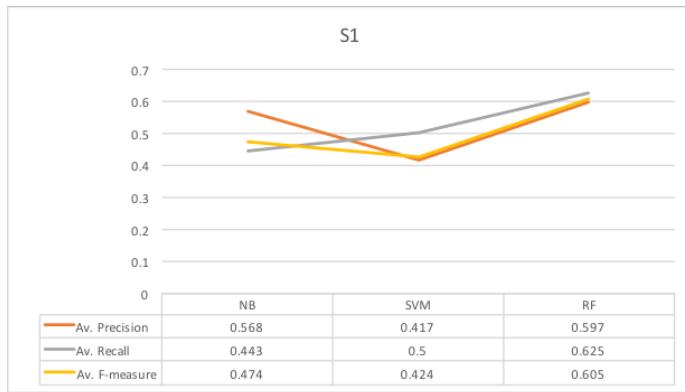


Διάγραμμα 3 Η ακρίβεια στην περίπτωση του ίδιου χρήστη διαφορετικής δραστηριότητας και συνεδρίας

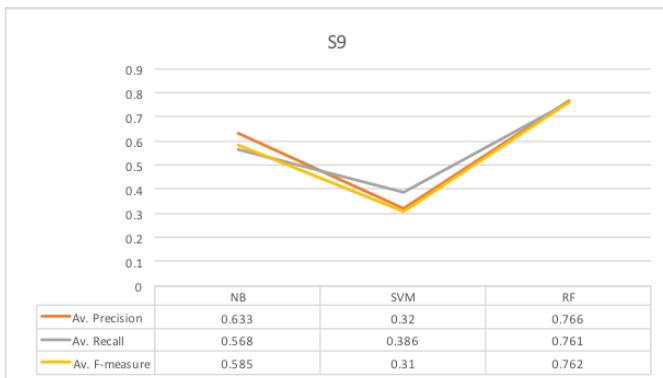
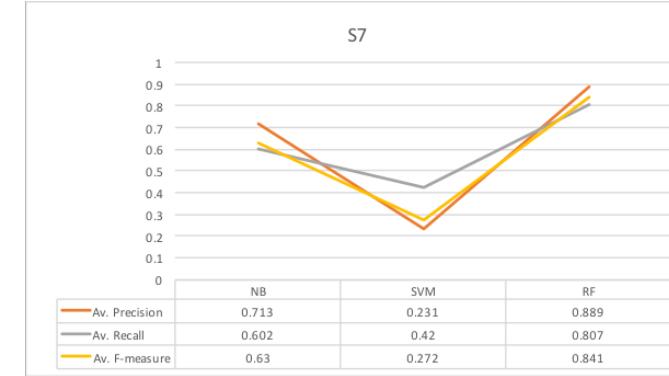
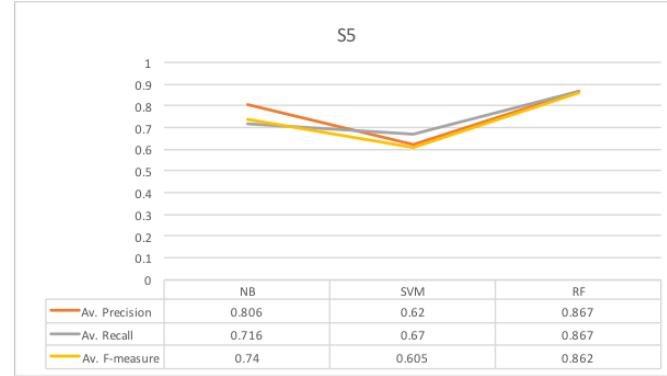
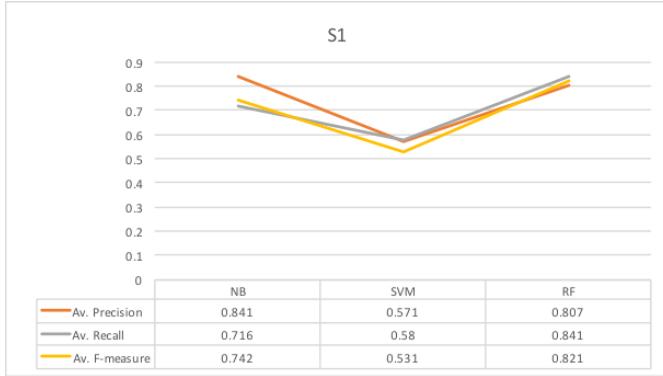
Ακόμη μια δοκιμή είναι αυτή που τα μοντέλα εκπαιδεύονται με τις 4 συνεδρίες και τις 2 δραστηριότητες του ενός χρήστη και δοκιμάζονται στα δεδομένα του άλλου χρήστη (Διάγραμμα 4 και Διάγραμμα 8). Σε αυτή την περίπτωση ο μέσος όρος είναι 64,1% και είναι ο χαμηλότερος όπως ήταν και αναμενόμενο αλλά πάλι από τα τυχαία δάση, και τα αποτελέσματα φαίνονται στο Διάγραμμα 4 και Διάγραμμα 8.



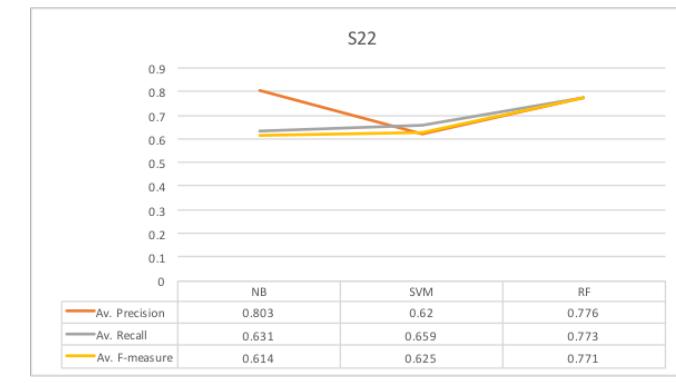
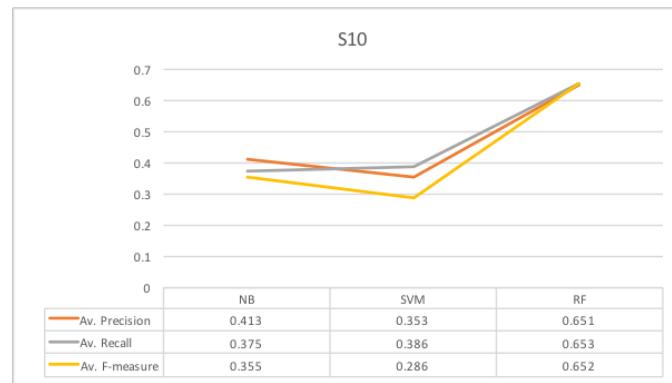
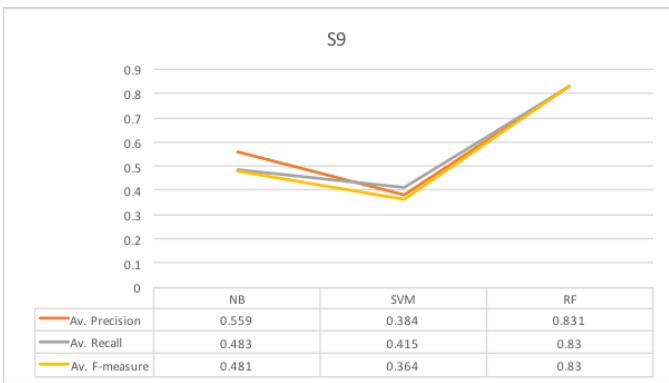
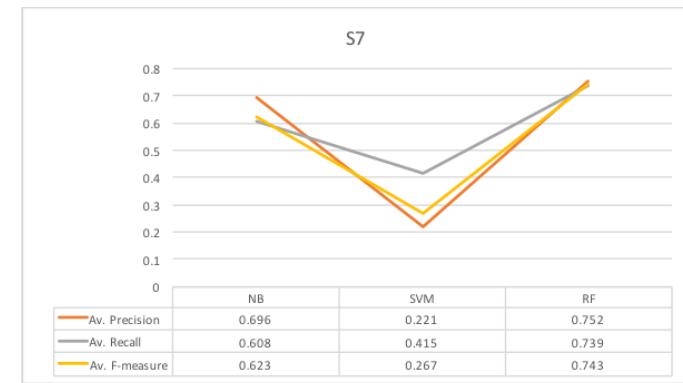
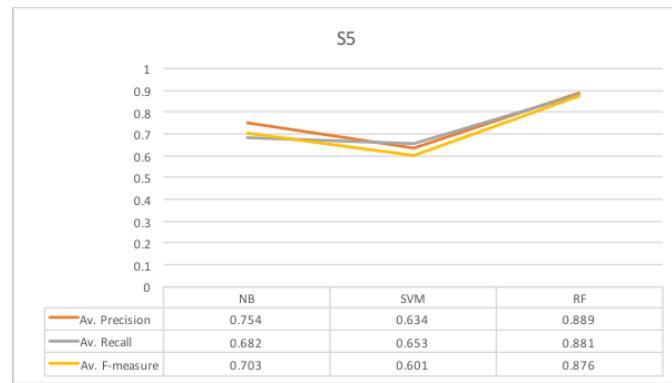
Διάγραμμα 4 Η ακρίβεια στην περίπτωση του διαφορετικού χρήστη, δραστηριότητας και συνεδρίας



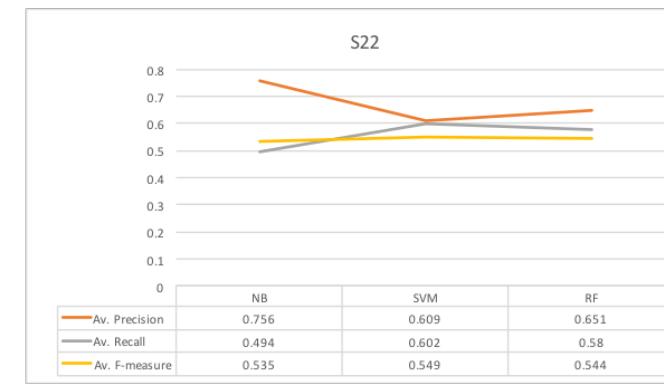
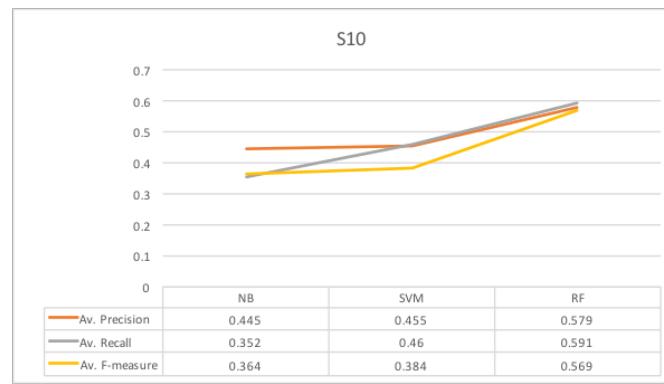
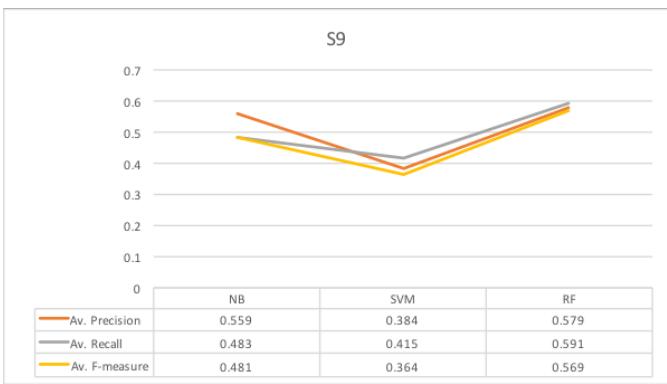
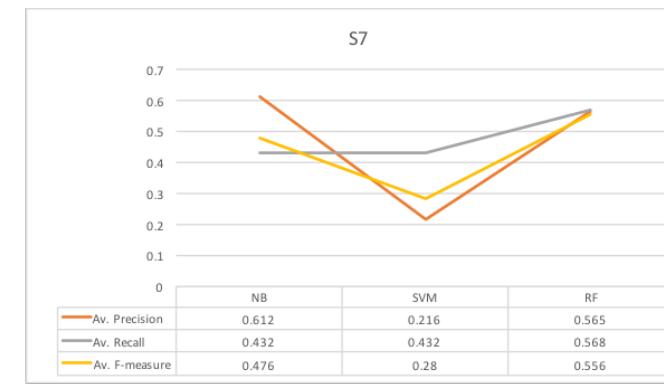
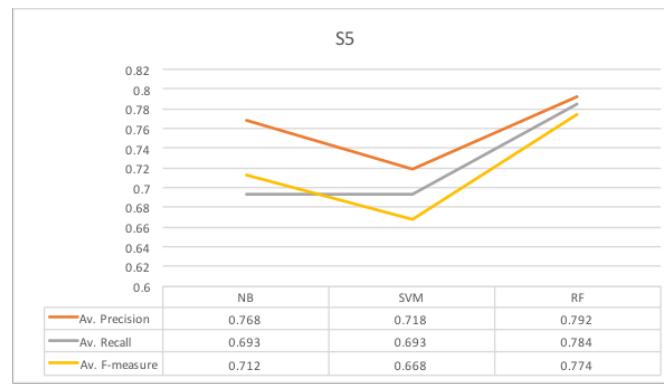
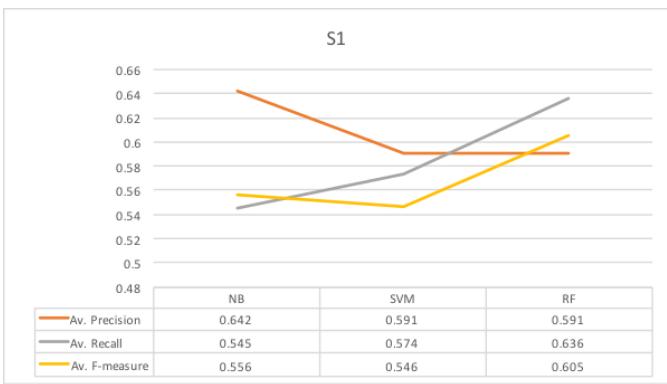
Διάγραμμα 5 Ανάκληση, ακρίβεια και F-measure στην περίπτωση του ίδιου χρήστη δραστηριότητας και συνεδρίας



Διάγραμμα 6 Ανάκληση, ακρίβεια και F-measure στην περίπτωση του ίδιου χρήστη διαφορετικής δραστηριότητας και συνεδρίας



Διάγραμμα 7 Ανάκληση, ακρίβεια και F-measure στην περίπτωση του ίδιου χρήστη διαφορετικής δραστηριότητας και συνεδρίας

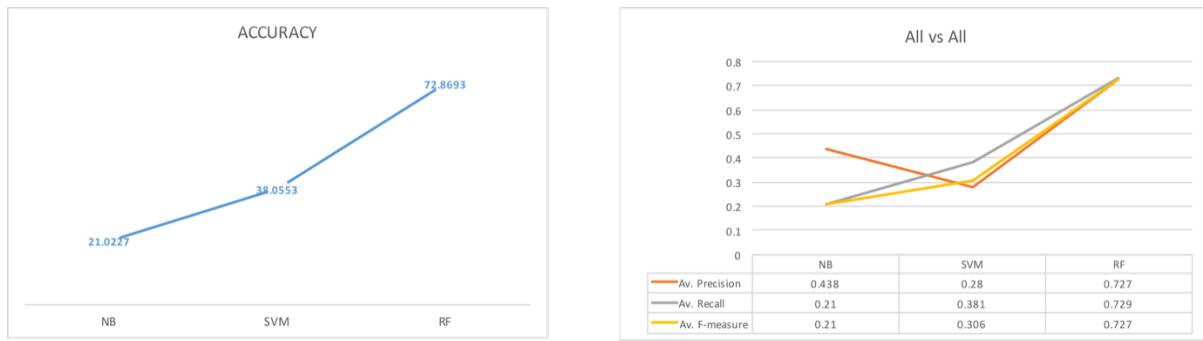


Διάγραμμα 8 Ανάκληση, ακρίβεια και F-measure του διαφορετικού χρήστη, δραστηριότητας και συνεδρίας

Επίσης, ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των Διάγραμμα 9 και Διάγραμμα 10 που δείχνουν ότι στην περίπτωση που 10-fold επιβεβαίωση δοκιμάσουμε όλους τους αισθητήρες, στην περίπτωση που είναι εκπαιδευμένο και δοκιμάζεται στον ίδιο χρήστη, τα τυχαία δάση φτάνουν σε μια ακρίβεια των 75%, ενώ αν είναι ανεξαρτητο από το χρήστη, πέφτει στο 72%.

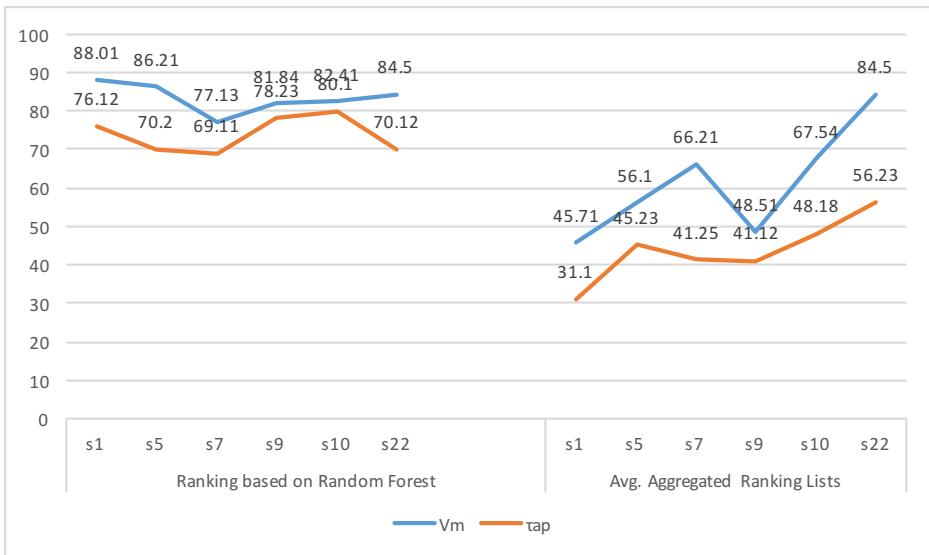


Διάγραμμα 9 Η ακρίβεια για All vs All τους αισθητήρες για τον ίδιο χρήστη



Διάγραμμα 10 Η ακρίβεια για All vs All τους αισθητήρες ανεξαρτήτου χρήστη

Τέλος, στο Διάγραμμα 11 βλέπουμε τη σύγκριση των λιστών κατάταξης, που προέκυψαν από τα τυχαία δάση, σε σχέση με τη μέση ακρίβεια από τις 3 συγχωνευμένες λίστες συσχέτισης, για τους αισθητήρες (S1,S5,S7,S9,S10) στον ίδιο χρήστη, ίδια δραστηριότητα σε διαφορετικές συνεδρίες. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα Vm και tap για να υπολογιστεί η ακρίβεια της κάθε λίστα κατάταξης. Είναι φανερό ότι οι λίστες που προκύπτουν από τα τυχαία δάση, είναι πολύ ψηλότερα σε επίπεδο ακρίβειας και στα δύο μέτρα 83,3 έναντι 73,9 στο Vm μέτρο και αντίστοιχα 61,4 έναντι 43,9.



Διάγραμμα 11 Σύγκριση των λιστών κατάταξης που προέκυψαν από τα τυχαία δάση σε σχέση με την μέση ακρίβεια από τις 3 συγχωνευμένες λίστες

6.4 Συζήτηση – Συμπεράσματα

Η διάχυτη τηλεπισκόπηση γίνεται όλο και πιο εφικτή μέσω της εξέλιξης των σύγχρονων τηλεπικοινωνιών και άλλων πεδίων της σύγχρονης επιστήμης. Η ιδέα της βασίζεται σε ένα περιβάλλον από αντικείμενα όπως αισθητήρες, ενεργοποιητές, κινητά τηλέφωνα, κ.α., τα οποία αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους, καθώς και με το περιβάλλον περιβάλλον. Ένα τέτοιο περιβάλλον έχει άμεση εφαρμογή σε πολλούς τομείς, όπως σε αυτόν της υγείας.

Η βιβλιογραφία αναφέρει υπάρχουσες εφαρμογές της διάχυτης τηλεπισκόπησης στην υγεία, που κυρίως ασχολούνται με τη δικτύωση των απαραίτητων αντικειμένων με σκοπό τη διαθεσιμότητα και προσπελασιμότητα των σημαντικών ιατρικών δεδομένων ενός ασθενή. Η πλειονότητα των εργασιών αυτών συνδυάζουν υπάρχουσες τεχνολογίες και υλοποιούν ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης, με σκοπό να διαχειριστούν το πρόβλημα των πολλών λαθών που συμβαίνουν στην υγειονομική περίθαλψη και σχετίζονται κυρίως με την άμεση διαθεσιμότητα της απαραίτητης πληροφορίας.

Στο παρόν κεφάλαιο μελετήθηκε η εφαρμογή της διάχυτης τηλεπισκόπησης, βασιζόμενη στη συσχέτιση ασαφών συνόλων σε ένα ΠΥΔ. Διερευνήθηκε η δυνατότητα εξαγωγής ασαφών συνόλων από τις ροές δεδομένων αισθητήρων και η συσχέτιση αυτών σε μία λίστα κατάταξης βασιζόμενοι σε τεχνικές μηχανικής μάθησης.

Η προτεινόμενη τεχνική εφαρμόστηκε και επαληθεύτηκε σε δεδομένα από την ανοικτής-πρόσβασης βάση δεδομένων, η οποία δημιουργήθηκε στα πλαίσια του έργου OPPORTUNITY

[108] (Κεφάλαιο 5). Το σύστημα δοκιμάστηκε σε 30 ετερογενής αισθητήρες, με συνολικά 75 ροές σε διαφορετικές συνθήκες, που συνολικά παρήγαγαν 13920 ροές δεδομένων με 19 χαρακτηριστικά το καθένα και 278400 δείγματα συνολικά στις χρονοσειρές τους.

Η τεχνική αξιολογήθηκε για την ικανότητά της να συσχετίζει κάθε αισθητήρα από τους 30 με τους άλλους 29. Η τεχνική έδωσε ενθαρρυντικά αποτελέσματα αφού στα τυχαία δάση στην ταξινόμηση έφτασε και 81,3%, όταν ο χρήστης και η δραστηριότητα μένουν ίδια, ενώ η ακρίβεια στην αντίστοιχη λίστα κατάταξης ήταν 83,3.

Κεφάλαιο 7

Μέθοδος Δημιουργίας Προφίλ σε Ένα

Περιβάλλον Διάχυτης Τηλεπισκόπησης

Όπως αναφέρθηκε και στις προηγούμενες ενότητες, σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης θα υπάρχουν πολλαπλοί αισθητήρες που θα συλλέγουν πληροφορίες και σε αρκετές περιπτώσεις θα πρόκειται για παρόμοιας φύσεως δεδομένα. Επιπλέον, λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας των αισθητήρων, νέες μέθοδοι συλλογής δεδομένων θα αναπτύσσονται και θα προτείνονται διαρκώς. Σε έναν κόσμο κορεσμένο με πράγματα που θα σχηματίζουν ποικίλα και ετερογενή δίκτυα με επικαλυπτόμενες δυνατότητες σε μαζικά κατανεμημένα περιβάλλοντα διάχυτης τηλεπισκόπησης, είναι σημαντικό να υπάρξει σωστή και αποτελεσματική εκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων, συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας και της επαναχρησιμοποίησης των δεδομένων.

Για το σκοπό αυτό, οι εφαρμογές και οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε αυτές, θα πρέπει να αποτελούν ξεχωριστές οντότητες. Αυτό καθιστά επιτακτική την ανάπτυξης μηχανισμών ανακάλυψης και αλγορίθμους που επιτρέπουν στις εφαρμογές, στα συστήματα και γενικότερα στις υπηρεσίες, να ανακαλύπτουν και να λαμβάνουν σχετικά δεδομένα από αντικείμενα/αισθητήρες (φυσικούς, εικονικούς, λογικούς).

Με αυτήν την απαίτηση να λαμβάνεται υπόψη, πρέπει να σημειωθεί ότι η σύνδεση αισθητήρων και ενεργοποιητών σε ένα δίκτυο διάχυτης τηλεπισκόπησης δεν αποτελεί μια ολοκληρωτικά καινούργια πρόκληση στο χώρο της επιστήμης των υπολογιστών και της μηχανικής. Τα δίκτυα αισθητήρων [38] χρησιμοποιούνται και ερευνώνται εδώ και πολλές δεκαετίες. Ωστόσο, οι πρώτες προσεγγίσεις που ακολουθήθηκαν, επικεντρώθηκαν στην

υλοποίηση εξειδικευμένων εφαρμογών ανάλογα με την ανάγκη που αυτές επρόκειτο να καλύψουν. Περαιτέρω ερευνητικές προσπάθειες πραγματοποιήθηκαν στον τομέα της διαχείρισης ενέργειας, τη δρομολόγηση, την κινητικότητα και την αξιοπιστία.

Αντίθετα, η διάχυτη τηλεπισκόπηση εστιάζει περισσότερο σε υψηλού-επιπέδου εργασίες, όπως η συλλογή, η αποθήκευση, η αναζήτηση και η κατανόηση των δεδομένων. Στο πλαίσιο αυτό, η συγκεκριμένη ενότητα μελετά μια νέα μεθοδολογία για την εξαγωγή προφίλ που αφορούν τους διαθέσιμους αισθητήρες σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης και την κατηγοριοποίηση των δραστηριοτήτων με υψηλού-επιπέδου πλαίσια στα διαθέσιμα αυτά προφίλ.

7.1 Συναφείς Εργασίες

Κρίνεται αναγκαίο σε αυτήν την υποενότητα να αναφερθούν εν συντομίᾳ τεχνικές που φτάνουν αρκετά κοντά στην πρόκληση που μελετάται στον παρόν κεφάλαιο. Οι Truong et al. [119] προτείνουν μια ασαφή συσχέτιση αισθητήρων συγκρίνοντας την έξοδο ενός συγκεκριμένου αισθητήρα με τις εξόδους άλλων, με στόχο τον εντοπισμό του επιθυμητού. Από την μεριά τους οι Mayer et al. [160] θεωρούν ότι η τοποθεσία των αισθητήρων αποτελεί το κύριο χαρακτηριστικό των πλαισίων και των δομών τους. Στη συνέχεια, οι αισθητήρες συσχετίζονται και αναζητούνται με βάση την περιοχή, χρησιμοποιώντας τεχνικές αναζήτησης δέντρων, ώστε τελικά τα ερωτήματα αναζήτησης να επεξεργάζονται σε διαφορετικά μονοπάτια/κόμβους των δέντρων αυτών.

Οι Elahi et al. [161] προτείνουν μια προσέγγιση με βάση το περιεχόμενο της εξόδου του κάθε αισθητήρα. Επιπρόσθετα, το Dyser είναι μια μηχανή αναζήτησης που προτάθηκε από τους Ostermaier et al. [162] για την υποστήριξη σε πραγματικό χρόνο της διάχυτης τηλεπισκόπησης. Η μηχανή αυτή χρησιμοποιεί στατιστικά μοντέλα για να προβλέψει την σχετική κατάσταση των εγγεγραμμένων αντικειμένων (αισθητήρων). Όταν ένας χρήστης υποβάλλει ένα ερώτημα, το Dyser έχει την δυνατότητα ανάκτησης των τελευταίων στοιχείων, ώστε να προσδιορίσει την τωρινή κατάσταση του εκάστοτε αισθητήρα και να αποφασίσει αν ταιριάζει με το αίτημα του χρήστη. Διάφορα μοντέλα πρόβλεψης βοηθούν το σύστημα Dyser να βρει τους κατάλληλους αισθητήρες και η εύρεση γίνεται με τον ελάχιστο απαιτούμενο αριθμό ανακτήσεων δεδομένων.

Πολύ λίγες είναι οι σχετικές μελέτες που επικεντρώνονται στην αναζήτηση αισθητήρα με βάση τις πληροφορίες πλαισίου και ακόμη λιγότερες είναι αυτές που συσχετίζουν χαμηλού-επιπέδου πλαίσια για την απόδοση συμπερασμάτων υψηλότερου-επιπέδου πληροφορίας. Σε μια πρόσφατη μελέτη των Pereza et al. [163] λαμβάνεται υπόψιν η πληροφορία του πλαισίου,

χωρίς όμως την περαιτέρω συσχέτιση αυτής. Πιο συγκεκριμένα, στο μοντέλο τους διαχωρίζουν τις απαιτήσεις των χρηστών σε δύο κατηγορίες:

- τις απαιτήσεις με βάση το σημείο
- τις απαιτήσεις με βάση την εγγύτητα

Οι απαιτήσεις με βάση το σημείο, που ονομάζονται επίσης και μη διαπραγματεύσιμες απαιτήσεις, καλούνται να ικανοποιηθούν ακριβώς όπως αυτές ορίζονται από τον χρήστη. Αντιθέτως, οι απαιτήσεις με βάση την εγγύτητα, οι οποίες ονομάζονται και διαπραγματεύσιμες, δύνανται να μην ικανοποιηθούν, όπως ακριβώς καθορίζονται από τον χρήστη. Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραπάνω προτεινόμενες λύσεις, μελετάμε σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης μια μεθοδολογία συσχέτισης αισθητήρων και δραστηριότητας χρήστη με σκοπό τη δημιουργία αντιστοίχων προφίλ.

7.2 Κίνητρο

Το πρόβλημα που εξετάζουμε σε αυτήν την ενότητα, μπορεί να οριστεί ως ακολούθως: λόγω του αυξανόμενου αριθμού των διαθέσιμων αισθητήρων, θα πρέπει να επιλεχθούν οι αισθητήρες που παρέχουν δεδομένα, τα οποία σχετίζονται με την υπηρεσία ή κατ' επέκταση με μια δραστηριότητα στην οποία ο χρήστης επιθυμεί να έχει πρόσβαση. Για να είναι αυτό εφικτό, θα πρέπει να επιλεχθούν οι κατάλληλοι αισθητήρες. Αυτό θα γίνει εκτός των άλλων, με την εκμετάλλευση της εγκαθιδρυμένης επίγνωσης πλαισίου. Αρχικά, θα πρέπει να οριστεί η σχέση μεταξύ των αναγκών και των προτιμήσεων των χρηστών και των διαθέσιμων αισθητήρων, προκειμένου να είμαστε σε θέση να εκμεταλλευτούμε όσο τον δυνατό καλύτερα τις διαθέσιμες πληροφορίες και να διαχειριστούμε με αποτελεσματικό τρόπο το εγκατεστημένο δίκτυο αισθητήρων.

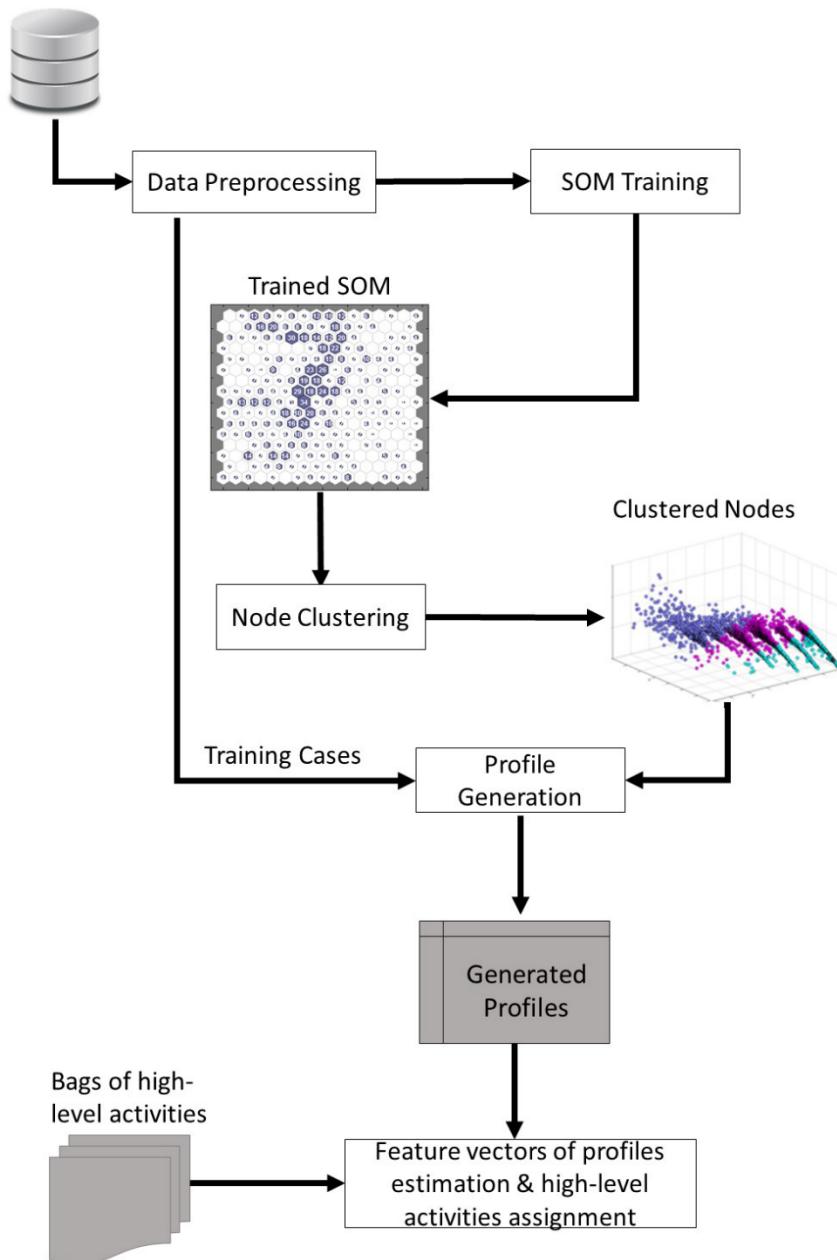
Πιο συγκεκριμένα, θεωρούμε ένα περιβάλλον εξοπλισμένο με μια σειρά από ετερογενή και μοναδικά διευθυνσιοδοτημένους αισθητήρες, όπου ένας χρήστης πραγματοποιεί διάφορες δραστηριότητες. Οι αισθητήρες συμμετέχουν σε αυτές τις δραστηριότητες ενεργά ή παθητικά, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να αλληλεπιδράσουν δραστικά επηρεάζοντάς τες, ή μπορούν απλώς να παρακολουθήσουν την εξέλιξή τους. Σε κάθε περίπτωση, θεωρούμε ότι ο αισθητήρας που συμμετέχει σε μια δραστηριότητα, καθώς και το ποσοστό της συμμετοχής τους, καθίσταται μετρήσιμο. Επιπλέον, για κάθε συμμετοχή του αισθητήρα, το σχετικό πλαίσιο (χαμηλού επιπέδου), το οποίο στην πραγματικότητα είναι ο τύπος της δραστηριότητας που εκτελείται, μπορεί να περιγραφεί και να καταγραφεί ως μια χαμηλού-επιπέδου δραστηριότητα.

Επιπλέον, ορίζουμε μια δραστηριότητα υψηλού επιπέδου ως ένα συναρμολογούμενο μοτίβο από δραστηριότητες χαμηλότερου-επιπέδου. Η παρούσα μεθοδολογία εκτιμά το ποσοστό συμμετοχής των αισθητήρων σε οποιαδήποτε δραστηριότητα υψηλού επιπέδου, με βάση τις προηγούμενες εκτελούμενες από τον χρήστη δραστηριότητες χαμηλού επιπέδου.

Με άλλα λόγια, προτείνουμε μια μεθοδολογία για την εξαγωγή προφίλ, όσον αφορά στους εμπλεκόμενους αισθητήρες και την ταξινόμηση των μελλοντικών εκτελούμενων δραστηριοτήτων υψηλού επιπέδου σε αυτά τα προφίλ.

7.3 Μεθοδολογία

Η προτεινόμενη μεθοδολογία βασίζεται στο συνδυασμό του Self Organizing Map (SOM) και άλλων τεχνικών ταξινόμησης και ομαδοποίησης. Αντίστοιχες μέθοδοι έχουν προταθεί και σε άλλα ερευνητικά πεδία όπως στο άμεσο μάρκετινγκ και στην εξόρυξη γνώσης [164, 165]. Η μεθοδολογία χωρίζεται σε τέσσερα βασικά βήματα: (1) δημιουργία δεικτών (2) εκπαίδευση SOM (3) ομαδοποίηση και εξαγωγή προφίλ (4) εκτίμηση του χώρου χαρακτηριστικών και ταξινόμηση των υψηλού-επίπεδου δραστηριοτήτων. Όλα τα βήματα φαίνονται στην Εικόνα 48 και αναλύονται λεπτομερώς πιο κάτω.



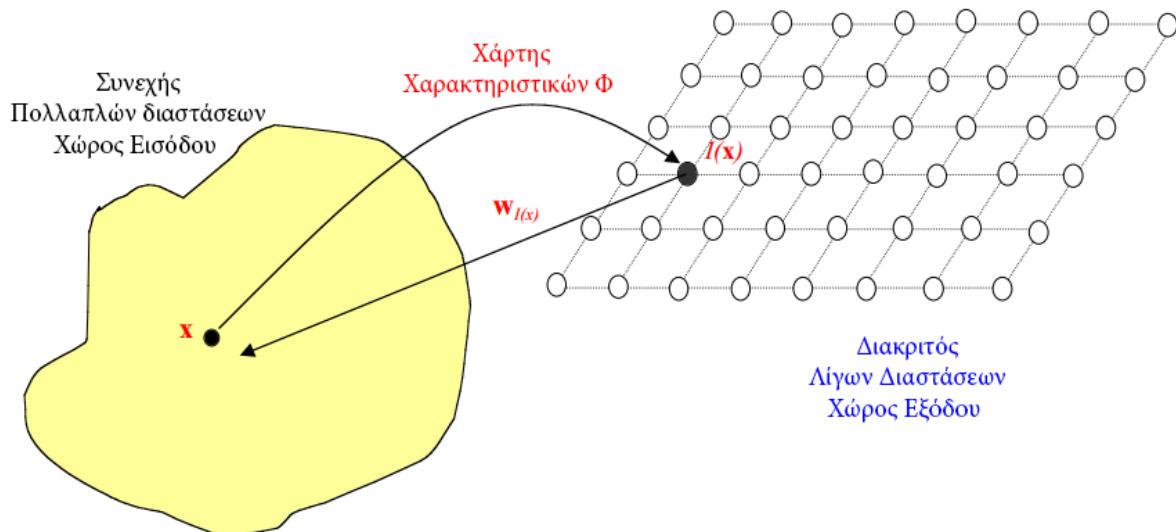
Εικόνα 48 Τα 5-Βήματα για την παραγωγή των προφίλ

Το **πρώτο** στάδιο αποτελείται από την προετοιμασία των διαφορετικών δεικτών που θα χρησιμοποιηθούν ως το σύνολο εκπαίδευσης των SOM. Με άλλα λόγια, πρόκειται για την προεπεξεργασία των δεδομένων εισόδου, κατά την οποία διαχειρίζονται τα ελλειπόντα δεδομένα, πραγματοποιείται η απαραίτητη αποθορυβοποίηση και εξομαλύνονται τα δεδομένα σε ένα σταθερό εύρος εισόδου, π.χ., από 0 έως 1. Διάφορα άλλα βήματα προεπεξεργασίας μπορούν να πραγματοποιηθούν ανάλογα με τις προδιαγραφές των αισθητήρων. Ανεξάρτητα από την τεχνική προεπεξεργασίας των ανεπεξέργαστων δεδομένων, θα πρέπει αυτά να

εκπροσωπούνται επαρκώς στο χώρο εισόδου, όπως επίσης και οι δείκτες τους θα πρέπει να αντιπροσωπεύουν τη συμμετοχή του αισθητήρα στις διάφορες δραστηριότητες.

Κατά το **δεύτερο** στάδιο, ένα SOM εκπαιδεύεται με βάση τον αλγόριθμο Kohonen χρησιμοποιώντας ως είσοδο (σύνολο εκπαίδευσης) τους δείκτες από το πρώτο στάδιο. Τα SOM είναι μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές μάθησης χωρίς επίβλεψη. Τα SOM εισήχθησαν το 1982 από τον Kohonen [166] και από τότε, έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε μια ευρεία γκάμα εφαρμογών, όπως η αναγνώριση προτύπων [167], η διαδικασία ταξινόμησης και ομαδοποίησης [168], καθώς χρησιμοποιείται και ως ένα αποτελεσματικό εργαλείο ανάλυσης στην ιατρική διαγνωστική [169], το μάρκετινγκ [169] και στην ανάκτηση κειμένου [170].

Ένα SOM εκπαιδεύεται με πολυδιάστατα δεδομένα εισόδου και τα αναπαραστεί σε ένα χάρτη λιγότερων διαστάσεων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 49. Αυτή η λειτουργία μάς επιτρέπει να αναλύσουμε πιο αποτελεσματικά τα διαθέσιμα δεδομένα και να χρησιμοποιήσουμε επιπρόσθετες τεχνικές για να εξάγουμε οπτικές συσχετίσεις ή πρόσθετες ομαδοποιήσεις.



Εικόνα 49 Οργάνωση ενός SOM

Πιο αναλυτικά, κατά την υλοποίηση της τεχνικής SOM ορίζονται οι μεταβλητές εισόδου ως ένα πραγματικό διάνυσμα $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \in \mathbb{R}^n$, οπού n είναι ο αριθμός των μεταβλητών. Επίσης ορίζεται το διάνυσμα βάρους $wj = [w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jn}]^T$ του κόμβου j , όπου w_{nj} καθορίζει το βάρος συσχέτισης της μεταβλητής εισόδου x_n με τον κόμβο j . Η κάθε περίπτωση του συνόλου των δεδομένων της εκπαίδευσης φτάνει στο αλγόριθμο μάθησης Kohonen με ένα τυχαίο τρόπο.

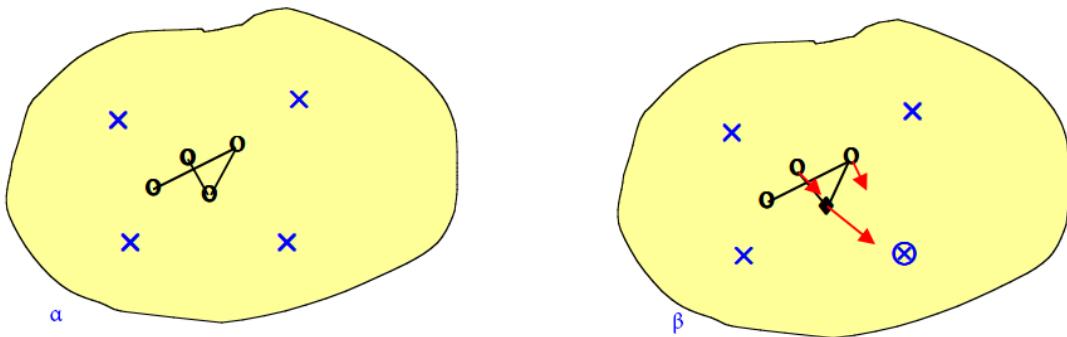
Για κάθε περίπτωση δεδομένου της εκπαίδευσης που έφτασε, ο αλγόριθμος μάθησης βρίσκει τον πιο κοντινό κόμβο (που ονομάζεται κόμβος νικητής), με βάση την Ευκλείδεια απόσταση. Στην συνέχεια, ο κόμβος κινείται πιο κοντά προς το δεδομένο εκπαίδευσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 50. Το πόσο κοντά θα πάει, καθορίζεται από ένα ποσοστό, το οποίο ορίζεται από το ρυθμό μάθησης. Τα βάρη του κόμβου νικητή ανανεώνονται με βάση τον κανόνα μάθησης που περιγράφεται στην εξίσωση (1).

Έστω ότι w_j^s είναι το διάνυσμα βάρους του j_{th} κόμβου στο s_{th} του αλγορίθμου μάθησης, X_i είναι το διάνυσμα εισόδου της i_{th} περίπτωσης των δεμένων εκπαίδευσης και a^s είναι ο ρυθμός μάθησης για το s_{th} βήμα του αλγορίθμου. Τότε ο δείκτης c του κόμβου νικητή περιγράφεται από την εξίσωση (1), ο κανόνας μάθησης δίνεται από την εξίσωση (2), ενώ για τους “μη- νικητές” κόμβους ισχύει $w_c^{s+1} = w_c^s$

$$c = \operatorname{argm} \min_i \|w_j - X_i\| \quad (1)$$

Ο κανόνας μάθησης και ανανέωσης των βαρών του κόμβου νικητή δίνεται από :

$$w_c^{s+1} = w_c^s + a^s(X_i - w_c^s) \quad (2)$$



Εικόνα 50 α) Αρχικοποίηση του SOM, β) Ποσοστιαία μετακίνηση του κόμβου νικητή προς το δεδομένο εκπαίδευσης.

Το **τρίτο** βήμα αποτελείται από δύο φάσεις, την φάση της ομαδοποίησης και την φάση της δημιουργίας προφίλ. Η τελευταία φέρει την ευθύνη για τον υπολογισμό της συσχέτισης μεταξύ των προκυπτουσών συμπλεγμάτων και των διαστάσεων των δεδομένων εισόδου. Κατά τη διάρκεια της φάσης της ομαδοποίησης, οι κόμβοι που εξάγονται από την εκπαίδευση SOM ομαδοποιούνται σε παρόμοια συμπλέγματα, με βάση το βάρος αναφοράς τους. Προκειμένου αυτό να καταστεί εφικτό εφαρμόζουμε για την ομαδοποίηση τον αλγόριθμο Fuzzy C-Means (FCM).

Η τεχνική FCM [171] είναι μια μέθοδος ομαδοποίησης και αποτελεί μια παραλλαγή του δημοφιλούς αλγόριθμου K-means. Η FCM αντιστοιχίζει σε κάθε σημείο των δεδομένων ένα βαθμό συμμετοχής για κάθε ομάδα. Επιπρόσθετα, προκειμένου να εκτελεστεί η FCM, απαιτείται ο αριθμός των ομάδων c να έχει προκαθοριστεί.

Η FCM είναι μια επαναληπτική τεχνική, καθώς και μια από τις πιο δημοφιλείς ασαφής τεχνικές. Βασίζεται στην ιδέα της εύρεσης ενός partition (c fuzzy clusters) για το σύνολο των δεδομένων.

Ο πίνακας (U) περιέχει το βαθμό συμμετοχής κάθε αντικειμένου σε κάθε σύμπλεγμα και αρχικοποιείται τυχαία τηρώντας την παρακάτω εξίσωση :

$$\sum_{i=1}^c u_{i\ell} = 1, \quad l = 1, \dots, n \quad (3)$$

Καθώς και ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τη συνάρτηση:

$$J(U, c_1, c_2, \dots, c_c) = \sum_{i=1}^c J_i = \sum_{i=1}^n \sum_{\ell=1}^c (u_{i\ell})^\lambda d_{i\ell}^2 \quad (4)$$

Όπου το $u_{i\ell}$ παίρνει τιμές ανάμεσα στο 0 και 1, το c_i αποτελεί το κέντρο του συμπλέγματος i , το $d_{i\ell}$ είναι η Ευκλείδεια απόσταση ανάμεσα στο i_{th} κέντρο (c_i) και στο ℓ_{th} σημείο των δεδομένων και $m \in [1, \infty]$ είναι η παράμετρος ασάφειας που συνήθως ορίζεται ως 2. Ο υπολογισμός του κέντρου ενός συμπλέγματος γίνεται, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές που έχουν τα σημεία που ανήκουν στο σύμπλεγμα, καθώς και το βαθμό συμμετοχής τους. Η συνάρτηση είναι η εξής :

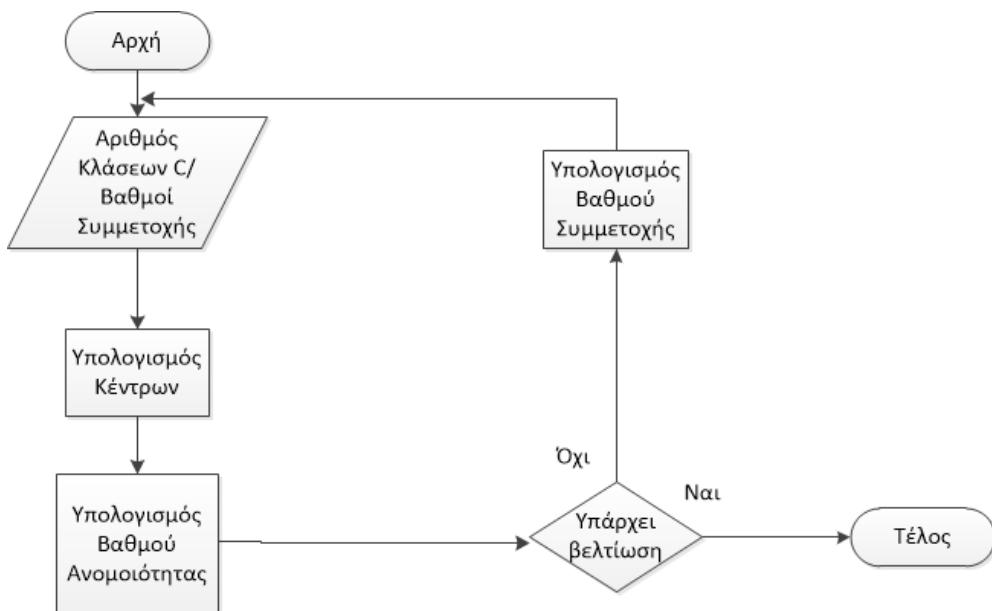
$$C_i = \frac{\sum_{\ell=1}^n u_{i\ell}^m x_{\ell}}{\sum_{\ell=1}^n u_{i\ell}^m} \quad (5)$$

Ο υπολογισμός του βαθμού συμμετοχής ενός σημείου σε ένα σύμπλεγμα δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$u_{i\ell} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c (\frac{d_{i\ell}}{d_{k\ell}})^{2/(m-1)}} \quad (6)$$

Περιγράφουμε εν συντομίᾳ τα βήματα που ακολουθεί ο αλγόριθμος FCM, καθώς φαίνονται και στην **Εικόνα 51**:

- Καθορισμός των συμπλεγμάτων C και τυχαία αρχικοποίηση του πίνακα (U) που περιέχει το βαθμό συμμετοχής από τον τύπο (3).
- Υπολογισμός των κέντρων των συμπλεγμάτων με τον τύπο (5) .
- Υπολογισμός ανομοιότητας ανάμεσα στα κέντρα και στα αντικείμενα των δεδομένων με τον τύπο (4).
- Σταματάει εάν η βελτίωση, σε σχέση με την προηγούμενη επανάληψη, είναι επαρκής (πληρεί το κριτήριο για το τερματισμό του αλγορίθμου).
- Σε διαφορετική περίπτωση, υπολογίζει νέες τιμές για τον πίνακα (U) χρησιμοποιώντας τον τύπο (6), και συνεχίζει με τον υπολογισμό νέων κέντρων στο δεύτερο βήμα.



Εικόνα 51 Υλοποίηση αλγορίθμου Fuzzy c-means

Το κύριο πρόβλημα αυτής της διαδικασίας είναι η εκτίμηση του κατάλληλου αριθμού συμπλεγμάτων. Αυτό μπορεί να επιλυθεί με τον υπολογισμό του δείκτη εγκυρότητας, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο απόφασης, καθώς αξιολογεί την ποιότητα της ομαδοποίησης λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των συμπλεγμάτων και τον εκθέτη ασάφειας. Ο δείκτης Xie-Beni [172] και ο δείκτης Kwon [173] είναι οι πιο αξιόπιστοι δείκτες στη βιβλιογραφία. Είναι και οι δύο σε θέση να ανταποκριθούν σε ένα ευρύ φάσμα επιλογών, όσον αφορά στον αριθμό των συμπλεγμάτων και τον εκθέτη ασάφειας.

Κατά τηδεύτερη φάση (δημιουργία προφίλ) του τρίτου βήματος επαναχρησιμοποιούμε τα δεδομένα εκπαίδευσης. Κάθε εγγραφή από τα δεδομένα εκπαίδευσης έχει αντιστοιχιθεί σε ένα σύμπλεγμα, με βάση τον κόμβο που είναι πιο κοντά σε αυτό. Κατ' επέκταση μπορούμε να υποθέσουμε ότι κάθε περίπτωση των δεδομένων εκπαίδευσης μπορεί να αντιστοιχηθεί με κάθε σύμπλεγμα, με το βαθμό συμμετοχής του αντίστοιχου κόμβου νικητή. Με βάση αυτό, μπορούμε να υπολογίσουμε τα ακόλουθα για κάθε σύμπλεγμα C_i :

- I. Για κάθε διάσταση v , και κόμβο p υπολογίζουμε $\mu(v, p)$ ως ο μέσος όρος της τιμής εισόδου για το σύνολο $\Phi(p)$, όπου p είναι αντίστοιχα ο κόμβος νικητής και x_{pv} είναι η συνιστώσα v_{th} του διανύσματος εισόδου για την περίπτωση εισόδου g_i :

$$\mu(v, p) = \frac{\sum_{g_i \in \Phi(p)} x_{iv}}{|\Phi(p)|} \quad (7)$$

- II. Σε κάθε σύμπλεγμα, υπολογίζεται η συσχέτιση της κάθε διάστασης v , όπου $w(p, l)$ είναι ο βαθμός συμμετοχής των μελών του κόμβου p στο σύμπλεγμα l :

$$dc(l, v) = \sum_{i=1}^p \mu(v, p) * w(p, l) \quad (8)$$

Το **τέταρτο** και τελευταίο στάδιο της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι η εκτίμηση του χώρου χαρακτηριστικών του κάθε συμπλέγματος/προφίλ και η ανάθεση μιας δραστηριότητας υψηλού-επιπέδου σε ένα από αυτά. Κατά τη διάρκεια αυτού του βήματος μία νέα δραστηριότητα υψηλού-επιπέδου θα πρέπει να κατατάσσεται σε ένα από τα προφίλ. Για να επιτευχθεί αυτό, εντάσσουμε στην μεθοδολογία μας τον αλγόριθμο k-Nearest Neighbors (kNN) algorithm [174].

Η ταξινόμηση του kNN χωρίζει τα δεδομένα σε μια σειρά δοκιμών και σε ένα σύνολο εκπαίδευσης. Για κάθε σειρά του συνόλου δοκιμής, ο k πλησιέστερος, με βάση διάφορα μέτρα απόστασης, περιέχει δεδομένα εκπαίδευσης και η κατάταξη του δεδομένου δοκιμής καθορίζεται από τα δεδομένα εκπαίδευσης, που επικρατούν σε αριθμό σε εκείνη την περιοχή.

Αποτελεί μια μη παραμετρική μέθοδο, που σημαίνει ότι δεν πραγματοποιούνται υποθέσεις σχετικά με την κατανομή των δεδομένων. Αυτό είναι αρκετά χρήσιμο, γιατί όπως και στον πραγματικό κόσμο, τα περισσότερα από τα δεδομένα δεν υπακούουν σε χαρακτηριστικές θεωρητικές παραδοχές. Παράλληλα, η μέθοδος δεν χρησιμοποιεί τα δεδομένα εκπαίδευσης για να κάνει οποιαδήποτε γενίκευση, γεγονός που σημαίνει ότι η φάση εκπαίδευσης είναι αρκετά γρήγορη. Επίσης, η έλλειψη γενίκευσης συνεπάγεται ότι ο kNN διατηρεί όλα τα δεδομένα εκπαίδευσης, τα οποία είναι απαραίτητα κατά τη διάρκεια της φάσης των δοκιμών.

Τα παραδείγματα εκπαίδευσης αποτελούνται από διανύσματα χαρακτηριστικών ενός πολυδιάστατου χώρου, το καθένα με μια ετικέτα κατηγορίας. Η φάση της εκπαίδευσης του αλγορίθμου απαρτίζεται μόνο από την αποθήκευση των διανύσματος των χαρακτηριστικών και της ετικέτας κατηγορίας για κάθε δείγμα κατάρτισης.

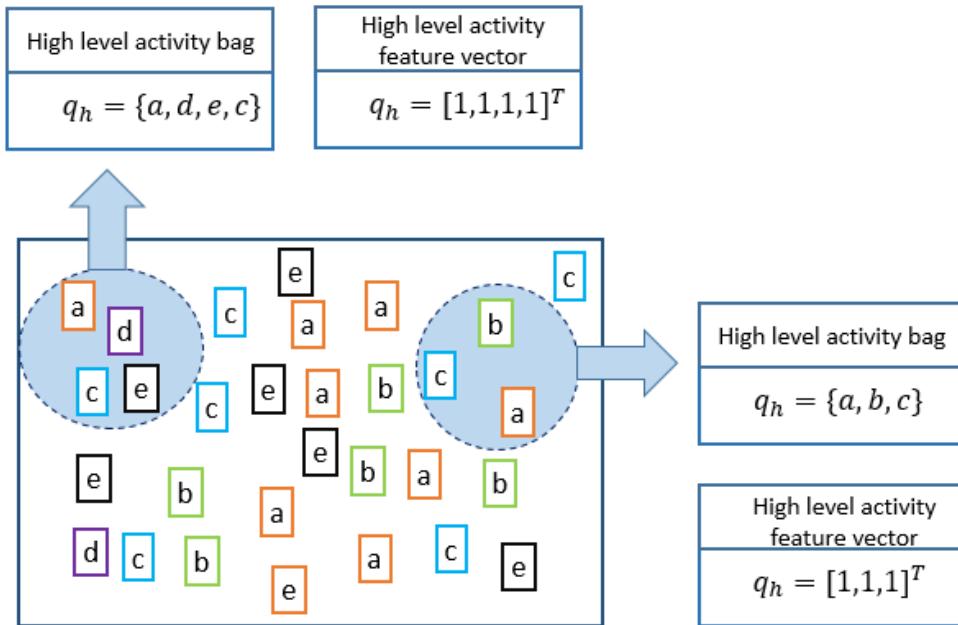
Στη φάση της ταξινόμησης, η σταθερά k ενός χρήστη και ένα μη καθορισμένο δείγμα ή αλλιώς σημείο δοκιμής, ταξινομούνται καθορίζοντας την κατηγορία τους με βάση την πιο συχνά εμφανιζόμενη κατηγορία από δείγματα εκπαίδευσης μεταξύ των k δειγμάτων που βρίσκονται πλησιέστερα στο σημείο. Μια συνηθισμένη μέθοδος μέτρησης απόστασης για συνεχείς μεταβλητές είναι η Ευκλείδεια.

Μια σύντομη περιγραφή των βημάτων που ακολουθεί ο αλγόριθμος kNN είναι η ακόλουθη:

- Καθορισμός ενός θετικού ακέραιου k μαζί με τον καθορισμό ενός νέου δείγματος.
- Επιλογή k καταχωρήσεων στη “βάση” δεδομένων μας, που βρίσκονται πλησιέστερα στο νέο δείγμα.
- Χρήση της πιο κοινής κατηγοριοποίησης από αυτές τις καταχωρήσεις ώστε να ταξινομηθεί σε αυτό το δείγμα.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η εφαρμογή του kNN στη μεθοδολογία μας απαιτεί επίσης να οριστούν τα εξής:

- a) Μια υψηλού-επιπέδου δραστηριότητα συνθέτει μια σακούλα (bag) από δραστηριότητες χαμηλού επιπέδου, όπως αυτό απεικονίζεται και στην Εικόνα 52. Γεγονός που σημαίνει ότι δεν λαμβάνεται υπόψιν η σειρά με την οποία οι χαμηλού-επιπέδου δραστηριότητες συντελούν μια υψηλού επιπέδου δραστηριότητα. Ορίζουμε το διάνυσμα $q_h = [z_1, z_2, \dots, z_k]^T$ ως μια υψηλού επιπέδου δραστηριότητα που αποτελείται από q_{z_n} δραστηριότητες χαμηλού-επιπέδου. Όπου, θεωρούμε ότι $z_k = 1$, $\forall k = 1, \dots, N$
- b) Θέτουμε $x \in X$ ως το διάνυσμα χαρακτηριστικών για το σύμπλεγμα l, όπου $x_i = [w_{p_1 z_1}, w_{p_2 z_2}, \dots, w_{p_n z_k}]^T$, $i \in \mathbb{N}$, και $w_{p_n z_k}$ είναι ο βαθμός συμμετοχής του κόμβου νικητή p_n για όλες τις διαστάσεις του z_k , για την δραστηριότητα υψηλού επιπέδου q_h του συμπλέγματος l. Ο υπολογισμός του χώρου χαρακτηριστικών για κάθε σύμπλεγμα βασίζεται στον Αλγόριθμο 1 και εξαρτάται από τις διαστάσεις του διανύσματος q_h . Στην πραγματικότητα το q_h αποτελείται από δραστηριότητες χαμηλού επιπέδου. Πιο συγκεκριμένα ο Αλγόριθμος 1 λαμβάνει υπόψιν τον πληθάριθμο του z_k κάθε κόμβου ώστε να υπολογίσει το αντίστοιχο διάνυσμα x_i .



Εικόνα 52 Δομή μίας δραστηριότητας υψηλού επιπέδου

Αλγόριθμος 1: Υπολογισμός των χώρου χαρακτηριστικών

Input : All the membership degrees W_{pz} for the cluster
The dimensions z_k of the high-level activity q_h

Output : Feature space X

For all p

- 1) Define C_{z_k} as the cardinality for every z_k , into p
- 2) Define w_{z_k} as the value of each dimensions z_k in the vector x_i
- 3) Set a list L_c contains all cardinalities

a. **While** the max of the L_c is not equal to 0

i. **For** all z_k

i. i. **If** C_{z_k} is equal to 0

3.a.i.i.a. Set w_{z_k} equal to 0

ii. **Else**

3.a.i.ii.a. Set w_{z_k} equal to
the membership degree of
the node p

3.a.i.ii.b. Reduce the
respective C_{z_k} by one

iii. **end If**

ii. **end For**

iii. Define $x_i = [w_1, w_2, \dots, w_{z_k}]^T$

b. **end While**

end for

return X

Με βάση τους παραπάνω ορισμούς, το kNN είναι σε θέση να προσθέτει ένα παράδειγμα $\langle x, f(x) \rangle$ στη λίστα εκπαίδευσης των παραδειγμάτων και να εξετάζει k περιπτώσεις από το παράδειγμα της εκπαίδευσης, που είναι πιο κοντά στο q_h . Τέλος επιστρέφει το προφίλ που αντιπροσωπεύει το μέγιστο των k περιπτώσεων, προκειμένου να αναθέσει το q_h σε ένα προφίλ.

7.4 Εφαρμογή σε ένα Περιβάλλον Υποβοηθούμενης Διαβίωσης

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως στην παρούσα διατριβή, ο όρος Περιβάλλον Υποβοηθούμενης Διαβίωσης (ΠΥΔ) χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις τεχνολογίες και τις εφαρμογές, οι οποίες θα συμβάλλουν στην επέκταση του χρόνου και στην καλυτέρευση των συνθηκών κάτω από τις οποίες ζουν οι ηλικιωμένοι στο σπίτι, αυξάνοντας την αυτονομία και βιοηθώντας στην εκτέλεση των καθημερινών δραστηριοτήτων τους. Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στην εγκατάσταση ενός έξυπνου περιβάλλοντος στο σπίτι, το οποίο ενσωματώνεται στο χώρο και αλληλοεπιδρά με τον κάτοικο. Στη βιβλιογραφία, ο αναγνώστης μπορεί να βρει πολλές από ΠΥΔ λύσεις που εφαρμόζονται σε έναν αριθμό ετερογενών και μοναδικά αναγνωρίσιμων αισθητήρων, και που αποτελούν αυτό που ονομάζουμε διάχυτη τηλεπισκόπηση [175]. Στο πλαίσιο αυτό, υλοποιήθηκε και να αξιολογήθηκε η προτεινόμενη μεθοδολογία σε ένα περιβάλλον ΠΥΔ.

7.4.1 Δεδομένα

Οι δεδομένα εκπαίδευσης και επαλήθευσης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την ανοικτής-πρόσβασης επίγνωσης πλαισίου βάση δεδομένων, η οποία δημιουργήθηκε στα πλαίσια του έργου OPPORTUNITY [108] όπως αυτή παρουσιάστηκε και στο κεφάλαιο 5.

Υπενθυμίζεται ότι η βάση εμπεριέχει ένα σύνολο από δεδομένα, παραγόμενα από φυσικές ανθρώπινες δραστηριότητες, σε ένα περιβάλλον πλούσιο σε αισθητήρες. Το περιβάλλον αυτό είναι μια αίθουσα, που προσομοιώνει ένα σπίτι με κουζίνα, καναπέ και εξωτερική πρόσβαση, όπου εκτελέστηκαν καθημερινά σενάρια δραστηριοτήτων. Εφαρμόστηκαν 15 δικτυακά συστήματα αισθητήρων με 72 αισθητήρες και ενσωματωμένα στο περιβάλλον, στα αντικείμενα, αλλά και πάνω στο σώμα. Το συγκεκριμένο περιβάλλον προσημειώνει επαρκώς ένα ΠΥΔ και παρέχει το απαραίτητο πλήθος και ετερογένεια των δεδομένων. Ειδικά αν

λάβουμε υπόψιν μας ότι έλαβαν μέρος 12 εθελοντές εκτελώντας πρωινές δραστηριότητες, παράγοντας πάνω από 25 ώρες δεδομένων 60 συνεδρίες καταγράφηκαν, με αποτέλεσμα να παραχθούν 2196 ροές δεδομένων και 39839 ετικέτες. Υπολογίζεται επίσης ότι έγιναν πάνω από 14000 αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον. Όλα τα παραγόμενα δεδομένα είναι αποθηκευμένα σε μια βάση δεδομένων ικανή να υποστηρίξει την αναγκαία επίγνωση πλαισίου.

7.4.2 Εφαρμογή της Μεθοδολογίας στα Διαθέσιμα Δεδομένα

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε, υποστηρίζει την πολλαπλή επισήμανση των δεδομένων, η οποία βασίζεται τόσο στο είδος της δραστηριότητας όσο και στο επίπεδό (υψηλό/χαμηλό) της. Το επίπεδο της δραστηριότητας σχετίζεται με το αν η δραστηριότητα αποτελείται από άλλες δραστηριότητες χαμηλότερου επίπεδου. Για να έχουμε τα βέλτιστα αποτελέσματα αναπαράστασης και παρουσίασης, τόσο στα τελικά όσο και στα ενδιάμεσα, επιλέξαμε 10 αισθητήρες. Στο υπόλοιπο της τρέχουσας υποενότητας, θα περιγραφούν τα βήματα της μεθοδολογίας που ακολουθήσαμε για την υλοποίηση της εφαρμογής, καθώς θα παρουσιάσουμε και τα παραγόμενα αποτελέσματα.

Αρχικά, πραγματοποιείται η προεπεξεργασία των ανεπεξέργαστων δεδομένων των αισθητήρων. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, το είδος της προεπεξεργασίας εξαρτάται από τον τύπο και την προδιαγραφή του εκάστοτε αισθητήρα. Δεδομένου ότι η προεπεξεργασία δεν είναι μέρος της έρευνας της παρούσας μεθοδολογίας, έχουμε επιλέξει το ίδιο, όσον αφορά την προεπεξεργασία, τύπο συστημάτων αισθητήρων. Πιο συγκεκριμένα, έχουμε επιλέξει 10 συστήματα από αισθητήρες που παρατίθενται στον Πίνακας 21 Επιλεχθείς, οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με επιταχυνσιόμετρο και γυροσκόπιο, Από αυτές τις δύο κατηγορίες επιλέγουμε τα δεδομένα από τα επιταχυνσιόμετρα.

Αισθητήρας	Περιγραφή	Προδιαγραφές
S1	Γάλα	
S2	Πιάτο	
S3	Νερό	Συχνότητα
S4	Γυαλί	δειγματοληψίας:
S5	Ψωμί	64Hz, 32Hz,
S6	Κύπελλο	Τύπος Σύνδεσης:
S7	Καρέκλα	Bluetooth
S8	Ζάχαρη	
S9	Αλάτι	
S10	Τραπέζι	

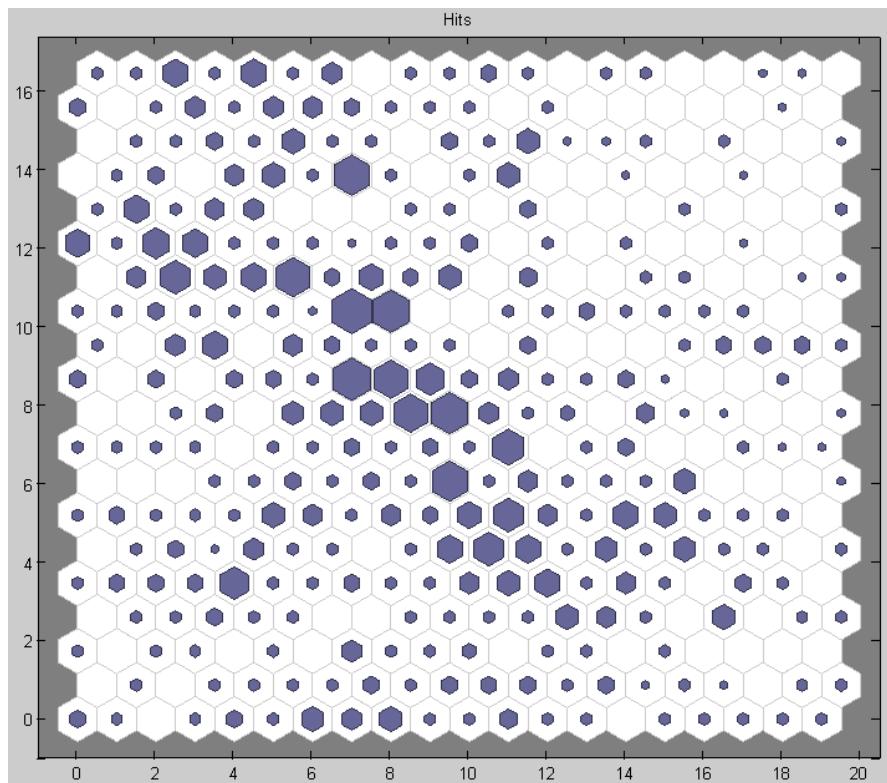
Πίνακας 21 Επιλεχθείς αισθητήρες

Το στάδιο προεπεξεργασίας αποτελείται αρχικά από τη χρήση ενός φίλτρου κινούμενου μέσου, το οποίο χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση θορύβου και την εξομάλυνση των δεδομένων [176]. Το φίλτρο αυτό ορίζεται από την εξίσωση (6), όπου x είναι το σήμα εισόδου και το M είναι ο αριθμός των σημείων που χρησιμοποιούνται στον κινούμενο μέσο όρο. Επιπλέον, στην προεπεξεργασία για το συγκεκριμένο τύπο αισθητήρα, συμπεριλήφθηκε και ο υπολογισμός του συντελεστή διακύμανσης (CV) μεταξύ των εγγραφών για την κάθε δραστηριότητα, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο συμμετοχής του κάθε αισθητήρα στην εκάστοτε δραστηριότητα [177].

$$(4) \quad y[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x[i+j]$$

Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει την εκπαίδευση του SOM, χρησιμοποιώντας τα διανύσματα εισόδου των προεπεξεργασμένων δεδομένων του πρώτου βήματος. Για την εκπαίδευση, λαμβάνοντας υπόψη και τα δεδομένα, επιλέχθηκε ένα SOM 20x20. Στο εκπαιδευόμενο SOM, κάθε κόμβος εμπεριέχει ένα διάνυσμα αναφοράς για την εκπροσώπηση του κέντρου για όλα τα δεδομένα, όπου ο δεδομένος κόμβος είναι ο «νικητής», καθώς είναι ο πιο κοντινός σε αυτά κόμβος.

Τα αποτελέσματα της εκπαίδευσης του SOM φαίνονται στις Εικόνα 53 και Εικόνα 54. Στην Εικόνα 53 φαίνονται οι νευρώνες και η δομή του χάρτη του εκπαιδευμένου SOM. Το μέγεθος του κάθε νευρώνα σχετίζεται με το πλήθος των διανυσμάτων που έχουν κατανεμηθεί σε αυτόν. Αναλυτικότερα, στην Εικόνα 54 φαίνεται ότι η σκιαγράφηση του κάθε νευρώνα έχει πλέον αντικατασταθεί με έναν αριθμό, που δηλώνει το πλήθος των κατατασσόμενων διανυσμάτων.



Εικόνα 53 Ο χάρτης με τους νευρώνες του εκπαιδευμένου SOM



Εικόνα 54 Αναλυτικά οι νευρώνες και ο αριθμός των διανυσμάτων εισόδου που έχουν καταταχθεί σε αυτούς

Στο τρίτο βήμα, και μόλις ο χάρτης εκπαιδευτεί, εφαρμόζεται ο FCM αλγόριθμος, όπως αυτός περιγράφηκε παραπάνω. Σκοπός του είναι να αντιστοιχίσει τους κόμβους με ένα βαθμό συμμετοχής C συμπλεγμάτων. Για το σύνολο των δεδομένων μας, ο δείκτης Xie-Beni οδηγεί στην επιλογή $C = 9$ ως το βέλτιστο αριθμό των συμπλεγμάτων. Βασιζόμενοι στους υπολογιζόμενους βαθμούς συμμετοχής των μελών του κάθε κόμβου και ακολουθώντας τη δεύτερη φάση του 3^{ου} βήματος της προτεινόμενης μεθοδολογίας, και πιο συγκεκριμένα τις εξισώσεις (7) και (8), υπολογίζουμε το βαθμό συμμετοχής των διαστάσεων (αισθητήρων) για κάθε σύμπλεγμα και κατ' επέκταση πετυχαίνουμε τον προσδιορισμό των προφίλ. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακας 22.

	<i>Profile 1</i>	<i>Profile 2</i>	<i>Profile 3</i>	<i>Profile 4</i>	<i>Profile 5</i>	<i>Profile 6</i>	<i>Profile 7</i>	<i>Profile 8</i>	<i>Profile 9</i>
<i>S1</i>	0,815265	0,810978	0,219273	0,519921	0,946831	0,494414	0,114929	1,063534	0,543177
<i>S2</i>	0,48044	0,480141	0,269626	0,395147	0,585114	0,385668	0,1137	0,588734	0,402913
<i>S3</i>	0,571456	0,564727	0,133586	0,293459	0,759993	0,275826	0,067209	0,808279	0,310348
<i>S4</i>	0,898575	0,886475	2,222716	0,578259	1,06656	0,561008	1,480303	1,296399	0,593745
<i>S5</i>	1,937042	1,861539	0,260898	0,899282	1,60189	0,353684	0,101563	2,835552	0,644776
<i>S6</i>	0,839666	0,824785	0,234751	0,523173	0,984634	0,512207	0,147327	1,217317	0,533892
<i>S7</i>	0,546199	0,550212	0,17836	0,129423	0,622492	0,511353	2,076612	0,65068	0,543787
<i>S8</i>	1,138426	1,10544	0,155072	0,392155	1,406686	0,363634	0,074379	1,976627	0,421265
<i>S9</i>	0,906316	0,890034	0,255388	0,585884	1,105162	0,590925	1,420621	1,338705	0,587218
<i>S10</i>	0,423291	0,422543	0,363086	0,374983	0,551745	0,369531	0,136236	0,548211	0,378776

Πίνακας 22 Εξαγόμενα Προφίλ

Η τελευταία φάση της υλοποίησης έγκειται στον ορισμό διάφορων δραστηριοτήτων υψηλού επιπέδου και στην ταξινόμησή τους στα καθορισμένα προφίλ. Δοκιμάστηκαν 30 υψηλού-επιπέδου δραστηριότητες σε μορφή «σακούλας» (bag), που αποτελούνταν από δραστηριότητες χαμηλού-επιπέδου και που εκτελέστηκαν στις επόμενες συνεδρίες, οι οποίες δεν συμπεριλήφθηκαν στο σύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης. Με βάση την κάθε σακούλα και τις διαστάσεις της, οι οποίες στην πραγματικότητα αντιπροσωπεύουν το πλαίσιο των δραστηριοτήτων χαμηλού-επιπέδου, υπολογίζεται ο χώρος χαρακτηριστικών για κάθε προφίλ, όπως επίσης και για κάθε σακούλα (υψηλού επιπέδου δραστηριότητα). Έχοντας τα παραπάνω,

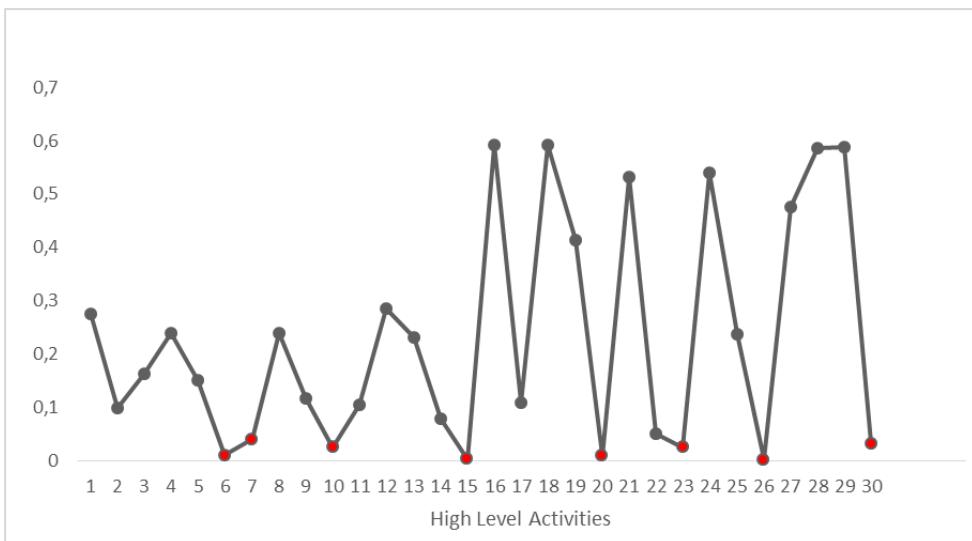
χρησιμοποιήθηκε ένας ταξινομητής kNN με $k = 11$, προκειμένου να ταξινομηθεί η εκάστοτε δραστηριότητα υψηλού-επιπέδου στο πιο κοντινό σύμπλεγμα (προφίλ). Η αξιολόγηση της δημιουργίας των προφίλ και της διαδικασίας ταξινόμησης μιας νέας δραστηριότητας υψηλού-επιπέδου περιγράφεται στην επόμενη υποενότητα.

7.4.2 Αποτελέσματα

Στόχος αυτής της ενότητας είναι η αξιολόγηση της διαδικασίας δημιουργίας των προφίλ και της ταξινόμησης των δραστηριοτήτων υψηλού-επιπέδου σε αυτά. Για να είναι αυτό εφικτό, υπολογίσαμε τις συμμετοχές του κάθε αισθητήρα για κάθε δραστηριότητα υψηλού επιπέδου. Ακολουθήθηκε η ίδια μέθοδος της προεπεξεργασίας των ανεπεξέργαστων δεδομένων, προκειμένου να συγκριθούν με τα αποδιδόμενα προφίλ. Η καταλληλότερη δοκιμή για στατιστική σύγκριση στην περίπτωσή μας, είναι η paired t-test, καθώς αναλύει τις διαφορές μεταξύ των ζευγών. Για κάθε ζεύγος, υπολογίζεται η μέση διαφορά και χρησιμοποιώντας μια p-value ελέγχεται η μηδενική υπόθεση της μέσης διαφοράς, ώστε η τελευταία να είναι ίση με μηδέν.

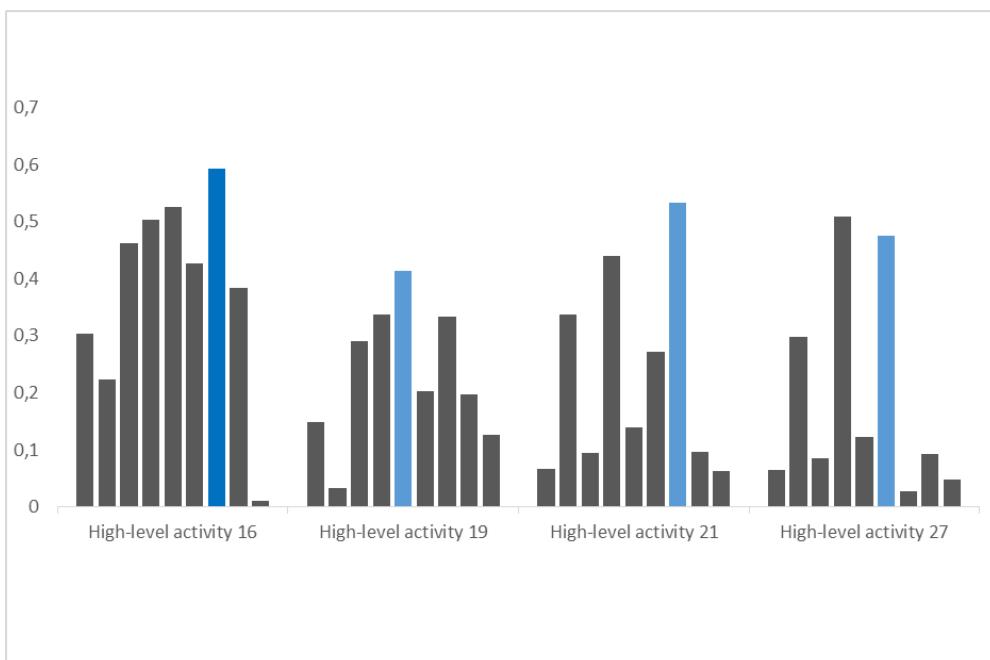
Στην παρούσα υλοποίηση δημιουργήθηκαν και ταξινομήθηκαν σε προφίλ 30 διαφορετικές υψηλού-επιπέδου δραστηριότητες διαφόρων μεγεθών (όσον αφορά το πλήθος των εμπλεκόμενων χαμηλού-επιπέδου δραστηριοτήτων). Για κάθε δραστηριότητα υψηλού-επιπέδου αξιολογήθηκε η προτεινόμενη μεθοδολογία ως προς την ικανότητά της να παράγει αποτελεσματικά προφίλ, δοκιμάζοντας τη σημαντική διαφορά ($\alpha < 0,05$) του παραγόμενου και επιλεγμένου προφίλ, με τις συμμετοχές που υπολογίστηκαν από τα ανεπεξέργαστα δεδομένα. Επιπλέον το προτεινόμενο προφίλ συγκρίθηκε με τα υπόλοιπα διαθέσιμα προφίλ, προκειμένου να διερευνηθεί εάν το συγκεκριμένο είναι και το λιγότερο διαφορετικό μεταξύ των άλλων, και ως εκ τούτου να αποτελεί και το πλέον κατάλληλο. Πριν από κάθε σύγκριση, ομαλοποιήθηκαν όλα τα δείγματα. Τα αποτελέσματα των δοκιμών απεικονίζονται στα Διάγραμμα 12 και Διάγραμμα 13. Ειδικότερα, οι δοκιμές έδειξαν ότι το 86% των προτεινόμενων προφίλ έμοιαζαν σημαντικά και από αυτά το 76% (66% συνολικά) καθιστούσαν τα πλέον κατάλληλα.

Επιπλέον, στο Διάγραμμα 12 απεικονίζει τις τιμές του p-value για τα προτεινόμενα προφίλ των 30 δραστηριοτήτων και οι κόκκινες κουκίδες δείχνουν τα προφίλ τα οποία ήταν περισσότερο διαφορετικά, καθώς το p-value τους ήταν κάτω από 0,05.



Διάγραμμα 12 Οι τιμές p-value για τα προτεινόμενα προφίλ

Το Διάγραμμα 13 απεικονίζει την σύγκριση μεταξύ των παραγόμενων προφίλ, συμπεριλαμβανομένου και αυτού που έχει ταξινομηθεί ως το πλέον κατάλληλο, σε σχέση με τις p-value τους. Η εικόνα απεικονίζει 4 τυχαίες περιπτώσεις από τις 30 δραστηριότητες υψηλού επιπέδου, στις οποίες μπορούμε να αναγνωρίσουμε το προτεινόμενο προφίλ (με μπλε χρώμα). Στα πρώτα 3 το προτεινόμενο προφίλ είναι το πλησιέστερο σε σχέση με τα υπόλοιπα, ενώ στην τελευταία δραστηριότητα είναι το δεύτερο πιο κοντινό, αλλά απέχει από το πρώτο με μικρή διαφορά.



Διάγραμμα 13 Αξιολόγηση της ταξινόμησης των δραστηριοτήτων

7.5 Συζήτηση – Συμπεράσματα

Σε ένα περιβάλλον διάχυτης τηλεπισκόπησης στον τομέα της υγείας αναμένεται να υπάρχουν πολλαπλοί αισθητήρες που θα συλλέγουν πληροφορίες και σε αρκετές περιπτώσεις παρόμοιας φύσεως. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον, η χρήση τεχνολογίας επίγνωσης πλαισίου κρίνεται απαραίτητη. Οι τύποι πλαισίου σχετίζονται με τις διαφορετικές προοπτικές της εκάστοτε εφαρμογής. Ο βασικότερος διαχωρισμός όμως, είναι ότι ορίζει δεδομένα όπως η τοποθεσία, το αναγνωριστικό, ο χρόνος και η δραστηριότητα ως κάποιους από τους κυριότερους τύπους πλαισίου. Επιπρόσθετα, θέτει σαν δευτερεύοντες τύπους πλαισίου, αυτά που προκύπτουν από την επεξεργασία των κύριων πλαισίων.

Στο παρόν κεφάλαιο μελετήθηκε η εφαρμογή της διάχυτης τηλεπισκόπησης, υποστηριζόμενη από τεχνολογία επίγνωσης πλαισίου σε ένα περιβάλλον υποβοηθούμενης διαβίωσης. Διερευνήθηκε η δυνατότητα εξαγωγής προφίλ, βασιζόμενο σε κύρια (χαμηλού επιπέδου) πλαίσια, και τη χρήση αυτών για τη συσχέτιση δευτερευόντων (υψηλού επιπέδου) πλαισίων, με τους διαθέσιμους αισθητήρες /«αντικείμενα».

Η προτεινόμενη τεχνική εφαρμόστηκε και επαληθεύτηκε σε δεδομένα από την ανοικτής-πρόσβασης επίγνωσης πλαισίου βάση δεδομένων η οποία δημιουργήθηκε στα πλαίσια του έργου OPPORTUNITY [108] (Κεφάλαιο 5). Συγκεκριμένα είναι μια αίθουσα που προσομοιώνει ένα σπίτι με κουζίνα, ξαπλώστρα και εξωτερική πρόσβαση, όπου εκτελέστηκαν καθημερινά σενάρια δραστηριοτήτων.

Η τεχνική αξιολογήθηκε για την ικανότητά της να παράγει αποτελεσματικά προφίλ και την ταξινόμηση δραστηριοτήτων υψηλού επιπέδου στο καταλληλότερο προφίλ. Η αξιολόγηση έδωσε ενθαρρυντικά αποτελέσματα, καθώς στα 30 προφίλ το 86% των προτεινόμενων ήταν σημαντικά όμοια με την πραγματική συμμετοχή των αισθητήρων και από αυτά το 76% (66% συνολικά) ήταν τα πλέον κατάλληλα.

Η μελλοντική έρευνα ως προς τη συγκεκριμένη τεχνική αποσκοπεί στο να ληφθούν υπόψιν διαφορετικής φύσεως πλαίσια, όπως χωρικές και χρονικές πληροφορίες, προκειμένου να είναι σε θέση να παραχθούν περισσότερο αναλυτικά και αποτελεσματικά προφίλ. Επίσης, σε μελλοντική μελέτη θα ληφθούν υπόψιν τεχνικές για την αποτελεσματικότερη αναπαράσταση και συμπερασμό της συσχέτισης των πλαισίων, όπου αυτή είναι εφικτή.

Κεφάλαιο 8

Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία

Στην παρούσα διατριβή αναπτύχθηκαν ευφυείς αλγόριθμοι, μεθοδολογίες και συστήματα, με σκοπό τη μελέτη και ενεργοποίηση της εφαρμογής της διάχυτης τηλεπισκόπησης στην υγεία και συγκεκριμένα σε περιβάλλοντα υποβοηθούμενης διαχείρισης (ΠΥΔ). Οι βασικές κατευθύνσεις που εξετάστηκαν ήταν δύο: αντή της προσέγγισης της εφαρμογής της διάχυτης τηλεπισκόπησης με βάση τα «αντικείμενα» και τη δικτύωσή τους και αυτή της προσέγγισης της σημασιολογίας και της συσχέτισης τους. Για την κατεύθυνση με βάση τα αντικείμενα και τη δικτύωσή τους, προτάθηκε μια τοπολογία βασισμένη σε RFID-IPv6, η οποία εκμεταλλεύτηκε τα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών τους σε επίπεδο δικτύωσης (Κεφάλαιο 2). Επίσης αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος και υλοποιήθηκε το αντίστοιχο πρωτότυπο για ένα σύστημα εσωτερικού εντοπισμού και πλοήγησης ανθρώπου σε ένα ΠΥΔ βασισμένο σε RFID ετικέτες (Κεφάλαιο 2). Επιπρόσθετα αναπτύχθηκε μία αρχιτεκτονική για τη διαχείριση των αντικειμένων (Κεφάλαιο 4) και των πλαισίων που παράγουν, ώστε να δώσουμε μεγαλύτερη έμφαση στη σημασιολογία τους. Για την κατεύθυνση με βάση τη σημασιολογία και τη συσχέτιση τους, προτάθηκε μια μεθοδολογία για τη συσχέτιση των ριών δεδομένων με χρήση ασαφών συνόλων και μέτρων ομοιότητας, καθώς και τεχνικών μηχανικής μάθησης (Κεφάλαιο 6), ενώ τέλος αναπτύχθηκε μία τεχνική για τη δημιουργία προφίλ με βάση τα κύρια (χαμηλού επιπέδου) πλαισία, και τη χρήση αυτών για τη συσχέτιση δευτερευόντων (υψηλού επιπέδου) πλαισίων με τους διαθέσιμους αισθητήρες.

8.1 Συμπεράσματα

Εφαρμογή της Διάχυτης Τηλεπισκόπησης σε Υπηρεσίες Υγείας

Στο πρώτο μέρος της διδακτορικής διατριβής προτάθηκε ένα συνδυαστικό πλαίσιο RFID-IPv6, το οποίο εκμεταλλεύεται τα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών τους σε επίπεδο δικτύωσης. Χρησιμοποιήσαμε έναν ενδιάμεσο κόμβο αντιστοίχισης, ο οποίος λύνει προβλήματα, τόσο σε επίπεδο επικοινωνίας όσο και σε επίπεδο διαχείρισης της διαθέσιμης πληροφορίας.

Το σημαντικότερο συμπέρασμα που βγάλαμε ήταν ότι μια τέτοια τοπολογία λύνει πολλά προβλήματα διαλειτουργικότητας μεταξύ των δύο τεχνολογιών και εκμεταλλεύεται στο έπακρο τα πλεονεκτήματά τους. Υιοθετεί την ευελιξία και το κόστος από το RFID, τη διευθυνσιοδότηση, καθώς και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και διασυνδεσιμότητας από το IPv6. Όμως, καταλήξαμε ότι ένα τέτοιο πλαίσιο πάσχει αρκετά από άποψη τυποποίησης και επεκτασιμότητας.

Στη συνέχεια, επικεντρώνοντας πιο πολύ σε δομές ΠΥΔ, υλοποιήθηκε ένα ευφυές σύστημα πλοήγησης εσωτερικού χώρου. Πιο συγκεκριμένα, ορίστηκε η διαδικασία «χαρτογράφησης», ερμηνεύοντας τα σχεδιαγράμματα ενός εσωτερικού χώρου, και προτάθηκε ένας καινοτόμος αλγόριθμος εντοπισμού και αποφυγής εμποδίων. Η ολιστική λύση που υλοποιήθηκε, περιλαμβάνοντας την κατασκευή κατάλληλων RFID ετικετών, ώστε να βελτιωθούν οι ιδιότητες του προτεινόμενου συστήματος, και τις κατάλληλες μονάδες (φορετά πρωτότυπα και διακομιστές εντοπισμού), κατάφερε να παρέχει όλα τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά, όπως τον ακριβή εσωτερικό εντοπισμό, τη φυσική πλοήγηση και την αποτελεσματική φωνητική καθοδήγηση. Αυτά τα χαρακτηριστικά δοκιμάστηκαν σε τέσσερις εθελοντές με δεμένα τα μάτια σε πολλαπλές συνεδρίες. Το συμπέρασμα είναι ότι ο αλγόριθμος εντοπισμού και πλοήγησης, σε συνδυασμό με την αναλυτικότητα που παρείχαν οι πρότυπες RFID κεραίες, εμφάνισε πολύ αξιόπιστα και ενθαρρυντικά αποτελέσματα, ειδικά στις περιπτώσεις κινητών μη αναμενόμενων εμποδίων, που είναι και η πιο μεγάλη πρόκληση σε ένα σύστημα πλοήγησης και εντοπισμού εσωτερικού χώρου.

Επιπρόσθετα, αναγνωρίζοντας την ανάγκη της επίγνωσης του πλαισίου σε περιβάλλοντα διάχυτης τηλεπισκόπησης, αναπτύχθηκε μια αρχιτεκτονική 5 επιπέδων βασιζόμενη στις ανάγκες μιας δομής ΠΥΔ. Το συμπέρασμα που προέκυψε υλοποιώντας μια ελάχιστη πλατφόρμα με βάση την αρχιτεκτονική και δοκιμάζοντας τις βασικές αρχές λειτουργίας της σε ένα υβριδικό σύστημα προσομοίωσης με πραγματικά δεδομένα, είναι ότι διασφαλίζεται η απαραίτητη διαχείριση, επεκτασιμότητα και διαλειτουργικότητα μεταξύ του συστήματος και

κυρίως σε ό,τι αφορά το πλαίσιο που παράγεται. Επίσης, η επέκταση που προτάθηκε για την οντολογία SSN, κρίνεται ως ιδιαίτερα σημαντική και επιτυχημένη, καθώς μας επέτρεψε να εισάγουμε στο σύστημά μας ηλεκτρονικές υπηρεσίες ως εικονικούς αισθητήρες.

Ασαφής Συσχέτιση Ροών Δεδομένων στη Διάχυτη Τηλεπισκόπηση

Στο δεύτερο μέρος της διδακτορικής διατριβής, που επικεντρώνεται στη σημασιολογία και τη συσχέτιση, προτάθηκε μια μεθοδολογία ασαφούς συσχέτισης ροών δεδομένων. Το κυριότερο συμπέρασμα είναι ότι, υπολογίζοντας τα ασαφή σύνολα με τρόπο που να αντικατοπτρίζουν χαρακτηριστικά τις ροές δεδομένων και υπολογίζοντας τις κατάλληλες ασαφείς ομοιότητες, καθίστατο δυνατό να χρησιμοποιηθούν σαν χαρακτηριστικά σε τεχνικές μηχανικής μάθησης με επίβλεψη για την εξαγωγή μιας λίστας κατάταξης συσχέτισης. Το σύστημα δοκιμάστηκε σε 30 ετερογενείς αισθητήρες με συνολικά 75 ροές σε διαφορετικές συνθήκες, που συνολικά παρήγαγαν 13920 ροές δεδομένων με 19 χαρακτηριστικά το καθένα. Αυτό που προέκυψε σαν συμπέρασμα είναι ότι το κριτήριο Freedman–Diaconis δημιουργεί χαρακτηριστικά ασαφή σύνολα, ενώ τα επιλεγμένα ασαφή μέτρα είναι αρκετά για τον υπολογισμό των κατάλληλων χαρακτηριστικών προς ταξινόμηση. Επίσης, η μεθοδολογία με τα τυχαία δάση έφερε καλύτερα αποτελέσματα από τα SVM και Naïve Bayes. Τέλος, τα τυχαία δάση κατατάσσουν τους αισθητήρες πολύ πιο αποτελεσματικά από τις τεχνικές συγχώνευσης κατάταξης λιστών. Ενδεικτικά, σε σχέση με τα σενάρια που δοκιμάστηκαν, διαφαίνεται ότι η τεχνική δουλεύει καλύτερα όταν η εκπαίδευση του μοντέλου εξαρτάται από το χρήστη και ακόμη καλύτερα όταν εξαρτάται από τη δραστηριότητα του χρήστη (83,3%).

Μέθοδος Δημιουργίας Προφίλ σε Ένα Περιβάλλον Διάχυτης Τηλεπισκόπησης

Στη συνέχεια μελετήθηκε ένας αλγόριθμος και η σχετική μεθοδολογία που λαμβάνει υπόψιν της τα σχετικά πλαίσια, για να εκτιμήσει το ποσοστό συμμετοχής των αισθητήρων σε οποιαδήποτε δραστηριότητα υψηλού επιπέδου σε ένα ΠΥΔ, με βάση τις προηγούμενες εκτελούμενες από το χρήστη δραστηριότητες χαμηλού επιπέδου. Με άλλα λόγια, προτείνουμε μια μεθοδολογία για την εξαγωγή προφίλ όσον αφορά τους εμπλεκόμενους αισθητήρες και την ταξινόμηση των μελλοντικών εκτελούμενων δραστηριοτήτων υψηλού επιπέδου σε αυτά τα προφίλ. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η ασαφής ομαδοποίηση των νευρώνων ενός SOM, με βάση τις ροές των αισθητήρων, μας δίνει ένα καλώς εκφρασμένο προφίλ των διαθέσιμων αισθητήρων. Επίσης είναι φανερό ότι ο προτεινόμενος αλγόριθμος προσδιορισμού του χώρου χαρακτηριστικών, για το συνδυασμό των κυρίων πλαισίων σε δευτερεύοντα, μας

δίνει την ευελιξία αλλά και τα κατάλληλα αποτελέσματα να ταξινομήσουμε νέες υψηλού-επιπέδου δραστηριότητες σε κατάλληλα προφίλ, χωρίς να δεσμευόμαστε από το ποιες χαμηλού-επιπέδου τα αποτελούν. Η εφαρμογή της μεθόδου σε δεδομένα αισθητήρων ενός ΠΥΔ έδειξε ότι στα προφίλ από 30 διαφορετικές υψηλού-επιπέδου δραστηριότητες τα προτεινόμενα ήταν σε 86%, σημαντικά όμοια με την πραγματική συμμετοχή των αισθητήρων, και από αυτά το 76% ποσοστό ήταν τα πλέον κατάλληλα.

8.2 Προτάσεις για Μελλοντική Εργασία

Η εφαρμογή του stateless mode του IPv6 στην εφαρμογή του Κεφαλαίου 2, σχετικά με την τοπολογία RFID-IPv6, θα ήταν μια πρώτη κατεύθυνση για μελλοντική έρευνα. Επίσης, η ανάπτυξη κάποιου ενδιάμεσου λογισμικού στο επίπεδο των RFID – Αναγνωστών για να υποστηρίζουν τη σχετική δρομολόγηση, θα έλυνε πολλά προβλήματα σχετικά με την επεκτασιμότητα. Τέλος μια πτυχή που δεν μελετήθηκε καθόλου στην προτεινόμενη εφαρμογή κι έχει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον, ειδικά στον τομέα της υγείας, είναι το πεδίο της ασφάλειας και της διαχείρισης της προσβασιμότητας σε ευαίσθητα δεδομένα.

Στη μελέτη σχετικά με τον εσωτερικό εντοπισμό και πλοήγηση σε ένα περιβάλλον ΠΥΔ, μία πρώτη μελλοντική επέκταση θα μπορούσε να είναι η αντιμετώπιση αρνητικών κύκλων. Ένας αρνητικός κύκλος προσδιορίζεται ως ένας κύκλος που είναι προσβάσιμος από οποιαδήποτε κορυφή. Μια τέτοια τεχνική είναι ο αλγόριθμος τους Bellman-Ford, που μειώνει αρκετά την πολυπλοκότητα και το χρόνο υπολογισμού της συντομότερης διαδρομής σε σύνθετους χώρους με πολλά κινητά εμπόδια. Επιπρόσθετα, στην περίπτωση των RFID ετικετών, η ενσωμάτωση energy harvesting τεχνικών από οπισθοσκέδαση, που την ενεργοποιεί αλλά δεν ταιριάζει με το ID της ή/και από διαφορετικές συχνότητες, θα έδινε την κατάλληλη ενέργεια για την ενσωμάτωση κάποιου αισθητήρα. Αυτός θα μπορούσε να είναι ένας αισθητήρας πίεσης, που θα συνεισφέρει στην καλύτερη πλοήγηση του χρήστη.

Οσον αφορά στην προτεινόμενη 5-επιπέδων αρχιτεκτονική, μια μελλοντική διερεύνηση είναι η χρήση οντολογίας, που θα περιέγραφε τα πιο συνήθη «αντικείμενα» σε ένα ΠΥΔ και ο ανάλογος συμπερασμός, ώστε να είναι εφικτή η εξαγωγή των χαρακτηριστικών πλαισίων για την καλύτερη συσχέτιση αυτών. Σχετικά με το συμπερασμό, μπορούν να εφαρμοστούν ασαφείς συσχετίσεις με σκοπό την καλύτερη λειτουργεία της Μονάδας Δικτύου και την ανακάλυψη μέσω αυτού του πιο σχετικού αισθητήρα.

Σχετικά με την προτεινόμενη μεθοδολογία για τις ασαφείς συσχετίσεις ροών δεδομένων, ένας δρόμος που μπορεί να μελετηθεί περαιτέρω σε σχέση με την επίλυση του προβλήματος

της κατάταξης, είναι αυτή της Pairwise προσέγγισης. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η τεχνική του Ranking SVM, που στόχος της δεν είναι η βελτιστοποίηση του εντοπισμού της ακριβούς θέσης ενός στοιχείου σε μία λίστα, αλλά της σχετικής θέσης μεταξύ 2 στοιχείων σε 2 διαφορετικές λίστες. Επιπρόσθετα, στο πεδίο της ταξινόμησης, σε μια Pointwise προσέγγιση σαν την προτεινόμενη, μπορεί να επιλεχθεί για μελέτη μια τεχνική σαν την Gradient Boosting, που έχει δείξει επίσης ενθαρρυντικά αποτελέσματα σε αντίστοιχα προβλήματα.

Τέλος μια μελλοντική έρευνα, ως προς την εξαγωγή των προφίλ και την κατηγοριοποίηση νέων δραστηριοτήτων σε αυτά, μπορεί να επικεντρωθεί στο πώς κύρια χαμηλού-επιπέδου πλαίσια συνιστούν υψηλότερου-πλαίσιου δραστηριότητες. Πιο συγκεκριμένα μπορούν να ληφθούν υπόψιν διαφορετικής φύσεως πλαίσια, όπως χωρικές και χρονικές πληροφορίες, προκειμένου να είναι σε θέση να παραχθούν περισσότερο αναλυτικά και αποτελεσματικά προφίλ. Επίσης, στην κατηγοριοποίηση νέων δραστηριοτήτων, μια μελλοντική προσέγγιση είναι η χρήση νευρωνικών δικτύων, που λόγω της Ενισχυτικής Μάθησης, μπορούν όσο ο χρήστης επιλέγει ένα προφίλ για μια νέα δραστηριότητα να προσωποποιούν την ταξινόμηση του προτεινόμενου αλγορίθμου όλο και πιο πολύ.

Βιβλιογραφία

1. Giusto, D., et al., *The Internet of Things*. 2010: Springer.
2. Council, N. *Disruptive civil technologies: Six technologies with potential impacts on us interests out to 2025*. in *Conference Report CR*. 2008.
3. Bassi, A. and G. Horn, *Internet of Things in 2020: A Roadmap for the Future*. European Commission: Information Society and Media, 2008.
4. Atzori, L., A. Iera, and G. Morabito, *The internet of things: A survey*. Computer networks, 2010. **54**(15): p. 2787-2805.
5. Zeng, D., S. Guo, and Z. Cheng, *The web of things: A survey*. JCM, 2011. **6**(6): p. 424-438.
6. Labs, A.-I.; Available from: <http://www.autoidlabs.org/>.
7. Kürschner, C., et al., *Discovery service design in the epcglobal network*, in *The Internet of Things*. 2008, Springer. p. 19-34.
8. Yan, L., et al., *The Internet of things: from RFID to the next-generation pervasive networked systems*. 2008: CRC Press.
9. Klaus, F., *RFID handbook: Fundamentals and applications in contactless smart cards and identification*. Hardcover, 2003.
10. *RFID Portal*. 2014 [cited 2014; Available from: <http://www.rfidportal.gr/index.php/-rfid/104--rfid>].
11. Miles, S.B., S.E. Sarma, and J.R. Williams, *RFID technology and applications*. Vol. 1. 2008: Cambridge University Press Cambridge.
12. Presser, M. and A. Gluhak, *The Internet of Things: Connecting the Real World with the Digital World*. EURESCOM mess@ ge-The Magazine for Telecom Insiders, 2009. **2**.
13. Sundmaeker, H., et al., *Vision and challenges for realising the Internet of Things*. Cluster of European Research Projects on the Internet of Things, European Commision, 2010.
14. Perera, C., et al. *Ca4iot: Context awareness for internet of things*. in *Green Computing and Communications (GreenCom), 2012 IEEE International Conference on*. 2012. IEEE.
15. Song, Z., A.A. Cárdenas, and R. Masuoka. *Semantic middleware for the Internet of Things*. in *Internet of Things (IOT), 2010*. 2010. IEEE.
16. Smith, I.G., *The Internet of things 2012: new horizons*. 2012: CASAGRAS2.
17. Laranjo, I., J. Macedo, and A. Santos, *Internet of things for medication control: Service implementation and testing*. Procedia Technology, 2012. **5**: p. 777-786.
18. Bui, N. and M. Zorzi. *Health care applications: a solution based on the internet of things*. in *Proceedings of the 4th International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies*. 2011. ACM.
19. Domingo, M.C., *An overview of the Internet of Things for people with disabilities*. Journal of Network and Computer Applications, 2012. **35**(2): p. 584-596.
20. Yoon, D.G., et al. *RFID networking mechanism using address management agent*. in *Networked Computing and Advanced Information Management, 2008. NCM'08. Fourth International Conference on*. 2008. IEEE.
21. Organization, W.H. Oct. 2013; Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/>.
22. Tsirmpas, C., et al., *An indoor navigation system for visually impaired and elderly people based on Radio Frequency Identification (RFID)*. Information Sciences, 2015. **320**: p. 288-305.

23. Ozdenizci, B., et al. *Development of an indoor navigation system using NFC technology*. in *Information and Computing (ICIC), 2011 Fourth International Conference on*. 2011. IEEE.
24. Ivanov, R. *Indoor navigation system for visually impaired*. in *Proceedings of the 11th International Conference on Computer Systems and Technologies and Workshop for PhD Students in Computing on International Conference on Computer Systems and Technologies*. 2010. ACM.
25. Guerrero, L.A., F. Vasquez, and S.F. Ochoa, *An indoor navigation system for the visually impaired*. Sensors, 2012. **12**(6): p. 8236-8258.
26. Sonnenblick, Y. *An indoor navigation system for blind individuals*. in *Proceedings of the 13th annual Conference on Technology and Persons with Disabilities*. 1998.
27. Ran, L., S. Helal, and S. Moore. *Drishti: an integrated indoor/outdoor blind navigation system and service*. in *Pervasive Computing and Communications, 2004. PerCom 2004. Proceedings of the Second IEEE Annual Conference on*. 2004. IEEE.
28. Ganz, A., et al. *Percept: Indoor navigation for the blind and visually impaired*. in *Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE*. 2011. IEEE.
29. Vorst, P., et al. *Self-localization with RFID snapshots in densely tagged environments*. in *Intelligent Robots and Systems, 2008. IROS 2008. IEEE/RSJ International Conference on*. 2008. IEEE.
30. Hahnel, D., et al. *Mapping and localization with RFID technology*. in *Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA'04. 2004 IEEE International Conference on*. 2004. IEEE.
31. Wheeler, H.A., *Simple inductance formulas for radio coils*. Proceedings of the Institute of Radio Engineers, 1928. **16**(10): p. 1398-1400.
32. Rosa, E.B., *Calculation of the self-inductance of single-layer coils*. 1906: US Government Printing Office.
33. Mohan, S.S., et al., *Simple accurate expressions for planar spiral inductances*. IEEE Journal of solid-state circuits, 1999. **34**(10): p. 1419-1424.
34. Weiser, M., *The computer for the 21st century*. Scientific american, 1991. **265**(3): p. 94-104.
35. Schilit, B.N. and M.M. Theimer, *Disseminating active map information to mobile hosts*. Network, IEEE, 1994. **8**(5): p. 22-32.
36. Perera, C., et al., *Context aware computing for the internet of things: A survey*. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2014. **16**(1): p. 414-454.
37. Bandyopadhyay, S., et al., *Role of middleware for internet of things: A study*. International Journal of Computer Science and Engineering Survey, 2011. **2**(3): p. 94-105.
38. Sundmaeker, H., et al., *Vision and challenges for realising the Internet of Things*. 2010: EUR-OP.
39. Nagy, M., et al., *Challenges of middleware for the internet of things*. University of Jyvaskyla, Tech. Rep, 2009.
40. Badii, A., M. Crouch, and C. Lallah. *A context-awareness framework for intelligent networked embedded systems*. in *Advances in Human-Oriented and Personalized Mechanisms, Technologies and Services (CENTRIC), 2010 Third International Conference on*. 2010. IEEE.
41. Kefalakis, N., et al., *Middleware building blocks for architecting RFID systems*, in *Mobile Lightweight Wireless Systems*. 2009, Springer. p. 325-336.
42. Katasonov, A., et al., *Smart Semantic Middleware for the Internet of Things*. ICINCO-ICSO, 2008. **8**: p. 169-178.

43. Caporuscio, M., P.-G. Raverdy, and V. Issarny, *ubiSOAP: A service-oriented middleware for ubiquitous networking*. Services Computing, IEEE Transactions on, 2012. **5**(1): p. 86-98.
44. Terziyan, V., O. Kaykova, and D. Zhovtobryukh. *Ubiroad: Semantic middleware for context-aware smart road environments*. in *Internet and Web Applications and Services (ICIW), 2010 Fifth International Conference on*. 2010. IEEE.
45. Salehi, A., *Design and implementation of an efficient data stream processing system*. 2010, ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE.
46. Cannata, A., M. Gerosa, and M. Taisch. *SOCRADES: A framework for developing intelligent systems in manufacturing*. in *Industrial Engineering and Engineering Management, 2008. IEEM 2008. IEEE International Conference on*. 2008. IEEE.
47. Bohn, H., A. Bobek, and F. Golatowski. *SIRENA-Service Infrastructure for Real-time Embedded Networked Devices: A service oriented framework for different domains*. in *Networking, International Conference on Systems and International Conference on Mobile Communications and Learning Technologies, 2006. ICN/ICONS/MCL 2006. International Conference on*. 2006. IEEE.
48. Puliafito, A., et al., *Making the internet of things a reality: The wherex solution*, in *The Internet of Things*. 2010, Springer. p. 99-108.
49. Dey, A.K., G.D. Abowd, and D. Salber, *A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications*. Human-computer interaction, 2001. **16**(2): p. 97-166.
50. Sanchez, L., et al. *A generic context management framework for personal networking environments*. in *Mobile and Ubiquitous Systems-Workshops, 2006. 3rd Annual International Conference on*. 2006. IEEE.
51. Ahn, S. and D. Kim, *Proactive context-aware sensor networks*, in *Wireless Sensor Networks*. 2006, Springer. p. 38-53.
52. Abowd, G.D., et al. *Towards a better understanding of context and context-awareness*. in *International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*. 1999. Springer.
53. Indulska, J., K. Henrickson, and P. Hu. *Towards a standards-based autonomic context management system*. in *International Conference on Autonomic and Trusted Computing*. 2006. Springer.
54. Schilit, B., N. Adams, and R. Want. *Context-aware computing applications*. in *Mobile Computing Systems and Applications, 1994. WMCSA 1994. First Workshop on*. 1994. IEEE.
55. Pascoe, J. *Adding generic contextual capabilities to wearable computers*. in *Wearable Computers, 1998. Digest of Papers. Second International Symposium on*. 1998. IEEE.
56. Henrickson, K., *A framework for context-aware pervasive computing applications*. 2003: University of Queensland Queensland.
57. Van Bunningen, A.H., L. Feng, and P.M. Apers. *Context for ubiquitous data management*. in *Ubiquitous Data Management, 2005. UDM 2005. International Workshop on*. 2005. IEEE.
58. Indulska, J. and P. Sutton. *Location management in pervasive systems*. in *Proceedings of the Australasian information security workshop conference on ACSW frontiers 2003-Volume 21*. 2003. Australian Computer Society, Inc.
59. Balavalad, K.B., S. Manvi, and A. Sutagundar. *Context aware computing in wireless sensor networks*. in *Advances in Recent Technologies in Communication and Computing, 2009. ARTCom'09. International Conference on*. 2009. IEEE.
60. Baldauf, M., S. Dustdar, and F. Rosenberg, *A survey on context-aware systems*. International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing, 2007. **2**(4): p. 263-277.

61. Bettini, C., et al., *A survey of context modelling and reasoning techniques*. Pervasive and Mobile Computing, 2010. **6**(2): p. 161-180.
62. Chen, G. and D. Kotz, *A survey of context-aware mobile computing research*. 2000, Technical Report TR2000-381, Dept. of Computer Science, Dartmouth College.
63. Strang, T. and C. Linnhoff-Popien. *A context modeling survey*. in *Workshop Proceedings*. 2004.
64. Mohapatra, D.P. and S. Patnaik, *Intelligent Computing, Networking, and Informatics: Proceedings of the International Conference on Advanced Computing, Networking, and Informatics, India, June 2013*. Vol. 243. 2013: Springer Science & Business Media.
65. Delaney, K., *Augmented Materials and Smart Objects: Building Ambient Intelligence Through Microsystems Technology (Microsystems)*. 2007: Springer-Verlag New York, Inc.
66. Yanwei, S., Z. Guangzhou, and P. Haitao. *Research on the context model of intelligent interaction system in the internet of things*. in *IT in Medicine and Education (ITME), 2011 International Symposium on*. 2011. IEEE.
67. Knappmeyer, M., et al. *ContextML: a light-weight context representation and context management schema*. in *Wireless Pervasive Computing (ISWPC), 2010 5th IEEE International Symposium on*. 2010. IEEE.
68. Booch, G., J. Rumbaugh, and I. Jacobson, *Unified Modeling Language (UML)*. Rational Software Corporation, Santa Clara, CA, version, 1998. **1**.
69. Bird, L., A. Goodchild, and T. Halpin. *Object role modelling and XML-Schema*. in *International Conference on Conceptual Modeling*. 2000. Springer.
70. Kindler, E. and I. Krivy, *Object-oriented simulation of systems with sophisticated control*. International Journal of General Systems, 2011. **40**(3): p. 313-343.
71. Lewis, J. and W. Loftus, *Java software solutions foundations of programming design*. Pearson Education Inc, 2008.
72. Allemang, D. and J. Hendler, *Semantic web for the working ontologist: effective modeling in RDFS and OWL*. 2011: Elsevier.
73. Yu, L., *A developer's guide to the semantic web*. 2011: Springer.
74. Hitzler, P., M. Krotzsch, and S. Rudolph, *Foundations of semantic web technologies*. 2011: CRC Press.
75. Noy, N.F. and D.L. McGuinness, *Ontology development 101: A guide to creating your first ontology*. 2001, Stanford knowledge systems laboratory technical report KSL-01-05 and Stanford medical informatics technical report SMI-2001-0880.
76. Wang, X.H., et al. *Ontology based context modeling and reasoning using OWL*. in *Pervasive Computing and Communications Workshops, 2004. Proceedings of the Second IEEE Annual Conference on*. 2004. Ieee.
77. Studer, R., V.R. Benjamins, and D. Fensel, *Knowledge engineering: principles and methods*. Data & knowledge engineering, 1998. **25**(1): p. 161-197.
78. Jani, M., J. Kela, and E.-J. Malm, *Managing context information in mobile devices*. IEEE pervasive computing, 2003. **2**(3): p. 42-51.
79. Based, A.U.C.A., *Context Representation and Reasoning in Pervasive Computing: a Review*.
80. Korppiä, P. and J. Mäntylä, *An ontology for mobile device sensor-based context awareness*, in *Modeling and Using Context*. 2003, Springer. p. 451-458.
81. de Freitas Bulcao Neto, R. and M. da Graca Campos Pimentel. *Toward a domain-independent semantic model for context-aware computing*. in *Web Congress, 2005. LA-WEB 2005. Third Latin American*. 2005. IEEE.

82. Ko, K.-E. and K.-B. Sim. *Development of context aware system based on Bayesian network driven context reasoning method and ontology context modeling*. in *Control, Automation and Systems, 2008. ICCAS 2008. International Conference on*. 2008. IEEE.
83. Compton, M., et al. *A Survey of the Semantic Specification of Sensors*. in *SSN*. 2009.
84. Avancha, S., C. Patel, and A. Joshi. *Ontology-Driven Adaptive Sensor Networks*. in *MobiQuitous*. 2004.
85. Klyne, G. and J.J. Carroll, *Resource description framework (RDF): Concepts and abstract syntax*. 2006.
86. Antoniou, G. and F. Van Harmelen, *Web ontology language: Owl*, in *Handbook on ontologies*. 2004, Springer. p. 67-92.
87. Chen, H., et al., *Intelligent agents meet the semantic web in smart spaces*. Internet Computing, IEEE, 2004. **8**(6): p. 69-79.
88. Bikakis, A., et al., *A survey of semantics-based approaches for context reasoning in ambient intelligence*, in *Constructing ambient intelligence*. 2008, Springer. p. 14-23.
89. Guan, D., et al. *Context selection and reasoning in ubiquitous computing*. in *Intelligent Pervasive Computing, 2007. IPC. The 2007 International Conference on*. 2007. IEEE.
90. Hall, D.L. and J. Llinas, *An introduction to multisensor data fusion*. Proceedings of the IEEE, 1997. **85**(1): p. 6-23.
91. Castelli, G., et al., *Extracting high-level information from location data: the W4 diary example*. Mobile Networks and Applications, 2009. **14**(1): p. 107-119.
92. Lim, B.Y. and A.K. Dey. *Toolkit to support intelligibility in context-aware applications*. in *Proceedings of the 12th ACM international conference on Ubiquitous computing*. 2010. ACM.
93. Park, H.-S., K. Oh, and S.-B. Cho, *Bayesian network-based high-level context recognition for mobile context sharing in cyber-physical system*. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2011. **2011**.
94. Doukas, C., et al., *Patient fall detection using support vector machines*, in *Artificial Intelligence and Innovations 2007: from Theory to Applications*. 2007, Springer. p. 147-156.
95. Keßler, C., M. Raubal, and C. Wosniok, *Semantic rules for context-aware geographical information retrieval*, in *Smart Sensing and Context*. 2009, Springer. p. 77-92.
96. Horrocks, I., et al., *SWRL: A semantic web rule language combining OWL and RuleML*. W3C Member submission, 2004. **21**: p. 79.
97. Zhou, X., et al. *SPBCA: Semantic Pattern-Based Context-Aware Middleware*. in *Parallel and Distributed Systems (ICPADS), 2009 15th International Conference on*. 2009. IEEE.
98. Konstantinou, N., et al., *Priamos: a middleware architecture for real-time semantic annotation of context features*. 2007.
99. Román, M., et al., *A middleware infrastructure for active spaces*. IEEE pervasive computing, 2002. **1**(4): p. 74-83.
100. Tsarkov, D. and I. Horrocks, *FaCT++ description logic reasoner: System description*, in *Automated reasoning*. 2006, Springer. p. 292-297.
101. Sirin, E., et al., *Pellet: A practical owl-dl reasoner*. Web Semantics: science, services and agents on the World Wide Web, 2007. **5**(2): p. 51-53.
102. Zafeiropoulos, A., et al. *A semantic-based architecture for sensor data fusion*. in *Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies, 2008. UBICOMM'08. The Second International Conference on*. 2008. IEEE.
103. Kranz, M., et al. *Sensing technologies and the player-middleware for context-awareness in kitchen environments*. in *Networked Sensing Systems, 2007. INSS'07. Fourth International Conference on*. 2007. IEEE.

104. Botts, M., et al. *OGC® sensor web enablement: Overview and high level architecture*. in *International conference on GeoSensor Networks*. 2006. Springer.
105. Martin, M. and P. Nurmi. *A generic large scale simulator for ubiquitous computing*. in *Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services, 2006 Third Annual International Conference on*. 2006. IEEE.
106. Alwan, M., et al. *A smart and passive floor-vibration based fall detector for elderly*. in *Information and Communication Technologies, 2006. ICTTA'06. 2nd*. 2006. IEEE.
107. Roggen, D., et al. *OPPORTUNITY: Towards opportunistic activity and context recognition systems*. in *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks & Workshops, 2009. WoWMoM 2009. IEEE International Symposium on a*. 2009. IEEE.
108. Roggen, D., et al. *Collecting complex activity datasets in highly rich networked sensor environments*. in *Networked Sensing Systems (INSS), 2010 Seventh International Conference on*. 2010. IEEE.
109. Förster, K., D. Roggen, and G. Troster. *Unsupervised classifier self-calibration through repeated context occurrences: Is there robustness against sensor displacement to gain?* in *Wearable Computers, 2009. ISWC'09. International Symposium on*. 2009. IEEE.
110. Kunze, K. and P. Lukowicz. *Using acceleration signatures from everyday activities for on-body device location*. in *Wearable Computers, 2007 11th IEEE International Symposium on*. 2007. IEEE.
111. Kunze, K. and P. Lukowicz. *Symbolic object localization through active sampling of acceleration and sound signatures*. in *International Conference on Ubiquitous Computing*. 2007. Springer.
112. Förster, K., et al. *On the use of brain decoded signals for online user adaptive gesture recognition systems*. in *International Conference on Pervasive Computing*. 2010. Springer.
113. Roggen, D., et al. *An educational and research kit for activity and context recognition from on-body sensors*. in *Body Sensor Networks (BSN), 2010 International Conference on*. 2010. IEEE.
114. Stieffmeier, T., et al., *Wearable activity tracking in car manufacturing*. IEEE Pervasive Computing, 2008. 7(2).
115. Pirkl, G., et al. *Adapting magnetic resonant coupling based relative positioning technology for wearable activity recogniton*. in *Wearable Computers, 2008. ISWC 2008. 12th IEEE International Symposium on*. 2008. IEEE.
116. Zappi, P., et al., *Activity recognition from on-body sensors: accuracy-power trade-off by dynamic sensor selection*, in *Wireless sensor networks*. 2008, Springer. p. 17-33.
117. Unison. 2013; Available from: <https://www.cis.upenn.edu/~bcpierce/unison/>
118. Inc., U. *Unison Software*. 2017 [cited 2017 01/01/2017].
119. Truong, C., K. Romer, and K. Chen. *Fuzzy-based sensor search in the web of things*. in *Internet of Things (IOT), 2012 3rd International Conference on the*. 2012. IEEE.
120. Daras, P., et al. *Similarity content search in content centric networks*. in *Proceedings of the 18th ACM international conference on Multimedia*. 2010. ACM.
121. Wang, Z., et al. *VFerret: content-based similarity search tool for continuous archived video*. in *Proceedings of the 3rd ACM workshop on Continuous archival and retrieval of personal experiences*. 2006. ACM.
122. Bahi, J.M., A. Makhoul, and M. Medlej. *Data aggregation for periodic sensor networks using sets similarity functions*. in *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2011 7th International*. 2011. IEEE.
123. Beringer, J. and E. Hüllermeier, *Online clustering of parallel data streams*. Data & Knowledge Engineering, 2006. 58(2): p. 180-204.

124. Zhao, S., et al., *A multidimensional resource model for dynamic resource matching in internet of things*. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2015. **27**(8): p. 1819-1843.
125. Gauger, M., et al. *Sensor-based clustering for indoor applications*. in *Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, 2008. SECON'08. 5th Annual IEEE Communications Society Conference on*. 2008. IEEE.
126. Du, C., et al., *An efficient indexing and query mechanism for ubiquitous IoT services*. International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing, 2015. **18**(4): p. 245-255.
127. Holmquist, L.E., et al. *Smart-its friends: A technique for users to easily establish connections between smart artefacts*. in *international conference on Ubiquitous Computing*. 2001. Springer.
128. Lester, J., B. Hannaford, and G. Borriello. "Are You With Me?"—Using Accelerometers to Determine if Two Devices are Carried by the Same Person. in *International Conference on Pervasive Computing*. 2004. Springer.
129. Chiu, S., *Extracting fuzzy rules from data for function approximation and pattern classification*. 1997, chapter.
130. Freedman, D. and P. Diaconis, *On the histogram as a density estimator: L 2 theory*. Zeitschrift für Wahrscheinlichkeitstheorie und verwandte Gebiete, 1981. **57**(4): p. 453-476.
131. Chen, S.-M., M.-S. Yeh, and P.-Y. Hsiao, *A comparison of similarity measures of fuzzy values*. Fuzzy sets and systems, 1995. **72**(1): p. 79-89.
132. Fan, J. and W. Xie, *Some notes on similarity measure and proximity measure*. Fuzzy sets and systems, 1999. **101**(3): p. 403-412.
133. Lee-Kwang, H., Y.-S. Song, and K.-M. Lee, *Similarity measure between fuzzy sets and between elements*. Fuzzy Sets and Systems, 1994. **62**(3): p. 291-293.
134. Pappis, C.P. and N.I. Karacapilidis, *A comparative assessment of measures of similarity of fuzzy values*. Fuzzy sets and systems, 1993. **56**(2): p. 171-174.
135. Wang, X., B. De Baets, and E. Kerre, *A comparative study of similarity measures*. Fuzzy sets and systems, 1995. **73**(2): p. 259-268.
136. Bloch, I., *On fuzzy distances and their use in image processing under imprecision*. Pattern Recognition, 1999. **32**(11): p. 1873-1895.
137. Van der Weken, D., et al. *A survey on the use and the construction of fuzzy similarity measures in image processing*. in *Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications, 2005. Cimsa. 2005 IEEE International Conference on*. 2005. IEEE.
138. Van der Weken, D., M. Nachtegael, and E.E. Kerre, *Using similarity measures and homogeneity for the comparison of images*. Image and Vision Computing, 2004. **22**(9): p. 695-702.
139. Wang, D.-G., Y.-P. Meng, and H.-X. Li, *A fuzzy similarity inference method for fuzzy reasoning*. Computers & Mathematics with Applications, 2008. **56**(10): p. 2445-2454.
140. Gadi, T., et al. *Fuzzy similarity measure for shape retrieval*. in *Vision interface*. 1999. Citeseer.
141. Baccour, L., et al. *A comparative study of a fuzzy similarity measure aggregated with fuzzy implications applied to shape recognition*. in *Proc. 6th Mexican International Conference on Artificial Intelligence MICAI 2007*. 2007.
142. Baccour, L. and A.M. Alimi. *Applications and comparisons of fuzzy similarity measures*. in *Fuzzy Systems (FUZZ), 2010 IEEE International Conference on*. 2010. IEEE.
143. Baccour, L., A.M. Alimi, and R.I. John, *Similarity measures for intuitionistic fuzzy sets: State of the art*. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2013. **24**(1): p. 37-49.

144. Buse, R., Z.-Q. Liu, and J. Bezdek, *Word recognition using fuzzy logic*. Ieee transactions on fuzzy systems, 2002. **10**(1): p. 65-76.
145. Abd-Elaal, A.K., H.A. Hefny, and A.H. Abd-Elwahab, *Forecasting of egypt wheat imports using multivariate fuzzy time series model based on fuzzy clustering*. IAEENG International Journal of Computer Science, 2013. **40**(4): p. 230-237.
146. Hedayati, H. and A. Ebrahimian, *Abnormal s-fuzzy subpolygroups*. IAEENG International Journal of Applied Mathematics, 2013. **42**(1): p. 34-39.
147. Pérez-Aguila, R., *Enhancing brain tissue segmentation and image classification via 1D Kohonen Networks and discrete compactness: an experimental study*. Engineering Letters, 2013. **21**(4): p. 171-180.
148. Lu, G. and R. Liu, *Discrimination for fuzzy sets related to NTV metric*. IAEENG International Journal of Applied Mathematics, 2013. **43**(4): p. 204-208.
149. Zadeh, L.A., *Fuzzy sets*. Information and control, 1965. **8**(3): p. 338-353.
150. Xuecheng, L., *Entropy, distance measure and similarity measure of fuzzy sets and their relations*. Fuzzy sets and systems, 1992. **52**(3): p. 305-318.
151. Wang, W.-J., *New similarity measures on fuzzy sets and on elements*. Fuzzy sets and systems, 1997. **85**(3): p. 305-309.
152. Raha, S., A. Hossain, and S. Ghosh, *Similarity based approximate reasoning: fuzzy control*. Journal of Applied Logic, 2008. **6**(1): p. 47-71.
153. Zwick, R., E. Carlstein, and D.V. Budescu, *Measures of similarity among fuzzy concepts: A comparative analysis*. International Journal of Approximate Reasoning, 1987. **1**(2): p. 221-242.
154. Dwork, C., et al. *Rank aggregation methods for the web*. in *Proceedings of the 10th international conference on World Wide Web*. 2001. ACM.
155. Prati, R.C. *Combining feature ranking algorithms through rank aggregation*. in *Neural Networks (IJCNN), The 2012 International Joint Conference on*. 2012. IEEE.
156. Liu, T.-Y., *Learning to rank for information retrieval*. Foundations and Trends® in Information Retrieval, 2009. **3**(3): p. 225-331.
157. Melucci, M. *On rank correlation in information retrieval evaluation*. in *ACM SIGIR Forum*. 2007. ACM.
158. Yilmaz, E., J.A. Aslam, and S. Robertson. *A new rank correlation coefficient for information retrieval*. in *Proceedings of the 31st annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*. 2008. ACM.
159. Yilmaz, E. and J.A. Aslam. *Estimating average precision with incomplete and imperfect judgments*. in *Proceedings of the 15th ACM international conference on Information and knowledge management*. 2006. ACM.
160. Mayer, S., D. Guinard, and V. Trifa. *Searching in a web-based infrastructure for smart things*. in *Internet of Things (IOT), 2012 3rd International Conference on the*. 2012. IEEE.
161. Elahi, B.M., et al. *Sensor ranking: A primitive for efficient content-based sensor search*. in *Proceedings of the 2009 international conference on information processing in sensor networks*. 2009. IEEE Computer Society.
162. Ostermaier, B., et al. *A real-time search engine for the web of things*. in *Internet of Things (IOT), 2010*. 2010. IEEE.
163. Perera, C., et al. *Context-aware sensor search, selection and ranking model for internet of things middleware*. in *Mobile Data Management (MDM), 2013 IEEE 14th International Conference on*. 2013. IEEE.
164. Lampinen, T., et al., *Profiling network applications with fuzzy C-means and self-organizing maps*, in *Classification and clustering for knowledge discovery*. 2005, Springer. p. 15-27.

165. Seret, A., et al., *A new SOM-based method for profile generation: Theory and an application in direct marketing*. European Journal of Operational Research, 2012. **220**(1): p. 199-209.
166. Kohonen, T., *Self-organized formation of topologically correct feature maps*. Biological cybernetics, 1982. **43**(1): p. 59-69.
167. Hayfron-Acquah, J. and M.S. Gyimah, *Classification and Recognition of Fingerprints using Self Organizing Maps (SOM)*. International Journal of Computer Science Issues (IJCSI), 2014. **11**(1).
168. Ghaseminezhad, M. and A. Karami, *A novel self-organizing map (SOM) neural network for discrete groups of data clustering*. Applied Soft Computing, 2011. **11**(4): p. 3771-3778.
169. Schwartz, D., et al., *Design and application of hybrid intelligent systems*. Chapter Improving risk grouping rules for prostate cancer patients using self-organising maps, 2003: p. 126-135.
170. Kohonen, T., et al., *Self organization of a massive document collection*. Neural Networks, IEEE Transactions on, 2000. **11**(3): p. 574-585.
171. Roubens, M., *Fuzzy clustering algorithms and their cluster validity*. European Journal of Operational Research, 1982. **10**(3): p. 294-301.
172. Xie, X.L. and G. Beni, *A validity measure for fuzzy clustering*. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 1991. **13**(8): p. 841-847.
173. Kwon, S.H., *Cluster validity index for fuzzy clustering*. Electronics Letters, 1998. **34**(22): p. 2176-2177.
174. Cover, T. and P. Hart, *Nearest neighbor pattern classification*. Information Theory, IEEE Transactions on, 1967. **13**(1): p. 21-27.
175. Dohr, A., et al. *The internet of things for ambient assisted living*. in *Information Technology: New Generations (ITNG), 2010 Seventh International Conference on*. 2010. Ieee.
176. Khan, A.M., et al., *A triaxial accelerometer-based physical-activity recognition via augmented-signal features and a hierarchical recognizer*. Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on, 2010. **14**(5): p. 1166-1172.
177. Troiano, R.P., *Translating accelerometer counts into energy expenditure: advancing the quest*. Journal of Applied Physiology, 2006. **100**(4): p. 1107-1108.

Παράτημα Α: Δημοσιεύσεις

Διεθνή Περιοδικά

1. **Tsirmpas, C.**, Anastasiou, A., Bountris, P., & Koutsouris, D. (2015). A New Method for Profile Generation in an Internet of Things Environment: An Application in Ambient-Assisted Living. *IEEE Internet of Things Journal*, 2(6), 471-478.
2. **Tsirmpas, C.**, Kouris, I., Anastasiou, A., Giokas, K., Iliopoulou, D., & Koutsouris, D. (2016). An Internet of Things platform architecture for supporting ambient assisted living environments. *Technology and Health Care*, (Preprint), 1-11.
3. **Tsirmpas, C.**, Rompas, A., Fokou, O., & Koutsouris, D. (2015). An indoor navigation system for visually impaired and elderly people based on Radio Frequency Identification (RFID). *Information Sciences*, 320, 288-305.
4. Giokas, K., **Tsirmpas, C.**, Anastasiou, A., Costarides, V., & Koutsouris, D. (2015). Contemporary heart failure treatment based on improved knowledge and personalized care of comorbidities. *Handbook of Research on Trends in the Diagnosis and Treatment of Chronic Conditions*, 301.
5. Barelle, C., **Tsirbas, C.**, Ibanez, F., Vellidou, E., Tagaris, T., Koutsouri, G., & Koutsouris, D. (2014). KINOPTIM: A Tele-rehabilitation gaming Platform for Fall Prevention in the Elderly Community. *Int. J. of Health Research and Innovation*, 2(1), 37-49.
6. Rompas, A., **Tsirmpas, C.**, Papatheodorou, I., Koutsouri, G., & Koutsouris, D. (2013). 3D Printing: Basic Concepts Mathematics and Technologies. *International Journal of Systems Biology and Biomedical Technologies (IJSBBT)*, 2(2), 58-71.
7. Rompas, A., **Tsirmpas, C.**, Anastasiou, A., Iliopoulou, D., & Koutsouris, D. (2013). Statistical Power and Sample Size in Personalized Medicine. *International Journal of Systems Biology and Biomedical Technologies (IJSBBT)*, 2(2), 72-88.
8. **Tsirmpas, C.**, Giokas, K., Iliopoulou, D., & Koutsouris, D. (2012). Magnetic Resonance Imaging and Magnetic Resonance Spectroscopy Cloud Computing Framework. *International Journal of Reliable and Quality E-Healthcare (IJRQEH)*, 1(4), 1-12.

Διεθνή και Εθνικά Συνέδρια

1. **Tsirmpas, C.**, Rompas, A., Anastasiou, A., & Koutsouris, D. (2014, November). Radio Frequency Identification (RFID) enhanced indoor navigation framework for seniors. In *Wireless Mobile Communication and Healthcare (Mobihealth)*, 2014 EAI 4th International Conference on (pp. 24-27). IEEE.
2. **Tsirbas, C.**, Giokas, K., & Koutsouris, D. (2010). “Internet of Things”, an RFID-IPv6 Scenario in a Healthcare Environment. In *XII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2010* (pp. 808-811). Springer Berlin Heidelberg

3. Fokou O., **Tsirmpas, C.**, Koutsouris D. Indoor localization and navigation system for the visually impaired people based on radio-frequency identification”, presented at the 4th PanHellenic Conference on Biomedical Technologies, Athens, Greece, April 4-6, 2013
4. **Tsirmpas, C.**, Iliopoulou, D., & Koutsouris, D. (2012). The role of Internet of Things in personalized healthcar. 4th PanHellenic Conference on Biomedical Technologies,20.
5. Giokas, K., Anastasiou, A., **Tsirmpas, C.**, Koutsouri, G., Koutsouris, D., & Iliopoulou, D. (2014, August). Smart adaptable system for older adults' Daily Life Activities Management—The ABLE platform. In Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2014 36th Annual International Conference of the IEEE (pp. 5816-5819). IEEE.
6. Bountris, P., **Tsirmpas, C.**, Haritou, M., Pouliakis, A., Kouris, I., Karakitsos, P., & Koutsouris, D. (2015, November). An ensemble feature ranking framework for the assessment of the efficacy of cervical cancer detection tests and human papillomavirus genotypes in the detection of high-grade cervical intraepithelial neoplasia and cervical carcinoma. In Bioinformatics and Bioengineering (BIBE), 2015 IEEE 15th International Conference on (pp. 1-5). IEEE.
7. Bountris, P., **Tsirmpas, C.**, Haritou, M., Pouliakis, A., Karakitsos, P., & Koutsouris, D. (2014, November). Bayesian networks to support the management of patients with ASCUS/LSIL pap tests. In Wireless Mobile Communication and Healthcare (Mobihealth), 2014 EAI 4th International Conference on (pp. 103-107). IEEE.
8. Kouris, I., **Tsirbas, C.**, Tagaris, T., Vellidou, E., Vartholomeos, P., Rizou, S., & Koutsouris, D. (2015, November). KINOPTIM: The medical business intelligence module for fall prevention of the elderly. In Bioinformatics and Bioengineering (BIBE), 2015 IEEE 15th International Conference on (pp. 1-4). IEEE.
9. Anastasiou, A., Bliznakov, Z. B., Deligiannakis, A., Giatrakos, N., Haritou, M., Ioannou, E., **Tsirbas, C.**.... & Pallikarakis, N. E. (2015). Information Extraction, Matching and Reporting for Medical Devices Vigilance. In 6th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering (pp. 621-624). Springer International Publishing.
10. Tagaris, A., Vartholomaios, P., **Tsirmpas, C.**, Tsakou, I., Pantelopoulos, S., Barelle, C., ... & Koutsouris, D. (2014). A medical intelligent module as part of a tele-monitoring and diagnostic system targeting fall prevention. Studies in health technology and informatics, 205, 1258-1258.
11. Vartholomeos, P., Rizou, S., Tagaris, T., Barelle, C., Montesa, J., **Tsirmpas, C.**, ... & Koutsouris, D. (2014, December). KINOPTIM system architecture: Modules and services for fall prevention through telerehabilitation. In Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), 2014 IEEE 19th International Workshop on (pp. 135-138). IEEE.
12. Barelle, C., Courtial, E., Vellidou, E., **Tsirbas, C.**, Tagaris, T., Ibanez, F., ... & Koutsouris, D. (2014, June). Tele-monitoring and diagnostic for fall prevention: The KINOPTIM concept. In Biomedical and Health Informatics (BHI), 2014 IEEE-EMBS International Conference on (pp. 342-345). IEEE.
13. **Tsirmpas, C.**, Anastasiou, A., Haritou, M., & Koutsouris, D. (2014). NLP-based Information Retrieval from Vigilance Reporting Databases. Studies in health technology and informatics, 205, 1253-1253.

14. Tagaris, A., Vartholomaios, P., **Tsirmpas, C.**, Tsakou, I., Pantelopoulos, S., Barelle, C., ... & Koutsouris, D. (2014). A medical intelligent module as part of a tele-monitoring and diagnostic system targeting fall prevention. *Studies in health technology and informatics*, 205, 1258-1258.
15. Tagaris, A., Andronikou, V., Karanastasis, E., Chondrogiannis, E., **Tsirmpas, C.**, Varvarigou, T., & Koutsouris, D. (2014). PAT: an intelligent authoring tool for facilitating clinical trial design. *PAT*, 13, 14.
16. Anastasiou, A., **Tsirmpas, C.**, Rompas, A., Giokas, K., & Koutsouris, D. (2013, November). 3D printing: Basic concepts mathematics and technologies. In *Bioinformatics and Bioengineering (BIBE), 2013 IEEE 13th International Conference on* (pp. 1-4). IEEE.
17. Kouris, I., **Tsirmpas, C.**, Mougiaakakou, S. G., Iliopoulou, D., & Koutsouris, D. (2010, August). E-Health towards ecumenical framework for personalized medicine via Decision Support System. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE* (pp. 2881-2885). IEEE.
18. **Tsirmpas C.**, Giokas K., Petropoulou R., Koutsouris D., "MRI & MRS Cross Border Collaboration Framework", presented at the 4th PanHellenic Conference on Biomedical Technologies, Athens, Greece, January 20-21, 2012
19. Δήμητρα Ηλιοπούλου, **Χαράλαμπος Τσίρμπας**, Ιωάννης Κουρής, Δημήτριος Αλεξάνδρου, Τζώρτζια Κουτσούρη, Δημήτριος Κουτσούρης, "Η βιοϊατρική τεχνολογία στην Ελλάδα", Leaders στην υγεία, Καλοκαίρι 2010, Τεύχος: 1, σελ. 88-92

Παράρτημα Β: Χρησιμοποιούμενοι όροι

Acquisition Unit	Μονάδα Ανίχνευσης
Administration and Maintenance Layer	Επίπεδο Διαχείρισης και Συντήρησης
Basic Probability Assignment	Βασική Πιθανότητα
Bayesian Network	Δίκτυο Bayes
Cluster	Σύμπλεγμα
Clustering	Ομαδοποίηση
Collaborative context awareness	Συνεργατική επίγνωση
Context	Πλαίσιο
Context awareness	Επίγνωση του πλαισίου
Context fusion	Σύντηξη πληροφορίας
Context interpretation	Ερμηνεία πλαισίου
Context management	Διαχείριση πλαισίου
Context Management	Διαχείριση Πλαισίου
Context modelling	Μοντελοποίηση
Context reasoning	Συμπερασμός πλαισίου
Context representation	Αναπαράσταση
Context-aware application	Εφαρμογή επίγνωσης
Context-aware system	Σύστημα επίγνωσης
Contextual information	Πληροφορία πλαισίου
Data fusion	Σύντηξη δεδομένων
Data Management	Διαχείριση Δεδομένων
Decision fusion	Σύντηξη αποφάσεων
Defuzzification	Διαδικασία αποσαφήνισης
Distributed systems	Κατανεμημένα συστήματα
Domain Information Model	Μοντέλο Πληροφόρησης Τομέα
Dynamic Bayesian Network	Δυναμικό Δίκτυο
Dynamic Data Driven Application	Δυναμικό Σύστημα
Energy Monitoring	Παρακολούθηση Ενέργειας
Fault Monitoring	Παρακολούθηση/Καταγραφή Λαθών
Fuzzification	Διαδικασία ενσωμάτωσης
Fuzzy controller	Ασαφής ελεγκτής
Fuzzy inference	Ασαφής Συμπερασμός
Fuzzy Logic	Ασαφής Λογική
Fuzzy Sets Theory	Θεωρία Ασαφών
General Physicians	Γενικοί Ιατροί
Hardware technology	Τεχνολογία υλικού
ID Management	Διαχείριση ID
Inference	Συμπερασμός
Information & Communications Technology	Τομέας Πληροφορίας και Επικοινωνιών

Linguistic value	Γλωσσική τιμή
Location based services	Εξαρτώμενες από τη θέση υπηρεσίες
Location-aware applications	Εφαρμογές υπηρεσιών θέσης
Maximum likelihood	Εκτίμηση μέγιστης πιθανοφάνειας
Mobile Computing	Κινητός Υπολογισμός
Mobility	Κινητικότητα
Neighbourhood discovery	Αλγόριθμοι ανακαλύψεως της γειτονιάς
Network Management Flexibility	Ευελιξία Διαχείρισης Δικτύου
Network Scalability	Επεκτασιμότητα Δικτύου
Network Topology Management	Διαχείριση Τοπολογίας Δικτύου
Nodes	Κόμβοι
Percolation probability	Πιθανότητα διείσδυσης
Pervasive Computing	Διάχυτος Υπολογισμός
Pignistic Probability	Πιθανότητα Απόφασης
Proactivity	Προδραστικότητα
Processing Unit	Μονάδα Επεξεργασίας
Profile Management	Διαχείριση Προφίλ
Proximity	Εγγύτητα
Radio Frequency Transmitter	Μεταδότη Ραδιοσυχνοτήτων
Recommendation	Υπηρεσία Σύστασης
Reputation	Φήμη
Reputation Manager	Διαχειριστής Φήμης
Self evolving trust	Αυτοεξελισσόμενη καθιέρωση εμπιστοσύνης
Selfish nodes	Ιδιοτελής κόμβοι
Situation	Κατάσταση
Sleep deprivation	Τεχνική της στέρησης ύπνου
Smart spaces	Ευφυείς χώροι
Susceptible	Εύτρωτος /επιρρεπής
Thing Management	Διαχείριση των «Πραγμάτων»
Transferable Belief	Μοντέλο Μεταβιβάσιμης Πεποίθησης
Trust	Αξιοπιστία
Trust Builder	Δημιουργός αξιοπιστίας
Trust Policy	Πολιτική εμπιστοσύνης
Trust Sensors	Αισθητήρες αξιοπιστίας
Trusted recommenders	Αξιόπιστοι συστήνοντες
Variability	Μεταβλητότητα
Wireless LANs	Ασύρματα δίκτυα
Inertial Measurement Unit	Εσωτερική Μονάδα Μέτρησης
Membership function	Συνάρτηση βαθμού συγγένειας
Semantic technologies	Σημασιολογικές Τεχνολογίες
Planar spiral inductor	Ορθογώνιο επίπεδο σπειροειδή πηνίο επαγωγής

