



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

**Σταδιακή Συλλογή και Ανάλυση Δεδομένων με εφαρμογή στη
Διαχείριση και τον Έλεγχο Κυβερνοφυσικών Συστημάτων Υγείας**

**(Incremental Data Collection and Analysis applied to the
Management and Control of Health Cyber Physical Systems)**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Αργυρώ Γ. Μαυρογιώργου

ΠΕΙΡΑΙΑΣ
Ιούνιος 2019





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

**Σταδιακή Συλλογή και Ανάλυση Δεδομένων με εφαρμογή στη
Διαχείριση και τον Έλεγχο Κυβερνοφυσικών Συστημάτων Υγείας**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Αργυρώ Γ. Μαυρογιώργου

Συμβουλευτική επιτροπή: Επ. Καθ. Δημοσθένης Κυριαζής
Καθ. Γεώργιος Βασιλακόπουλος
Αν. Καθ. Μιχαήλ Φιλιππάκης

Εγκρίθηκε από την επταμελή εξεταστική επιτροπή την

..... Δ. Κυριαζής Επ. Καθ. Πανεπ. Πειραιά Γ. Βασιλακόπουλος Καθ. Πανεπ. Πειραιά Μ. Φιλιππάκης Αν. Καθ. Πανεπ. Πειραιά
---	---	---

..... Η. Μαγκλογιάννης Αν. Καθ. Πανεπ. Πειραιά Φ. Μαλαματένιου Καθ. Πανεπ. Πειραιά Α. Μηλιώνης Επ. Καθ. Πανεπ. Πειραιά
--	---	---

.....
Π. Τσανάκας
Καθ. Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

ΠΕΙΡΑΙΑΣ
Ιούνιος 2019

.....
Αργυρώ Γ. Μαυρογιώργου

Copyright © Αργυρώ Γ. Μαυρογιώργου, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασία, 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 τον συγγραφέα.

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

Ευχαριστίες

Πριν από 3,5 χρόνια ξεκίνησα την εκπόνηση της Διδακτορικής Διατριβής μου στο τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων της σχολής Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών του Πανεπιστημίου Πειραιά, όπου μου δόθηκε η μοναδική δυνατότητα να γνωρίσω, να παρακολουθήσω και να εμπνευστώ από πολλούς απλούς ανθρώπους και καταξιωμένους επιστήμονες από όλο τον κόσμο. Μέσα σε αυτό το διάστημα, είχα την ευκαιρία να γνωρίσω μια πληθώρα γνωστικών αντικειμένων όσον αφορά τον τομέα του «Διαδικτύου των Αντικειμένων» και να εντρυφήσω πάνω σε αυτά.

Το μεγαλύτερο ευχαριστώ για όλες αυτές τις εμπειρίες και γνώσεις που απέκτησα τις οφείλω στον καθηγητή μου Επ. Καθηγητή κ. Δημοσθένη Κυριαζή, όπου μου έδωσε την ευκαιρία να εξελιχθώ, να διαδώσω το έργο μου, και να αλληλοεπιδράσω με επιστήμονες, υποστηρίζοντάς με κατά τη διάρκεια όλης της πορείας μου, όντας παρών για οτιδήποτε χρειαζόμουν. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τους καθηγητές της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, Καθηγητή κ. Γεώργιο Βασιλακόπουλο και Αν. Καθηγητή κ. Μιχαήλ Φιλιππάκη, καθώς και τον Καθηγητή κ. Μαρίνο Θεμιστοκλέους, για τις συμβουλές τους και τις προτάσεις βελτίωσης του έργου μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω το Ελληνικό Ίδρυμα Έρευνας και Καινοτομίας (ΕΛΙΔΕΚ) για την οικονομική ενίσχυση που μου παρείχε το χρονικό διάστημα 08/2017 – 05/2019 για την εκπόνηση της Διδακτορικής Διατριβής μου.

Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ το οφείλω στους γονείς μου και στον αδελφό μου που με τη δική τους βοήθεια και στήριξη έφτασα στο σημείο που βρίσκομαι στη ζωή μου, και μορφωτικά αλλά και σαν άνθρωπος. Ένα ακόμη πολύ μεγάλο ευχαριστώ το οφείλω στο συνεργάτη, συνοδοιπόρο και σύντροφό μου, ο οποίος με υποστήριξε ώστε να ολοκληρώσω αυτό το εγχείρημα. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της ερευνητικής ομάδας, με τους οποίους συνεργάστηκα, συνδυάζοντας τις διαφορετικές ερευνητικές μας προσεγγίσεις και απόψεις, σε πολλαπλούς επιστημονικούς τομείς.

Αν μπορούσα να συνοψίσω το ταξίδι μου κατά τη διάρκεια της Διδακτορικής Διατριβής μου, αυτό θα ήταν με την έκφραση: «Η επιστήμη είναι πολύ περισσότερο τρόπος σκέψης παρά πεδίο γνώσης. – Carl Sagan».

Σε όσους ήταν δίπλα μου
όλον αυτόν τον καιρό...

Περίληψη

Το διαδίκτυο αντιπροσωπεύει ένα ψηφιακό χώρο όπου μεγάλες ποσότητες πληροφοριών, υπηρεσιών και δεδομένων προστίθενται και ανταλλάσσονται καθημερινά, επηρεάζοντας και μεταμορφώνοντας τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αλληλοεπιδρούν και επικοινωνούν. Οι μεγάλες δυνατότητες του διαδικτύου σε συνδυασμό με τις σχετικές εξελίξεις στην ταχύτητα καταχώρησης και ανάκτησης των δεδομένων, έχουν επιτρέψει τη δημιουργία νέων ευφυών συστημάτων που προσφέρουν αυξημένη αποτελεσματικότητα, παραγωγικότητα, ασφάλεια και ταχύτητα. Σε αυτό το πλαίσιο αναπτύσσονται τα Κυβερνοφυσικά Συστήματα (Cyber-Physical Systems, CPS), όπου τα ψηφιακά και τα φυσικά συστήματα μπορούν πλέον να επικοινωνούν άμεσα μεταξύ τους, καταγράφοντας τις πληροφορίες που εμπεριέχονται στις φυσικές συσκευές, εξασφαλίζοντας την ασφαλή, αποτελεσματική και ευφυή λειτουργία τους. Για να καταστεί αυτό εφικτό, τα CPS αξιοποιούν τα διαφορετικά επίπεδα των αισθητήρων/ενεργοποιητών, της επικοινωνίας, και των εφαρμογών που τα αποτελούν, ώστε να είναι ικανά να ανταπεξέλθουν στις εκάστοτε ανάγκες και απαιτήσεις. Το επίπεδο αυτό της επικοινωνίας είναι και το σημείο όπου προκύπτει ο συνδυασμός των τεχνολογιών των CPS με αυτές του Διαδικτύου των Αντικειμένων (Internet of Things, IoT). Το IoT αποτελεί ένα πολύ ισχυρό μέρος των CPS, το οποίο αυξάνεται με ταχύτερους ρυθμούς και περιλαμβάνει ποικίλες συσκευές (π.χ. smartphones, tablets, φορητές συσκευές, αισθητήρες, κάμερες, κλπ.). Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως από τα 19,4 δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές το 2019, τα 8 δισεκατομμύρια αναφέρονται σε IoT συνδεδεμένες συσκευές, ένας αριθμός που αναμένεται να αυξηθεί κατά πολύ μέσα στα επόμενα χρόνια, παράγοντας μεγάλους όγκους δεδομένων. Αυτό το γεγονός ενισχύει το όραμα για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών επικοινωνίας και την εξεύρεση νέων τρόπων συγχρονισμού όλων των συσκευών αυτών. Ωστόσο, το όραμα αυτό συνοδεύεται από διάφορες συναφείς προκλήσεις, όπως το γεγονός ότι όλα αυτά τα δεδομένα συχνά δεν ταιριάζουν στη φύση των πλατφόρμων που τα συλλέγουν, με αποτέλεσμα να μην είναι σε θέση να αναλυθούν με επιτυχία και να παράγουν χρήσιμες γνώσεις από τις πλατφόρμες αυτές. Ως αποτέλεσμα αυτού, προκύπτει η ανάγκη κατασκευής νέων λύσεων για την προσαρμοζόμενη επιλογή, διαχείριση και ανάλυση όλων αυτών των υφιστάμενων δεδομένων που παράγονται από τις ετερογενείς συσκευές.

Ωστόσο, προκειμένου να επιτευχθεί η αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, προϋποτίθεται πως τα δεδομένα αυτά θα έχουν συλλεχθεί με επιτυχία από τις εκάστοτε ετερογενείς συσκευές. Για το λόγο αυτό, η αντιμετώπιση της πρόκλησης

της ενσωμάτωσης των συσκευών και της συλλογής των δεδομένων τους πρέπει να επιλυθεί πριν αντιμετωπιστεί το δύσκολο και απαιτητικό έργο της επιτυχούς ανάλυσης και εκμετάλλευσης των δεδομένων. Το IoT, ωστόσο, περιορίζεται στην παρακολούθηση και στον έλεγχο των μεγάλων ποσοτήτων υφιστάμενων συσκευών, δεδομένου ότι οι αναδυόμενες τεχνολογίες υποστήριξης των συσκευών αυτών, πρέπει να προβλέπουν όχι μόνο τη δραματική αύξηση του αριθμού τους, αλλά και την ετερογένειά τους όσον αφορά τις διαφορετικές προδιαγραφές, δυνατότητες και λειτουργίες που διαθέτουν. Επομένως, καθίσταται αναγκαία η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών για την αυτόματη αναγνώριση και κατανόηση της φύσης των υφιστάμενων IoT συσκευών, έτσι ώστε να γίνεται εφικτή η αυτόματη συλλογή και ανάλυση των δεδομένων που παράγονται από τις συσκευές αυτές. Οι υπάρχουσες τεχνικές διαχείρισης και ανάλυσης δεν είναι όμως σε θέση ούτε να αντιμετωπίσουν την πολυπλοκότητα των συσκευών, αλλά ούτε να αναγνωρίσουν τη φύση των συσκευών αυτών, καθώς είναι τόσο στατικές όσο και ευαίσθητες σε νέες ή μεταβαλλόμενες αλλαγές που πραγματοποιούνται στις λειτουργίες και στις απαιτήσεις των υπάρχουσων συσκευών. Αυτό που απαιτείται είναι μία γενικευμένη αυτοματοποιημένη προσέγγιση για τη σύνδεση και την ενσωμάτωση ετερογενών συσκευών, ως μία βάση για την αποδοτική ανάκτηση δεδομένων από όλες τις υποκείμενες συσκευές. Παράλληλα, δεδομένου ότι οι IoT συσκευές χαρακτηρίζονται συνήθως από υψηλό βαθμό ετερογένειας, είναι αναμενόμενο να αναγνωρίζονται ως αξιόπιστες σε διαφορετικές βαθμίδες, παρέχοντας έτσι δεδομένα διαφορετικών επιπέδων αξιοπιστίας. Επομένως, η ερευνητική πρόκληση που συναντάται αναφέρεται αφενός στη δυσκολία διαχείρισης του μεγάλου αριθμού ετερογενών συσκευών που παρουσιάζουν συγκεκριμένες προδιαγραφές και διεπαφές, και αφετέρου στην αναγκαιότητα των ίδιων των συσκευών και των δεδομένων που παράγονται από αυτές να είναι πλήρους αξιοπιστίας. Προς αυτή την κατεύθυνση, απαιτείται τόσο ένας αυτοματοποιημένος και αποτελεσματικός τρόπος σύνδεσης και ενσωμάτωσης των ετερογενών συσκευών στις διαφορετικές IoT πλατφόρμες ώστε να συλλέγονται τα δεδομένα τους, όσο και ένας τρόπος εκτίμησης της αξιοπιστίας των συσκευών σε συνδυασμό με την αξιοπιστία των παραγόμενων δεδομένων τους.

Για να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά όλες οι προαναφερθείσες προκλήσεις, η παρούσα Διδακτορική Διατριβή επικεντρώνεται στοχευμένα σε αυτές, έχοντας ως πρωταρχικό σκοπό τη μελέτη, το σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός μοντέλου ενσωμάτωσης δεδομένων από διαφορετικές αυτόνομες και ετερογενείς IoT συσκευές, τόσο γνωστού όσο και άγνωστου τύπου. Για το σκοπό αυτό, προτείνεται μια γενική προσέγγιση ενσωμάτωσης ετερογενών IoT συσκευών για την αυτόματη διαχείρισή τους, εκτιμώντας τα επίπεδα αξιοπιστίας τους, και συλλέγοντας εν τέλει δεδομένα μόνο από τις αξιόπιστες και σχετικές προς κάθε πλατφόρμα συσκευές.

Αυτή η προσέγγιση μελετήθηκε και προτάθηκε μέσω ενός καινοτόμου διαλειτουργικού μηχανισμού που έχει τη δυνατότητα αφενός να συνδέεται σε διαφορετικές IoT πλατφόρμες, ανεξάρτητα από τη φύση και τη μορφή των δεδομένων που μπορούν αυτές να χειριστούν, και αφετέρου να διευκολύνει την αυτόματη αναγνώριση, αλληλεπίδραση και πρόσβαση σε όλες τις υποκείμενες ετερογενείς συσκευές. Ειδικότερα, ο μηχανισμός αποτελείται από τα τέσσερα (4) στάδια των τεχνικών της εύρεσης και σύνδεσης συσκευών, της αναγνώρισης του τύπου των συσκευών, της συλλογής των δεδομένων των συσκευών, και της εκτίμησης της αξιοπιστίας των συσκευών και των δεδομένων αυτών. Μέσω της διαδικασίας αυτής, η προτεινόμενη προσέγγιση εκπληρώνει τρεις (3) βασικούς στόχους. Αρχικά, επιτυγχάνει την αναγνώριση της φύσης των συσκευών που είναι κάθε φορά διαθέσιμες για σύνδεση στις εκάστοτε πλατφόρμες, επιτρέποντας τη σύνδεση μόνο των συσκευών που σχετίζονται με τις πλατφόρμες αυτές, με την έννοια ότι τα δεδομένα τους είναι σχετικά και χρήσιμα προς αυτές. Επιπλέον, επιτυγχάνει την αυτόματη συλλογή των δεδομένων των συνδεδεμένων συσκευών, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα της διαλειτουργικότητας στην εκάστοτε πλατφόρμα, χωρίς αυτή να χρειάζεται αφενός να διαθέτει περαιτέρω γνώση για τις διεπαφές των συσκευών αυτών, και αφετέρου να παραμετροποιηθεί ώστε να είναι σε θέση να συλλέξει τα δεδομένα τους. Τέλος, επιτυγχάνει την αυτόματη εκτίμηση της αξιοπιστίας τόσο των συνδεδεμένων συσκευών όσο και των παραγόμενων δεδομένων τους, καταφέρνοντας η εκάστοτε πλατφόρμα να χρησιμοποιεί και να εκμεταλλεύεται μόνο τα αξιόπιστα και ποιοτικά δεδομένα που προέρχονται από αποκλειστικά αξιόπιστες συσκευές. Βάσει αυτού ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος εξαγωγής εσφαλμένων αποτελεσμάτων, και η διεκπεραίωση εσφαλμένων ενεργειών λόγω λανθασμένων και ελλιπών δεδομένων. Η εν λόγω προσέγγιση αξιολογήθηκε μέσω ποικίλων πειραμάτων σε διαφορετικά σενάρια (με έμφαση στον τομέα της υγείας), παράγοντας αξιόπιστα αποτελέσματα, αποδεικνύοντας τη σκοπιμότητα και την εφαρμογή του. Ωστόσο, η προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως σε επιπλέον τομείς, εκτός του τομέα της υγείας, καθώς απαντά στην πρόκληση της βέλτιστης και αποδοτικής αξιοποίησης των IoT συσκευών ανεξάρτητα από τη χρήση τους σε κάποιον συγκεκριμένο τομέα εφαρμογής.

Abstract

The internet represents a digital space where big amounts of information, services, and data are added and exchanged daily, influencing and transforming the way in which people interact and communicate with each other. The great capabilities of the internet in conjunction with the relevant developments in the speed of the data recording and retrieval, have enabled the creation of new intelligent systems that offer increased efficiency, productivity, security and speed. To this context, the Cyber-Physical Systems (CPS) have developed, where the digital and the physical systems are now able to communicate directly with each other by recording the information contained in physical devices, ensuring their safe, efficient and intelligent operation. In order to achieve that, CPS utilize their different layers of sensors/actuators, communication, and applications so as to be able to cope with the emerging needs and requirements. This layer of communication is also the point where the combination of the CPS technologies and the Internet of Things (IoT) technologies emerges. IoT is a very powerful part of CPS, which is growing at a rapid pace and includes a variety of devices (e.g. smartphones, tablets, portable devices, sensors, cameras, etc.). It is reported that out of the 19.4 billion connected devices in 2019, 8 billion of them are referred to IoT connected devices, a number that is expected to rapidly increase over the next few years, producing large volumes of data. This fact strengthens the vision for developing new communication technologies and finding new ways in order to be able to synchronize all these huge amounts of the existing devices. However, this vision is accompanied by a number of different challenges, such as the fact that all these devices produce data that often do not fit to the nature of the platforms that collect them, thus being unable to be successfully analyzed by these platforms, in order to produce the acquired useful knowledge and insights. Consequently, there is a great need to develop new solutions for the adaptive selection, management and analysis of all of this produced and existing data that is produced by the heterogeneous device.

However, in order to address this challenge, it is assumed that all this data has been successfully collected by the existing underlying heterogeneous devices. Therefore, addressing the challenge of integrating devices and collecting their data needs to be resolved before tackling the difficult task of successfully analyzing and exploiting the data. IoT, however, is limited to monitoring and controlling all existing enormous quantities of existing devices, as emerging support technologies that need to support these devices, have to predict not only this

dramatic increase in connected devices but also their heterogeneity since they have different specifications, capabilities and functions. Thus, it is necessary to adopt new technologies for automatically recognizing and understanding the nature of all the existing IoT devices in order to become feasible to automatically collect and analyze the data that is generated by these devices. However, existing management and analysis techniques are able neither to cope with the complexity of the devices nor to recognize the nature of these devices, as they are both static and sensitive to new or changing changes of the functions and the requirements of the existing devices. Henceforth, what is needed is a generalized automated approach that will be able to connect and integrate heterogeneous devices, provided as a basis for efficiently retrieving data from all the underlying heterogeneous devices. In addition, since IoT devices are typically characterized by a high degree of heterogeneity, they are recognized as reliable at different levels, thus providing data of different levels of reliability. Therefore, the research challenge that emerges is on the one hand the difficulty of managing all these huge amounts of heterogeneous devices that include their own specifications and interfaces, and on the other hand the need for the devices themselves and the data that is produced by them to be fully reliable. Towards this direction, it is needed both an automated effective way for connecting and integrating the heterogeneous devices into different IoT platforms so as to collect their data, and an automated effective way for measuring the reliability of these devices in combination with the reliability of their produced data.

In order to effectively address all of the aforementioned challenges, the current Ph.D. thesis focuses on them, having as a primary scope to study, design and implement a model of integrating data that is received from all the different autonomous and heterogeneous IoT devices, of both known and unknown nature. For this purpose, a general plug'n'play devices approach is proposed for the automatic management of heterogeneous IoT devices, estimating their levels of reliability, and finally collecting data only from the reliable and relevant ones to each platform. This approach is implemented through an innovative interoperable mechanism that can both connect to different IoT platforms and facilitate the automatic recognition, interaction and access to all underlying heterogeneous devices. In particular, the mechanism consists of the four (4) stages of the techniques of the device discovery and connection, the device type recognition, the device data collection, and the device and data quality estimation. Through this process, the proposed mechanism is able to achieve three (3) distinct goals. First of all, through this mechanism it becomes feasible to identify the nature of the devices that are available each time for connection to the corresponding platforms, thus giving the ability to these platforms to be connected only with the

devices that are associated with them, in the sense that their data are relevant and useful to the nature of these platforms. Apart from this, the mechanism can automatically collect the data of the connected devices, thereby enabling the interoperability of each corresponding platform, without needing it to have further knowledge of the interfaces of these devices, and thus without needing to be parameterized in order to be able to collect the data of these devices. Finally, the mechanism is able to automatically evaluate the reliability of both the connected devices and their generated data, thereby enabling each corresponding platform to use and exploit only the reliable and qualified data that is produced by only trusted devices. As a result, it minimizes the risk of producing wrong results' reports, and the potential handling error actions that could emerge under erroneous and incomplete data. The mechanism was evaluated through various experiments on different scenarios in the healthcare domain, producing quite reliable results, thus indicating its feasibility and applicability in this domain. However, this mechanism can be widely used and suited in many different domains, except of the healthcare domain, since it addresses the challenge of the optimal and efficient use of IoT devices regardless of their use in a specific application domain.

Πίνακας Περιεχομένων

Κατάλογος Συντμήσεων.....	3
Κατάλογος Εικόνων	5
Κατάλογος Πινάκων	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	9
Εισαγωγή	9
1.1 Κυβερνοφυσικά Συστήματα και Διαδίκτυο των Αντικειμένων στη Σύγχρονη Εποχή.....	10
1.1.1 Ανάπτυξη Κυβερνοφυσικών Συστημάτων και Διαδικτύου των Αντικειμένων σε όλους τους Τομείς.....	10
1.1.2 Ανάπτυξη Κυβερνοφυσικών Συστημάτων και Διαδικτύου των Αντικειμένων στον Τομέα της Υγείας	17
1.2 Αντικείμενο και Καινοτομία Διατριβής	20
1.3 Δομή Διατριβής.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	29
Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	29
2.1 Κυβερνοφυσικά Συστήματα.....	30
2.1.1 Ανάγκη Κυβερνοφυσικών Συστημάτων	30
2.1.2 Αρχιτεκτονική Κυβερνοφυσικών Συστημάτων.....	34
2.1.3 Προκλήσεις Κυβερνοφυσικών Συστημάτων.....	37
2.1.4 Τομείς Κυβερνοφυσικών Συστημάτων.....	47
2.1.5 Κυβερνοφυσικά Συστήματα στον τομέα της Υγείας.....	57
2.2 Διαδίκτυο των Αντικειμένων	61
2.2.1 Ανάγκη Διαδικτύου των Αντικειμένων	61
2.2.2 Αρχιτεκτονική Διαδικτύου των Αντικειμένων.....	66
2.2.3 Προκλήσεις Διαδικτύου των Αντικειμένων.....	79
2.2.4 Τομείς Διαδικτύου των Αντικειμένων.....	84
2.2.5 Διαδίκτυο των Αντικειμένων στον τομέα της Υγείας	92
2.3 Ενσωμάτωση Συσκευών στον κόσμο του Διαδικτύου των Αντικειμένων.....	95
2.3.1 Ανάγκη Ενσωμάτωσης Συσκευών	95
2.3.2 Τεχνικές Ενσωμάτωσης Συσκευών	98
2.3.3 Ενσωμάτωση Συσκευών στον τομέα της Υγείας.....	102
2.4 Αξιοπιστία Συσκευών στον κόσμο του Διαδικτύου των Αντικειμένων	106

2.4.1	Ανάγκη Διασφάλισης Αξιοπιστίας Συσκευών.....	106
2.4.2	Τεχνικές Διασφάλισης Αξιοπιστίας Συσκευών.....	112
2.4.3	Αξιοπιστία Συσκευών στον τομέα της Υγείας	113
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....		117
Προσέγγιση Ενσωμάτωσης Αξιόπιστων Συσκευών στον κόσμο του Διαδικτύου των Αντικειμένων		117
3.1	Ορόσημα Προσεγγίσεων Ενσωμάτωσης Αξιόπιστων Συσκευών	118
3.1.1	1 ^ο Ορόσημο Προσέγγισης.....	119
3.1.2	2 ^ο Ορόσημο Προσέγγισης.....	133
3.2	Τελική Προσέγγιση Ενσωμάτωσης Αξιόπιστων Συσκευών	156
3.2.1	Τεχνική Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών	165
3.2.2	Τεχνική Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών	169
3.2.3	Τεχνική Συλλογής Δεδομένων Συσκευών	173
3.2.4	Τεχνική Εκτίμησης Αξιοπιστίας Συσκευών και Δεδομένων.....	178
3.3	Εφαρμογή Τελικής Προσέγγισης Ενσωμάτωσης Αξιόπιστων Συσκευών στον τομέα της Υγείας.....	182
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....		187
Αξιολόγηση Τελικής Προσέγγισης		187
4.1	Περιβάλλον Δοκιμών	188
4.2	Αξιολόγηση Προσέγγισης Ενσωμάτωσης Αξιόπιστων Συσκευών στον κόσμο του Διαδικτύου των Αντικειμένων	189
4.2.1	Περιγραφή Συνόλου Δεδομένων Πειραμάτων	190
4.2.2	1 ^ο Πείραμα: Ενσωμάτωση Γνωστής Συσκευής.....	198
4.2.3	2 ^ο Πείραμα: Ενσωμάτωση Αξιόπιστης Άγνωστης Συσκευής.....	202
4.2.4	3 ^ο Πείραμα: Ενσωμάτωση Μη Αξιόπιστης Άγνωστης Συσκευής....	221
4.2.5	Συνολική Αξιολόγηση Πειραμάτων.....	244
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....		261
Σύνοψη Διατριβής - Ανοιχτά Ερευνητικά Θέματα		261
5.1	Σύνοψη Διατριβής και Κυριότερων Συνεισφορών	262
5.2	Ανοιχτά Ερευνητικά Θέματα.....	268
5.2.1	Μελλοντικές Προκλήσεις του κόσμου του Διαδικτύου των Αντικειμένων.....	271
5.2.2	Συνεισφορά Τελικής Προσέγγισης στις Μελλοντικές Προκλήσεις.	276
Βιβλιογραφία.....		279

Κατάλογος Συντμήσεων

Σύντμηση	Επεξήγηση
6LoWPAN	IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks
ANN	Artificial Neural Network
API	Application Programming Interface
ARFF	Attribute-Relation File Format
AUTOSAR	Automotive Open System Architecture
BLE	Bluetooth low energy
CAGR	Compound Annual Growth Rate
CDMA	Code-division multiple access
CoAP	Constrained Application Protocol
Cobots	Cooperating Robots
CPS	Cyber Physical Systems
CSE	Computer Science and Engineering
CSV	Comma Separated Values
CV	Coefficient of Variation
e-nose	electronic nose
e-tongue	electronic tongue
FAA	Federal Aviation Administration
FDA	Food and Drug Administration
FLANN	Fast Approximate Nearest Neighbour Search
GAO	Generic API Ontology
GPS	Global Positioning System
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
HIPAA	Health Insurance Portability and Accountability Act
HTTP	Hypertext Transfer Protocol Secure
ICC	Intra-Class Correlation
ICR	Internal Consistency Reliability
ID	Identifier
IDC	International Data Corporation
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFO	IoT Fitness Ontology
IoMT	Internet of Medical Things
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol

IPv6	Internet Protocol version 6
IRR	Inter-Rater Reliability
ISM	Industrial, Scientific and Medical
JSON	JavaScript Object Notation
KNN	K-Nearest Neighbor
LTE	Long Term Evolution
LPWAN	Low Power Wide Area Networks
LWM2M	Lightweight Machine-to-Machine
M2M	Machine-to-Machine
MAC	Media Access Control
MAS	Multiagent System
MCPS	Medical Cyber Physical Systems
MLFFN	Multiple Layer Feed-Forward Neural Network
MTBF	Mean Time Between Failure
MTTF	Mean Time To Failure
MTTR	Mean Time To Repair
MySQL	My Structured Query Language
NB	Naïve Bayes
NETCONF	Network Configuration Protocol
NFC	Near Field Communication
NLP	Natural Language Process
NSF	National Science Foundation
OWL	Ontology Web Language
OWL-DL	OWL Description Language
OWL2	Ontology Web Language Version 2
OUI	Organizationally Unique Identifier
PFR	Parallel Forms Reliability
POFOD	Probability Of Failure On Demand
QoS	Quality of Service
QR	Quick Response
RDF	Resource Description Framework
REST	Representational State Transfer
RF	Random Forest
RFID	Radio Frequency Identification
RML	RDF Language Mapping Language
ROCOF	Rate Of Occurrence Of Failure
SEM	Standard Error of Measurement
SIoT	Social Internet of Things
SOA	Service Oriented Architecture
SURF	Speded-Up Robust Features

SVM	Support Vector Machine
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TRR	Test-Retest Reliability
UMLS	Unified Medical Language System
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UPnP	Universal Plug and Play
URL	Uniform Resource Locator
WAN	Wide Area Network
W3C	World Wide Web Consortium
WiFi	Wireless Fidelity
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access
XML	eXtensible Markup Language
ΒΔ	Βάση Δεδομένων
ΠΑ	Παρακολουθητής Δραστηριοτήτων
ΠΠΕ	Πιεσόμετρο
ΠΟ	Παλμικό Οξύμετρο
ΖΥ	Ζυγαριά
ΓΛ	Γλυκόμετρο
ΘΕ	Θερμόμετρο
ΑΓ	Άγνωστο

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Παγκόσμια ανάπτυξη CPS	11
Εικόνα 2. Προκλήσεις του IoT	14
Εικόνα 3. Παγκόσμια ανάπτυξη IoT συσκευών	15
Εικόνα 4. Παγκόσμια ανάπτυξη IoT σε όλους τους τομείς	16
Εικόνα 5. Παγκόσμια ανάπτυξη IoT ιατρικών συσκευών.....	19
Εικόνα 6. Γενική αρχιτεκτονική CPS	34
Εικόνα 7. Ενσωμάτωση CPS και IoT	61
Εικόνα 8. Γενική αρχιτεκτονική IoT συστημάτων	66
Εικόνα 9. Αρχιτεκτονική 1 ^ο ορόσημου προτεινόμενης προσέγγισης	120
Εικόνα 10. Διαδικασία εύρεσης και σύνδεσης συσκευών 1 ^ο ορόσημου	121
Εικόνα 11. Διαδικασία αναγνώρισης τύπου συσκευών 1 ^ο ορόσημου.....	123
Εικόνα 12. Διαδικασία συλλογής δεδομένων συσκευών 1 ^ο ορόσημου	128
Εικόνα 13. Αρχιτεκτονική 2 ^ο ορόσημου προτεινόμενης προσέγγισης	138
Εικόνα 14. Αλλαγές μεταξύ αρχιτεκτονικών 1 ^ο και 2 ^ο ορόσημου προτεινόμενης προσέγγισης.....	138
Εικόνα 15. Διαδικασία εύρεσης και σύνδεσης συσκευών 2 ^ο ορόσημου	139
Εικόνα 16. Διαδικασία εκτίμησης συντακτικής ομοιότητας προδιαγραφών 2 ^ο ορόσημου	142
Εικόνα 17. Διαδικασία ταξινόμησης προδιαγραφών 2 ^ο ορόσημου	146
Εικόνα 18. Διαδικασία συλλογής δεδομένων συσκευών 2 ^ο ορόσημου	149
Εικόνα 19. Διαδικασία εκτίμησης αξιοπιστίας συσκευών 2 ^ο ορόσημου	152
Εικόνα 20. Αντιστοιχία αρχιτεκτονικής τελικής προσέγγισης με IoT αρχιτεκτονική.....	163
Εικόνα 21. Αρχιτεκτονική τελικής προσέγγισης.....	164
Εικόνα 22. Αλλαγές μεταξύ αρχιτεκτονικών τελικής και 2 ^ο ορόσημου προτεινόμενης προσέγγισης.....	164
Εικόνα 23. Διαδικασία εύρεσης και σύνδεσης συσκευών τελικής προσέγγισης ..	165
Εικόνα 24. Διαδικασία αναγνώρισης τύπου συσκευών τελικής προσέγγισης....	169
Εικόνα 25. Διαδικασία συλλογής δεδομένων συσκευών τελικής προσέγγισης ..	173
Εικόνα 26. Διαδικασία εκτίμησης αξιοπιστίας συσκευών τελικής προσέγγισης	178
Εικόνα 27. Εφαρμογή τελικής προσέγγισης στον τομέα της υγείας.....	185
Εικόνα 28. Στιγμιότυπο συλλεχθέντων δεδομένων Fitbit Aria συσκευής.....	201
Εικόνα 29. Χαρακτηριστικά Misfit Path συσκευής	206
Εικόνα 30. Top 5 αποτελέσματα ομοιότητας Misfit Path συσκευής με γνωστές συσκευές	207
Εικόνα 31. Μέσοι όροι συνολικών ομοιοτήτων διαφορετικών τύπων συσκευών με Misfit Path συσκευή	209
Εικόνα 32. Top 5 γνωστές συσκευές με κοινά χαρακτηριστικά με Misfit Path συσκευή.....	210

Εικόνα 33. (α) Στιγμιότυπο συλλεχθέντων δεδομένων Misfit Path συσκευής σε JSON μορφή, (β) Στιγμιότυπο συλλεχθέντων δεδομένων Misfit Path συσκευής σε XML μορφή	216
Εικόνα 34. Γραφική παράσταση συνολικών αποτελεσμάτων διαθεσιμότητας Misfit Path συσκευής.....	219
Εικόνα 35. Γραφική παράσταση συνολικών αποτελεσμάτων συνολικής αξιοπιστίας παραγόμενων δεδομένων Misfit Path συσκευής	220
Εικόνα 36. Γραφική παράσταση συνολικών αποτελεσμάτων συνολικής αξιοπιστίας	220
Εικόνα 37. Χαρακτηριστικά Polar A370 συσκευής (1 ^η επανάληψη)	225
Εικόνα 38. Top 5 αποτελέσματα ομοιότητας Polar A370 συσκευής με γνωστές συσκευές (1 ^η επανάληψη)	226
Εικόνα 39. Μέσοι όροι συνολικών ομοιοτήτων διαφορετικών τύπων συσκευών με Polar A370 συσκευή (1 ^η επανάληψη)	228
Εικόνα 40. Top 5 γνωστές συσκευές με κοινά χαρακτηριστικά με Polar A370 συσκευή.....	229
Εικόνα 41. Χαρακτηριστικά Polar A370 συσκευής (2 ^η επανάληψη)	229
Εικόνα 42. Top 5 αποτελέσματα ομοιότητας Polar A370 συσκευής με γνωστές συσκευές.....	230
Εικόνα 43. Μέσοι όροι συνολικών ομοιοτήτων διαφορετικών τύπων συσκευών με Polar A370 συσκευή (2 ^η επανάληψη).....	232
Εικόνα 44. Top 5 γνωστές συσκευές με κοινά χαρακτηριστικά με Polar A370 συσκευή.....	233
Εικόνα 45. (α) Στιγμιότυπο συλλεχθέντων δεδομένων Polar A370 συσκευής σε JSON μορφή.....	239
Εικόνα 46. Γραφική παράσταση συνολικών αποτελεσμάτων διαθεσιμότητας Polar A370 συσκευής.....	242
Εικόνα 47. Γραφική παράσταση συνολικών αποτελεσμάτων συνολικής αξιοπιστίας παραγόμενων δεδομένων Polar A370 συσκευής	243
Εικόνα 48. Γραφική παράσταση συνολικών αποτελεσμάτων συνολικής αξιοπιστίας	243
Εικόνα 49. Γραφική παράσταση αυτόματων και χειροκίνητων αποτελεσμάτων σημασιολογικής ομοιότητας των API μεθόδων Misfit Path συσκευής	253
Εικόνα 50. Γραφική παράσταση αυτόματων και χειροκίνητων αποτελεσμάτων σημασιολογικής ομοιότητας των API μεθόδων Polar A370 συσκευής	253
Εικόνα 51. Γραφική παράσταση αυτόματων και χειροκίνητων αποτελεσμάτων συνολικής αξιοπιστίας Misfit Path συσκευής	259
Εικόνα 52. Γραφική παράσταση αυτόματων και χειροκίνητων αποτελεσμάτων συνολικής αξιοπιστίας Polar A370 συσκευής	260

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Περιεχόμενα ΒΔ γνωστών συσκευών	191
Πίνακας 2. Περιεχόμενα ΒΔ API μεθόδων γνωστών συσκευών με Fitbit πληροφορίες	194
Πίνακας 3. Περιεχόμενα ΒΔ API μεθόδων γνωστών συσκευών με Garmin πληροφορίες	195
Πίνακας 4. Περιεχόμενα ΒΔ API μεθόδων γνωστών συσκευών με Withings πληροφορίες	195
Πίνακας 5. Περιεχόμενα ΒΔ API μεθόδων γνωστών συσκευών με iHealth πληροφορίες	196
Πίνακας 6. Περιεχόμενα ΒΔ API μεθόδων γνωστών συσκευών με Xiaomi πληροφορίες	197
Πίνακας 7. Προδιαγραφές συνδεδεμένης συσκευής	199
Πίνακας 8. Περιεχόμενα ΒΔ API μεθόδων γνωστών συσκευών του Fitbit για συλλογή δεδομένων από ζυγαριές.....	200
Πίνακας 9. Προδιαγραφές συνδεδεμένης συσκευής	202
Πίνακας 10. Περιεχόμενα ΒΔ άγνωστων συσκευών.....	203
Πίνακας 11. Περιεχόμενα ΒΔ API μεθόδων άγνωστων συσκευών με Misfit πληροφορίες	203
Πίνακας 12. Ανανεωμένα περιεχόμενα ΒΔ άγνωστων συσκευών	205
Πίνακας 13. Αποτελέσματα ομοιότητας εικόνων Misfit Path συσκευής και γνωστών συσκευών	208
Πίνακας 14. Ανανεωμένα περιεχόμενα ΒΔ άγνωστων συσκευών	210
Πίνακας 15. Περιεχόμενα ΒΔ των API μεθόδων γνωστών συσκευών για συλλογή δεδομένων από γνωστούς παρακολουθητές δραστηριοτήτων.....	212
Πίνακας 16. Πληροφορίες API μεθόδων Misfit Path συσκευής	213
Πίνακας 17. Αποτελέσματα σημασιολογικής σύγκρισης API μεθόδων γνωστών παρακολουθητών δραστηριοτήτων και Misfit Path συσκευής.....	214
Πίνακας 18. Αποτελέσματα υπολογισμένων ποσοστών αξιοπιστίας Misfit Path συσκευής	218
Πίνακας 19. Προδιαγραφές συνδεδεμένης συσκευής	221
Πίνακας 20. Περιεχόμενα ΒΔ άγνωστων συσκευών.....	222
Πίνακας 21. Περιεχόμενα ΒΔ API μεθόδων άγνωστων συσκευών με Polar πληροφορίες	222
Πίνακας 22. Ανανεωμένα περιεχόμενα ΒΔ άγνωστων συσκευών	224
Πίνακας 23. Αποτελέσματα ομοιότητας εικόνων Polar A370 συσκευής και γνωστών συσκευών (1 ^η επανάληψη)	227
Πίνακας 24. Αποτελέσματα ομοιότητας εικόνων Polar A370 συσκευής και γνωστών συσκευών (2 ^η επανάληψη)	231
Πίνακας 25. Ανανεωμένα περιεχόμενα ΒΔ άγνωστων συσκευών	233
Πίνακας 26. Περιεχόμενα ΒΔ API μεθόδων γνωστών συσκευών για συλλογή δεδομένων από γνωστούς παρακολουθητές δραστηριοτήτων.....	235

Πίνακας 27. Πληροφορίες API μεθόδων Polar A370 συσκευής	236
Πίνακας 28. Αποτελέσματα σημασιολογικής σύγκρισης API μεθόδων γνωστών παρακολουθητών δραστηριοτήτων και Polar A370 συσκευής.....	237
Πίνακας 29. Αποτελέσματα υπολογισμένων ποσοστών αξιοπιστίας Polar A370 συσκευής	241
Πίνακας 30. Top 5 ποσοστά ομοιότητας εικόνων παρακολουθητών δραστηριοτήτων	246
Πίνακας 31. Top 1 αποτελέσματα σημασιολογικής σύγκρισης περιγραφών API μεθόδων των παρακολουθητών δραστηριοτήτων.....	249
Πίνακας 32. Χειροκίνητα και αυτόματα αποτελέσματα ομοιότητας περιγραφών των API μεθόδων των συνδεδεμένων άγνωστων και γνωστών συσκευών.....	251
Πίνακας 33. Αποτελέσματα συνολικής αξιοπιστίας συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών	255
Πίνακας 34. Χειροκίνητα και αυτόματα αποτελέσματα αξιοπιστίας συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών.....	257

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

Περιεχόμενα

- 1.1. Κυβερνοφυσικά Συστήματα και Διαδίκτυο των Αντικειμένων στη Σύγχρονη Εποχή
- 1.2. Αντικείμενο και Καινοτομία Διατριβής
- 1.3. Δομή Διατριβής

Περίληψη

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**, πραγματοποιείται μία εισαγωγή στις έννοιες των CPS και του IoT και στον τρόπο διασύνδεσής τους. Ακολούθως, αναλύεται η συνεισφορά των δύο (2) αυτών τεχνολογιών στον ευρύ τομέα της υγείας, εκφράζοντας την ανάγκη της κάλυψης πολλαπλών υπαρχουσών προκλήσεων, με αυτές της ενσωμάτωσης και της αξιοπιστίας των IoT συσκευών να ξεχωρίζουν μεταξύ άλλων. Επιπροσθέτως, αναλύεται η καινοτομία, η συνεισφορά και οι τελικοί στόχοι της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής, λαμβάνοντας υπόψη τις προαναφερθείσες προκλήσεις. Παράλληλα, πραγματοποιείται μία σύντομη ανασκόπηση σε παλαιότερες και κομβικές προσωπικές έρευνες, οι οποίες θεωρούνται ως ορόσημα για το τελικό αποτέλεσμα της έρευνας.

1.1 Κυβερνοφυσικά Συστήματα και Διαδίκτυο των Αντικειμένων στη Σύγχρονη Εποχή

1.1.1 Ανάπτυξη Κυβερνοφυσικών Συστημάτων και Διαδικτύου των Αντικειμένων σε όλους τους Τομείς

Το διαδίκτυο αυξάνεται με ταχύτετους ρυθμούς, τόσο σε μέγεθος όσο και σε κλίμακα τα τελευταία χρόνια, και δε διαφαίνεται πως οι ρυθμοί αυτοί πρόκειται να ελαττωθούν. Στατιστικές έρευνες δείχνουν πως κάθε χρόνο δημιουργούνται περισσότερα δεδομένα από όλα τα προηγούμενα έτη συνδυαστικά. Σαν αποτέλεσμα, στη σημερινή εποχή το διαδίκτυο αντιπροσωπεύει ένα μεγάλο χώρο όπου μεγάλες ποσότητες πληροφοριών, υπηρεσιών, αντικειμένων και δεδομένων προστίθενται και ανταλλάσσονται καθημερινά, επηρεάζοντας και μεταμορφώνοντας τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αλληλοεπιδρούν και επικοινωνούν. Οι μεγάλες δυνατότητες του διαδικτύου σε συνδυασμό με τις σχετικές εξελίξεις στην ταχύτητα καταχώρησης και ανάκτησης των δεδομένων, έχουν οδηγήσει στη διάχυτη χρήση των τεχνολογιών της πληροφορίας μεταξύ πολλαπλών τομέων, όπως των τηλεπικοινωνιών, των μεταφορών, και της υγείας. Οι τεχνολογίες αυτές συνδυάζονται με στοιχεία του φυσικού κόσμου, προκειμένου να δημιουργήσουν ευφυή συστήματα που προσφέρουν αυξημένη αποτελεσματικότητα, παραγωγικότητα, ασφάλεια και ταχύτητα, ανοίγοντας δρόμους σε νέες δυνατότητες. Αυτό καθιστά δυνατή την ύπαρξη ορισμένων νέων έξυπνων συστημάτων, των λεγόμενων Κυβερνοφυσικών Συστημάτων (Cyber Physical Systems, CPS), όπου τα ψηφιακά και τα φυσικά συστήματα είναι πλέον σε θέση να επικοινωνούν άμεσα μεταξύ τους, παρουσιάζοντας ένα επίπεδο ενσωματωμένης νοημοσύνης. Πιο συγκεκριμένα, ένα CPS είναι σε θέση να συνδυάσει τις δυνατότητες υπολογισμού και επικοινωνίας με τον φυσικό κόσμο, πράγμα που σημαίνει πως μπορεί να ελέγξει τόσο τον φυσικό κόσμο αυτό καθ' αυτό, όσο και τις συνδέσεις μεταξύ των αντικειμένων που τον απαρτίζουν. Επομένως, τα CPS αποτελούν μια ιδέα που επιδιώκει να συγκλίνει με τον ψηφιακό κόσμο, ο οποίος αποτελείται από διάφορα φυσικά συστατικά (δηλαδή συστήματα, συσκευές, κλπ.), ενώ χρησιμοποιεί ένα καταναμημένο λογισμικό που εφαρμόζει έξυπνους αλγορίθμους για να ελέγξει τις οντότητες αυτές [1]. Είναι γεγονός πως τα μελλοντικά CPS θα εμπεριέχουν ετερογενή καταναμημένα στοιχεία/συστήματα, τα οποία θα μπορούν να εναρμονίζονται και να λειτουργούν αποτελεσματικά συνεργατικά και με έμπιστο τρόπο, ώστε να αποδίδουν το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Σαν επακόλουθο αυτού, τα CPS θεωρούνται ως ένας αναδυόμενος βασικός τομέας έρευνας, ενώ εμπλέκονται σε πολλά μηχανολογικά έργα όπως το έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο, τα συστήματα παραγωγής, τα αεροδιαστημικά και τα αμυντικά συστήματα [2].

Σύμφωνα με την έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί στο [3], η αγορά των CPS αναμένεται να ηγηθεί παγκοσμίως την ανάπτυξη έως το 2027, δημιουργώντας ετήσιο συντελεστή ανάπτυξης CAGR ίσο με 8,7% μεταξύ της περιόδου 2018 και 2028, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1, ενώ παρατίθεται ως η πρωτεύουσα ερευνητική προτεραιότητα από τον πρόεδρο του Συμβουλίου της Επιστήμη και της Τεχνολογία των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής [4].



Εικόνα 1. Παγκόσμια ανάπτυξη CPS

Σαν αποτέλεσμα όλων αυτών, καθίσταται ξεκάθαρο πως τα CPS αντιπροσωπεύουν μια νέα γενιά ψηφιακού συστήματος, το οποίο αποτελείται από δύο (2) κύριες λειτουργικές συνιστώσες: (i) την προηγμένη συνδεσιμότητα που εξασφαλίζει την απόκτηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από τον φυσικό κόσμο και την ανάδραση πληροφοριών από τον ψηφιακό κόσμο, και (ii) την έξυπνη διαχείριση δεδομένων, ανά και υπολογιστική ικανότητα που κατασκευάζει τον ψηφιακό κόσμο [5]. Έτσι, η χρήση των CPS στοχεύει στην αύξηση της εφαρμογής μεγάλων συστημάτων, βελτιώνοντας την προσαρμοστικότητα, την αυτονομία, την αποτελεσματικότητα, τη λειτουργικότητα, την αξιοπιστία, την ασφάλεια, και τη χρηστικότητα των συστημάτων αυτών. Γίνεται λοιπόν σαφές, πως η ουσία των CPS είναι το σύστημά τους, και ο κύριος στόχος τους είναι να καταγράφουν τις τρέχουσες πληροφορίες που εμπεριέχονται στις φυσικές συσκευές, εξασφαλίζοντας την ασφαλή, αποτελεσματική και ευφυή λειτουργία τους. Για αυτόν τον λόγο, τα CPS αποτελούνται από τα διαφορετικά επίπεδα των αισθητήρων/ενεργοποιητών, της επικοινωνίας, και των εφαρμογών, έτσι ώστε να είναι ικανά να ανταπεξέλθουν σε αυτές τις ανάγκες. Το επίπεδο αυτό της επικοινωνίας είναι και το σημείο όπου προκύπτει ο συνδυασμός των τεχνολογιών των CPS με αυτές του Διαδικτύου των Αντικειμένων (Internet of Things, IoT). Πιο συγκεκριμένα, το IoT αποτελεί μια υποδομή δικτύωσης που έχει δημιουργηθεί για τη σύνδεση, την παρακολούθηση και τον έλεγχο του μεγάλου αριθμού συσκευών που υπάρχουν στη σημερινή εποχή, χρησιμοποιώντας σύγχρονες τεχνολογίες στον ψηφιακό κόσμο. Έτσι, το

κλειδί του IoT καθίσταται η «διασύνδεση». Ειδικότερα, ο κύριος στόχος του IoT είναι η διασύνδεση διαφόρων δικτύων και συσκευών έτσι ώστε η συλλογή δεδομένων, η ανταλλαγή πόρων, η ανάλυση και η διαχείρισή τους, να μπορούν να πραγματοποιούνται σε ετερογενή δίκτυα και συστήματα. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να παρέχονται αξιόπιστες, αποτελεσματικές και ασφαλείς υπηρεσίες. Στην ουσία το IoT αποτελεί μία οριζόντια αρχιτεκτονική, η οποία μπορεί να ενσωματώνει τα επίπεδα επικοινωνίας όλων των εφαρμογών των CPS για να επιτυγχάνει την άμεση διασύνδεσή τους. Ως εκ τούτου, η βασική διαφορά μεταξύ ενός CPS και του IoT αναφέρεται στο γεγονός ότι το CPS θεωρείται ως ένα σύστημα, ενώ το IoT θεωρείται ως το διαδίκτυο που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση των επιμέρους συστημάτων.

Ακόμα και αν τα CPS αναδύονται αργά, έχοντας σαν απώτερο σκοπό την κυριαρχία τους στον σημερινό κόσμο μέσω της στενής τους ενσωμάτωσης μεταξύ των υπολογιστικών και των φυσικών συνιστωσών, το IoT παραμένει ένα πολύ ισχυρό τους κομμάτι. Το μέλλον δεν αποτελεί αποκλειστικά η επικοινωνία των ανθρώπων μεταξύ τους και η πρόσβαση σε πληροφορίες, αλλά αποτελεί και η χρήση των μηχανών που θα έχουν την ικανότητα να επικοινωνούν με άλλες μηχανές προς εξυπηρέτηση των ανθρώπων. Για το λόγο αυτό, το IoT χαρακτηρίζεται ως η επόμενη βιομηχανική επανάσταση και υπόσχεται πως στο εγγύς μέλλον δισεκατομμύρια IoT συσκευές θα είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο. Το IoT επιτρέπει στα φυσικά αντικείμενα να βλέπουν, να ακούν, να σκέφτονται και να μιλούν μεταξύ τους, προκειμένου να μοιράζονται πληροφορίες και να συντονίζουν αποφάσεις. Με αυτόν τον τρόπο, θα είναι σε θέση να καταγράφουν ακόμα και τις επιμέρους διασυνδέσεις των αντικειμένων αυτών που διαθέτουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, υπηρεσίες και ροές δεδομένων (π.χ. κινητά τηλέφωνα, φορητές συσκευές, δίκτυα αισθητήρων, κάμερες, οχήματα, κλπ.), και που μπορεί να βρίσκονται σε διαφορετικές πλατφόρμες που δεν επικοινωνούν μεταξύ τους. Έτσι, το IoT μετατρέπει αυτά τα αντικείμενα από παραδοσιακά σε έξυπνα, αξιοποιώντας τις υποκείμενες τεχνολογίες τους, όπως τα υπολογιστικά συστήματα, τις ενσωματωμένες λειτουργίες, τις τεχνολογίες επικοινωνιών, τα δίκτυα τα αισθητήρων, τα πρωτόκολλα διαδικτύου, και τις εφαρμογές τους. Τα έξυπνα αυτά αντικείμενα, σε συνδυασμό με τις ποικίλες λειτουργίες τους, αποτελούν εφαρμογές συγκεκριμένου τομέα (κάθετες αγορές), ενώ οι υπολογιστικές και αναλυτικές υπηρεσίες τους αποτελούν ανεξάρτητες υπηρεσίες των τομέων εφαρμογής (οριζόντιες αγορές). Σε αυτό το πλαίσιο, με την πάροδο του χρόνου, το IoT αναμένεται να έχει σημαντικές οικιακές και επιχειρηματικές εφαρμογές, συμβάλλοντας στη βελτίωση της ποιότητας ζωής και στην αύξηση της παγκόσμιας οικονομίας. Για παράδειγμα, τα έξυπνα σπίτια θα επιτρέπουν στους κατοίκους τους να ανοίγουν αυτόματα το γκαράζ τους όταν θα φτάνουν στο σπίτι,

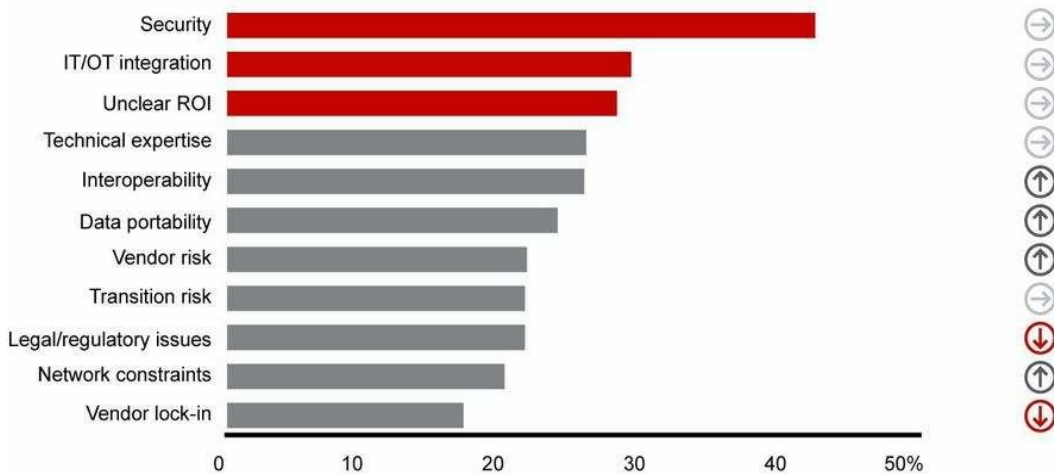
να προετοιμάζουν τον καφέ τους, να ελέγχουν τα συστήματα κλιματισμού, τις τηλεοράσεις και άλλες οικιακές συσκευές. Προκειμένου λοιπόν να υλοποιηθεί αυτή η δυναμική ανάπτυξη, οι αναδυόμενες IoT τεχνολογίες και καινοτομίες, καθώς και οι εφαρμογές υπηρεσιών τους, πρέπει να αυξηθούν αναλογικά ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της αγοράς και στις ανάγκες των πελατών. Παράλληλα, οι συσκευές πρέπει να αναπτυχθούν ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των πελατών όσον αφορά τη διαθεσιμότητά τους οπουδήποτε και οποτεδήποτε, ενώ απαιτείται η δημιουργία νέων πρωτοκόλλων για τη συμβατότητα της επικοινωνίας μεταξύ όλων αυτών των συσκευών.

Όλες οι παραπάνω εξελίξεις έχουν ωθήσει το όραμα του IoT περισσότερο από κάθε άλλη εποχή. Η τεχνολογία είναι πλέον ώριμη και προσιτή. Οι δημιουργοί έχουν στα χέρια τους όλα τα εργαλεία που χρειάζονται για να δημιουργήσουν δίκτυα από καθημερινά αντικείμενα που συνδέονται μεταξύ τους, και είναι προσβάσιμα εξ αποστάσεως. Με αυτό τον τρόπο, η ιδέα του IoT έχει γίνει δημοφιλής στο μέσο κόσμο, κυρίως από τις αρχές της δεκαετίας του 2010 [6]. Το IoT θεωρείται πλέον ένας ξεχωριστός επιστημονικός κλάδος και όχι μία απλή εφαρμογή τεχνολογίας. Η επιστημονική κοινότητα εστιάζει καθαρά σε αυτό με νέες έρευνες, με τις εταιρίες να έχουν δημιουργήσει τα σχετικά εμπορικά προϊόντα όπως έξυπνα ρολόγια/βηματοδότες, έξυπνοι θερμοστάτες, συστήματα ελεγχόμενου φωτισμού, έξυπνες οικιακές εγκαταστάσεις/συσκευές, βιομηχανικοί αυτοματισμοί κ.α. Οι παραπάνω εξελίξεις θα μπορούσαν να θεωρηθούν αρκετές για να υποστηρίξουν την ανάπτυξη του IoT. Ωστόσο, η διείσδυσή του στον κόσμο γίνεται με σχετικά αργούς ρυθμούς. Πολλές από τις εμπορικές εφαρμογές έχουν χαρακτηριστεί για τον πλεονασμό τους, την έλλειψη ασφάλειας, και την ελάχιστη προσφερόμενη αξία της χρήσης τους [7]. Το ερώτημα λοιπόν που προκύπτει είναι: Ποια είναι τα εμπόδια που καθυστερούν την ανάπτυξη και διάδοση του IoT; Η απάντηση δίνεται με μία νέα ερώτηση: Είναι αρκετή μόνο η ύπαρξη της τεχνολογίας; Η ερώτηση αυτή αποτελεί «τροφή για σκέψη», ώστε να προκύψουν νέα ερωτήματα: Ποια είναι η κατεύθυνση του IoT; Ποια ζητήματα προκύπτουν στον κόσμο από αυτό; Ποιος και πώς πρέπει να αντιμετωπίσει τα ζητήματα αυτά; Η σημασία των παραπάνω ερωτημάτων είναι πλέον αντιληπτή από την επιστημονική κοινότητα, η οποία προσπαθεί με νέες έρευνες να εστιάσει στην επίλυσή τους. Υπάρχουν λοιπόν πολλαπλά ζητήματα, τα οποία πρέπει να επιλυθούν για την ανάπτυξη του IoT. Τα ζητήματα αυτά εμπλέκουν την ακαδημαϊκή κοινότητα, τον εμπορικό κόσμο, την πολιτική και γενικότερα την κοινωνία. Κάθε ομάδα έχει τους δικούς της σκοπούς και στόχους, αλλά κοινή επιδίωξη όλων είναι η ανάπτυξη του IoT για το συμφέρον του συνόλου της κοινωνίας, αντιμετωπίζοντας και ξεπερνώντας όσο το δυνατόν περισσότερες προκλήσεις. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2, έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην αντιμετώπιση των προκλήσεων της

ασφάλειας, της διαθεσιμότητας, της αξιοπιστίας, της κινητικότητας και της φορητότητας, των επιδόσεων, της διαχείρισης, της επεκτασιμότητας, της ενσωμάτωσης, της διαλειτουργικότητας και της ετερογένειας, και της συλλογής των δεδομένων των συσκευών που απαρτίζουν το σημαντικότερο μέρος του IoT [8]. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι επειδή συλλέγουν και παράγουν το κύριο μέρος των δεδομένων, συμβάλλοντας στη συνεχή αίσθηση, παρακολούθηση και ερμηνεία των διαφορετικών περιστάσεων και περιβαλλόντων που χρησιμοποιούνται οι συσκευές αυτές. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2, κάποιες από αυτές τις προκλήσεις πρόκειται να μείνουν στάσιμες με το πέρασμα του χρόνου, ενώ αρκετές από αυτές αναμένεται να γίνονται όλο και πιο κρίσιμες, χρίζοντας επιτακτική την άμεση αντιμετώπισή τους.

What are the most significant barriers limiting your adoption of IoT/analytics solutions? Change since 2016

Percentage of respondents (top three barriers)



Sources: Bain IoT customer survey, 2016 (n=533); Bain IoT customer survey, 2018 (n=627); market participant interviews

Εικόνα 2. Προκλήσεις του IoT

Ωστόσο, μεταξύ αυτών των προκλήσεων, ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στη συλλογή και τη διαχείριση των δεδομένων που οι συσκευές αυτές παράγουν συνεχώς [9]. Οι εταιρείες, οι κατασκευαστές IoT συστημάτων και πλατφόρμων, αλλά και οι ερευνητές, κατανοούν ότι υπάρχει μαζική παραγωγή αδόμητων δεδομένων από τις διαθέσιμες συσκευές. Ωστόσο, τα δεδομένα αυτά που παράγονται από τις ποικίλες IoT συσκευές μπορούν να αποδειχθούν πως είναι πολύτιμα μόνο αν σχετίζονται με τη φύση του εκάστοτε συστήματος/πλατφόρμας, ώστε να μπορούν να υποβληθούν στις αντίστοιχες απαιτούμενες αναλύσεις. Έτσι λοιπόν, η πρόκληση που ανακύπτει δεν είναι μόνο πως όλες αυτές οι συσκευές παράγουν συνεχώς δεδομένα, αλλά πως συχνά τα δεδομένα αυτά είτε δεν ταιριάζουν στη φύση των συστημάτων/πλατφόρμων που τα συλλέγουν, όντας είτε ολοκληρωτικά είτε εν μέρει ατελή, χωρίς να είναι έτσι σε θέση να αναλυθούν με επιτυχία και να

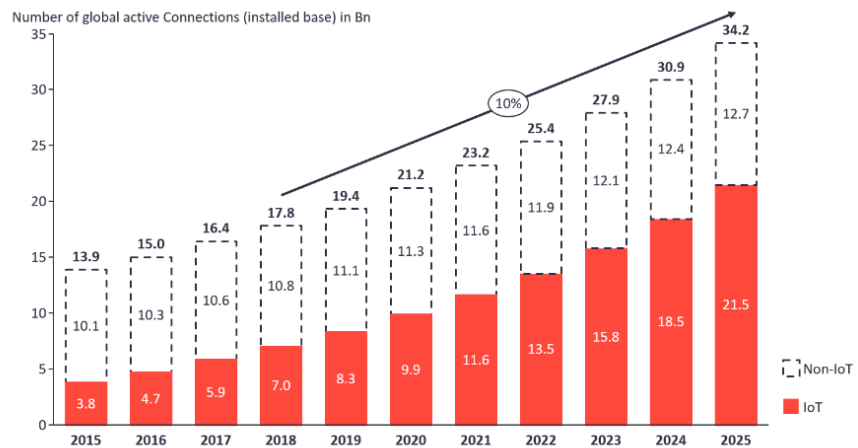
παράγουν χρήσιμες γνώσεις. Επομένως, οι εταιρείες, οι κατασκευαστές και οι ερευνητές δεν αρκεί να εστιάζουν μόνο στη διαχείριση των δεδομένων, αλλά πρέπει να εξετάζουν σοβαρά ποια δεδομένα είναι πολύτιμα για αυτούς, θέτοντας τα κατάλληλα μοντέλα δεδομένων για να υποστηρίξουν την ανάλυσή τους. Ως αποτέλεσμα αυτού, προκύπτει η ανάγκη κατασκευής λύσεων για την προσαρμοζόμενη επιλογή, διαχείριση και ανάλυση όλων αυτών των υφιστάμενων δεδομένων. Για να επιτευχθεί ωστόσο η αντιμετώπιση αυτής της βασικής πρόκλησης, προϋποτίθεται πως τα δεδομένα αυτά θα έχουν συλλεχθεί με επιτυχία από τις εκάστοτε υφιστάμενες συσκευές. Για το λόγο αυτό, η αντιμετώπιση της πρόκλησης της ενσωμάτωσης των συσκευών και της συλλογής των δεδομένων τους πρέπει να επιλυθεί πριν αντιμετωπιστεί το απαιτητικό έργο της επιτυχούς ανάλυσης και εκμετάλλευσης όλων των μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων που συλλέγονται.

 IOT ANALYTICS

insights that empower you to understand IoT markets

Σαν αποτέλεσμα αυτού, δίνεται πολύ μεγάλη έμφαση στην αντιμετώπιση των προκλήσεων της αξιοπιστίας, και της ετερογένειας του μεγάλου αριθμού των υπαρχουσών

Total number of active device connections worldwide



Note: Non-IoT includes all mobile phones, tablets, PCs, laptops, and fixed line phones. IoT includes all consumer and B2B devices connected – see IoT break down for further details
Source: IoT Analytics Research 2018

Εικόνα 3. Παγκόσμια ανάπτυξη IoT συσκευών

προκειμένου να διασφαλιστεί η αξιοπιστία και η ποιότητα των παραγόμενων δεδομένων και η περαιτέρω ανάλυσή τους από τις εκάστοτε πλατφόρμες/συστήματα που τα χρειάζονται. Ειδικότερα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3, είναι γεγονός πως το 2019 που διανύουμε, από τα 19,4 δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές, τα 8,3 δισεκατομμύρια αναφέρονται σε IoT συνδεδεμένες συσκευές, ενώ το 2020 αυτός ο αριθμός θα αυξηθεί στα 9,9 δισεκατομμύρια, ένας αριθμός που αναμένεται να αυξηθεί κατά πολύ μέσα στα επόμενα χρόνια. Αντίθετα, ο αριθμός των συσκευών που δεν ενσωματώνουν τις IoT τεχνολογίες, διαφαίνεται πως με το πέρασμα του χρόνου θα παραμένει σχεδόν στάσιμος, με τις IoT συσκευές να κυριαρχούν έναντι αυτών.

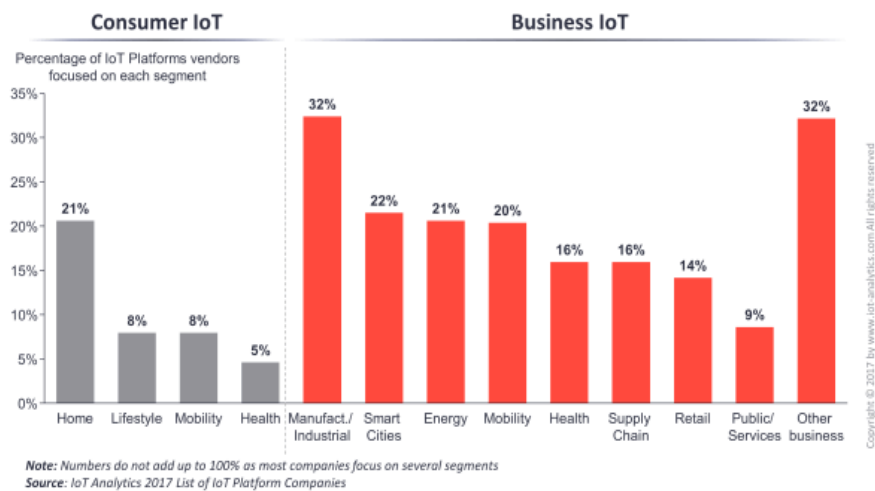
Επιπλέον, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4, είναι αδιαμφισβήτητο γεγονός πως όλες αυτές οι συσκευές αγγίζουν τους διαφορετικούς υπάρχοντες IoT τομείς, τόσο από την πλευρά των καταναλωτών όσο και από την πλευρά των επιχειρήσεων,

 IOT ANALYTICS

Insights that empower you to understand IoT markets

Most IoT Platforms focus on Industrial/Manufacturing

IoT Platform Companies by Segment



Εικόνα 4. Παγκόσμια ανάπτυξη IoT σε όλους τους τομείς

παράγοντας μεγάλους όγκους πληροφοριών. Εφόσον όμως οι συσκευές αυτές αλληλοεπιδρούν τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά με τους κόσμους αυτών των τομέων, αναμενόμενο είναι πως τα δεδομένα που παράγονται από τις διάφορες αυτές IoT συσκευές να είναι διαφορετικού τύπου, δεδομένου του γεγονότος πως οι εν λόγω συσκευές θα έχουν δημιουργηθεί και θα προορίζονται για εφαρμογές διαφορετικών τομέων που έχουν διαφορετικούς σκοπούς. Σαν αποτέλεσμα, οι συσκευές αυτές διαθέτουν διαφορετικές Διεπαφές Προγραμματισμού Εφαρμογών (Application Programming Interfaces, API), διαφορετικές μορφές δεδομένων, διαφορετικές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, διαφορετικά μοντέλα αναφοράς, πρότυπα, κλπ. Συνεπώς, η αποδοτική και η αποτελεσματική συλλογή, διαχείριση και επεξεργασία των δεδομένων που παράγονται από τις συσκευές αυτές, καθίσταται μία αρκετά μεγάλη πρόκληση. Για την επίτευξη του προαναφερθέντος σκοπού, απαιτούνται αποδοτικότεροι τρόποι συλλογής πληροφοριών, αλλά και ανάλυσης και επεξεργασίας των δεδομένων, λαμβάνοντας υπόψη το μεγάλο βαθμό ετερογένειας που υπάρχει μεταξύ των ποικίλων IoT συσκευών. Παρόλο που όλες οι συσκευές αυτές έχουν τη δυνατότητα να συνδέονται στο διαδίκτυο μέσω των δικών τους API, πώς εξασφαλίζεται πως μπορούν να συνδέονται σε οποιοδήποτε σύστημα που είναι συνδεδεμένο στο διαδίκτυο προκειμένου να στέλνουν τα δεδομένα τους; Πώς εξασφαλίζεται ότι η αυτόματη σύνδεσή τους σε αυτά τα συστήματα είναι σχετική, και δεν συνδέονται σε μη σχετικά συστήματα που δεν απαιτούν τα δεδομένα τους; Πώς εξασφαλίζεται πως τα δεδομένα που παράγουν οι συσκευές αυτές είναι αξιόπιστα και ποιοτικά και μπορούν να ληφθούν υπόψη για περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση; Όλα αυτά τα ερωτήματα είναι μείζονος σημασίας για όλους τους τομείς, αλλά ειδικότερα για τον τομέα της υγείας, όπου το IoT αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του.

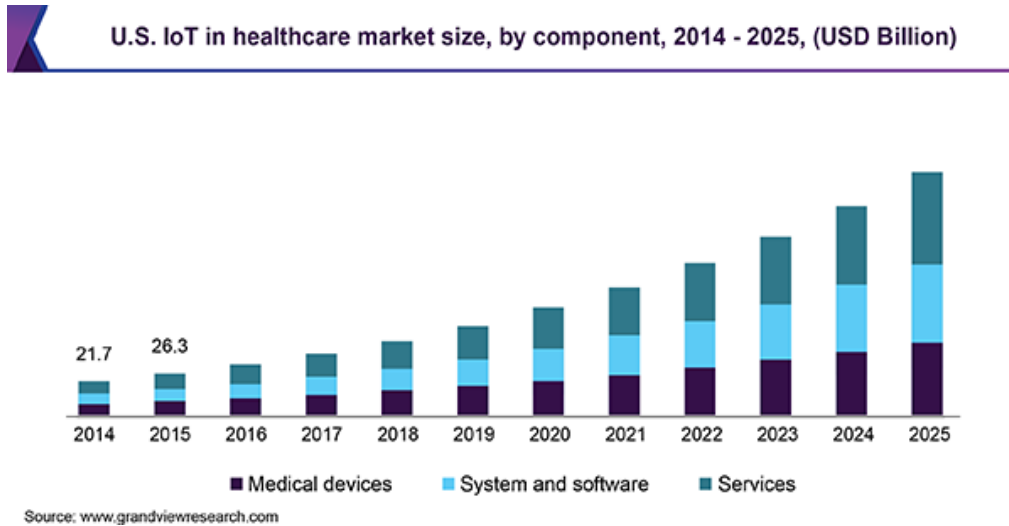
1.1.2 Ανάπτυξη Κυβερνοφυσικών Συστημάτων και Διαδικτύου των Αντικειμένων στον Τομέα της Υγείας

Όπως το IoT μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλούς τομείς, έτσι και τα CPS μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο σε διάφορα συστήματα πληροφορικής σε ποικίλους τομείς [10]. Ωστόσο, η εφαρμογή τους στον τομέα της υγείας ξεχωρίζει μεταξύ των υπολοίπων [11]. Ειδικότερα, τα συστήματα αυτά στον τομέα της υγείας έχουν δημιουργήσει μία ειδική κατηγορία, τα λεγόμενα Ιατρικά Κυβερνοφυσικά Συστήματα (Medical Cyber Physical Systems, MCPS) [12], τα οποία θεωρούνται ως διασυνδεδεμένα, ευφυή συστήματα που αποτελούνται κυρίως από ιατρικά ευφυή συστήματα που εφαρμόζονται στην καθημερινή ζωή των ασθενών. Κύριος στόχος των συστημάτων αυτών είναι να εξασφαλίζουν την πιο προηγμένη φροντίδα των ασθενών, τη θεραπεία, καθώς και τη συνεχή παρακολούθησή τους. Ως εκ τούτου, αυτά τα ιατρικά ευφυή συστήματα κατέχουν σημαντικές ικανότητες ανίχνευσης και δικτύωσης, αποτελώντας μία αναδυόμενη τάση. Μέσα στα επόμενα χρόνια, αναμένεται πως το ήμισυ της ιατρικής φροντίδας θα παραδοθεί ουσιαστικά στα MCPS. Ειδικότερα, οι αναδυόμενες πλατφόρμες φροντίδας του 21^{ου} αιώνα απαιτούν ριζικές αλλαγές στη σκέψη, στα επιχειρηματικά μοντέλα και στην υποδομή που χρησιμοποιούν. Το παλιό μοντέλο «main frame health» (δηλαδή το κεντρικό, νοσοκομειακό, εξειδικευμένο, αντιδραστικό, και δαπανηρό μοντέλο υγείας) δίνει τη θέση του στο νέο παράδειγμα του «personal health» (δηλαδή το διανεμημένο, πλούσιο σε δεδομένα, προληπτικό, εξατομικευμένο, και αποτελεσματικό μοντέλο υγείας). Σαν αποτέλεσμα αυτού, θα παρατηρηθούν πολλές και ποικίλες αλλαγές στον καθημερινό κόσμο. Θα σημειωθεί έντονη μετατόπιση της γήρανσης του πληθυσμού, όπου ο ανθρώπινος πληθυσμός θα φτάσει σε ένα σημείο διασταύρωσης για πρώτη φορά στην ιστορία. Θα υπάρξουν δηλαδή περισσότερα άτομα ηλικίας άνω των 65 ετών από ότι ηλικίας κάτω των 5 ετών. Μέχρι το 2030, η Κίνα θα έχει περισσότερα άτομα ηλικίας άνω των 60 ετών από το συνολικό πληθυσμό των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής [13]. Επιπλέον, θα παρατηρηθούν αλλαγές στον τομέα των χρόνιων ασθενειών, όπου θα παρατηρηθεί μια μετατόπιση από επικίνδυνες μεταδοτικές ασθένειες σε χρόνιες ασθένειες, που συχνά επιδεινώνονται από τον τρόπο ζωής. Ειδικότερα, η γήρανση του πληθυσμού αυξάνει τον αριθμό των ασθενών με καρδιακές παθήσεις, καρκίνο, διαβήτη, πνευμονικές και νεφρικές διαταραχές, νόσους Αλτσχάιμερ και υπερβολικό βάρος. Με τη σειρά τους αυτά τα ζητήματα εμποδίζουν την παραγωγικότητα και είναι δαπανηρά και δύσκολα θεραπεύσιμα, απαιτώντας περισσότερους πόρους. Σαν αποτέλεσμα αυτού, παρατηρείται πως σήμερα το 63% των θανάτων στον κόσμο προέρχονται από μη μεταδοτικές ασθένειες [14], ενώ σε χώρες χαμηλού έως μεσαίου εισοδήματος, το ποσοστό αυτό φτάνει στο 80% [15]. Εκτός από τα προβλήματα δημογραφικών δυνατοτήτων, σημαντικές αλλαγές θα

παρατηρηθούν και στην καθημερινή ζωή των ασθενών. Ειδικότερα, με την άνοδο της διαδικτυακής κουλτούρας, υπάρχει μετατόπιση από παθητικούς σε ενεργούς ασθενείς. Οι ασθενείς και οι οικογένειές τους είναι περισσότερο ευαισθητοποιημένοι και παρακολουθούνται ψηφιακά από μια αυξανόμενη ποικιλία εφαρμογών και συσκευών. Σε μια έρευνα από την Intel Healthcare Innovation Barometer [16] παρουσιάστηκε ότι μεταξύ 8 εθνικοτήτων και 12.000 ενηλίκων, το 80% είναι αισιόδοξοι για την υγεία μέσω της καινοτομίας και της τεχνολογίας, το 70% είναι διατεθειμένοι να δουν έναν γιατρό μέσω τηλεδιάσκεψης για ένα μη επείγον ραντεβού, το 70% είναι δεκτικοί στη χρήση αισθητήρων τουαλέτας, αισθητήρων σε μπουκάλια συνταγής ή αισθητήρων σε συσκευές παρακολούθησης της υγείας, ενώ το 50% πιστεύουν ότι το παραδοσιακό νοσοκομείο θα είναι παρωχημένο στο μέλλον και θα εμπίστευόταν μια δοκιμή που θα την έκαναν προσωπικά οι ίδιοι ή κάποιο αυτοματοποιημένο εξειδικευμένο σύστημα.

Καθίσταται λοιπόν ξεκάθαρο, πως τα MCPS έχουν συμβάλει και θα συμβάλλουν δραστικά στη βελτίωση όλων των πτυχών του κόσμου της υγείας. Ωστόσο, απaráλλαχτο γεγονός των εν λόγω συστημάτων αποτελεί η συσχέτισή τους με το κόσμο του IoT, το οποίο όπως ήδη αναφέρθηκε αποτελεί το βασικό μέρος για την επικοινωνία των ιατρικών συσκευών που χρησιμοποιούν τα MCPS. Όπως τα CPS, έτσι και τα MCPS βασίζονται σε ένα δίκτυο συσκευών που συνδέονται άμεσα μεταξύ τους για να συλλαμβάνουν και να μοιράζονται ιατρικά δεδομένα ζωτικής σημασίας. Αυτό το γεγονός καθίσταται εξαιρετικά σημαντικό για τον κλάδο της υγείας, καθώς οι πρόοδοι στην τεχνολογία της συνδεσιμότητας επιτρέπει στις συσκευές να συλλέγουν, να καταγράφουν και να αναλύουν δεδομένα που δεν ήταν προσιτά παλαιότερα. Στην υγεία, αυτό σημαίνει πως καθίσταται εφικτή η συλλογή των δεδομένων των ασθενών με την πάροδο του χρόνου, τα οποία μπορούν εν συνεχεία να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν στην προληπτική φροντίδα των ασθενών, να επιτρέψουν την έγκαιρη διάγνωση οξείων επιπλοκών της υγείας τους, αλλά και να βοηθήσουν στην κατανόηση του πώς μια θεραπεία βοηθά στη βελτίωση των παραμέτρων της υγείας τους. Επιπλέον, η ικανότητα των συσκευών να συλλέγουν αυτόματα δεδομένα καταργεί τους περιορισμούς των δεδομένων που εισάγονται από τον άνθρωπο. Πλέον τα δεδομένα εισάγονται αυτόματα ώστε οι γιατροί να τα έχουν στη διάθεσή τους οποιαδήποτε στιγμή τα χρειάζονται και με τον τρόπο που τα χρειάζονται. Έτσι, ο αυτοματισμός μειώνει τον κίνδυνο σφαλμάτων και τη λήψη λανθασμένων ιατρικών αποφάσεων. Λιγότερα λάθη μπορεί να σημαίνουν αυξημένη απόδοση, χαμηλότερο κόστος και βελτιώσεις στην ποιότητα ζωής των ασθενών. Ωστόσο αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι πως όπως σε όλους τους τομείς, έτσι και στον τομέα της υγείας το IoT κατακλύζεται από πολλές προκλήσεις. Πιο συγκεκριμένα, έχει δοθεί ιδιαίτερη

προσοχή στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με τις ιατρικές IoT συσκευές, όπως η διαθεσιμότητα, η αξιοπιστία, η διαχείριση, η επεκτασιμότητα, η διαλειτουργικότητα και η ετερογένεια της πληθώρας των συσκευών αυτών. Ειδικότερα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5, σε σχέση με τα προηγούμενα έτη, το 2019 έχουν παραχθεί πολύ περισσότερες IoT ιατρικές συσκευές, ενώ αυτή η αύξηση αναμένεται να γίνει πιο έντονη τα επόμενα χρόνια.



Εικόνα 5. Παγκόσμια ανάπτυξη IoT ιατρικών συσκευών

Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε, ειδικά τα ιατρικά δεδομένα που παράγονται από τις συσκευές αυτές είναι μείζονος σημασίας, μιας και σχετίζονται άμεσα με την υγεία των ανθρώπων. Μία λοιπόν άλλη πολύ βασική πρόκληση είναι η επιτυχής και ορθή ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων αυτών, προκειμένου να λαμβάνονται οι αντίστοιχες σωστές ιατρικές αποφάσεις και να πραγματοποιούνται οι αντίστοιχες ενέργειες. Ωστόσο, για να συλλεχθούν όλα αυτά τα δεδομένα, θα πρέπει όλες οι συσκευές που τα παράγουν να μπορούν να τα «εκμεταλλευτούν» από τις αντίστοιχες ιατρικές πλατφόρμες/συστήματα που τα χρειάζονται για περαιτέρω χρήση και ανάλυση. Επομένως, πριν από τη σωστή αξιοποίηση και ανάλυση των συλλεχθέντων ιατρικών δεδομένων, έγκειται η αντιμετώπιση της ετερογένειας, της ενσωμάτωσης και της αξιοπιστίας των συσκευών αυτών, ώστε να καθίσταται εφικτή η συλλογή των δεδομένων τους, και η περαιτέρω χρήση τους από τις εκάστοτε ενδιαφερόμενες ιατρικές πλατφόρμες/συστήματα. Για το λόγο αυτό, οι προκλήσεις τόσο της ενσωμάτωσης όσο και της αξιοπιστίας των συσκευών αυτών πρόκειται να συζητηθούν διεξοδικά στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή.

1.2 Αντικείμενο και Καινοτομία Διατριβής

Το IoT έχει αδιαμφισβήτητα γίνει σημείο αναφοράς ως προς την επικοινωνία τόσο μεταξύ των ανθρώπων όσο και μεταξύ των συστημάτων, καθώς όλα τα παραγόμενα δεδομένα διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο σε διαφορετικούς τομείς της καθημερινότητας. Ως τεχνολογία, χρησιμοποιεί δισεκατομμύρια συσκευές, ενσωματώνοντας ποικίλους αισθητήρες, ενεργοποιητές, και υπολογιστές βάσει των αντίστοιχων λειτουργιών που προσφέρουν [17], [18]. Κατά τα τελευταία χρόνια, υπήρξε μια κλίση προς την προσαρμογή των νέων τεχνολογιών επικοινωνίας, όπου πλέον υπάρχουν ενεργές περίπου 5 δισεκατομμύρια έξυπνες συσκευές, ενώ έχει προβλεφθεί πως πάνω από 10 δισεκατομμύρια συσκευές θα συνδεθούν μέσω του διαδικτύου έως το 2020 [19]. Σύμφωνα με μία έρευνα του Machina Research [20], ο αριθμός αυτός των συνδεδεμένων συσκευών αναμένεται να φτάσει στα 27 δισεκατομμύρια μέχρι το 2024, ενώ σύμφωνα με μία ανάλυση της Cisco [21], μέχρι το 2030 αναμένεται πως θα υπάρχουν 500 δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές. Γίνεται λοιπόν σαφές πως ο αριθμός των συσκευών αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς, με αποτέλεσμα να αναμένεται πως μια πληθώρα ετερογενών συσκευών θα είναι συνδεδεμένες με τον κόσμο του IoT στο προσεχές μέλλον, παράγοντας τόνους δεδομένων. Αυτό το γεγονός ενισχύει το όραμα για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών επικοινωνίας και την εξεύρεση νέων τρόπων συγχρονισμού όλων αυτών των συσκευών. Ωστόσο, το όραμα αυτό συνοδεύεται από διάφορες συναφείς προκλήσεις, όπως το γεγονός ότι όλα αυτά τα δεδομένα συχνά δεν ταιριάζουν στη φύση των πλατφόρμων που τα συλλέγουν, με αποτέλεσμα να μην είναι σε θέση να αναλυθούν με επιτυχία και να παράγουν χρήσιμες γνώσεις από τις πλατφόρμες αυτές. Προκειμένου, όμως, να επιτευχθεί η αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, προϋποτίθεται πως τα δεδομένα αυτά θα έχουν συλλεχθεί με επιτυχία από τις εκάστοτε ετερογενείς συσκευές. Για το λόγο αυτό, η αντιμετώπιση της πρόκλησης της ενσωμάτωσης των δεδομένων πρέπει να επιλυθεί πριν αντιμετωπιστεί το δύσκολο και επιτακτικό έργο της επιτυχούς ανάλυσης και εκμετάλλευσης όλων των μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων που συλλέγονται.

Σαν αποτέλεσμα όλων των προαναφερθέντων, ειδικά οι συσκευές, έχουν μεγάλη σημασία για τις τεχνολογίες του IoT, καθώς συλλέγουν και παράγουν το κύριο μέρος των δεδομένων, συμβάλλοντας στη συνεχή καταγραφή, παρακολούθηση και ερμηνεία των διαφορετικών περιστάσεων και περιβαλλόντων που χρησιμοποιούνται [22]. Ωστόσο, το IoT περιορίζεται στην παρακολούθηση και στον έλεγχο των υφιστάμενων συσκευών, δεδομένου ότι οι αναδυόμενες τεχνολογίες υποστήριξης πρέπει να προβλέπουν όχι μόνο αυτή τη δραματική αύξηση των συνδεδεμένων συσκευών, αλλά και την ετερογένειά τους. Ειδικότερα,

οι συσκευές χαρακτηρίζονται από έναν αρκετά υψηλό βαθμό ετερογένειας, δεδομένου πως διαθέτουν διαφορετικές δυνατότητες, λειτουργίες, πρωτόκολλα επικοινωνίας, κλπ. Συνεπώς, λόγω της έντονης ετερογένειας των συσκευών, επιτάσσεται η ανάγκη οι υπάρχουσες πλατφόρμες/συστήματα που θέλουν να χρησιμοποιούν τις εκάστοτε συσκευές, να πρέπει να προγραμματίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ικανές να διαχειρίζονται κάθε διαφορετική συσκευή που χρειάζεται να συνδεθεί σε αυτές, έχοντας τη δυνατότητα τόσο να εντοπίζουν και να κατανοούν τη φύση των συσκευών αυτών, όσο και να χρησιμοποιούν τις ιδιότητες και τα δεδομένα τους [23]. Έτσι λοιπόν, καθίσταται ξεκάθαρη η ανάγκη υιοθέτησης νέων τεχνολογιών για την αυτόματη αναγνώριση και κατανόηση της φύσης όλων αυτών των υφιστάμενων IoT συσκευών, έτσι ώστε να καθίσταται εφικτή η αυτόματη συλλογή και ανάλυση των μεγάλων όγκων δεδομένων που παράγονται από τις συσκευές αυτές. Για το λόγο αυτό, το IoT έχει υποσχεθεί να αντιμετωπίσει αυτήν την πρόκληση, διευκολύνοντας την αυτόματη αλληλεπίδραση και πρόσβαση σε όλες αυτές τις συσκευές [24].

Ωστόσο, η ανάπτυξη τεχνικών και τεχνολογιών για τη διαχείριση ετερογενών IoT συσκευών αποτελεί βασική πρόκληση, ώστε εν τέλει να πραγματοποιείται η επιτυχής εκμετάλλευση των δεδομένων τους. Οι υπάρχουσες τεχνικές διαχείρισης δεν είναι σε θέση ούτε να αντιμετωπίσουν την πολυπλοκότητα των συσκευών, αλλά ούτε να αναγνωρίσουν τη φύση των συσκευών αυτών, καθώς είναι τόσο στατικές όσο και ευαίσθητες σε νέες ή μεταβαλλόμενες αλλαγές που πραγματοποιούνται στις λειτουργίες και στις απαιτήσεις των υπάρχουσών συσκευών [25]. Σαν αποτέλεσμα αυτού, οι εν λόγω τεχνικές δεν είναι σε θέση να ενσωματώνουν αποτελεσματικά και γρήγορα ετερογενείς συσκευές στις αντίστοιχες πλατφόρμες, μη έχοντας τη δυνατότητα να προσδιορίζουν κάθε φορά αν κάθε εισερχόμενη συσκευή είναι σχετική με την εκάστοτε πλατφόρμα που θέλει να συνδεθεί, και τελικά έχει νόημα να στείλει τα δεδομένα της. Σε αυτό το πλαίσιο, έχουν προταθεί διάφορες έρευνες εστιαζόμενες στο χώρο του IoT, οι οποίες έχουν καταβάλλει ποικίλες προσπάθειες για την αυτόματη αναγνώριση και ενσωμάτωση ετερογενών συσκευών στις σχετικές πλατφόρμες, προσφέροντας εν τέλει τα δεδομένα τους. Εντούτοις, αξίζει να σημειωθεί πως οι περισσότερες από αυτές τις έρευνες δεν έχουν φτάσει σε κάποιο ώριμο στάδιο, έχοντας αποκαλύψει επιπλέον κενά που απαιτούν πρόσθετη ερευνητική προσπάθεια αντιμετώπισης στην εν λόγω περιοχή. Η κυριότερη πρόκληση που καλούνταν να αντιμετωπίσουν όλες αυτές οι έρευνες ήταν το γεγονός πως έπρεπε κάθε φορά να αναγνωρίζουν τις κατάλληλες συσκευές για κάθε διαφορετική IoT πλατφόρμα. Αν και όλες οι συσκευές αυτές παρέχουν παρόμοια ή ακόμα και ίδια λειτουργικότητα, τα χαρακτηριστικά τους και οι βασικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούν διαφέρουν. Αυτό οδηγεί σε ποικίλες εφαρμογές των συσκευών αυτών, που περιπλέκουν ποια συσκευή είναι

κατάλληλη για ποια πλατφόρμα. Καθώς δεν υπάρχει μία γενική εφαρμογή, οι προγραμματιστές πρέπει για κάθε νέα συσκευή που επιθυμεί να συνδέεται σε μία πλατφόρμα να μελετούν και να κατανοούν σε βάθος τις περιγραφές και τα χαρακτηριστικά της, προσαρμόζοντας κάθε φορά τις τεχνικές της πλατφόρμας ώστε να είναι σε θέση να αναγνωρίζει και να ενσωματώνει την εκάστοτε συσκευή. Αυτή η διαδικασία όμως είναι χρονοβόρα, και απαιτείται κάθε φορά πρόωμη γνώση σχετικά με τα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες της εκάστοτε συσκευής. Το αποτέλεσμα της παραπάνω συζήτησης είναι πως καθίσταται απαραίτητη η ύπαρξη ενός γενικού αυτοματοποιημένου μηχανισμού σύνδεσης και ενσωμάτωσης ετερογενών συσκευών, ώστε να παρέχει μια βάση για τη σύνδεση και την ανάκτηση δεδομένων από όλες τις υποκείμενες ετερογενείς συσκευές. Αυτή η απαίτηση καθίσταται πολύ σημαντική ειδικά στον τομέα της υγείας, ο οποίος σήμερα κατευθύνεται κυρίως από την εξατομικευμένη υγειονομική περίθαλψη και τη χρήση διαφόρων ετερογενών ιατρικών συσκευών για την παρακολούθηση της κατάστασης της υγείας των ανθρώπων. Για το λόγο αυτό, η παρούσα Διδακτορική Διατριβή δίνει ιδιαίτερη προσοχή στην αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, αντιμετωπίζοντας την ενσωμάτωση των IoT συσκευών και ως εκ τούτου την ενσωμάτωση των δεδομένων τους, ως θεμελιώδεις απαιτήσεις για την αυτόματη συλλογή δεδομένων από IoT συσκευές στον τομέα της υγείας.

Εκτός από αυτό, δεδομένου ότι οι IoT συσκευές χαρακτηρίζονται συνήθως από υψηλό βαθμό ετερογένειας όσον αφορά τις διαφορετικές προδιαγραφές, δυνατότητες και λειτουργίες που διαθέτουν, είναι αναμενόμενο να ποικίλουν αναφορικά με το βαθμό αξιοπιστίας τους, παρέχοντας δεδομένα διαφορετικών επιπέδων αξιοπιστίας (π.χ. δεδομένα χαμηλού ή υψηλού επιπέδου). Επομένως, η πρόκληση που προκύπτει είναι αφενός η δυσκολία διαχείρισης του μεγάλου αριθμού των υφιστάμενων ετερογενών συσκευών που περιλαμβάνουν τις δικές τους προδιαγραφές και API, και αφετέρου η αναγκαιότητα των ίδιων των συσκευών και των δεδομένων που προέρχονται από αυτές να είναι πλήρως αξιόπιστα. Για το λόγο αυτό, χρήζει ζωτικής σημασίας όχι μόνο να βρεθεί ένας αυτοματοποιημένος αποτελεσματικός τρόπος σύνδεσης και ενσωμάτωσης όλων των ετερογενών συσκευών σε διαφορετικές IoT πλατφόρμες ώστε να συλλέγονται τα δεδομένα τους, αλλά και να βρεθεί ένας αυτοματοποιημένος αποτελεσματικός τρόπος εκτίμησης της αξιοπιστίας αυτών των συσκευών σε συνδυασμό με την αξιοπιστία των παραγόμενων δεδομένων τους. Ειδικότερα, η αξιοπιστία των συσκευών καθώς και των δεδομένων που παράγονται από αυτές δεν ήταν στο επίκεντρο των ερευνητών εδώ και πολύ καιρό, καθώς οι συσκευές αυτές αντιμετωπίζονταν κυρίως ως «μαύρα κουτιά», και δεν δινόταν σημασία στην αξιοπιστία και ποιότητά τους όταν ενσωματώνονταν σε μεγαλύτερα συστήματα [26], [27]. Ωστόσο, αυτός ο τρόπος χρήσης των συσκευών, χωρίς δηλαδή τις

κατάλληλες αξιολογήσεις αξιοπιστίας, μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στη γενική διεκπεραίωση τόσο των επιστημονικών ερευνών όσο και των επιμέρους παραγόμενων αποτελεσμάτων τους. Με λίγα λόγια, η έλλειψη αξιολόγησης της αξιοπιστίας μπορεί να μειώσει τον βαθμό της επιτυχημένης ερμηνείας και της σημασίας των αποτελεσμάτων και ευρημάτων [28]. Ειδικότερα στο χώρο του IoT, η έννοια της διασφάλισης της αξιοπιστίας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, καθώς όταν θα ενσωματωθεί στο τεχνολογικό πρότυπο του IoT, θα εξασφαλίζει τον υψηλό βαθμό εμπιστοσύνης και αξιοπιστίας κατά τη χρήση των συσκευών από τις εκάστοτε πλατφόρμες, καθώς και την παραγωγή δεδομένων υψηλού επιπέδου [29], [30]. Η απαίτηση αυτή είναι εξαιρετικά σημαντική για τον τομέα της υγείας [31], καθώς οι IoT συσκευές θεωρούνται ισχυρό μέρος της [32], [33], ενώ τα παραγόμενα δεδομένα τους είναι μεγάλης σημασίας δεδομένου ότι οδηγούν τη λήψη ιατρικών αποφάσεων. Ωστόσο, ακόμη και αν αυτό έχει μεγάλη σημασία, η ανάπτυξη μιας τέτοιου είδους ανάλυσης για την ενσωμάτωση των διαφόρων συσκευών και τον αυτόματο χαρακτηρισμό τους ως αξιόπιστων ή μη, και συνεπώς τη συλλογή των αξιόπιστων δεδομένων τους, ειδικά στον τομέα της υγείας είναι ακόμα σε πρώιμα στάδια. Για το λόγο αυτό, η παρούσα Διδακτορική Διατριβή επικεντρώνεται επίσης σε αυτήν την πρόκληση, αντιμετωπίζοντας την αξιοπιστία των IoT συσκευών και ως εκ τούτου των δεδομένων που αυτές παράγουν, ως θεμελιώδεις απαιτήσεις για τη συλλογή δεδομένων από IoT συσκευές στον τομέα της υγείας.

Συνεπώς, για να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά όλες οι προαναφερθείσες προκλήσεις και να βελτιωθούν οι υφιστάμενες σχετικές λύσεις, η παρούσα Διδακτορική Διατριβή επικεντρώθηκε στοχευμένα στις προκλήσεις αυτές. Ειδικότερα, η παρούσα Διδακτορική Διατριβή είχε ως πρωταρχικό σκοπό τη μελέτη, το σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός μοντέλου συλλογής, ανάλυσης, και αποθήκευσης δεδομένων παραγόμενων από ετερογενείς IoT συσκευές, επιτρέποντας την ενσωμάτωση του συνεχούς λαμβανόμενου όγκου πληροφοριών από διαφορετικές αυτόνομες και μη ετερογενείς πηγές δεδομένων. Ωστόσο, έπειτα από εκτεταμένη έρευνα που πραγματοποιήθηκε, προέκυψε πως ένας από τους σημαντικότερους ερευνητικούς τομείς στους οποίους δεν είχε δοθεί ιδιαίτερη ερευνητική έμφαση, ήταν αυτός της συλλογής και της ενσωμάτωσης των δεδομένων που προέρχονταν από τις διαφορετικές IoT συσκευές, κάτι που προηγείται της ανάλυσης και της αποθήκευσης των δεδομένων αυτών, άρα καθίσταται και προ-απαιτούμενο για την επίτευξη αυτών. Για το λόγο αυτό, η παρούσα Διδακτορική Διατριβή επικεντρώθηκε στον τρόπο με τον οποίο συλλέγονται και ενσωματώνονται τα δεδομένα που προέρχονται από διαφορετικές IoT συσκευές. Σαν αποτέλεσμα αυτού, βασίστηκε στην ανάπτυξη ενός καινοτόμου μοντέλου για την αποδοτική συλλογή και ενσωμάτωση δεδομένων που προέρχονται από ετερογενείς IoT συσκευές.

Σε αυτό το πλαίσιο, στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή προτείνεται μια γενική προσέγγιση ενσωμάτωσης για την αυτόματη διαχείριση ετερογενών IoT συσκευών τόσο γνωστού όσο και άγνωστου τύπου, εκτιμώντας τα επίπεδα αξιοπιστίας τους, και συλλέγοντας εν τέλει τα δεδομένα που προέρχονται μόνο από τις αξιόπιστες και σχετικές προς κάθε πλατφόρμα συσκευές. Αυτή η προσέγγιση παρέχεται μέσω ενός καινοτόμου μηχανισμού που είναι διαλειτουργικός, έχοντας τη δυνατότητα αφενός να συνδέεται σε διαφορετικές IoT πλατφόρμες, και αφετέρου να διευκολύνει την αυτόματη αναγνώριση, αλληλεπίδραση και πρόσβαση σε όλες τις υφιστάμενες συσκευές. Πιο συγκεκριμένα, η καινοτομία αυτού του μηχανισμού έγκειται στο γεγονός πως είναι σε θέση να αναγνωρίζει τη φύση (δηλαδή τον τύπο, τον σκοπό, και την λειτουργικότητα) των υποκείμενων συσκευών χωρίς να έχει κάποια προηγούμενη γνώση σχετικά με τα χαρακτηριστικά των συσκευών αυτών. Βάσει της εκτεταμένης έρευνας που έχει πραγματοποιηθεί, ο εν λόγω μηχανισμός φαίνεται να είναι ο πρώτος μηχανισμός που προτείνει μια τεχνική αναγνώρισης και ενσωμάτωσης μιας συσκευής χωρίς να διαθέτει καμία προηγούμενη γνώση σχετικά με αυτήν τη συσκευή. Σαν αποτέλεσμα αυτού, ο μηχανισμός αξιοποιεί πλήρως τη λειτουργία ενσωμάτωσης (plug'n'play) των συσκευών, προσφέροντας τη δυνατότητα στον εκάστοτε χρήστη να μπορεί να συνδέσει οποιαδήποτε συσκευή του σε οποιαδήποτε IoT πλατφόρμα που χρησιμοποιεί αυτόν το μηχανισμό, στέλνοντας έτσι τα δεδομένα του σε αυτήν. Επιπλέον, ο μηχανισμός είναι σε θέση να προσδιορίζει αυτόματα αν κάθε εισερχόμενη συσκευή αφενός είναι υψηλής αξιοπιστίας, και αφετέρου σχετίζεται με κάθε συγκεκριμένη IoT πλατφόρμα που θέλει να συνδεθεί, και ως εκ τούτου τα δεδομένα της σχετίζονται με την πλατφόρμα και μπορούν να συλλεχθούν. Συνοψίζοντας λοιπόν, η προσέγγιση που προτείνεται στα πλαίσια της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής επιτυγχάνει τρεις (3) επιμέρους βασικούς στόχους: (i) την αναγνώριση της φύσης (δηλαδή του τύπου, του σκοπού, και της λειτουργικότητας) των διαφορετικών συσκευών που είναι κάθε φορά διαθέσιμες για τη σύνδεσή τους στην εκάστοτε πλατφόρμα, καταφέροντας έτσι να συνδέει στις πλατφόρμες αυτές μόνο τις συσκευές που σχετίζονται με αυτές, με την έννοια ότι τα δεδομένα τους είναι σχετικά και χρήσιμα προς τις πλατφόρμες αυτές, (ii) την αυτόματη συλλογή των δεδομένων των συνδεδεμένων συσκευών, καταφέροντας έτσι να παρέχει τη δυνατότητα της διαλειτουργικότητας στην εκάστοτε πλατφόρμα, χωρίς αυτή να χρειάζεται αφενός να έχει περαιτέρω γνώση για τα API των συσκευών αυτών και αφετέρου να παραμετροποιηθεί προκειμένου να είναι σε θέση να συλλέξει τα δεδομένα των συσκευών αυτών, και (iii) την αυτόματη εκτίμηση της αξιοπιστίας τόσο των συνδεδεμένων συσκευών όσο και των παραγόμενων δεδομένων τους, καταφέροντας έτσι η εκάστοτε πλατφόρμα να χρησιμοποιεί και να εκμεταλλεύεται μόνο τα αξιόπιστα και ποιοτικά δεδομένα που προέρχονται από αποκλειστικά αξιόπιστες συσκευές. Με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιείται ο

κίνδυνος εξαγωγής εσφαλμένων αποτελεσμάτων, και η διεκπεραίωση εσφαλμένων ενεργειών λόγω λανθασμένων και ελλιπών δεδομένων.

Βάσει των ανωτέρω, η προτεινόμενη προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως στους διαφορετικούς τομείς του ΙοΤ. Ωστόσο, βάσει της έρευνας που πραγματοποιήθηκε, διαπιστώθηκε πως η εφαρμογή του είναι εξαιρετικά χρήσιμη για τον τομέα της υγείας, όπου υφίσταται πληθώρα ετερογενών ιατρικών ΙοΤ συσκευών, παράγοντας μεγάλες ποσότητες ιατρικών δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά καθίστανται ιδιαίτερης κρισιμότητας, καθώς συμβάλλουν στη συνεχή παρακολούθηση της υγείας των ασθενών, στην προηγμένη φροντίδα τους, στη βελτίωση της ποιότητας της ζωής τους, καθώς και στην παροχή εξατομικευμένων υπηρεσιών. Για το λόγο αυτό, η παρούσα Διδακτορική Διατριβή εφαρμόστηκε και εξετάστηκε πάνω στον τομέα αυτό. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως για να ολοκληρωθεί επιτυχώς η προαναφερθείσα προσέγγιση, πραγματοποιήθηκαν ποικίλες προσεγγίσεις, με δύο (2) από αυτές να αποδεικνύονται πως ήταν κομβικές, καθιστώντας τες ως δύο (2) ορόσημα του μηχανισμού. Συνοπτικά, στο 1^ο ορόσημο είχε προταθεί η αρχική προσέγγιση του μηχανισμού, όπου είχαν καταγραφεί τα επιμέρους βήματα που θα ακολουθούσαν για την ομαλή εκτέλεσή του. Ωστόσο, κατά την προσπάθεια διεκπεραίωσης πειραμάτων της συγκεκριμένης προσέγγισης, φανερώθηκε πως υπήρχαν αρκετά κενά, καθιστώντας την εν λόγω προσέγγιση μη υλοποιήσιμη. Για το λόγο αυτό προτάθηκε η επόμενη έκδοση της προσέγγισης του μηχανισμού (2^ο ορόσημο), προκειμένου να επιλύσει όλα τα υπάρχοντα κενά της προηγούμενης προσέγγισης. Η εν λόγω προσέγγιση κατάφερε να επιλύσει όλα τα προβλήματα που υπήρχαν, επαληθεύοντας αυτό το γεγονός από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν. Βέβαια, βάσει των αποτελεσμάτων των πειραμάτων που παρήχθησαν, παρατηρήθηκε πως υπήρχαν κάποια επιμέρους προβληματικά σημεία στο μηχανισμό, ενώ κάποια άλλα μπορούσαν κάλλιστα να βελτιωθούν προκειμένου να παράγονται πιο γρήγορα και ακριβή αποτελέσματα. Για το λόγο αυτό, προτάθηκε η τελική έκδοση της προσέγγισης, η οποία όπως επαληθεύτηκε από τα αποτελέσματα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν ήταν ιδιαίτερα αποδοτική, επιτυγχάνοντας όλους τους επιμέρους στόχους που είχαν τεθεί, καθιστώντας την μία καινοτόμα και πολλά υποσχόμενη προσέγγιση.

1.3 Δομή Διατριβής

Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις υπάρχουσες προκλήσεις στο χώρο των CPS και του IoT, και ειδικότερα τις προκλήσεις της ενσωμάτωσης και της αξιοπιστίας των IoT συσκευών σε όλους τους τομείς, και ειδικότερα σε αυτόν της υγείας, η παρούσα Διδακτορική Διατριβή έχει δομηθεί ως ακολούθως:

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**, πραγματοποιείται μία εισαγωγή στις έννοιες των CPS και του IoT και στον τρόπο διασύνδεσής τους. Ακολούθως, αναλύεται η συνεισφορά των δύο (2) αυτών τεχνολογιών στον ευρύ τομέα της υγείας, εκφράζοντας την ανάγκη της κάλυψης πολλαπλών υπάρχουσών προκλήσεων, με αυτές της ενσωμάτωσης και της αξιοπιστίας των IoT συσκευών να ξεχωρίζουν μεταξύ άλλων. Επιπροσθέτως, αναλύεται η καινοτομία, η συνεισφορά και οι τελικοί στόχοι της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής, λαμβάνοντας υπόψη τις προαναφερθείσες προκλήσεις. Παράλληλα, πραγματοποιείται μία σύντομη ανασκόπηση σε παλαιότερες και κομβικές προσωπικές έρευνες, οι οποίες θεωρούνται ως ορόσημα για το τελικό αποτέλεσμα της έρευνας.

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**, αρχικά αναφέρεται η σχετική βιβλιογραφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε για τους τομείς των CPS και IoT, αναλύοντας τη σύνδεση που υπάρχει μεταξύ των δύο (2) αυτών τομέων, αλλά και τις επιμέρους ανάγκες ύπαρξης, τις υπάρχουσες προκλήσεις, τη γενική αρχιτεκτονική δομή της κάθε τεχνολογίας, καθώς και τις εφαρμογές/έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι και σήμερα στους τομείς αυτούς. Σε δεύτερο στάδιο, καθώς η παρούσα Διδακτορική Διατριβή επικεντρώθηκε κυρίως στον τομέα του IoT και των IoT συσκευών, και ειδικότερα στις προκλήσεις της ενσωμάτωσης και της εκτίμησης της αξιοπιστίας των συσκευών αυτών, στο εν λόγω Κεφάλαιο αναλύονται εκτενώς οι προκλήσεις της ενσωμάτωσης και της εκτίμησης της αξιοπιστίας των IoT συσκευών. Προς αυτή την κατεύθυνση, περιγράφονται οι σχετικές προκλήσεις, καθώς και οι προσεγγίσεις που έχουν προταθεί για να συμβάλλουν στην αντιμετώπισή τους, οι οποίες επηρέασαν την παρούσα Διδακτορική Διατριβή. Βάσει της εκτεταμένης έρευνας που πραγματοποιήθηκε στα προαναφερθέντα πεδία, η παρούσα Διδακτορική Διατριβή κατέληξε πως οι προκλήσεις τόσο της ενσωμάτωσης όσο και της εκτίμησης της αξιοπιστίας των IoT συσκευών χρήζουν αντιμετώπιση ιδιαίτερα στον τομέα της υγείας. Για το λόγο αυτό, αναλύεται λεπτομερώς η φύση της ύπαρξης των προκλήσεων της ενσωμάτωσης και της εκτίμησης της αξιοπιστίας των ιατρικών IoT συσκευών.

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**, αναλύεται η προτεινόμενη προσέγγιση Ενσωμάτωσης Αξιόπιστων Συσκευών στον κόσμο του IoT, προκειμένου να πραγματοποιεί την επιτυχή αναγνώριση και ενσωμάτωση ετερογενών IoT συσκευών τόσο γνωστού όσο και άγνωστου τύπου, σε συνδυασμό με την εκτίμηση των επιπέδων αξιοπιστίας των συσκευών αυτών, και τη συλλογή των δεδομένων μόνο των αξιόπιστων συσκευών. Ειδικότερα, γίνεται μια λεπτομερής αναφορά στις πιο κομβικές προσωπικές προσεγγίσεις που προτάθηκαν στο πλαίσιο της Διδακτορικής Διατριβής και συνέβαλαν στη δημιουργία της τελικής προτεινόμενης προσέγγισης, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματά τους. Παράλληλα, σε κάθε μία από τις κομβικές αυτές προσεγγίσεις καταγράφονται οι εκάστοτε αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στις διαφορετικές προσεγγίσεις, επισημαίνοντας τα ελαττώματα που εντοπίστηκαν σε κάθε μία από αυτές. Ακολουθώς, περιγράφονται οι τεχνικές της τελικής προσέγγισης της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής, αναφορικά με την εύρεση και τη σύνδεση των υφιστάμενων ετερογενών IoT συσκευών, την αναγνώριση του τύπου των συσκευών αυτών, τη συλλογή των δεδομένων τους, καθώς και την εκτίμηση της αξιοπιστίας τόσο των συσκευών αυτών καθ' αυτών όσο και των δεδομένων που οι συσκευές αυτές παράγουν, ώστε εν τέλει να ολοκληρωθεί η λειτουργία της προσέγγισης. Τέλος, παρατίθεται μία λεπτομερής επεξήγηση της εφαρμογής της προσέγγισης στον τομέα της υγείας, καταγράφοντας τη συμβολή και την αναγκαιότητα ύπαρξής της στο συγκεκριμένο τομέα.

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**, λαμβάνει χώρα η αξιολόγηση της προτεινόμενης προσέγγισης της ενσωμάτωσης αξιόπιστων συσκευών στον κόσμο του IoT, μέσω τριών (3) διαφορετικών πειραμάτων. Το 1^ο πείραμα πραγματοποιείται βάσει μίας συσκευής η οποία είναι ήδη γνωστή (τόσο ως προς τον τύπο της, όσο και ως προς την αξιοπιστία της), αποδεικνύοντας την εφαρμογή της προσέγγισης σε τέτοιου είδους περιπτώσεις. Το 2^ο πείραμα πραγματοποιείται βάσει μίας συσκευής η οποία δεν είναι εκ των προτέρων γνωστή στην προσέγγιση, μη παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τον τύπο και τα επίπεδα της αξιοπιστίας της. Βάσει των αποτελεσμάτων του εν λόγω πειράματος, αποδεικνύεται πως η προτεινόμενη προσέγγιση μπορεί επιτυχώς να αναγνωρίσει τον τύπο και τα επίπεδα αξιοπιστίας μιας άγνωστης συσκευής, αναγνωρίζοντας στην προκειμένη περίπτωση πως η συσκευή ήταν ένας παρακολουθητής δραστηριοτήτων υψηλής αξιοπιστίας, παρέχοντας εν τέλει τα δεδομένα του για περαιτέρω χρήση. Όπως και το 2^ο πείραμα, έτσι και το 3^ο πείραμα πραγματοποιείται βάσει μίας συσκευής η οποία δεν είναι από πριν γνωστή στην προσέγγιση, μη παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τον τύπο και τα επίπεδα της αξιοπιστίας της. Βάσει των αποτελεσμάτων του εν λόγω πειράματος, αποδεικνύεται πως και πάλι η προτεινόμενη προσέγγιση μπορεί επιτυχώς να αναγνωρίσει τον τύπο και τα επίπεδα αξιοπιστίας μιας άγνωστης συσκευής, καθώς

στην προκειμένη περίπτωση η προσέγγιση αναγνώρισε πως η συσκευή ήταν ένας παρακολουθητής δραστηριοτήτων, χαμηλής αξιοπιστίας, με αποτέλεσμα να μη ληφθούν τα δεδομένα του για περαιτέρω χρήση. Στο τέλος του Κεφαλαίου, πραγματοποιείται σχετική συζήτηση και ανάλυση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων όλων των πειραμάτων, παραθέτοντας σχετικά συμπεράσματα για την ολική επίδοση και απόδοση του μηχανισμού.

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**, πραγματοποιείται η σύνοψη της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής, καταγράφοντας τις βασικές συνεισφορές της στον κλάδο του IoT, και ειδικότερα στον τομέα της υγείας. Επιπλέον, περιγράφονται τα ανοιχτά ερευνητικά θέματα και οι μελλοντικοί στόχοι όπως αυτοί προέκυψαν από την τρέχουσα προσέγγιση της έρευνας, αναφορικά με την ένταξη και την αντιμετώπιση των υπάρχουσών προκλήσεων των CPS και των IoT τεχνολογιών σε όλους τους τομείς γενικότερα, αλλά και στον τομέα της υγείας ειδικότερα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Περιεχόμενα

- 2.1. Κυβερνοφυσικά Συστήματα
- 2.2. Διαδίκτυο των Αντικειμένων
- 2.3. Ενσωμάτωση Συσκευών στον κόσμο του Διαδικτύου των Αντικειμένων
- 2.4. Αξιοπιστία Συσκευών στον κόσμο του Διαδικτύου των Αντικειμένων

Περίληψη

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**, αρχικά αναφέρεται η σχετική βιβλιογραφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε για τους τομείς των CPS και IoT, αναλύοντας τη σύνδεση που υπάρχει μεταξύ των δύο (2) αυτών τομέων, αλλά και τις επιμέρους ανάγκες ύπαρξης, τις υπάρχουσες προκλήσεις, τη γενική αρχιτεκτονική δομή της κάθε τεχνολογίας, καθώς και τις εφαρμογές/έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι και σήμερα στους τομείς αυτούς. Σε δεύτερο στάδιο, καθώς η παρούσα Διδακτορική Διατριβή επικεντρώθηκε κυρίως στον τομέα του IoT και των IoT συσκευών, και ειδικότερα στις προκλήσεις της ενσωμάτωσης και της εκτίμησης της αξιοπιστίας των συσκευών αυτών, στο εν λόγω Κεφάλαιο αναλύονται εκτενώς οι προκλήσεις της ενσωμάτωσης και της εκτίμησης της αξιοπιστίας των IoT συσκευών. Προς αυτή την κατεύθυνση, περιγράφονται οι σχετικές προκλήσεις, καθώς και οι προσεγγίσεις που έχουν προταθεί για να συμβάλλουν στην αντιμετώπισή τους, οι οποίες επηρέασαν την παρούσα Διδακτορική Διατριβή. Βάσει της εκτεταμένης έρευνας που πραγματοποιήθηκε στα προαναφερθέντα πεδία, η παρούσα Διδακτορική Διατριβή κατέληξε πως οι προκλήσεις τόσο της ενσωμάτωσης όσο και της εκτίμησης της αξιοπιστίας των IoT συσκευών χρήζουν αντιμετώπιση ιδιαίτερα στον τομέα της υγείας. Για το λόγο αυτό, αναλύεται λεπτομερώς η φύση της ύπαρξης των προκλήσεων της ενσωμάτωσης και της εκτίμησης της αξιοπιστίας των ιατρικών IoT συσκευών.

2.1 Κυβερνοφυσικά Συστήματα

2.1.1 Ανάγκη Κυβερνοφυσικών Συστημάτων

Το διαδίκτυο έχει μεταμορφώσει τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αλληλοεπιδρούν και επικοινωνούν μεταξύ τους, βελτιώνοντας τον τρόπο με τον οποίο ανταλλάσσονται και γίνονται προσβάσιμες οι πληροφορίες που ανταλλάσσουν μεταξύ τους. Ομοίως, τα CPS θα μεταμορφώσουν τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αλληλοεπιδρούν και ελέγχουν τον φυσικό κόσμο γύρω από τη ζωή τους [34]. Έτσι, όπως το διαδίκτυο έχει μετασχηματίσει τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αλληλοεπιδρούν με τις πληροφορίες, έτσι και τα CPS θα αλλάξουν τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αλληλοεπιδρούν με τα συστήματα [35]. Αν και τα CPS χρησιμοποιούνται από τις αρχές της δεκαετίας του 1970, όταν άρχισαν να εμφανίζονται οι πρώτοι μικροεπεξεργαστές [36], δεν ήταν παρά μόνο το 2006, όταν η Helen Gill στο NSF στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής [37] δημιούργησε και ξεχώρισε την έννοια των CPS, προκειμένου να περιγράψει τα συστήματα που συνέδεαν το φυσικό κόσμο με το ψηφιακό [38]. Μέχρι στιγμής, τα CPS έχουν οριστεί από την επιστημονική κοινότητα από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Η πιο κοινή και ευρέως διαδεδομένη έννοια είναι αυτή που έχει προταθεί στο [39], βάσει του οποίου τα CPS ορίζονται ως φυσικά και μηχανικά συστήματα των οποίων οι λειτουργίες παρακολουθούνται, συντονίζονται, ελέγχονται και ενσωματώνονται από έναν κεντρικό υπολογιστικό πυρήνα. Στο ίδιο πλαίσιο, οι συγγραφείς του [40] επισημαίνουν πως τα CPS είναι μια νέα γενιά συστημάτων που διαθέτουν ολοκληρωμένες υπολογιστικές και φυσικές δυνατότητες οι οποίες μπορούν να αλληλοεπιδράσουν με τον άνθρωπο μέσω πολλών νέων τρόπων, ενώ τονίζουν πως αυτή η ικανότητα αλληλεπίδρασης και επέκτασης των δυνατοτήτων του φυσικού κόσμου μέσω του ψηφιακού, αποτελεί βασικό παράγοντα για τις μελλοντικές εξελίξεις στην τεχνολογία. Επιπλέον, οι συγγραφείς του [41] επισημαίνουν πως τα CPS είναι η επόμενη γενιά μηχανικών συστημάτων που απαιτούν τη στενή ενσωμάτωση τεχνολογιών πληροφορικής, επικοινωνίας και ελέγχου για την επίτευξη σταθερότητας, απόδοσης, αξιοπιστίας, και αποτελεσματικότητας προκειμένου να επιτυγχάνεται η αναβάθμιση των φυσικών συστημάτων σε ψηφιακών, ασχέτως του τομέα που αυτά προέρχονται (π.χ. μεταφορά, ενέργεια, ιατρική, και άμυνα). Τέλος αξιοσημείωτη είναι η προσέγγιση των συγγραφέων στο [42], όπου στην ουσία επισημαίνουν πως τα CPS έχουν καταφέρει την επιτυχή σύνδεση του υλικού και του λογισμικού, δημιουργώντας έτσι έξυπνα συστήματα/συσκευές που λειτουργούν αυτόνομα, επιτρέποντας τόσο αποτελεσματικές ροές εργασίας από άκρο σε άκρο όσο και νέες μορφές αλληλεπίδρασης του χρήστη μεταξύ των μηχανών σε ένα ευρύ φάσμα τομέων εφαρμογής.

Βάσει όλων των προαναφερθέντων εννοιών, οι συγγραφείς στο [43] έκαναν μία σύνοψη της έννοιας των CPS, αναφέροντας πως είναι πολύπλοκα, πολυεπιστημονικά και φυσικά συστήματα νέας γενιάς που ενσωματώνουν την τεχνολογία πληροφορικής (ψηφιακό μέρος) στα φυσικά αντικείμενα (φυσικό μέρος), χρησιμοποιώντας μετασχηματιστικές ερευνητικές προσεγγίσεις. Αυτή η ενσωμάτωση περιλαμβάνει κυρίως την παρατήρηση, την επικοινωνία, αλλά και τον έλεγχο όλων των φυσικών αυτών αντικειμένων από την πολυεπιστημονική προοπτική. Με λίγα λόγια λοιπόν, τα CPS επιτυγχάνουν την ενορχήστρωση των υπολογιστικών και των φυσικών συστημάτων, όπου οι ενσωματωμένοι υπολογιστές παρακολουθούν και ελέγχουν τις φυσικές διαδικασίες, οι οποίες με τη σειρά τους επηρεάζουν τους υπολογιστές, και το αντίστροφο [38]. Πρόκειται λοιπόν για εξειδικευμένα συστήματα πληροφορικής που αλληλοεπιδρούν με αντικείμενα ελέγχου ή διαχείρισης, ενσωματώνοντας την πληροφορική, την επικοινωνία και την αποθήκευση δεδομένων με αντικείμενα και φυσικές διεργασίες του πραγματικού κόσμου, με έναν ασφαλές και αποτελεσματικό τρόπο που πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο [35]. Ως εκ τούτου, υποστηρίζεται πως τα CPS έχουν ενσωματώσει και διανέμει πληροφορίες, λειτουργώντας αξιόπιστα, ασφαλώς, αποτελεσματικά και σε πραγματικό χρόνο, ικανοποιώντας πάντα τους περιορισμούς της ιδιωτικής ζωής [34]. Σαν αποτέλεσμα αυτού είναι ικανά να παρέχουν διάφορες υπηρεσίες, όπως έξυπνες πλατφόρμες, υπηρεσίες βασισμένες στο νέφος (cloud), πλατφόρμες και υπηρεσίες προσομοίωσης, και πλατφόρμες και λύσεις διαλειτουργικότητας, για την επιτυχή διασύνδεση φυσικών και ψηφιακών περιβαλλόντων. Επομένως, τα CPS είναι μια πολλά υποσχόμενη νέα κατηγορία συστημάτων που ενσωματώνουν σε βάθος τις δυνατότητες του ψηφιακού κόσμου στον φυσικό κόσμο, είτε σε ανθρώπους, υποδομές ή πλατφόρμες, για να μεταμορφώσουν τις αλληλεπιδράσεις με τον κόσμο αυτό. Οι πρόοδοι στον ψηφιακό κόσμο, όπως οι επικοινωνίες, η δικτύωση, η ανίχνευση, ο υπολογισμός, η αποθήκευση και ο έλεγχος, καθώς και οι πρόοδοι στον φυσικό κόσμο, όπως τα υλικά, και τα ανανεώσιμα «πράσινα» καύσιμα, συγκλίνουν στο να πραγματοποιήσουν αυτήν τη συγχώνευση των δύο (2) κόσμων, καθώς η επιτυχής συνεργασία αυτών εξαρτάται θα επωφεληθεί άμεσα από την αξιοποίηση των αισθητήρων και των ενεργοποιητών που θα μπορούν να χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση και την επίδραση των αλλαγών που θα επιφέρει η συνεργασία αυτή [44].

Γενικότερα, καθίσταται ξεκάθαρο πως ο όρος των CPS έχει απασχολήσει ιδιαίτερα την ερευνητική κοινότητα. Βέβαια, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως ο όρος των CPS έχει γεννηθεί εδώ και μερικά χρόνια. Η ιδέα υπήρχε εδώ και αρκετές δεκαετίες, καθώς η κοινότητα της Επιστήμης και Τεχνολογίας Υπολογιστών (Computer Science and Engineering, CSE) ασχολήθηκε με αυτά αποκαλώντας τα

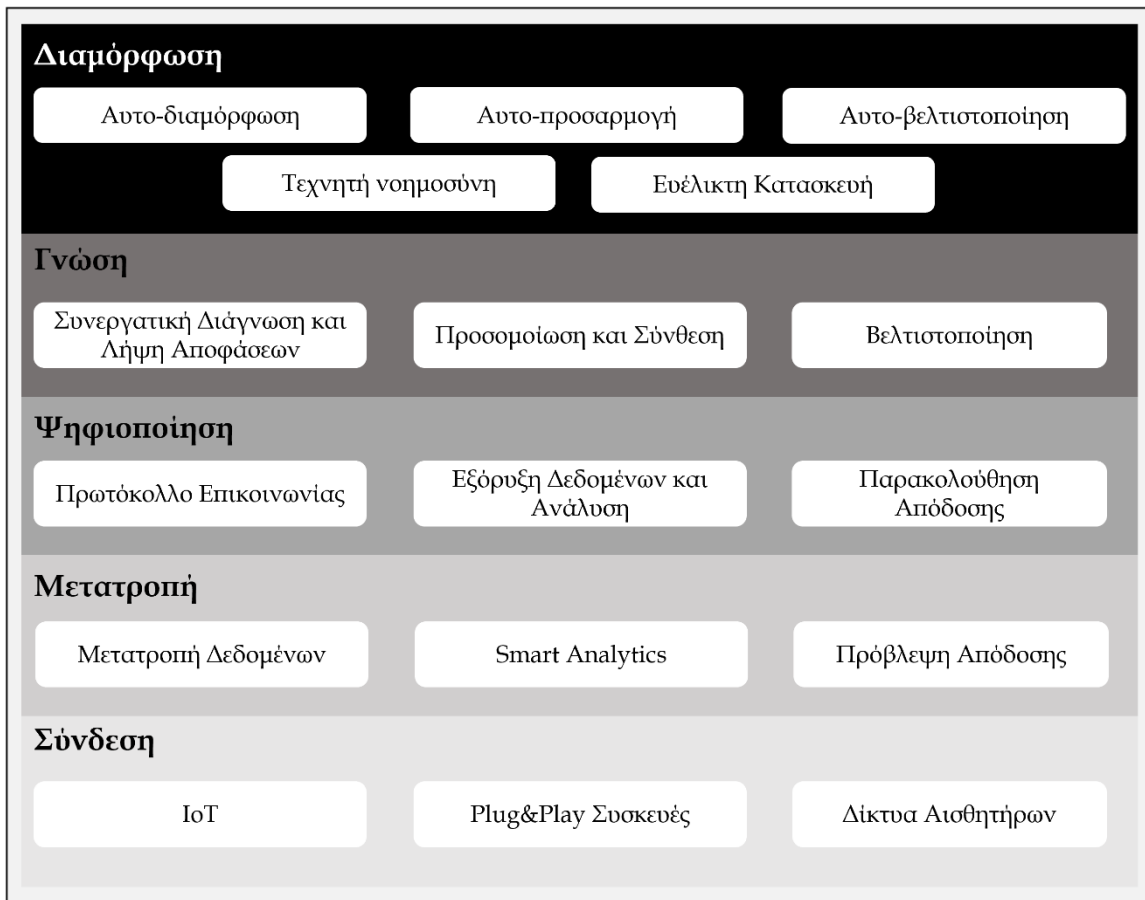
CPS ως «συστήματα υπολογιστών σε πραγματικό χρόνο» ή αλλιώς «ενσωματωμένα συστήματα υπολογιστών» [45]. Η ενσωμάτωση βέβαια φυσικών διεργασιών και ψηφιακών δεν είναι καινούργια. Ο όρος «ενσωματωμένα συστήματα» είχε χρησιμοποιηθεί για κάποιο χρονικό διάστημα για να περιγράψει μηχανικά συστήματα που συνδυάζουν τις φυσικές διεργασίες με τις υπολογιστικές [46]. Έτσι, τα CPS δεν εμφανίστηκαν ξαφνικά από το πουθενά, αλλά έχουν μια μακρά ιστορία ανάπτυξης, η οποία εξελίσσεται συνεχώς, ξεκινώντας από την εποχή των ενσωματωμένων συστημάτων. Συγκεκριμένα, η έννοια των ενσωματωμένων συστημάτων εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1950 και βρίσκεται σε ραγδαία ανάπτυξη ακόμα και σήμερα, έχοντας ακολουθήσει την εξής εξέλιξη ως: (i) συστήματα διαχείρισης πληροφοριών (δεκαετία του 1960), (ii) ενσωματωμένα συστήματα υπολογιστών (1970), (iii) ενσωματωμένα καταναμημένα συστήματα (1990), και (iv) CPS (από το 2006). Η Helen Gill, η οποία ήταν τότε ο Διευθυντής του Εθνικού Ιδρύματος Επιστημών του Ηνωμένου Βασιλείου στον τομέα των ενσωματωμένων και υβριδικών συστημάτων, επεξεργάστηκε τον όρο CPS το 2006. Ωστόσο, σε σύγκριση με τα ενσωματωμένα συστήματα, πολύ περισσότερα φυσικά στοιχεία εμπλέκονται στα CPS. Μία σημαντική διαφορά μεταξύ του CPS και ενός τακτικού συστήματος ελέγχου ή ενός ενσωματωμένου συστήματος είναι η χρήση επικοινωνιών, η οποία προσθέτει επαναπροσδιορισμό, κλιμάκωση, και πολυπλοκότητα, καθώς και πιθανή αστάθεια. Στα ενσωματωμένα συστήματα, η βασική εστίαση είναι στο στοιχείο της πληροφορικής, ενώ στα CPS, το κλειδί είναι στη σχέση μεταξύ υπολογιστικών και φυσικών στοιχείων. Για το λόγο αυτό, το CPS συμβολίζεται με το σύμβολο C3 (Υπολογισμός, Επικοινωνία και Έλεγχος (Computation, Communication, and Control)) [35], [44], υποδηλώνοντας ότι τα συστήματα αυτά παρέχουν πλέον στους ανθρώπους περισσότερες ιδιότητες και λειτουργικότητες. Αυτό που αξίζει επίσης να αναφερθεί είναι ο όρος «κυβερνοχώρος» που σχετίζεται άμεσα με τα CPS. Λεπτομερέστερα, ο σχετικός όρος «κυβερνοχώρος» αποδίδεται στον William Gibson, ο οποίος χρησιμοποίησε τον όρο αυτόν στο μυθιστόρημα *Neuromancer*, αν και οι ρίζες του είναι πολύ παλαιότερες και βαθύτερες. Θα ήταν ακριβέστερο να θεωρούνται οι όροι «κυβερνοχώρος» και CPS ως αποτέλεσμα της ίδιας ρίζας (δηλαδή *cybernetics*), η οποία δημιουργήθηκε από τον Norbert Wiener [47], Αμερικανό μαθηματικό που είχε μεγάλο αντίκτυπο στην ανάπτυξη της θεωρίας των συστημάτων ελέγχου. Ο Wiener εμπνεύστηκε αυτόν τον όρο από την ελληνική λέξη του κυβερνήτη (*kybernetes*). Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, η Wiener πρωτοστάτησε στην τεχνολογία για τον αυτόματο στόχο και την πυροδότηση αντιπυραυλικών όπλων. Παρόλο που οι μηχανισμοί που χρησιμοποίησαν δεν αφορούσαν ψηφιακούς υπολογιστές, οι σχεδιαστικές και λειτουργικές αρχές που είχαν εφαρμοστεί σε αυτούς ήταν παρόμοιες με εκείνες που χρησιμοποιούνται στα σημερινά υπολογιστικά

συστήματα ελέγχου. Ως εκ τούτου λοιπόν, τα CPS έκαναν την εμφάνισή τους πολύ παλαιότερα στο παρελθόν, και συνοδεύονται μια μακρά ιστορία, η οποία συνεχίζεται να εξελίσσεται.

Ειδικά στην σημερινή εποχή, η ανάγκη για την εφαρμογή των CPS ωθείται από πολλές πρόσφατες τάσεις: τον πολλαπλασιασμό των αισθητήρων χαμηλού κόστους και αυξημένης ικανότητας, τη διαθεσιμότητα συσκευών χαμηλού κόστους, χαμηλής κατανάλωσης, υψηλής χωρητικότητας, καθώς και μικρού μεγέθους, την επανάσταση της ασύρματης επικοινωνίας, το άφθονο εύρος ζώνης του διαδικτύου, καθώς και τη συνεχή βελτίωση της ενεργειακής ικανότητας, των εναλλακτικών πηγών ενέργειας και της συγκομιδής ενέργειας. Η ανάγκη για την εφαρμογή των CPS καθίσταται επίσης αναγκαία από τους πωλητές των CPS σε όλους τους τομείς, όπως η αεροδιαστημική, η οικοδόμηση και ο περιβαλλοντικός έλεγχος, ο έλεγχος των διαδικασιών, και η αυτοματοποίηση των διεργασιών σε εργοστάσια και περιβάλλοντα υγειονομικής περίθαλψης, οι οποίοι ανακαλύπτουν ολοένα και περισσότερο πως τα CPS αποτελούν την τεχνολογική βάση για τη δημιουργία μεγάλης κλίμακας σωστά δομημένων, οικονομικών, και ευέλικτων συστημάτων [39]. Τα CPS λοιπόν, μπορούν να συμβάλουν αποφασιστικά στις υπάρχουσες σημερινές προκλήσεις όπως η αντιμετώπιση της γήρανσης του πληθυσμού, η αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος, η βελτίωση των θεμάτων της υγείας και της δημόσιας ασφάλειας, η υποστήριξη της αλλαγής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ο προγραμματισμός μεγιστοποιήσεων, και η αντιμετώπιση των περιορισμένων πόρων [48]. Από δω και στο εξής, καθίσταται σαφές ότι τα CPS ανατρέπουν τις οικονομικές και τις κοινωνικές διαδικασίες, καθώς η αποτελεσματική ανάπτυξή τους, η υιοθεσία και η χρήση τους αποφέρουν αλλαγές/βελτιώσεις σε διάφορους τομείς, όπως στις πολιτικές, νομικές, επιχειρηματικές και κοινωνικές επιστήμες, καθώς και στην τεχνολογία [49].

2.1.2 Αρχιτεκτονική Κυβερνοφυσικών Συστημάτων

Καθώς τα CPS αποτελούν την ενσωμάτωση του φυσικού με τον ψηφιακό κόσμο, αντιπροσωπεύονται από ένα σύνολο ηλεκτρονικών και μηχανικών στοιχείων που συνδέονται μεταξύ τους μέσω αισθητήρων και δικτύων που παρέχουν την έξυπνη ροή και ανάλυση των δεδομένων [50]. Η πολυπλοκότητα αυτών των συστημάτων αποτελεί σημαντικό και ουσιαστικό μέρος του σύγχρονου εξοπλισμού. Λόγω αυτής της πολυπλοκότητας, τα CPS που σχεδιάζονται πρέπει να πληρούν ορισμένα κριτήρια και να εξετάζουν τη δυνατότητα εφαρμογής τους τόσο σε διάφορους τομείς όσο και σε διαφορετικούς τύπους διαδικασιών παραγωγής. Στο πλαίσιο αυτό, έχουν προταθεί διάφορα ερευνητικά έργα που αφορούν τη σωστή σχεδίαση και υλοποίηση των CPS. Ωστόσο, η πιο αξιολογούμενη που έχει γίνει κοινώς αποδεκτή και υλοποιείται από τις περισσότερες έρευνες είναι αυτή που έχει προταθεί στο [51], όπου οι συγγραφείς περιγράφουν μια μέθοδο υλοποίησης των CPS, εφαρμόζοντας μία αρχιτεκτονική πέντε (5) επιπέδων, που αναφέρεται ως 5C (Σύνδεση, Μετατροπή, Ψηφιοποίηση, Γνώση, Διαμόρφωση (Connection, Conversion, Cyber, Cognition, Configuration)), όπως απεικονίζεται και στην Εικόνα 6.



Εικόνα 6. Γενική αρχιτεκτονική CPS

Ειδικότερα, η προτεινόμενη δομή των πέντε (5) αυτών επιπέδων, παρέχει μια κατευθυντήρια γραμμή βήμα προς βήμα για τη σχεδίαση και την ανάπτυξη ενός επιτυχημένου CPS. Γενικά, ένα CPS αποτελείται από δύο (2) κύριες λειτουργικές συνιστώσες: (i) την προηγμένη συνδεσιμότητα που εξασφαλίζει την απόκτηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από τον φυσικό κόσμο και την μετέπειτα ανατροφοδότηση των σχετικών πληροφοριών από τον ψηφιακό κόσμο, και (ii) την έξυπνη διαχείριση δεδομένων, την ανάλυση και την υπολογιστική ικανότητα που απαρτίζουν τον ψηφιακό κόσμο. Ωστόσο, αυτές οι δύο (2) συνιστώσες είναι πολύ αφηρημένες και δεν είναι αρκετά συγκεκριμένες για το σκοπό της εφαρμογής των CPS. Αντίθετα, η αρχιτεκτονική των πέντε (5) επιπέδων ορίζει σαφώς μέσω ενός διαδοχικού τρόπου ροής εργασιών, πώς πρέπει να κατασκευαστεί ένα CPS, από την αρχική απόκτηση δεδομένων, έως την ανάλυση και την τελική δημιουργία αξίας από τα δεδομένα αυτά. Όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 6, η λεπτομερής αρχιτεκτονική αποτελείται από τα πέντε (5) επίπεδα της Σύνδεσης, της Μετατροπής, της Ψηφιοποίησης, της Γνώσης, και της Διαμόρφωσης [5], [52], [53]:

Σύνδεση (Connection): Η σύνδεση των συστημάτων και των επιμέρους εξαρτημάτων τους για την απόκτηση ακριβών και αξιόπιστων δεδομένων, αποτελεί το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη ενός επιτυχούς CPS. Στο πλαίσιο αυτό, διαφορετικές συσκευές ή αισθητήρες μπορεί να χρησιμοποιούνται για την απόκτηση ποικίλων δεδομένων, ενώ οι αισθητήρες αυτοί μπορεί να είναι εγκατεστημένοι για την απόκτηση φαινομενικών δεδομένων. Για το σκοπό αυτό, σε αυτό το επίπεδο χρησιμοποιούνται ειδικά πρωτόκολλα, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στην IoT τεχνολογία, για να διεκπεραιώνουν τόσο τη μεταφορά όσο και τη διαχείριση των συλλεχθέντων δεδομένων. Έτσι λοιπόν, αυτό το επίπεδο αποτελείται από τους έξυπνους αισθητήρες και τους ρυθμιστές που διασυνδέονται άμεσα με IoT την τεχνολογία.

Μετατροπή (Conversion): Εφόσον τα δεδομένα συλλεχθούν, πρέπει να αξιοποιηθούν και να μετατραπούν σε σημαντικές πληροφορίες. Για το λόγο αυτό, σε αυτό το επίπεδο, όλα τα αποκτημένα δεδομένα μετατρέπονται σε χρήσιμες πληροφορίες. Επί του παρόντος, υπάρχουν αρκετά εργαλεία και μεθοδολογίες διαθέσιμες για το επίπεδο μετατροπής των δεδομένων σε πληροφορίες. Παραδειγματος χάριν, αναπτύσσονται ορισμένοι μηχανισμοί για τη μετατροπή των δεδομένων σε χρήσιμες πληροφορίες, ακόμα και προγνωστικές πληροφορίες, όπως η αξία της υγείας και η υπολειπόμενη ωφέλιμη ζωή, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μηχανική πρόγνωση και στη διαχείριση της υγείας των μηχανών.

Ψηφιοποίηση (Cyber): Το επίπεδο της ψηφιοποίησης των πληροφοριών, λειτουργεί ως ο κεντρικός κόμβος πληροφοριών σε αυτήν την αρχιτεκτονική. Οι πληροφορίες ωθούνται σε αυτόν από κάθε συνδεδεμένο μηχανή για να σχηματίσουν το δίκτυο μηχανών. Δεδομένου ότι σε αυτό το επίπεδο συγκεντρώνεται μεγάλος όγκος πληροφοριών, χρησιμοποιούνται ειδικά εργαλεία ανάλυσης για την εξαγωγή πρόσθετων πληροφοριών που παρέχουν καλύτερη εικόνα για την κατάσταση των επιμέρους μηχανών. Αυτά τα εργαλεία παρέχουν την ικανότητα της αυτοσυσχέτισης, όπου η απόδοση μιας μόνο μηχανής μπορεί να συγκριθεί και να αξιολογηθεί μεταξύ όλων των υπολοίπων. Επιπλέον, μπορούν να καταγράψουν τις ομοιότητες μεταξύ της απόδοσης μιας μηχανής και των προηγούμενων σχετικών στοιχείων (ιστορικές πληροφορίες) της, ώστε να προβλέπεται η μελλοντική συμπεριφορά της εκάστοτε μηχανής.

Γνώση (Cognition): Σε αυτό το επίπεδο, παρέχεται η κατάλληλη παρουσίαση των πληροφοριών που έχουν αναλυθεί στους χρήστες, για πραγματοποιείται η αντίστοιχη λήψη αποφάσεων. Έτσι, η εφαρμογή των CPS σε αυτό το επίπεδο καθιστά δυνατή την απομακρυσμένη και συνεργατική διάγνωση και τη λήψη αποφάσεων, ενώ η προτεραιότητα των καθηκόντων για τη διαδικασία της συντήρησης των μηχανών μπορεί εύκολα να προσδιοριστεί λόγω της διαθεσιμότητας των συγκριτικών πληροφοριών και της κατάστασης της εκάστοτε μηχανής.

Διαμόρφωση (Configuration): Τέλος, το επίπεδο διαμόρφωσης είναι υπεύθυνο για να στέλνει την ανατροφοδότηση πίσω από το ψηφιακό μέρος του CPS στο φυσικό μέρος. Το επίπεδο αυτό εκτελεί τον εποπτικό έλεγχο για την αυτοματοποίηση των μηχανών, την αυτοπροσαρμογή τους, καθώς και την αυτοβελτιστοποίησή τους. Στην ουσία λειτουργεί ως το σύστημα ελέγχου της ανθεκτικότητας του συνολικού CPS, για την εφαρμογή των ελέγχων που αντιστοιχούν στις αποφάσεις που λαμβάνονται στο επίπεδο της γνώσης στις παρακολουθούμενες μηχανές.

2.1.3 Προκλήσεις Κυβερνοφυσικών Συστημάτων

Όπως όλα τα συστήματα, έτσι και CPS κατακλύζονται από αρκετές προκλήσεις λόγω της πολυπλοκότητάς τους. Πιο συγκεκριμένα, τα CPS σε σύγκριση με τα καθαρά υπολογιστικά ή καθαρά φυσικά συστήματα, παρουσιάζουν αρκετές προκλήσεις, καθώς η σύνδεση μεταξύ των υπολογιστικών και των φυσικών οντοτήτων δεν είναι πάντα ομαλή. Λόγω του πολλαπλασιασμού των συσκευών και της μεγάλης κλίμακας συνδεσιμότητας, πολλές λειτουργίες είναι πλέον εφικτές με τη χρήση των CPS. Πιο συγκεκριμένα, ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί ειδικότερα στην αντιμετώπιση όλων των ακόλουθων προκλήσεων που αντιμετωπίζονται ως θεμελιώδεις απαιτήσεις ενός CPS [39], [54], [55], [56], [57], [58]:

Αξιοπιστία (Dependability): Η αξιοπιστία αναφέρεται στην ιδιότητα ενός συστήματος να μπορεί να εκτελεί τις απαιτούμενες ενέργειες κατά τη λειτουργία του, χωρίς σημαντική υποβάθμιση της απόδοσής του και του αποτελέσματός του. Στην ουσία η αξιοπιστία αντανακλά τον βαθμό εμπιστοσύνης που έχει τεθεί σε ολόκληρο το σύστημα. Ως εκ τούτου, ένα πολύ αξιόπιστο CPS πρέπει να λειτουργεί σωστά χωρίς παρεμβολή, να παρέχει τις ζητούμενες υπηρεσίες όπως αυτές καθορίζονται, και να μην αποτυγχάνει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Η εξασφάλιση της αξιοπιστίας πριν από την πραγματική λειτουργία του συστήματος είναι ένα πολύ δύσκολο έργο. Για παράδειγμα, οι αβεβαιότητες χρονισμού όσον αφορά τις ενδείξεις αισθητήρων και την άμεση ενεργοποίηση ενδέχεται να υποβαθμίσουν την αξιοπιστία ενός CPS και να οδηγήσουν σε απρόβλεπτες συνέπειες. Τα κυκλώματα και τα φυσικά στοιχεία του συστήματος είναι εγγενώς αλληλεξαρτώμενα και τα υποκείμενα εξαρτήματα ενδέχεται να αλληλοσυνδέονται δυναμικά κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος, κάτι που καθιστά την ανάλυση αξιοπιστίας πολύ δύσκολη. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να εισάγεται στο στάδιο του σχεδιασμού μια κοινή γλώσσα για την έκφραση πληροφοριών σχετικά με την αξιοπιστία μεταξύ των συστατικών συστημάτων/υποκείμενων στοιχείων [59], [60].

Συντήρηση (Maintainability): Η δυνατότητα συντήρησης αναφέρεται στην ιδιότητα ενός συστήματος να μπορεί να επισκευαστεί σε περίπτωση αποτυχίας. Ένα εξαιρετικά διατηρήσιμο σύστημα θα πρέπει να επισκευάζεται με απλό και γρήγορο τρόπο με τα ελάχιστα έξοδα υποστήριξης των πόρων, και χωρίς να προκαλεί πρόσθετα σφάλματα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συντήρησής του. Με τη στενή αλληλεπίδραση μεταξύ των συνιστωσών του συστήματος (π.χ. αισθητήρες, ενεργοποιητές, ψηφιακά εξαρτήματα, και φυσικές συνιστώσες) που αποτελούν τη βάση της υποδομής ενός CPS, μπορούν να προταθούν αυτόνομοι μηχανισμοί πρόγνωσης /διορθωτικών διαγνωστικών. Η συνεχής παρακολούθηση

και δοκιμή της υποδομής μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω αυτών των μηχανισμών, έχοντας ως αποτέλεσμα την εύρεση των μονάδων που χρειάζονται επισκευή. Έτσι, τα εξαρτήματα που τυχάνει να είναι η πηγή επαναλαμβανόμενων βλαβών, μπορούν να επανασχεδιαστούν ή να απορριφθούν και να αντικατασταθούν από αντίστοιχα άλλα εξαρτήματα που έχουν καλύτερη ποιότητα [61], [62].

Διαθεσιμότητα (Availability): Η διαθεσιμότητα αναφέρεται στην ιδιότητα ενός συστήματος να είναι έτοιμο για πρόσβαση ακόμα και όταν παρουσιάζονται σφάλματα. Ένα εξαιρετικά διαθέσιμο σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση να απομονώνει το χαλασμένο τμήμα του και να συνεχίζει να λειτουργεί χωρίς αυτό. Οι κακόβουλες επιθέσεις στον ψηφιακό κόσμο (π.χ. επιθέσεις άρνησης παροχής υπηρεσιών) εμποδίζουν σημαντικά τη διαθεσιμότητα των υπηρεσιών του συστήματος. Για παράδειγμα, στα ιατρικά CPS, τα ιατρικά δεδομένα που συλλέγονται ρίχνουν φως στις απαραίτητες ενέργειες που πρέπει να ληφθούν έγκαιρα για να σωθούν οι ασθενείς. Οι κακόβουλες επιθέσεις ή η αποτυχία ενός τέτοιου είδους CPS/στοιχείου του, ενδέχονται να καταστήσουν τις υπηρεσίες που παρέχουν αυτά τα δεδομένα σε μη διαθέσιμες, και συνεπώς να θέτουν σε κίνδυνο τη ζωή του ασθενούς [63].

Ασφάλεια (Safety): Η ασφάλεια αναφέρεται στην ιδιοκτησία ενός συστήματος ώστε να μην προκαλεί καμιά βλάβη, κίνδυνο ή κίνδυνο εντός ή εκτός αυτού κατά τη λειτουργία του. Ένα πολύ ασφαλές σύστημα θα πρέπει να συμμορφώνεται σε μεγάλο βαθμό τόσο με τους γενικούς κανονισμούς όσο και με τους κανονισμούς ασφαλείας για συγκεκριμένες εφαρμογές, και να αναπτύσσει μηχανισμούς διασφάλισης της ασφαλείας σε περίπτωση που κάτι πάει στραβά. Για παράδειγμα, μεταξύ των στόχων μίας έξυπνης εργοστασιακής κατασκευής, είναι η παρακολούθηση της βιώσιμης παραγωγής και η διαχείριση των διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο σε όλο το εργοστάσιο, ώστε επιτυγχάνεται η ασφάλεια αυτών στο μέγιστο βαθμό τους. Η ασφάλεια των εργοστασίων παραγωγής μπορεί να βελτιστοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό μέσω του αυτοματοποιημένου ελέγχου διαδικασιών, χρησιμοποιώντας ενσωματωμένα συστήματα ελέγχου και πλαίσια συλλογής δεδομένων (συμπεριλαμβανομένων των αισθητήρων) σε ολόκληρη την εργοστασιακή κατασκευή. Οι έξυπνοι δικτυωμένοι αισθητήρες θα μπορούσαν να ανιχνεύσουν λειτουργικές βλάβες/ανωμαλίες και να βοηθήσουν στην πρόληψη καταστροφικών συμβάντων εξαιτίας αυτών των βλαβών/ανωμαλιών [64].

Αξιοπιστία (Reliability): Η αξιοπιστία αναφέρεται στον βαθμό ορθότητας που παρέχει ένα σύστημα για την εκτέλεση της λειτουργίας του. Η πιστοποίηση των δυνατοτήτων του συστήματος σχετικά με το πώς πραγματοποιούνται σωστά όλες οι ενέργειες, δεν σηματοδοτεί πως αυτές γίνονται και αντίστοιχα σωστά. Έτσι, ένα πολύ αξιόπιστο σύστημα φροντίζει να πραγματοποιεί τις ενέργειές του σωστά. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι τα CPS αναμένεται να λειτουργούν αξιόπιστα σε ανοιχτά, συνεχώς εξελισσόμενα και αβέβαια περιβάλλοντα, η αβεβαιότητα στη γνώση, στα διαφορετικά χαρακτηριστικά ή στο αποτέλεσμα μιας διαδικασίας στην υποδομή του CPS, καθιστά αναγκαία την ποσοτικοποίηση των αβεβαιοτήτων κατά τη φάση σχεδιασμού των CPS. Αυτή η ανάλυση αβεβαιότητας θα αποφέρει αποτελεσματικό χαρακτηρισμό αξιοπιστίας των CPS. Εκτός αυτού, η ακρίβεια των φυσικών και ψηφιακών στοιχείων, τα πιθανά σφάλματα στη ροή σχεδιασμού/ελέγχου, και οι διασυνδέσεις δικτύου μεταξύ άγνωστων τομέων, περιορίζουν την αξιοπιστία των CPS, ενώ στα χειρότερα σενάρια θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε διακοπή υπηρεσίας, και ακόμη και απώλεια ανθρώπινης ζωής [65], [66].

Ανθεκτικότητα (Robustness): Η ανθεκτικότητα αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος να διατηρεί σταθερή διαμόρφωση και να αντέχει τυχόν αποτυχίες. Ένα ιδιαίτερα ανθεκτικό σύστημα θα πρέπει να συνεχίζει να λειτουργεί, και ας υπάρχουν τυχόν βλάβες, χωρίς να υφίσταται ουσιαστικές αλλαγές στην αρχική του διαμόρφωση, και να αποτρέπει αυτές τις αποτυχίες από την παρεμπόδιση ή διακοπή της λειτουργίας του. Εκτός από τις αστοχίες, η παρουσία διαταραχών που πιθανώς προκύπτουν από τους θορύβους των αισθητήρων, τις ανακρίβειες των ενεργοποιητών, τα ελαττωματικά κανάλια επικοινωνίας, τα πιθανά σφάλματα υλικού ή τα σφάλματα λογισμικού, ενδέχεται να υποβαθμίσουν τη συνολική ευρωστία ενός CPS. Επιπλέον, η έλλειψη δυναμικής ολοκληρωμένης συστηματικής μοντελοποίησης (π.χ. πραγματικές περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες λειτουργούν τα CPS), εξελισσόμενου λειτουργικού περιβάλλοντος ή απρόβλεπτων γεγονότων, είναι άλλοι συγκεκριμένοι μη αμελητέοι παράγοντες, οι οποίοι μπορεί να είναι αναπόφευκτοι στο χρόνο εκτέλεσης. Συνεπώς η ανάγκη για ισχυρό και ανθεκτικό σχεδιασμό των CPS καθίσταται αναγκαία [67].

Προβλεψιμότητα (Predictability): Η προβλεψιμότητα αναφέρεται στον βαθμό πρόβλεψης της κατάστασης/συμπεριφοράς/λειτουργικότητας του συστήματος, είτε ποιοτικά είτε ποσοτικά. Ένα ιδιαίτερα προβλέψιμο σύστημα θα πρέπει να εγγυάται σε μεγάλο βαθμό την καθορισμένη έκβαση της συμπεριφοράς/λειτουργικότητάς του σε κάθε στιγμή του χρόνου κατά τον οποίο λειτουργεί, ενώ θα πρέπει να ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις του συστήματος. Για παράδειγμα, στα ιατρικά CPS, οι έξυπνες ιατρικές συσκευές μαζί με τις εξελιγμένες

τεχνολογίες ελέγχου υποτίθεται ότι είναι καλά προσαρμοσμένες στις συνθήκες του ασθενούς, ικανές να προβλέπουν τις κινήσεις του, και να αλλάζουν τα χαρακτηριστικά τους με βάση τις απαιτήσεις του περιβάλλοντός του. Πολλές ιατρικές συσκευές εκτελούν τις ενέργειές του σε πραγματικό χρόνο, ικανοποιώντας διαφορετικούς περιορισμούς χρονισμού, και εμφανίζοντας ποικίλη ευαισθησία στις αβεβαιότητες του χρονοδιαγράμματος (π.χ. καθυστερήσεις, θόρυβοι κλπ.). Ωστόσο, δεν είναι όλες οι συνιστώσες των ιατρικών CPS χρονικά προβλέψιμες. Συνεπώς, εκτός από τις νέες δυνατότητες προγραμματισμού και δικτύωσης, θα πρέπει να αναπτυχθούν νέες πολιτικές κατανομής πόρων και προγραμματισμού, ώστε να εξασφαλιστούν οι προβλέψιμοι περιορισμοί χρονισμού από άκρο σε άκρο [68], [69].

Ακρίβεια (Accuracy): Η ακρίβεια αναφέρεται στον βαθμό προσέγγισης του αποτελέσματος μέτρησης/παρακολούθησης ενός συστήματος στον αντίστοιχο πραγματικό/υπολογισμένο του. Ένα εξαιρετικά ακριβές σύστημα θα πρέπει να συγκλίνει όσο πιο πολύ γίνεται στο πραγματικό αποτέλεσμα. Η υψηλή ακρίβεια απαιτείται ιδιαίτερα στις εφαρμογές των CPS όπου ακόμη και μικρές ασάφειες είναι πιθανό να προκαλέσουν βλάβες στο σύστημα. Για παράδειγμα, ένα σύστημα εντοπισμού αντικειμένων με κίνηση, υπό την παρουσία ατελειών στους αισθητήρες του, μπορεί να λάβει σχετική ενέργεια ελέγχου βασιζόμενη σε εσφαλμένη εκτίμηση θέσης αντικειμένων, η οποία εν συνεχεία να οδηγήσει στη συνολική αποτυχία του συστήματος [70].

Συνθετικότητα (Compositionality): Η συνθετικότητα αναφέρεται στην ιδιότητα του πόσο καλά μπορεί να κατανοηθεί πλήρως ένα σύστημα, εξετάζοντας κάθε επιμέρους μέρος του. Ένα εξαιρετικά σύνθετο σύστημα θα πρέπει να παρέχει μια κατανοητή γενική εικόνα για το σύνολο των συστατικών στοιχείων που το απαρτίζουν. Η επίτευξη υψηλής σύνθεσης στο σχεδιασμό ενός CPS είναι πολύ δύσκολη, ειδικά λόγω της χαοτικής συμπεριφοράς των φυσικών υποσυστημάτων που το αποτελούν. Ο σχεδιασμός ενός εξαιρετικά σύνθετου CPS περιλαμβάνει ισχυρές μελέτες σχετικά με τη συμπεριφορά όλων των υπάρχουσών φυσικών υποσυστημάτων/συνιστωσών, και την ανάπτυξη υπολογιστικών μεθόδων για τη συναρμολόγηση των CPS από μεμονωμένα ψηφιακά και φυσικά συστατικά, ενώ απαιτούνται σαφώς καθορισμένα μαθηματικά μοντέλα του συνολικού συστήματος και των συστατικών του [71].

Διατήρηση (Sustainability): Η διατήρηση σημαίνει να είναι σε θέση να διατηρηθεί χωρίς να διακυβεύονται οι απαιτήσεις του συστήματος, ανανεώνοντας παράλληλα τους πόρους του συστήματος και χρησιμοποιώντας τους αποτελεσματικά. Ένα εξαιρετικά βιώσιμο σύστημα είναι ένα σύστημα μακράς

διαρκείας που έχει αυτοθεραπευτικές και δυναμικές δυνατότητες συντονισμού, υπό εξελισσόμενες συνθήκες. Η διατήρηση από πλευράς ενέργειας αποτελεί σημαντικό μέρος των πολιτικών παροχής και διαχείρισης ενέργειας. Για παράδειγμα, το έξυπνο δίκτυο (smart grid) διευκολύνει την κατανομή, τη διαχείριση και την προσαρμογή ενέργειας από την πλευρά των πελατών ή των παρόχων υπηρεσιών, ενσωματώνοντας πράσινες πηγές ενέργειας που εξάγονται από το φυσικό περιβάλλον. Ωστόσο, η διακοπτόμενη παροχή ενέργειας και ο άγνωστος/ακαθόριστος χαρακτηρισμός φορτίου εμποδίζουν τις προσπάθειες για τη διατήρηση της μακροχρόνιας λειτουργίας των έξυπνων αυτών δικτύων. Για τη διατήρηση της βιωσιμότητας, το έξυπνο δίκτυο απαιτεί το σχεδιασμό και τη λειτουργία λαμβάνοντας υπόψη τυχόν αβεβαιότητες, τη χρήση μετρήσεων απόδοσης σε πραγματικό χρόνο, τις δυναμικές τεχνικές βελτιστοποίησης για κατανάλωση ενέργειας, το κύκλωμα των υπολογιστικών μονάδων με γνώμονα το περιβάλλον, και το σχεδιασμό αυτόνομων εγκαταστάσεων διανομής ενέργειας [72], [73].

Προσαρμοστικότητα (Adaptability): Η προσαρμοστικότητα αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος να αλλάζει την κατάστασή του, ώστε να είναι σε θέση να προσαρμόζει τη δική του διαμόρφωση προκειμένου να επιβιώνει σε διαφορετικές περιστάσεις στο περιβάλλον του. Ένα ιδιαίτερα προσαρμόσιμο σύστημα θα πρέπει να προσαρμόζεται γρήγορα στις εξελισσόμενες ανάγκες/περιστάσεις. Για παράδειγμα, η προσαρμοστικότητα είναι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων αεροπορικής μεταφοράς επόμενης γενιάς (NextGen). Οι δυνατότητες των συστημάτων αυτών ενισχύουν την απόδοση του εναέριου χώρου με το μηχανογραφημένο δίκτυο αεροπορικών μεταφορών, το οποίο επιτρέπει στα αεροσκάφη να προσαρμόζονται άμεσα στο εξελισσόμενο λειτουργικό περιβάλλον τους, όπως οι καιρικές συνθήκες, η δρομολόγηση των αεροπορικών οχημάτων και άλλα σχετικά σχήματα τροχιάς πτήσης πάνω στους δορυφόρους, η συμφόρηση της εναέριας κυκλοφορίας, αλλά και θέματα ασφάλειας [74].

Ανθεκτικότητα (Resilience): Η ανθεκτικότητα αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος να επιμείνει στη λειτουργία του και στην παροχή υπηρεσιών σε αποδεκτή ποιότητα σε περίπτωση που το σύστημα εκτεθεί σε οποιοδήποτε εσωτερικές ή εξωτερικές δυσκολίες (π.χ. αιφνίδιο ελάττωμα, δυσλειτουργικά εξαρτήματα, αυξανόμενο φορτίο κλπ.) που δεν υπερβαίνουν το όριο αντοχής του. Ένα εξαιρετικά ανθεκτικό σύστημα πρέπει να είναι αυτοθεραπευτικό και να περιλαμβάνει μηχανισμούς έγκαιρης ανίχνευσης και γρήγορης ανάκαμψης ενάντια στις αποτυχίες, συνεχίζοντας να ανταποκρίνεται στις υπάρχουσες απαιτήσεις. Η υψηλή ανθεκτικότητα παίζει ιδιαίτερο ρόλο στην παροχή

υπηρεσιών σε CPS κρίσιμης σημασίας (π.χ. αυτοματοποιημένος έλεγχος φρένων σε CPS οχήματα, έλεγχος ροής αέρα και οξυγόνου μέσω ενός αυτοματοποιημένου ιατρικού αναπνευστήρα κλπ.). Τα CPS αυτά απαιτούνται συχνά να λειτουργούν ακόμη και σε περίπτωση διακοπών σε οποιοδήποτε επίπεδο του συστήματος (π.χ. υλικό, λογισμικό, συνδέσεις δικτύου ή υποκείμενη υποδομή). Επομένως, ο σχεδιασμός ενός εξαιρετικά ανθεκτικού CPS απαιτεί πλήρη κατανόηση των πιθανών βλαβών και αναταραχών, και των ιδιοτήτων ανθεκτικότητας της σχετικής εφαρμογής και της εξέλιξης του λόγω της δυναμικά μεταβαλλόμενης φύσης του λειτουργικού του περιβάλλοντος [75].

Επαναπροσδιορισμός (Reconfigurability): Η επαναπροσδιορισμός αναφέρεται στην ιδιότητα ενός συστήματος να αλλάζει τις διαμορφώσεις του σε περίπτωση βλάβης ή σε εσωτερικές ή εξωτερικές απαιτήσεις. Ένα εξαιρετικά αναδιαμορφώσιμο σύστημα θα πρέπει να είναι αυτορυθμιζόμενο, δηλαδή θα πρέπει να είναι ικανό να συντονίζεται εκ των προτέρων δυναμικά και να συντονίζει τη λειτουργία των επιμέρους στοιχείων του. Τα CPS μπορούν να θεωρηθούν ως αυτόνομα μετασχηματισμένα μηχανικά συστήματα. Οι μηχανισμοί απομακρυσμένης παρακολούθησης και ελέγχου ενδέχεται να είναι απαραίτητοι σε μερικά σενάρια εφαρμογής CPS, όπως η παρακολούθηση των διεθνών συνόρων, η διαχείριση έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση πυρκαγιάς, η παρακολούθηση του αγωγού φυσικού αερίου κλπ., τα οποία απαιτούν σημαντική αναδιάρθρωση των αισθητήρων/ενεργοποιητών τους, για την καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση και χρήση των πόρων τους [76].

Αποδοτικότητα (Efficiency): Η αποδοτικότητα αναφέρεται στο ποσό των πόρων (όπως η ενέργεια, το κόστος, ο χρόνος κλπ.) που απαιτεί ένα σύστημα για την παροχή συγκεκριμένων λειτουργιών. Ένα εξαιρετικά αποτελεσματικό σύστημα θα πρέπει να λειτουργεί σωστά υπό το βέλτιστο ύψος των πόρων του. Η αποδοτικότητα είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη διαχείριση ενέργειας σε εφαρμογές CPS. Για παράδειγμα, τα έξυπνα κτίρια μπορούν να εντοπίσουν την απουσία επιβατών και να απενεργοποιήσουν τις μονάδες θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού για εξοικονόμηση ενέργειας. Περαιτέρω, μπορούν να παρέχουν αυτοματοποιημένες υπηρεσίες προθέρμανσης ή πρόψυξης με βάση τις τεχνικές πρόβλεψης πληρότητας [77].

Ασφάλεια (Security): Η ασφάλεια αναφέρεται στην ιδιότητα ενός συστήματος να μπορεί να ελέγχει την πρόσβαση στους πόρους του συστήματος και να προστατεύει τις ευαίσθητες πληροφορίες από μη εξουσιοδοτημένες προσβάσεις. Ένα ιδιαίτερα ασφαλές σύστημα πρέπει να παρέχει μηχανισμούς προστασίας από μη εξουσιοδοτημένη τροποποίηση πληροφοριών και μη επεξεργασία πόρων,

καθώς και πρέπει να είναι απαλλαγμένο από την αποκάλυψη ευαίσθητων πληροφοριών σε μεγάλο βαθμό. Τα CPS είναι ευάλωτα σε αποτυχίες και επιθέσεις τόσο στον φυσικό όσο και στον ψηφιακό κόσμο, λόγω της επεκτασιμότητάς τους, της πολυπλοκότητας, και της δυναμικής τους φύσης. Οι κακόβουλες επιθέσεις μπορούν να κατευθύνονται στην υποδομή του ψηφιακού κόσμου ή τα φυσικά συστατικά με σκοπό τη διακοπή λειτουργίας του συστήματος ή ακόμα και την κλοπή ευαίσθητων πληροφοριών. Η χρήση ενός δικτύου μεγάλης κλίμακας (όπως το Διαδίκτυο), η υιοθέτηση ανασφαλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας, η βαριά χρήση των κληροδοτημένων συστημάτων ή η ταχεία υιοθέτηση των υπαρχουσών εμπορικών τεχνολογιών, είναι άλλοι παράγοντες που καθιστούν τα CPS εύκολα εκτεθειμένα σε ποικίλες απειλές [78], [79].

Ακεραιότητα (Integrity): Η ακεραιότητα αναφέρεται στην ιδιότητα ενός συστήματος να μπορεί να προστατεύει τον εαυτό του ή τις πληροφορίες που αυτό περιέχει, από μη εξουσιοδοτημένους χειρισμούς ή τροποποιήσεις, ώστε να διατηρείται η ορθότητα των πληροφοριών. Ένα σύστημα υψηλής ακεραιότητας πρέπει να παρέχει εκτεταμένους μηχανισμούς ελέγχου εξουσιοδότησης και συνέπειας. Η υψηλή ακεραιότητα είναι μία από τις σημαντικές ιδιότητες ενός CPS. Τα CPS πρέπει να αναπτύσσονται με μεγάλη διασφάλιση, παρέχοντας επανειλημμένα μηχανισμούς ελέγχου της ακεραιότητας, όπως η ακεραιότητα των πακέτων δικτύου, η διάκριση των κακόβουλων συμπεριφορών από τον περιβαλλοντικό θόρυβο, η ανίχνευση εσφαλμένης απόρριψης δεδομένων ή συμβαλλόμενων εξαρτημάτων. Οι ιδιότητες των φυσικών και ψηφιακών διεργασιών πρέπει να είναι καλά ορισμένες, και συνεπώς να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό της απαιτούμενης διασφάλισης ακεραιότητας [78], [80].

Εμπιστευτικότητα (Confidentiality): Η εμπιστευτικότητα αναφέρεται στην ιδιότητα να επιτρέπεται μόνο σε εξουσιοδοτημένα μέρη να έχουν πρόσβαση σε ευαίσθητες πληροφορίες που παράγονται εντός ενός συστήματος. Ένα ιδιαίτερα εμπιστευτικό σύστημα πρέπει να χρησιμοποιεί τις πιο ασφαλείς μεθόδους προστασίας από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, αποκάλυψη ή παραβίαση. Το απόρρητο δεδομένων είναι ένα σημαντικό ζήτημα που πρέπει να ικανοποιείται στις περισσότερες CPS εφαρμογές. Για παράδειγμα, σε ένα δίκτυο αισθητήρων διαχείρισης έκτακτης ανάγκης, οι επιθέσεις με στόχο την εμπιστευτικότητα των διαβιβαζόμενων δεδομένων ενδέχεται να υποβαθμίσουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος αυτού. Η εμπιστευτικότητα των δεδομένων που μεταδίδονται μέσω των επιτιθέμενων κόμβων αισθητήρων μπορεί να διακυβευτεί και αυτό μπορεί να προκαλέσει τη ροή δεδομένων στο δίκτυο να κατευθύνεται σε συμβιβασμένους αισθητήρες, τα κρίσιμα δεδομένα να παρακολουθούνται, ή τις

ψεύτικες ταυτότητες κόμβων να δημιουργούνται στο δίκτυο. Επιπλέον, τα ψευδή/κακόβουλα δεδομένα μπορούν να εισάγονται στο δίκτυο μέσω αυτών των ψεύτικων κόμβων. Ως εκ τούτου, η εμπιστευτικότητα της κυκλοφορίας των δεδομένων πρέπει να διατηρείται σε εύλογο βαθμό [81].

Διαλειτουργικότητα (Interoperability): Η διαλειτουργικότητα αναφέρεται στην ικανότητα των συστημάτων/στοιχείων να συνεργάζονται, να ανταλλάσσουν πληροφορίες και να χρησιμοποιούν αυτές τις πληροφορίες για να παρέχουν συγκεκριμένες υπηρεσίες. Ένα ιδιαίτερα διαλειτουργικό σύστημα πρέπει να παρέχει ή να δέχεται υπηρεσίες που συμβάλλουν στην αποτελεσματική επικοινωνία και διαλειτουργικότητα μεταξύ των συνιστωσών του συστήματος. Η έλλειψη προτύπων διαλειτουργικότητας συχνά προκαλεί μείωση της αποτελεσματικότητας πολύπλοκων και κρίσιμων αποστολών. Ομοίως, σύμφωνα με τις μεταβαλλόμενες ανάγκες, θα πρέπει να αναπτύσσονται και να δοκιμάζονται δυναμικά πρότυπα για συσκευές, συστήματα και διαδικασίες που θα χρησιμοποιούνται στο έξυπνο δίκτυο για να διασφαλίζεται και να πιστοποιείται η διαλειτουργικότητα αυτών που εξετάζονται για συγκεκριμένη ανάπτυξη έξυπνου δικτύου υπό ρεαλιστικές συνθήκες λειτουργίας [82].

Συμβατότητα (Composibility): Η συμβατότητα αναφέρεται στην ιδιότητα της συγχώνευσης πολλών συστατικών στοιχείων ενός συστήματος. Ένα εξαιρετικά σύνθετο σύστημα θα πρέπει να επιτρέπει τον επανασυνδυασμό των στοιχείων του συστήματος επανειλημμένα, ώστε να μπορούν να ικανοποιούν συγκεκριμένες απαιτήσεις του συστήματος. Η συμβατότητα πρέπει να εξετάζεται σε διάφορα επίπεδα (π.χ. σύνθετη συσκευή, σύνθετο κώδικα, σύνθετο χαρακτήρα υπηρεσίας, σύνθετο σύστημα). Βεβαίως, η σύνθεση του συστήματος είναι πιο δύσκολη, εξ ου και η ανάγκη για σαφώς καθορισμένες μεθοδολογίες σύνθεσης που ακολουθούν τις ιδιότητες σύνθεσης από κάτω προς τα πάνω. Επιπλέον, οι απαιτήσεις και οι αξιολογήσεις πρέπει να είναι συνεπείς. Στο μέλλον, είναι πιθανόν να έχει πρωταρχική σημασία να προστίθενται διαδοχικά αναδυόμενα συστήματα σε ένα CPS, έχοντας ως στόχο να μην υποβαθμίζουν τη λειτουργία του εκάστοτε συστήματος [83].

Ετερογένεια (Heterogeneity): Η ετερογένεια αναφέρεται στην ιδιότητα ενός συστήματος να μπορεί να ενσωματώνει ένα σύνολο διαφορετικών τύπων αλληλοεπιδρώντων και διασυνδεδεμένων συστατικών που σχηματίζουν ένα πολύπλοκο σύνολο. Τα CPS είναι εγγενώς ετερογενή λόγω της φυσικής δυναμικής, των υπολογιστικών στοιχείων, της λογικής ελέγχου και της ανάπτυξης ποικίλων τεχνολογιών επικοινωνίας τους. Επομένως, τα CPS απαιτούν ετερογενή σύνθεση όλων των συστατικών του συστήματος. Για παράδειγμα, ενσωματώνοντας

ετερογενείς δυνατότητες πληροφορικής και επικοινωνίας, οι μελλοντικές ιατρικές συσκευές είναι πιθανό να αλληλοσυνδέονται σε ολοένα και πιο σύνθετα ανοιχτά συστήματα με διαφορετικούς τρόπους ενσωμάτωσης, οι οποίοι καθιστούν ζωτικό το ετερογενές δίκτυο ελέγχου και τον έλεγχο κλειστού βρόχου των διασυνδεδεμένων συσκευών. Η διαμόρφωση τέτοιου είδους συσκευών μπορεί να είναι ιδιαίτερα δυναμική, ανάλογα με τις ιατρικές παραμέτρους του ασθενούς. Ενεργοποιημένα από την επιστήμη και τις αναδυόμενες τεχνολογίες, τα ιατρικά συστήματα του μέλλοντος αναμένεται να παρέχουν αυτονομία στην παρακολούθηση τω καταστάσεων, συνεργατικό συντονισμό, εγγύηση σε πραγματικό χρόνο και ετερογενείς εξατομικευμένες διαμορφώσεις πολύ πιο ικανές και πολύπλοκες από τις σημερινές [84].

Επεκτασιμότητα (Scalability): Η επεκτασιμότητα αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος να μπορεί να λειτουργεί ομαλά ακόμα και σε περιπτώσεις αλλαγής του μεγέθους και του αυξημένου φόρτου εργασίας, και να μπορεί να επωφεληθεί πλήρως από αυτό. Η αύξηση της διακίνησης του συστήματος θα πρέπει να είναι ανάλογη με την αύξηση των πόρων του συστήματος. Ένα εξαιρετικά κλιμακώσιμο σύστημα θα πρέπει λοιπόν να έχει τη δυνατότητα να εξισορροπεί το φόρτο εργασίας του. Ανάλογα με την κλίμακα τους, τα CPS μπορούν να περιλαμβάνουν πάνω από χιλιάδες ενσωματωμένους υπολογιστές, αισθητήρες και ενεργοποιητές που πρέπει να συνεργάζονται αποτελεσματικά. Οι κλιμακούμενες ενσωματωμένες αρχιτεκτονικές πολλών πυρήνων με ένα προγραμματιζόμενο δίκτυο διασύνδεσης μπορούν να αναπτυχθούν για να προσφέρουν αυξημένη ζήτηση υπολογιστών στο CPS. Επιπλέον, απαιτείται μια υποδομή υψηλής απόδοσης και υψηλής κλιμάκωσης που θα επιτρέψει στις οντότητες ενός CPS να συμμετάσχουν και να εγκαταλείψουν δυναμικά το υφιστάμενο δίκτυό του. Με την παρουσία συχνής διάδοσης δεδομένων μεταξύ αυτών των οντοτήτων, οι δυναμικές ενημερώσεις λογισμικού είναι η βέλτιστη λύση για την επίτευξη της επεκτασιμότητας των CPS [85].

Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθεί πως υπάρχουν διάφορες εθνικές πρωτοβουλίες και μεγάλες προσπάθειες κοινοπραξιών που έχουν αναδειχθεί για την ανάπτυξη μεθοδολογιών για την επίτευξη της ταχείας και αποτελεσματικής ανάπτυξης CPS που θα είναι ικανά καλύπτουν τις προαναφερθείσες προκλήσεις. Οι πιο αξιοσημείωτες μεταξύ αυτών, είναι η πρωτοβουλία της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0) της Γερμανίας, το Βιομηχανικό Διαδίκτυο (Industrial Internet) των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής, και η Κοινωνία 5.0 (Society 5.0) της Ιαπωνίας. Λεπτομερέστερα, η Βιομηχανία 4.0 είναι μια στρατηγική πρωτοβουλία που θα επιτρέψει στη Γερμανία να διατηρήσει ηγετικό ρόλο στον τομέα της βιομηχανίας, καθώς ο βασικός στόχος της είναι η επίτευξη αποδοτικής και χαμηλού κόστους

παραγωγής με ευέλικτες ροές εργασίας. Αυτό θα επιτευχθεί με τη διαδεδομένη χρήση των CPS στις διαδικασίες παραγωγής, την εισαγωγή πληροφοριών σε συστήματα και διεργασίες, και το συντονισμό τους σε πιο σύνθετες αλλά ευέλικτες διαδικασίες που θα παράγουν προϊόντα υψηλής ποιότητας και χαμηλού κόστους. Η ιδέα του έξυπνου εργοστασίου, που επιτυγχάνει τους στόχους αυτής της πρωτοβουλίας, χρησιμοποιεί μια ιεραρχία CPS με έξυπνες διασυνδεδεμένες μηχανές για την εγκατάσταση έξυπνων εγκαταστάσεων, οι οποίες στη συνέχεια συνδυάζονται για την εγκατάσταση έξυπνων εργοστασίων. Η ιδέα αυτή στοχεύει στην ευελιξία, στην αυτονομία, στην ανθεκτικότητα, στην ασφάλεια, στην αποδοτικότητα και στο χαμηλό κόστος, επιτρέποντας σε όλους τους φορείς - πελάτες, χειριστές και κατασκευαστές, να παρακολουθούν τις παραμέτρους του συστήματος που τους ενδιαφέρουν. Όσον αφορά το Βιομηχανικό Διαδίκτυο, αυτό επικεντρώνεται κυρίως στην εφαρμογή του IoT στον βιομηχανικό τομέα, συμπεριλαμβανομένης όχι μόνο της διαδικασίας βιομηχανικής παραγωγής αλλά και άλλων διαδικασιών, όπως η διαχείριση περιουσιακών στοιχείων και η συντήρηση. Το IoT καλύπτει την αποτελεσματικότητα και τη διαλειτουργικότητα των λειτουργιών, λαμβάνοντας υπόψη τις αναδυόμενες και μελλοντικές υπηρεσίες, καθώς και τους εμπλεκόμενους φορείς στις σχετικές συσκευές, τα CPS, τις επικοινωνίες, την παροχή υπηρεσιών, και την ανάπτυξη επιχειρήσεων. Τέλος, σχετικά με την Κοινωνία 5.0, που ονομάζεται Super Smart Society, είναι μια ιαπωνική πρωτοβουλία για την ενσωμάτωση των CPS με τον κόσμο του IoT, τις τεχνολογίες των Μεγάλων Δεδομένων (Big Data) και της Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence) σε κάθε βιομηχανία, αλλά και σε όλες τις πτυχές της κοινωνίας για την αντιμετώπιση των κοινωνικών προκλήσεων, όπως αυτών στον τομέα της υγείας, της μεταφοράς και της κινητικότητας, της συντήρησης των υποδομών και του χρηματοπιστωτικού τομέα [86].

2.1.4 Τομείς Κυβερνοφυσικών Συστημάτων

Οι εφαρμογές των CPS έχουν αναμφισβήτητα τη δυνατότητα να επιβραδύνουν την επανάσταση του 20^{ου} αιώνα. Περιλαμβάνουν ιατρικές συσκευές και συστήματα υψηλής εμπιστοσύνης, υποβοηθούμενη διαβίωση, έλεγχο κυκλοφορίας και ασφάλεια, προηγμένα συστήματα αυτοκίνησης, έλεγχο διαδικασιών, εξοικονόμηση ενέργειας, περιβαλλοντικό έλεγχο, αεροηλεκτρονική, όργανα, έλεγχος υποδομής ζωτικής σημασίας (π.χ. ηλεκτρική ενέργεια, υδάτινοι πόροι και συστήματα επικοινωνιών), κατανεμημένη ρομποτική (π.χ. τηλεπαρακολούθηση, τηλεϊατρική), συστήματα άμυνας, κατασκευών και έξυπνων δομών [55], [87], [88]. Είναι εύκολο να φανταστούμε νέες δυνατότητες, όπως η κατανεμημένη παραγωγή μικροενέργειας που συνδέεται στο ηλεκτρικό δίκτυο, όπου η ακρίβεια του χρόνου και τα ζητήματα ασφάλειας είναι μεγάλα. Τα συστήματα μεταφορών θα μπορούσαν να ωφεληθούν σημαντικά από την καλύτερη ενσωμάτωση πληροφοριών στις αυτοκινητοβιομηχανίες, οι οποίες με τη σειρά τους θα μπορούσαν να βελτιώσουν την ασφάλεια και την αποδοτικότητα. Τα δικτυωμένα αυτόνομα οχήματα θα μπορούσαν να ενισχύσουν δραματικά την αποτελεσματικότητα των στρατιωτικών δυνάμεων και θα μπορούσαν να προσφέρουν σημαντικά πιο αποτελεσματικές τεχνικές αποκατάστασης καταστροφών. Τα δικτυωμένα συστήματα ελέγχου κτιρίων (όπως η θέρμανση, ο εξαερισμός, ο κλιματισμός, και ο φωτισμός) θα μπορούσαν να βελτιώσουν σημαντικά την ενεργειακή αποδοτικότητα και τη μεταβλητότητα της ζήτησης, μειώνοντας την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Στις επικοινωνίες, το γνωστικό ραδιόφωνο θα μπορούσε να επωφεληθεί εξαιρετικά από την κατανεμημένη συναίνεση σχετικά με το διαθέσιμο εύρος ζώνης και τις τεχνολογίες κατανεμημένου ελέγχου. Τα χρηματοπιστωτικά δίκτυα θα μπορούσαν να αλλάξουν δραματικά με χρονισμό ακρίβειας. Τα συστήματα υπηρεσιών μεγάλης κλίμακας που χρησιμοποιούν το RFID και άλλες τεχνολογίες για την παρακολούθηση αγαθών και υπηρεσιών θα μπορούσαν να αποκτήσουν τη φύση των κατανεμημένων συστημάτων ελέγχου σε πραγματικό χρόνο. Τα διανεμημένα παιχνίδια σε πραγματικό χρόνο που ενσωματώνουν αισθητήρες και ενεργοποιητές θα μπορούσαν να αλλάξουν τη (σχετικά παθητική) φύση των ηλεκτρονικών κοινωνικών αλληλεπιδράσεων [55]. Η παρακολούθηση της πολιτικής υποδομής μπορεί να βελτιωθεί, καθώς σήμερα πολλοί πολιτικοί μηχανικοί αντιμετωπίζουν την πρόκληση της διαχείρισης της γήρανσης των υποδομών όπως φράγματα, γέφυρες, κτίρια κλπ. Οι αισθητήρες οπτικών ινών και οι μικροηλεκτρικοί και μηχανικοί αισθητήρες και οι τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας θα συνεισφέρουν στην ακριβή και συνεχή παρακολούθηση της υποδομής. Πιο λεπτομερώς, τα CPS μπορούν να εφαρμοστούν στους ακόλουθους τομείς:

Γεωργία (Agriculture): Τα CPS μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της γεωργίας μέσω της αύξησης της αποδοτικότητας της κατανάλωσης τροφίμων και της συνολικής ικανότητας παραγωγής τροφίμων μέσω τεχνολογιών, όπως η γεωργία ακριβείας, η ευφυής διαχείριση των υδάτων, και η αποτελεσματικότερη διανομή τροφίμων. Στον γεωργικό τομέα, επιτυγχάνεται μέγιστη παραγωγή μέσω της συνεχούς παρακολούθησης του περιβάλλοντος και των επιπτώσεών του στην καλλιέργεια. Σε αυτό το πλαίσιο, διεξήχθησαν αρκετές έρευνες όπως αυτές που προτείνονται στο [89], όπου οι συγγραφείς παρείχαν μια συστηματική λύση υψηλής τεχνολογίας για τον έλεγχο των εντόμων με βάση το CPS. Με βάση αυτό το έργο τους, οι ίδιοι συγγραφείς ανέπτυξαν ένα σύστημα ανίχνευσης αρουραίων [90], προκειμένου να δημιουργήσουν μια υποδομή παρακολούθησης των αρουραίων στον αγροτικό τομέα. Αυτό το σύστημα μπορεί να μειώσει το μεγάλο κόστος για τον έλεγχο των αρουραίων, την μεγάλη ποσότητα φυτικών αποβλήτων και τη μόλυνση του περιβάλλοντος. Γενικότερα, η γεωργική επιχείρηση είναι ένα πολύπλοκο σύστημα. Βασιζόμενοι στη χρήση των CPS, οι συγγραφείς στο [91] πρότειναν μια προσέγγιση ελέγχου των CPS που μπορεί να εξασφαλίσει τη γεωργική πρόληψη έναντι των περιβαλλοντικών αλλαγών και των αλλαγών της αγοράς. Υποστήριξαν ότι οι υπηρεσίες ελέγχου σε πραγματικό χρόνο που εφαρμόζονται στη γεωργία μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση του αυξανόμενου χάσματος μεταξύ ζήτησης και προσφοράς τροφίμων.

Εκπαίδευση (Education): Καθώς τα CPS γίνονται σταδιακά μέρος της καθημερινής ζωής μας, γίνεται επίσης εμφανής η ανάγκη για ένα καλά προετοιμασμένο εργατικό δυναμικό, ζητώντας νέες προσεγγίσεις για να εισαχθούν οι έννοιες των CPS σε όλα τα επίπεδα της εκπαίδευσης. Η εκπαίδευση και η κατάρτιση αντιμετωπίζουν πολλές προκλήσεις, καθώς η σημερινή κοινωνία συνεχώς εξελίσσεται, αναζητώντας όλο και περισσότερο την εφαρμογή νέων τεχνολογιών και λύσεων, όπως αυτών των CPS. Σε αυτό το πλαίσιο, μέχρι στιγμής έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές έρευνες με βάση την εκπαίδευση. Πιο συγκεκριμένα, οι συγγραφείς στο [92] χρησιμοποίησαν μια επέκταση της σύγχρονης γλώσσας προγραμματισμού Quartz για να μοντελοποιήσουν, να προσομοιώσουν και να επαληθεύσουν διαφορετικά CPS. Περιέγραψαν πώς η γλώσσα Quartz και το σχετικό σύνολο εργαλείων AVerest μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διδασκαλία των CPS σε ένα μεταπτυχιακό πρόγραμμα στην επιστήμη των υπολογιστών και να τονίσουν τον συνδυασμό μαθήματος διαλέξεων με πρακτικές ασκήσεις χρησιμοποιώντας εργαλεία AVerest για προσομοίωση και επαλήθευση. Οι συγγραφείς στο [93] δημιούργησαν ένα ευφύες πανεπιστημιακό εργαστηριακό περιβάλλον μέσω ενός CPS που περιλάμβανε μηχανισμούς για τον καθημερινό έλεγχο των εκπαιδευτικών συστημάτων αυτών. Στο ίδιο πλαίσιο, οι συγγραφείς στο [94] περιέγραψαν τις τεχνικές και

παιδαγωγικές υπηρεσίες που παρέχουν τα CPS σε ένα περιβάλλον έξυπνης μάθησης που βασίζεται στις συνθήκες περιβάλλοντος. Οι συγγραφείς στο [95] περιέγραψαν ένα εργαστηριακό περιβάλλον εκμάθησης για το CPS, το οποίο συνίστατο σε ένα μοντέλο πλαισίου αυτοκινήτου, εξοπλισμένο με ένα δίκτυο τριών μονάδων ελέγχου βασισμένο σε τυποποιημένο υλικό και τρέχοντας το πρότυπο λογισμικού αυτοκινήτων AUTOSAR, το οποίο αποτελείται από δομές λογισμικού λειτουργικού συστήματος, ενδιάμεσου λογισμικού, και εφαρμογών. Επιτρέπει τη σύνδεση με υπηρεσίες υπολογιστικών νεφών, την ανάπτυξη ενσωματωμένων συστημάτων, και τη συνεχή ανάπτυξη νέων λειτουργιών. Οι συγγραφείς στο [96] δημιούργησαν ένα πλαίσιο προγραμματισμού που επιτρέπει στους μαθητές να εφαρμόζουν και να δοκιμάζουν προγράμματα ελέγχου CPS στα προγράμματα περιήγησης στο διαδίκτυο. Οι μαθητές μπορούν μοντελοποιούν και να προγραμματίζουν μια εφαρμογή CPS σε υψηλό επίπεδο αφαίρεσης σε μια ιστοσελίδα, η οποία παρέχεται από τον εκπαιδευτή. Η έρευνα στο [97] εισάγει μια νέα πλατφόρμα, γνωστή ως AERO-Beam, η οποία χρησιμοποιείται στην εκπαίδευση του CPS μέσω της εφαρμογής πολλαπλών επιπέδων στην τάξη. Οι συγγραφείς στο [98] απεικόνισαν το σχεδιασμό και την ανάπτυξη τριών (3) CPS έξυπνων σπιτιών, κινητών ρομπότ και ενσωματωμένου επεξεργαστή για τη χρήση σε τομείς εκπαίδευσης και έρευνας. Οι συγγραφείς στο [99] ανέφεραν πάνω από μια δεκαετία εμπειρίας στη διδασκαλία της μοντελοποίησης και προσομοίωσης σύνθετων CPS, στο Πανεπιστήμιο McGill και στο Πανεπιστήμιο της Αμβέρσας. Μέσω της χρήσης πολλαπλών φορμαλισμών, οι μαθητές είναι σε θέση να επιλέξουν τον καταλληλότερο φορμαλισμό για ένα πρόβλημα και να πάρουν μια τεκμηριωμένη απόφαση για το εργαλείο που θα χρησιμοποιήσουν. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [100] πρότειναν μια ολιστική προσέγγιση για τη μετάβαση από το παραδοσιακό εργοστάσιο διδασκαλίας στο εργοστάσιο Εκπαίδευσης 4.0, ενσωματώνοντας τις τεχνολογίες των CPS και της Βιομηχανίας 4.0. Το αναπτυγμένο πλαίσιο στοχεύει να υποστηρίξει την ιδέα της Εκπαίδευσης 4.0, όπου οι εκπαιδευτές χρησιμοποιούν τις τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0 για να εμπλέκουν ενεργά τους επίδοξους μηχανικούς σε ρεαλιστικές προσομοιώσεις που αυξάνουν την αντίληψη του υπό μελέτη υλικού.

Διαχείριση Ενέργειας (Energy management): Αν και η συντριπτική πλειονότητα των συσκευών των CPS χρειάζονται λιγότερη ενέργεια, ο ενεργειακός εφοδιασμός εξακολουθεί να αποτελεί μεγάλη πρόκληση, διότι η ζήτηση και η προσφορά ενέργειας είναι φανερά περισσότερο από ποτέ [101]. Η εξοικονόμηση πόρων επιτυγχάνεται μέσω κτιρίων με γνώση της κατανάλωσης ενέργειας, μειώνοντας την απώλεια ενέργειας, νερού και θερμότητας. Το έξυπνο δίκτυο είναι μία από τις ισχυρότερες δυνάμεις για την προώθηση των CPS. Σήμερα, το έξυπνο δίκτυο αναδύεται ως ηλεκτρικό δίκτυο επόμενης γενιάς με την ικανότητα προσαρμογής

και βέλτιστης παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ενέργειας. Οι συγγραφείς στο [102] σχεδίασαν μια νέα εφαρμογή CPS για πλαίσιο διαχείρισης ενέργειας, η οποία μπορεί να συλλέξει την κατάσταση κατανάλωσης ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και τη ζήτηση από αυτόνομα ηλεκτρικά οχήματα και σταθμούς φόρτισης σε έξυπνο δίκτυο. Το ενεργειακά αποδοτικό σχέδιό τους περιλαμβάνει το σχεδιασμό διαδρομής σε πραγματικό χρόνο των οχημάτων και τον έλεγχο βάσει συμβάντων στο πλαίσιο του δικτύου τους. Η αρχιτεκτονική αυτή μπορεί να ελαχιστοποιήσει την κατανάλωση ενέργειας των δικτύων, και να βελτιστοποιήσει τη τροφοδοσία και τη διανομή. Οι συγγραφείς στο [103] δημιούργησαν ένα κατανεμημένο δυναμικό μοντέλο για μια κατηγορία συστημάτων ισχύος, παρουσιάζοντας δυναμικούς εκτιμητές κατάστασης χρησιμοποιώντας σύστημα ισχύος εννέα (9) καναλιών για την επίτευξη βέλτιστου ελέγχου των κατανεμημένων συστημάτων μεγάλης κλίμακας.

Παρακολούθηση Περιβάλλοντος (Environmental monitoring): Προκειμένου τα CPS να παρακολουθούν το περιβάλλον, πρέπει να είναι διανεμημένα σε μια ευρεία και ποικίλη γεωγραφική περιοχή (δάση, ποτάμια και βουνά), και πρέπει να λειτουργούν χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση για μεγάλα χρονικά διαστήματα, με ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Ειδικότερα, τα CPS μπορούν να παρακολουθούν το περιβάλλον και να ανταποκρίνονται γρήγορα μέσω μεγάλου αριθμού κόμβων αισθητήρων στις περιοχές σε περίπτωση φυσικών ή ανθρωπογενών καταστροφών. Η διερεύνηση της επίδρασης των CPS στο περιβάλλον είναι σημαντική επειδή οι εξωτερικές συνθήκες, όπως οι πλημμύρες, η φωτιά ή το τοξικό αέριο, μπορεί να βλάψουν τον εξοπλισμό και να επηρεάσουν την ασφάλεια και την αξιοπιστία του συστήματος. Σε ένα πολύπλοκο CPS, μια αποτυχία ενός μόνο εξαρτήματος μπορεί να προκαλέσει μη κανονικές περιβαλλοντικές συνθήκες, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα να οδηγούν στην ολική αποτυχία ολόκληρου του συστήματος. Στο πλαίσιο αυτό, οι συγγραφείς στο [104] πρότειναν ένα πλαίσιο για τη μοντελοποίηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ ενός CPS και του περιβάλλοντός του, εξετάζοντάς το με το πλεονάζον σύστημα παροχής ψυκτικού ενός πυρηνικού αντιδραστήρα. Οι συγγραφείς στο [105] παρείχαν μία λεπτομερή περιγραφή μιας ανοικτής αρχιτεκτονικής που εφαρμόζεται στην περιβαλλοντική παρακολούθηση, αξιοποιώντας κυρίως τις ασύρματες δικτυακές τεχνολογίες, και το υπολογιστικό νέφος.

Μεταφορά (Transportation): Η ευφυής μεταφορά μέσω ανταλλαγής πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο μπορεί να βελτιώσει την ασφάλεια, τη διακίνηση, το συντονισμό και τις υπηρεσίες στη διαχείριση της κυκλοφορίας, χρησιμοποιώντας τις προηγμένες τεχνολογίες των αισθητήρων, των επικοινωνιών, των υπολογισμών και των μηχανισμών ελέγχου. Η αυτόνομη οδήγηση οχημάτων

που κυμαίνονται από αυτοκίνητα και τρένα έως και αεροπλάνα, έχει αποδειχθεί πως μπορεί να αποφέρει μηδενικά προβλήματα κυκλοφορίας. Συνοπτικά, τα έξυπνα συστήματα μεταφορών βασίζονται όχι μόνο σε προηγμένους αισθητήρες και στην ενσωματωμένη τεχνολογία υπολογιστικών συστημάτων, αλλά και σε ασύρματες, κυβελωτές και δορυφορικές τεχνολογίες για την καλύτερη διαχείριση της πολύπλοκης κυκλοφοριακής ροής και την ασφάλεια και επέκταση της επίγνωσης της κατάστασης. Η έρευνα σχετικά με τα συστήματα CPS, όπως τα αυτόνομα οχήματα, τα ευφυή συστήματα διασταύρωσης, τα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ οχήματος προς όχημα και οχήματος προς υποδομή, μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση των συνεχιζόμενων προκλήσεων σε ευφυή συστήματα μεταφορών [41]. Σε αυτό το πλαίσιο, μέχρι στιγμής έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές έρευνες. Με περισσότερες λεπτομέρειες, οι συγγραφείς στο [106] επικεντρώθηκαν στη μέτρηση της κυκλοφορίας στη μηχανική των μεταφορών. Έκαναν μέτρηση του αριθμού των οχημάτων που μετακινούνται από μια γεωγραφική περιοχή σε μία άλλη, αξιοποιώντας τις δυνατότητες που προσφέρουν τα ευφυή οδικά CPS οδικά που επιτρέπουν την αυτόματη συλλογή δεδομένων κίνησης. Οι συγγραφείς στο [107] εξέτασαν δύο (2) πλατφόρμες και συστήματα CPS, συμπεριλαμβανομένης μιας νέας πλατφόρμας πρωτότυπου για πολλαπλά μη επανδρωμένα οχήματα με συστήματα πλοήγησης βάσει ασύρματων δικτύων, και συστήματα μεταφοράς πληροφορικής. Υποστήριξαν ότι το CPS είναι μια εξέλιξη της έννοιας M2M με την εισαγωγή πιο έξυπνων και διαδραστικών λειτουργιών, υπό την αρχιτεκτονική του IoT. Οι συγγραφείς στο [108] επικεντρώθηκαν στα CPS κυκλοφοριακών οχημάτων. Εξετάστηκαν τα χρονικά μεταβαλλόμενα πρότυπα δειγματοληψίας, ο προγραμματισμός των αισθητήρων, ο έλεγχος οποιουδήποτε χρόνου, ο προγραμματισμός ανάδρασης, ο προγραμματισμός εργασιών και κίνησης και η ανταλλαγή πόρων, καταλήγοντας πως τόσο οι ψηφιακοί όσο και οι φυσικοί πόροι μπορούν να συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση και των εφαρμογών που βασίζονται σε κινητά ρομποτικά συστήματα και CPS κυκλοφοριακών οχημάτων. Για την αποτελεσματική διαχείριση του ευφυούς συστήματος μεταφορών, η έρευνα στο [109] μελέτησε την επιλογή διαδρομής των παραϊατρικών με τη βοήθεια ενός CPS που αποτελείται από οδικές επικοινωνίες, εναλλακτική βελτιστοποίηση διαδρομής και στοιχεία αλληλεπίδρασης χρηστών, καταφέροντας να εγγυάται εναλλακτικές επιλογές διαδρομής για παραϊατρικούς ασθενείς, με χαμηλή καθυστέρηση, χαμηλού κόστους και υψηλή ανθεκτικότητα. Τα CPS κυκλοφοριακών οχημάτων αναδείχθηκαν ως μία από τις ισχυρότερες τεχνολογίες για την παροχή οικονομικών υπηρεσιών στους τελικούς χρήστες με ελάχιστη καθυστέρηση ακόμη και με υψηλή κινητικότητα των τελικών χρηστών. Στο πλαίσιο αυτό, οι συγγραφείς στο [110] πρότειναν ένα σχέδιο για τη διάδοση δεδομένων χρησιμοποιώντας ένα στοχαστικό παιχνίδι συνασπισμού σε περιβάλλον ενός CPS

κυκλοφοριακού οχήματος, όπου τα οχήματα στο παιχνίδι θεωρούνταν ως οι παίκτες που έχουν πρόσβαση σε ένα πεπερασμένο αριθμό πόρων από το υπολογιστικό νέφος. Με βάση τη μαθηματική θεμελίωση του αλγορίθμου στην εξόρυξη δεδομένων [111] και βασιζόμενοι στην παραπάνω προσέγγιση, οι συγγραφείς στο [112] πρότειναν μια βελτιωμένη προσέγγιση του μέτρου ανομοιότητας για να χαρακτηρίζουν το βαθμό απόκλισης μεταξύ δύο (2) βασικών αναθέσεων πιθανότητας. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να αντιμετωπίσει την πρόκληση της σύντηξης δεδομένων αισθητήρων στα CPS κυκλοφοριακών οχημάτων. Με βάση τη μοντελοποίηση των μεταφορών, οι συγγραφείς στο [113] παρουσίασαν ένα παράδειγμα διεργασίας υλοποίησης λύσεων διαχείρισης μεταφορών την πόλης Adazi, για τη βελτίωση του επιπέδου προσβασιμότητας των τοπικών οδών για να μετακινούνται από και προς το κέντρο της πόλης.

Αεροπορικές Μεταφορές (Air Transportation): Οι αεροπορικές μεταφορές αναφέρονται σε οποιοδήποτε πολιτικό ή στρατιωτικό σύστημα αεροπορίας και στη διαχείριση της κυκλοφορίας. Τα έξυπνα αεροσκάφη αναμένεται να κυριαρχήσουν στο εγγύς μέλλον, ειδικά για τις στρατιωτικές υπηρεσίες. Το μη επανδρωμένο αεροσκάφος, κοινώς γνωστό ως drone, είναι μόνο ένα από τα γνωστά παραδείγματα έξυπνων αεροσκαφών. Εφόσον η φυσική ευαισθητοποίηση αποτελεί σημαντικό ζήτημα για τα αεροσκάφη επόμενης γενιάς, τα CPS αναμένεται να επηρεάσουν σημαντικά τη μελλοντική διαχείριση της εναέριας κυκλοφορίας [114], [115]. Ο καταναμημένος έλεγχος σε ολόκληρο τον εναέριο χώρο αναμένεται να αποτελέσει σημαντικό μέρος των συστημάτων εναέριας κυκλοφορίας της επόμενης γενιάς. Ωστόσο, αυτό θα προκαλούσε μεγαλύτερες προκλήσεις επεκτασιμότητας, καθώς οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ οχημάτων και υποδομών καθίστανται πιο περίπλοκες. Οι σημερινοί περιορισμοί της δυναμικότητας στα μεγάλα αεροδρόμια και οι αλληλεπιδράσεις του εναέριου χώρου μεταξύ των αεροδρομίων και των αεροπορικών οχημάτων σε ένα σύστημα πολλαπλών αερολιμένων περιορίζουν τη συνολική ικανότητα του συστήματος [115], [116]. Η λειτουργία των αεροσκαφών ρυθμίζεται επί σειρά ετών με διαδικασίες παρόμοιες με εκείνες που καθορίστηκαν πριν από 30 χρόνια [117]. Σήμερα, ο έλεγχος της εναέριας κυκλοφορίας διοικείται από πύργους ραντάρ και τα συστήματα υποστήριξης υπολογιστών έχουν περιορισμένη σωματική συνείδηση. Έτσι, η στενή ενσωμάτωση των υπολογιστικών και των φυσικών δυνατοτήτων είναι υψίστης σημασίας για τα συστήματα αεροπορικής μεταφοράς της επόμενης γενιάς. Ως υφιστάμενη προσπάθεια για την πραγματοποίηση των μελλοντικών αεροπορικών μεταφορών, το όραμα της επόμενης γενιάς αεροπορικών μεταφορών, εισάγεται από την Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Αεροπορίας (Federal Aviation Administration, FAA) στο Υπουργείο Μεταφορών των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Το NextGen είναι μια προσέγγιση που

μετατρέπει τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας από τη δρομολόγηση μέσω πύργων ραντάρ σε δρομολόγηση μέσω δορυφορικής τεχνολογίας [117]. Η δορυφορική πλοήγηση χρησιμοποιείται για να παρέχει στους πιλότους ακριβείς θέσεις των γύρω αεροπλάνων.

Διαχείριση Διαδικασιών (Process control): Τα συστήματα ελέγχου βιομηχανικών διαδικασιών χρησιμοποιούνται ευρέως για να παρέχουν αυτόνομο έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας μέσω των βρόχων ελέγχου. Δεδομένου ότι το CPS ορίζεται συνήθως ως ενσωμάτωση υπολογισμού με φυσικές διεργασίες, η πιο άμεση εφαρμογή του CPS στα σενάρια Βιομηχανίας 4.0 είναι ο ενισχυμένος έλεγχος διεργασίας [118]. Τα CPS μπορούν να προσφέρουν ευρείς ελέγχους σε πολύπλοκες και μεγάλες βιομηχανικές διεργασίες μέσω μιας ετερογενούς αρχιτεκτονικής δικτύων αισθητήρων, ενεργοποιητών και επεξεργαστών, καθώς μπορούν να ενσωματώνουν όλους τους μηχανισμούς για την επίτευξη και διατήρηση μιας συγχρονισμένης κατάστασης. Σε αυτό το πλαίσιο, μέχρι στιγμής έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές έρευνες. Λεπτομερέστερα, οι συγγραφείς στο [119] περιγράφουν τις προδιαγραφές συμπεριφοράς από τις δομικές και τις πληροφορίες που εισήγαγε ο χρήστης στο πλαίσιο του ευφυούς ελέγχου των φυσικών συστημάτων. Συζήτησε τις έννοιες και τις τεχνικές για να εξηγήσει την αυτόματη αναγνώριση της συμπεριφοράς του συστήματος στην περίπτωση του ευφυούς ελέγχου των μηχανικών συστημάτων. Με βάση τη δυναμική επιχειρηματική μοντελοποίηση για τον επιχειρησιακό προγραμματισμό και διαχείριση επιχειρήσεων, οι συγγραφείς στο [120] επέκτειναν ένα υπάρχον μοντέλο για να μπορεί να επιλέγει περιόδους εργασίας σε πραγματικό χρόνο για το CPS με εργασίες ελεγκτή σταθερής προτεραιότητας. Στο ίδιο πλαίσιο, οι συγγραφείς στο [121] πρότειναν μια νέα λύση ελέγχου παρακολούθησης λογισμικού για τον συντονισμό της προβλεψιμότητας του χρόνου και της χρήσης μνήμης κατά τη διάρκεια των συστημάτων που αλληλοεπιδρούν με τον φυσικό κόσμο. Οι συγγραφείς στο [122] πρότειναν ένα σύστημα που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της κίνησης και του προσανατολισμού μιας δοκού κατά τη διάρκεια ανύψωσης σε γέφυρα διασταύρωσης σε πραγματικό χρόνο. Αυτό το σύστημα χρησιμοποίησε έξυπνα τηλέφωνα εξοπλισμένα με εσωτερικούς αισθητήρες για να λαμβάνουν πληροφορίες κίνησης των δοκών και να επιστρέφουν μήνυμα συναγερμού στο τηλεφωνικό κέντρο όταν τα δεδομένα υπερβαίνουν ένα όριο. Οι συγγραφείς στο [123] πρότειναν ένα CPS ελέγχου βιομηχανικών διαδικασιών λαμβάνοντας υπόψη όλες τις απαιτήσεις της Βιομηχανίας 4.0, όπως αυτοδιαμορφωμένο για ελαστικότητα, αυτοπροσαρμογή για παραλλαγές, αυτοβελτιστοποίηση για διαταραχή, απομακρυσμένη απεικόνιση για τον άνθρωπο, και τη λήψη αποφάσεων.

Ασφάλεια (Security): Εφόσον τα CPS είναι πολύπλοκα συστήματα που χρησιμοποιούνται σε ποικίλες πολύπλοκες εφαρμογές, η ασφάλεια είναι ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα που πρέπει να διερευνηθούν στα CPS και ως εκ τούτου έχει λάβει μεγάλη προσοχή τα τελευταία χρόνια. Σε αυτό το πλαίσιο, μέχρι στιγμής έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές έρευνες. Με περισσότερες λεπτομέρειες, οι συγγραφείς στο [124] περιγράφουν ένα πλαίσιο για τη μοντελοποίηση της ασφάλειας ενός CPS, στο οποίο η συμπεριφορά του μοντέλου όπου παρατηρείται μία απειλή, συλλαμβάνει - με ενοποιημένο τρόπο, τις διαδικτυακές πτυχές και τις φυσικές πτυχές του CPS. Οι συγγραφείς στο [125] συζήτησαν τις προκλήσεις ασφάλειας στις επικοινωνίες στα ασύρματα δίκτυα του CPS και περιγράφουν τους περιορισμούς, τα ζητήματα επίθεσης και μια σειρά προκλήσεων που πρέπει να αντιμετωπιστούν για την οικοδόμηση ασφαλών CPS. Οι συγγραφείς στο [126] εξέτασαν την επίθεση ακεραιότητας στην CPS, χαρακτηρίζοντας το εφικτό σύνολο της κατάστασης συστήματος και του σφάλματος εκτίμησης στο πλαίσιο της επίθεσης, το οποίο παρέχει μια ποσοτική μέτρηση της ανθεκτικότητας του συστήματος. Οι συγγραφείς στο [127] παρουσίασαν ένα μοντέλο που βοηθά στον προσδιορισμό των παραγόντων που οδηγούν σε επίπεδα συνδυασμένου κινδύνου και πρότεινε τις κατάλληλες μεθόδους για την κατάλληλη συγκράτηση και ελαχιστοποίηση αυτού του κινδύνου. Οι συγγραφείς στο [128] συνόψισαν τις απειλές για την ασφάλεια των CPS για να παράσχει μια θεωρητική αναφορά για τη μελέτη των CPS καθώς και χρήσιμα μέτρα ασφαλείας και να δώσει μέτρα ασφαλείας και συστάσεις για όλους τους τύπους απειλών για την ασφάλεια. Οι συγγραφείς στο [129] παρουσίασαν τις απειλές για την ασφάλεια σε τρία επίπεδα: το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο δικτύου και το επίπεδο εφαρμογής και απαριθμεί τις ευπάθειες του CPS από τις τρεις πτυχές της διαχείρισης και της πολιτικής, της πλατφόρμας και του δικτύου. Οι συγγραφείς στο [130] εξέτασαν τις επιθέσεις διαταραχής της ροής πληροφοριών, όπως το Stuxnet, και εξηγούν επίσημα τον ρόλο που παίζει η εμπιστευτικότητα στην επίτευξη της ασφάλειας των CPS. Δείχνουν πώς κρύβεται η επίθεση και χρησιμοποιούν την εμπιστοσύνη του χειριστή για να παραμείνει ανυπόγραφο και καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η εμπιστοσύνη στο CPS είναι το κλειδί για την επιτυχία της επίθεσης. Οι συγγραφείς στο [131] συζήτησαν το νόημα και τις προκλήσεις του σχεδιασμού στην ασφάλεια από διάφορες οπτικές γωνίες, συμπεριλαμβανομένου ενός εμπειρογνώμονα από τον ακαδημαϊκό κόσμο, ενός CPS παρόχου, και έναν τελικό κάτοχο περιουσιακών στοιχείων. Ειδικά, η ποσοτική αξιολόγηση της ασφάλειας ήταν πάντα μια από τις προκλήσεις στον τομέα της ασφάλειας υπολογιστών. Σε αυτό το πλαίσιο, οι συγγραφείς στο [132] πρότειναν μια νέα προσέγγιση για τη μοντελοποίηση και την ποσοτική αξιολόγηση της ασφάλειας του CPS, λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές κατηγορίες απειλών που μπορούν να εμφανιστούν στα CPS, ενώ οι συγγραφείς στο [133] εξέτασαν την τρέχουσα κατάσταση της ασφάλειας των CPS,

εντοπίζοντας τα ζητήματα γύρω από τον ασφαλή έλεγχο τους, και διερευνώντας το βαθμό στον οποίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι πληροφορίες πλαισίου για τη βελτίωση της ασφάλειας και της επιβίωσης των CPS. Οι συγγραφείς στο [134] παρουσιάζουν μια λύση για την εξασφάλιση της εμπιστευτικότητας και της ασφάλειας των δεδομένων συνδυάζοντας μερικές από τις πιο κοινές μεθόδους στον τομέα της ασφάλειας, και της κρυπτογραφίας. Ο συγγραφέας στο [135] συζητήσε μια σειρά από προσεγγίσεις ασφάλειας για τα CPS από τις θεωρητικές και τις προοπτικές ασφάλειας στον ψηφιακό κόσμο και τονίζει τους ανιχνευτές απειλών σε διάφορα περιβάλλοντα CPS. Ο συγγραφέας στο [136] συζητά πώς να επεκτείνει τα πρότυπα κατάχρησης για να περιγράψει τις απειλές του CPS και πώς να απαριθμήσει και να ενοποιήσει τις απειλές του CPS για την κατασκευή ασφαλών CPS. Οι συγγραφείς στο [137] περιέγραψαν μια μέθοδο που χρησιμοποιεί ένα ιεραρχικό κρυπτούστημα για την προστασία των επικοινωνιών μέσα σε ένα CPS σε συνδυασμό με την περίπλοκη επεξεργασία συμβάντων για τη βελτιστοποίηση της αρχιτεκτονικής ασφαλείας. Οι συγγραφείς στο [138] ανέλυσαν την ευπάθεια ενός CPS υπό διάφορες επιθέσεις στον ψηφιακό κόσμο, συμπεριλαμβανομένων των επιθέσεων άρνησης εξυπηρέτησης, επιθέσεων επανάληψης και εσφαλμένων επιθέσεων ένεσης δεδομένων.

Έξυπνη πόλη και έξυπνο σπίτι (Smart city and smart home): Τα CPS παρέχουν μεγάλες ευκαιρίες για νέες εφαρμογές στην έξυπνη πόλη και το έξυπνο σπίτι μέσω μιας μεγάλης γκάμας έξυπνων οικοδομικών συσκευών. Έξυπνη πόλη σημαίνει ένα αστικό περιβάλλον με μια νέα γενιά καινοτόμων υπηρεσιών για τη μεταφορά, τη διανομή ενέργειας, την υγειονομική περίθαλψη, την παρακολούθηση του περιβάλλοντος, τις επιχειρήσεις, το εμπόριο, την αντιμετώπιση έκτακτων περιστατικών και τις κοινωνικές δραστηριότητες. Τα έξυπνα σπίτια είναι εξοπλισμένα με πλήθος αισθητήρων για τη μέτρηση φυσικών ιδιοτήτων ή πιο σύνθετων δεδομένων. Οι εφαρμογές που προέρχονται από αυτό το περιβάλλον είναι σχεδόν ατελείωτες. Ο στόχος του έξυπνου σπιτιού, του έξυπνου κτιρίου και της έξυπνης πόλης είναι να προσφέρει άνετα περιβάλλοντα διαβίωσης για τους καθημερινούς τους χρήστες. Οι έξυπνες πόλεις αυξάνουν τη δημόσια ασφάλεια γενικά, αλλά και την έξυπνη μεταφορά, μειώνοντας τις συμφορήσεις. Σε αυτό το πλαίσιο, μέχρι στιγμής έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές έρευνες. Αναλυτικότερα, ο συγγραφέας στο [139] προσδιορίζει ορισμένα βασικά καθοριστικά χαρακτηριστικά μιας έξυπνης πόλης, συζητά μερικά διδάγματα από την προβολή τους ως CPS και περιγράφει ορισμένα βασικά ερευνητικά ζητήματα. Υποστηρίζει ότι μια έξυπνη πόλη μπορεί να θεωρηθεί ως CPS που περιλαμβάνει νέες πλατφόρμες λογισμικού και αυστηρές απαιτήσεις για κινητικότητα, ασφάλεια, προστασία της ιδιωτικής ζωής και επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων πληροφοριών. Οι συγγραφείς στο [140] παρουσίασαν ένα ολοκληρωμένο σύστημα

για την εκτέλεση διεργασιών στο CPS, το PROtEUS, το οποίο αποτελείται από έναν βασικό κινητήρα για την εκτέλεση διαδικασιών που βασίζονται σε μοντέλα, μια πολύπλοκη μηχανή επεξεργασίας συμβάντων για την ενσωμάτωση και επεξεργασία δεδομένων αισθητήρων χαμηλού επιπέδου, καλώντας επιτόπου ή εξωτερικές υπηρεσίες. Επιπλέον, στην ίδια έρευνα, οι συγγραφείς παρουσίασαν ένα φιλικό προς το χρήστη CPS, στον έξυπνο οικιακό τομέα. Αυτό το κέντρο ελέγχου μειώνει τη δυσκολία χρήσης της πολυπλοκότητας του CPS με πολλές επιλογές ελέγχου και επιτρέπει σε μη εξειδικευμένους χρήστες να έχουν πρόσβαση παντού σε όλους τους αισθητήρες, τους ενεργοποιητές, τις διαδικασίες και τα πιο σύνθετα εξαρτήματα που αντιπροσωπεύουν τα ρομπότ εξυπηρέτησης. Μια σημαντική πρόκληση για αυτό το πεδίο εφαρμογής είναι η ανάγκη ενσωμάτωσης ετερογενών ευρέως κατανεμημένων συσκευών σε ένα κοινό περιβάλλον λογισμικού. Με την τρέχουσα ρύθμιση, κάθε νέα έξυπνη εφαρμογή πόλης και οικίας απαιτεί το δικό της μοναδικό τρόπο να ρέει και να είναι προσβάσιμο στους χρήστες της. Αυτό που λείπει λοιπόν, και αυτό που ορίζει το μέλλον, είναι μια υποκείμενη κοινή πλατφόρμα που επιτρέπει σε τέτοιες εφαρμογές να ενσωματώνονται και να ανταποκρίνονται σε αυτό το περιβάλλον.

Έξυπνη παραγωγή (Smart manufacturing): Σήμερα, είναι ευρέως αποδεκτό ότι η ευελιξία, η διαρθρωσιμότητα και η επανασυγκρότηση είναι οι κύριες προκλήσεις στο σχεδιασμό των συστημάτων παραγωγής. Η έξυπνη παραγωγή αναφέρεται στη χρήση ενσωματωμένων τεχνολογιών λογισμικού και υλικού για τη βελτιστοποίηση της παραγωγικότητας στην κατασκευή αγαθών ή στην παροχή υπηρεσιών [43]. Το CPS είναι μια βασική τεχνολογία για την πραγματοποίηση αυτού του είδους παραγωγής. Τα αυτοματοποιημένα συστήματα αποθηκών διαδραματίζουν βασικό ρόλο σε τέτοια συστήματα και ελέγχονται επί του παρόντος με αρχιτεκτονικές ιεραρχικής και κεντρικής διαχείρισης και συμβατικές τεχνικές προγραμματισμού αυτοματισμού. Οι συγγραφείς στο [141] παρουσίασαν προκαταρκτικά αποτελέσματα στην ανάπτυξη μιας ευέλικτης, αρθρωτής και κατανεμημένης αρχιτεκτονικής ελέγχου για τα αυτοματοποιημένα συστήματα αποθήκης χρησιμοποιώντας λειτουργικά τμήματα και μια προοπτική CPS. Οι συγγραφείς στο [142] παρείχαν μια εισαγωγή στα συστήματα παροχής υπηρεσιών ηλεκτρονικών προϊόντων και την εφαρμογή τους σε μια βιομηχανική περίπτωση. Τονίζουν ότι η πολυεπιστημονική απαιτούμενη μηχανική για το υλικό, το λογισμικό και τα εξαρτήματα των υπηρεσιών είναι μια βασική πτυχή για τις επιτυχημένες και δυναμικές αλλαγές στα CPS παραγωγής στη βιομηχανία. Αξίζει να σημειωθεί πως οι έρευνες του CPS στην περιοχή παραγωγής βρίσκονται ακόμα στο αρχικό στάδιο και οι περισσότερες μελέτες επικεντρώνονται σε μοντελοποίηση, σχεδιασμό και σχεδιασμό αξιοποίησης παρά στην υλοποίηση [143].

2.1.5 Κυβερνοφυσικά Συστήματα στον τομέα της Υγείας

Έχει καταστεί σαφές πως τα CPS εφαρμόζονται σε πολλούς διαφορετικούς τομείς. Εντούτοις, εκείνοι που δραστηριοποιούνται στον τομέα της υγείας ειδικότερα, είναι μεταξύ των πιο αξιοσημείωτων. Πιο συγκεκριμένα, στον τομέα αυτό υπάρχει μια ξεχωριστή κατηγορία των CPS, τα MCPS [144], [145] που θεωρούνται ως διασυνδεδεμένα έξυπνα συστήματα ιατρικών συσκευών που υποστηρίζουν μια ολιστική θεραπεία ενός ασθενούς. Το κύριο χαρακτηριστικό των MCPS είναι πως πρέπει να είναι σε θέση να συνδυάζουν το ενσωματωμένο λογισμικό ελέγχου των δικτυωμένων ιατρικών συσκευών με την πολύπλοκη ασφάλεια που πρέπει πάντα να ταιριάζει με τις ανάγκες των ασθενών [146]. Ως εκ τούτου, τα MCPS είναι συστήματα που είναι κρίσιμα για το περιβάλλον, κρίσιμα για τη ζωή, με κύριο μέλημα την ασφάλεια των ασθενών, απαιτώντας αυστηρές διαδικασίες ώστε να διασφαλίζεται η συμμόρφωση με τις απαιτήσεις των χρηστών [147]. Για το λόγο αυτό, οι ιατρικές συσκευές και τα συστήματα πρέπει να αναδιαμορφώνονται δυναμικά, να διανέμονται και να αλληλοεπιδρούν με τους ασθενείς και τους φροντιστές σε πολύπλοκα περιβάλλοντα. Για παράδειγμα, σε πολλά χειρουργεία χρησιμοποιούνται συσκευές όπως αντλίες έγχυσης για καταστολή, αναπνευστήρες και συστήματα χορήγησης οξυγόνου για υποστήριξη αναπνοής, καθώς και μια ποικιλία αισθητήρων για την παρακολούθηση των συνθηκών των ασθενών. Συχνά, αυτές οι συσκευές πρέπει να συναρμολογηθούν σε μια νέα διαμόρφωση του συστήματος ώστε να ταιριάζουν με τις συγκεκριμένες ανάγκες ασθενών ή διαδικασιών. Έτσι, η πρόκληση είναι να αναπτυχθούν συστήματα και μέθοδοι ελέγχου για τον σχεδιασμό και τη λειτουργία αυτών των συστημάτων που είναι πιστοποιημένα, ασφαλή, και αξιόπιστα. Ένας άλλος τομέας που είναι δύσκολος για την έρευνα της CPS στον τομέα της υγείας είναι η γνώση και η νευροεπιστήμη για την κατανόηση των θεμελιωδών αρχών των ανθρώπινων κινητικών λειτουργιών και για την αξιοποίηση αυτής της κατανόησης σε κατασκευασμένα συστήματα. Παραδείγματα περιλαμβάνουν διεπαφές εγκεφάλου-μηχανής, θεραπευτική και ψυχαγωγική ρομποτική, ορθωτικά και εξωσκληρωτικά και προσθετικά. Οι άνθρωποι και τα ζώα ενσωματώνουν απρόσκοπτα λειτουργίες αίσθησης, υπολογισμών και ελέγχου κινητήρα. Ωστόσο, τα MCPS δεν ικανοποιούν μόνο τις απλές αυτές αρχές, αλλά αποτελούνται από πολυλειτουργικά στοιχεία, υπολογισμούς και βρόχους επαναλήψεων σε διαφορετικές κλίμακες χρόνου και μήκους, θορυβώδη σήματα, παράλληλη επεξεργασία και περιττές αρχιτεκτονικές αντοχής σε σφάλματα [40], [148]. Συνεπώς, τα συστήματα MCPS συνδυάζουν τις ενσωματωμένες συσκευές, το λογισμικό ελέγχου και το κανάλι επικοινωνίας για την ομαλή λειτουργία τους.

Καθίσταται λοιπόν ξεκάθαρο πως οι τρέχουσες ιατρικές τεχνολογίες και η ταχεία πρόοδός τους, έχουν οδηγήσει στην ευρεία υιοθέτηση των MCPS, τα οποία βελτιστοποιούν τις διαδικασίες παρακολούθησης και υποστήριξης των ασθενών. Οι νέες βελτιώσεις των ιατρικών αισθητήρων, των ασύρματων δικτύων και των υπολογιστικών νεφών, έχουν καταστήσει στα MCPS κυρίαρχο υποψήφιο για διάφορες εφαρμογές στον τομέα της υγείας, όπως η φροντίδα ασθενών εντός/νοσοκομείου [149]. Έτσι λοιπόν, στο πλαίσιο αυτό, υπάρχουν διάφορα σενάρια για τις εφαρμογές MCPS, συμπεριλαμβανομένων αναληπτικών αντλιών έγχυσης, παρακολούθησης ασθενούς και συσκευών αισθητήρων εμφύτευσης, των οποίων κύριο μέρος αποτελούν οι επιμέρους συσκευές τους, καθώς συσχετίζονται άμεσα με το εκάστοτε MCPS, στέλνοντας τα δεδομένα τους. Ειδικότερα, αυτές οι ιατρικές συσκευές περιλαμβάνουν αισθητήρες που αισθάνονται τα διάφορα μέρη του σώματος για να αποκτήσουν τις πληροφορίες του ασθενούς για περαιτέρω πρόσβαση σε υπολογιστικές συσκευές για τη χειραγώγηση και τη λήψη διαγνωστικών αποφάσεων. Στη συνέχεια, μέσω του ασύρματου μέσου επικοινωνίας, τα δεδομένα που συλλέγονται μεταφέρονται σε μια πύλη, ώστε τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες να μπορούν να είναι προσβάσιμα στους κλινικούς ιατρούς και να αποθηκεύονται σε ένα διακομιστή. Κατά συνέπεια, η ασφάλεια γίνεται ένα ζωτικό ζήτημα, καθώς τα δεδομένα ασθενών είναι ιδιωτικά. Επομένως, για εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης, ιδιαίτερες εκτιμήσεις είναι απαραίτητες για την εξασφάλιση της ασφάλειας των δεδομένων κατά το σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής των MCPS. Επιπλέον, οι εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης απαιτούν υπολογιστικούς πόρους για την έξυπνη λήψη αποφάσεων με βάση τα δεδομένα ασθενών. Η διαρκής έρευνα στον τομέα της υγείας βασισμένη στο MCPS επιδιώκει να χρησιμοποιήσει τις τεχνολογίες των υπολογιστικών νεφών ως ραχοκοκαλιά των συστημάτων MCPS για να αναπτύξει την επεκτασιμότητα του συστήματος και να επιτρέψει την ανάλυση δεδομένων και τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Ωστόσο, η χρήση και η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών προϋποθέτουν τη χρήση συντονισμένης διαλειτουργικότητας προσαρμοζόμενων συσκευών καθώς και νέων εννοιών διαχείρισης για τα ιατρικά φυσικά συστήματα που χρησιμοποιούν τις λειτουργίες των MCPS, μειωμένες εμφυτεύσιμες έξυπνες συσκευές, νέες προσεγγίσεις κατασκευής και προγραμματιζόμενα υλικά [101]. Συνεπώς, καθίσταται σαφές ότι τα MCPS του μέλλοντος πρέπει να παρέχουν εκτεταμένη ολοκλήρωση και πρόσβαση δεδομένων, ολοκληρωμένη συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ικανότητες ελέγχου κλειστού βρόχου, οπτικοποίηση σε πραγματικό χρόνο και δυνατότητα plug'n'play με διαλειτουργικές ιατρικές συσκευές. Οι περαιτέρω εξελίξεις στα ενσωματωμένα συστήματα, τα ασύρματα δίκτυα σε πραγματικό χρόνο, στις τεχνικές σχεδιασμού και ανάπτυξης κρίσιμων για την ασφάλεια σύνθετων ιατρικών συστημάτων και στην επαλήθευση και

επικύρωση της ασφάλειας αυτών, μπορούν να επιταχύνουν τη συνεχή εξέλιξη των ιατρικών και υγειονομικών συστημάτων προς ασφαλέστερα, πιο έξυπνα και πιο αλληλοσυνδεόμενα συστήματα [41].

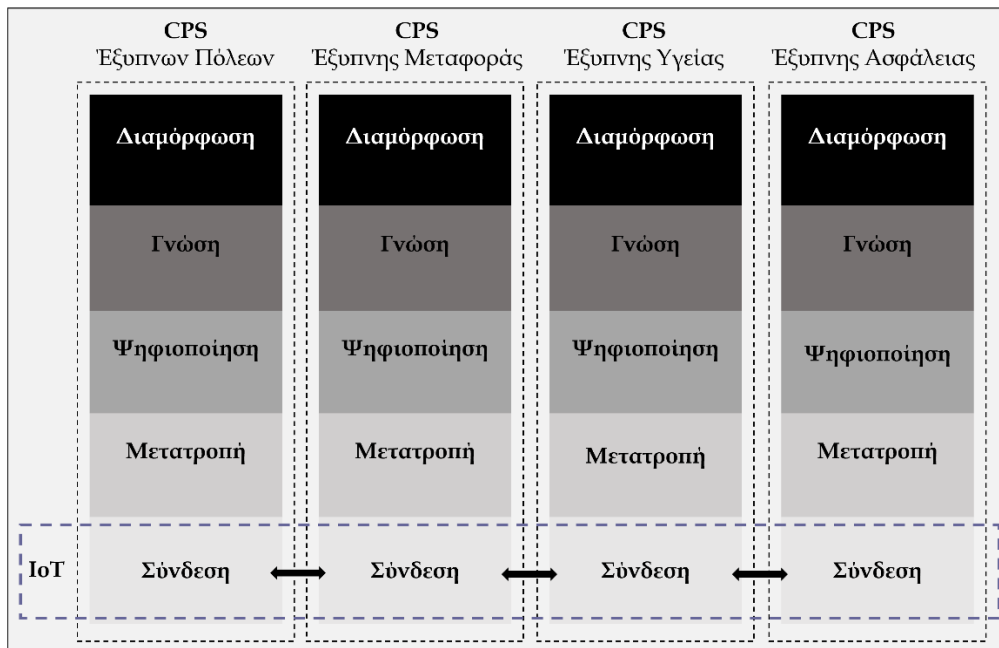
Επί του παρόντος, η έρευνα σχετικά με τα MCPS στον τομέα της υγείας βρίσκεται ακόμη στα πρώιμα στάδιά της. Παρόλο που πολλές αρχιτεκτονικές CPS έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία, ο αριθμός των αρχιτεκτονικών CPS που προτείνονται για εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης είναι πολύ χαμηλός [150]. Ωστόσο, έχουν διεξαχθεί διάφορες ερευνητικές προσπάθειες για την ανάπτυξη CPS για εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης βασισμένες στην ενσωμάτωση υποδομών αισθητήρων και ψηφιακών συστημάτων, εστιάζοντας κυρίως σε έξυπνα συστήματα αισθητήρων για την παρακολούθηση και την προειδοποίηση της κατάστασης των ασθενών σε πραγματικό χρόνο, την παρακολούθηση της καθημερινής διαβίωσης των ασθενών και την πρόσληψη φαρμάκων, σε τηλεϊατρικά συστήματα που επιτρέπουν την παροχή υπηρεσιών απομακρυσμένης υγειονομικής περίθαλψης, σε τηλεχειριζόμενα συστήματα εξυπηρέτησης κλπ. Ειδικότερα, σχετικά με τις καθημερινές εφαρμογές των ασθενών και την πρόσληψη φαρμάκων, οι συγγραφείς του [151] παρουσίασαν μία πλατφόρμα ασύρματης αναγνώρισης και ανίχνευσης που χρησιμοποιεί τις RFID ετικέτες με αισθητήρες έτσι ώστε να διευκολύνει την επικοινωνία δεδομένων από τον αισθητήρα στον δέκτη. Στο ίδιο πλαίσιο, οι συγγραφείς στο [152] πρότειναν το σύστημα iCabiNET, το οποίο χρησιμοποιεί τις RFID ετικέτες προκειμένου να είναι σε θέση να καταγράφει την αφαίρεση ενός χαπιού διασπώντας μια ηλεκτρική ροή στο κύκλωμα RFID, χρησιμοποιώντας οικιακό δίκτυο στο σπίτι ή έξυπνες συσκευές. Στην ίδια ιδέα, οι συγγραφείς στο [153] παρουσίασαν το iPackage, ένα έξυπνο πρωτότυπο συσκευασίας που αποτελείται από την απομακρυσμένη λήψη φαρμάκων και την παρακολούθηση ζωτικών σημείων. Επιπλέον, στο [154] παρουσιάζεται το LiveNet, το οποίο αποτελεί μία κατανεμημένη κινητή πλατφόρμα σε πραγματικό χρόνο για την παρακολούθηση των δραστηριοτήτων της νόσου του Πάρκινσον και των ασθενών με επιληψία. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [155] πρότειναν ένα σύστημα που ανιχνεύει την πτώση ενός ατόμου χρησιμοποιώντας ένα επιταχυνσιόμετρο στο επίπεδο της κεφαλής και εντοπίζει την πτώση μέσω ενός αλγορίθμου. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [156] πρότειναν το HipGuard, το οποίο είναι μια εφαρμογή ανάλυσης στάσης που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της στάσης για την περίοδο αποκατάστασης οκτώ έως δώδεκα εβδομάδων μετά από χειρουργική επέμβαση αντικατάστασης ισχίου, με την ενσωμάτωση επτά αισθητήρων τοποθετημένων σε συγκεκριμένες θέσεις κοντά σε χειρουργική επέμβαση. Όσον αφορά την παρακολούθηση της υγείας και την προειδοποίηση των ασθενών, οι συγγραφείς του [157] πρότειναν το MobiHealth, ένα σύστημα που συλλέγει δεδομένα από τις φορητές συσκευές αισθητήρων που

φορούν οι ασθενείς όλη την ημέρα, συλλέγοντας σήματα ήχου και βίντεο για την πρόωρη αντίδραση σε περίπτωση ατυχημάτων. Επιπλέον, στο [158] παρουσιάζεται το σύστημα CyPhyS+, ένα ολοκληρωμένο, χαμηλού κόστους και συμβατό με τα πρότυπα CPS σύστημα, βασισμένο στην έννοια του IoT για την απομακρυσμένη παρακολούθηση της υγείας των ηλικιωμένων. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [159] πρότειναν ένα έξυπνο ηλεκτροκαρδιογραφικό σύστημα που χρησιμοποιεί τα έξυπνα τηλέφωνα ως σταθμό βάσης για την ηλεκτροκαρδιογραφική μέτρηση και ανάλυση, διαβιβάζοντας τα λαμβανόμενα δεδομένα στους επαγγελματίες του ιατρικού τομέα. Οι συγγραφείς στο [160] παρουσίασαν το CodeBlue, μια πλατφόρμα που αποτελείται από βιοϊατρικούς αισθητήρες (π.χ. παλμικό οξύμετρο, αισθητήρα κίνησης), με στόχο τη διαχείριση της επικοινωνίας μεταξύ αυτών των συσκευών. Στο ίδιο πλαίσιο, οι συγγραφείς στο [161] πρότειναν το πρωτότυπο ασύρματο βιοαισθητήρα δικτύου AlarmNet, το οποίο αποτελείται από καρδιακό ρυθμό, ρυθμό παλμού, κορεσμό οξυγόνου και το ηλεκτροκαρδιογραφικό σύστημα, και είναι σε θέση να παρακολουθεί όλες τις μετρήσεις των ασθενών και να παρέχει μια γραφική διεπαφή χρήστη που βοηθά τους επαγγελματίες του τομέα της υγείας να παρακολουθούν τις ζωτικές μετρήσεις των ασθενών τους. Όσον αφορά τα τηλεχειριζόμενα συστήματα εξυπηρέτησης, οι συγγραφείς στο [162] ανέπτυξαν ένα MCPS για να υποστηρίξουν τους χειρουργούς περνώντας χειρουργικά εργαλεία κατά τη διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης όπως απαιτείται, και καταγράφοντας τα χειρουργικά εργαλεία σε έναν προσωπικό φάκελο υγείας. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι αυτό το online εργαλείο υγείας επιτρέπει την ανταλλαγή κλινικών και χειρουργικών πληροφοριών σε ηλεκτρονικές ιατρικές εγγραφές που χρησιμοποιούν τους προσωπικούς φακέλους υγείας, και εφαρμογές που βασίζονται σε διαφορετικά νοσοκομεία, ανεξάρτητα από τον θεατή στυλ. Οι συγγραφείς στο [163] συζητούν μερικές τεχνικές δεξιότητες που βασίζονται σε CPS για προσομοίωση ενδοαγγειακής χειρουργικής και καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η ανάπτυξη CPS προσομοιωτών για άλλους τομείς της ιατρικής εξαρτάται από τη μελέτη φωτογραφικών ελαστικών υλικών για τη μοντελοποίηση ανθρώπινων ιστών και επιτρέπει την ποσοτική αξιολόγηση των δεξιοτήτων χρησιμοποιώντας χειρουργικά εργαλεία και μια ρεαλιστική αναπαράσταση του ανθρώπινου ιστού. Οι συγγραφείς στο [164] συνδυάζουν ενεργούς και παθητικούς τρόπους εισαγωγής χρηστών σε κλινικά περιβάλλοντα για την ανακάλυψη και την απόκτηση γνώσεων. Αυτή η καινοτόμος πτυχή είναι μια ολιστική άποψη για μεμονωμένους ασθενείς βάσει οντολογιών, και αρχείων κειμένων ασθενών, όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεμονωμένα ενεργά και παθητικά δεδομένα ασθενών σε πραγματικό χρόνο για τη βελτίωση της υποστήριξης των κλινικών αποφάσεων.

2.2 Διαδίκτυο των Αντικειμένων

2.2.1 Ανάγκη Διαδικτύου των Αντικειμένων

Με βάση την επισκόπηση των CPS, έχει καταστεί σαφές ότι η ουσία των CPS είναι το σύστημά τους αυτό καθ' αυτό, και ο κύριος στόχος τους είναι η καταγραφή και η συλλογή των πληροφοριών που παράγονται από τις φυσικές συσκευές, καθώς και η διασφάλιση της ασφαλούς, αποδοτικής και έξυπνης λειτουργίας τους. Γενικά, όπως περιεγράφηκε και στην Ενότητα 2.1.2, ένα CPS απαρτίζεται από πέντε (5) διαφορετικά επίπεδα, αυτό της Σύνδεσης, της Μετατροπής, της Ψηφιοποίησης, της Γνώσης, και της Διαμόρφωσης. Το επίπεδο της Σύνδεσης χρησιμοποιείται για να συλλέγει τα δεδομένα από τις διαθέσιμες συσκευές σε πραγματικό χρόνο και να εκτελεί εντολές επικοινωνίας, προκειμένου να παραδίδονται τα δεδομένα στο ανώτερα επίπεδα. Το επίπεδο της Μετατροπής χρησιμοποιείται για να αξιοποιεί όλα τα συλλεχθέντα δεδομένα και να τα μετατρέπει σε σημαντικές πληροφορίες, ενώ εν συνεχεία, εφαρμόζεται το επίπεδο της Ψηφιοποίησης προκειμένου να σχηματίζει όλα τα δίκτυα μηχανών που απαιτούνται για να διαχειρίζονται επιτυχώς όλα αυτά τα δεδομένα. Εν συνεχεία, στο επίπεδο της Γνώσης παρέχεται η κατάλληλη παρουσίαση των δεδομένων που έχουν αναλυθεί στους χρήστες, για πραγματοποιείται η αντίστοιχη λήψη αποφάσεων. Τέλος, το επίπεδο της Διαμόρφωσης χρησιμοποιείται προκειμένου να αποστέλλεται η ανατροφοδότηση από το ψηφιακό μέρος του CPS στο φυσικό του μέρος. Η Εικόνα 7 απεικονίζει όλα τα προαναφερθέντα επίπεδα, παρουσιάζοντας το ρόλο και τη συνεισφορά που έχει το IoT σε αυτά τα πέντε (5) επίπεδα.



Εικόνα 7. Ενσωμάτωση CPS και IoT

Ειδικότερα, με βάση την Εικόνα 7, μπορεί να παρατηρηθεί πως η γενική αρχιτεκτονική των CPS αποτελεί στην ουσία μια κάθετη αρχιτεκτονική. Αντίθετα, το IoT αποτελεί μια υποδομή δικτύωσης για τη σύνδεση των διαθέσιμων συσκευών και για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των συσκευών αυτών, χρησιμοποιώντας σύγχρονες τεχνολογίες στον ψηφιακό κόσμο. Έτσι, το κλειδί του IoT είναι η διασύνδεση. Ειδικότερα, ο κύριος στόχος του IoT είναι η διασύνδεση διαφόρων δικτύων έτσι ώστε η συλλογή δεδομένων, η ανταλλαγή πόρων, η ανάλυση και η διαχείριση να μπορούν να πραγματοποιούνται σε ετερογενή δίκτυα. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να παρέχονται αξιόπιστες, αποτελεσματικές και ασφαλείς υπηρεσίες. Έτσι, το IoT αποτελεί μία οριζόντια αρχιτεκτονική, η οποία είναι ικανή να ενσωματώνει τα επίπεδα Σύνδεσης όλων των CPS εφαρμογών για την επίτευξη διασύνδεσης, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7. Αξίζει να σημειωθεί πως η διασύνδεση διαφόρων δικτύων δεν περιορίζεται μόνο στις φυσικές συνδέσεις. Το επίπεδο ελέγχου (δηλαδή οι διασυνδέσεις, το ενδιάμεσο λογισμικό, τα πρωτόκολλα, κλπ.) πρέπει να σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ότι τα δεδομένα μπορούν να παραδοθούν και να μοιραστούν αποτελεσματικά στα διαφορετικά δίκτυα. Για παράδειγμα, σε μια έξυπνη πόλη, τα δίκτυα έξυπνης πρόβλεψης του καιρού, οι έξυπνες μεταφορές, και το έξυπνο δίκτυο πρέπει να διασυνδεθούν και να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Τα δεδομένα από τις έξυπνες μεταφορές και την έξυπνη πρόγνωση του καιρού θα πρέπει να υποβάλλονται σε επεξεργασία και να εξαγονται και να χρησιμοποιούνται από το έξυπνο δίκτυο για να προσδιοριστούν οι καταστάσεις και η φωτεινότητα των λαμπών στους δρόμους, για να διασφαλιστεί η αποτελεσματική χρήση των ενεργειακών πόρων καθώς και η οδική ασφάλεια κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ως εκ τούτου, συνοπτικά, η βασική διαφορά μεταξύ των CPS και του IoT έγκειται στο γεγονός πως τα CPS θεωρούνται ως ολοκληρωμένα συστήματα, ενώ το IoT θεωρείται ως το «Διαδίκτυο» αυτών των συστημάτων. Οι κοινές απαιτήσεις τόσο για το CPS όσο και για το IoT είναι η πραγματική, αξιόπιστη και ασφαλής μετάδοση δεδομένων, ενώ υπάρχουν διάφορες ξεχωριστές απαιτήσεις μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, ο πρωταρχικός στόχος των CPS είναι ο αποτελεσματικός, αξιόπιστος, ακριβής έλεγχος σε πραγματικό χρόνο, ενώ για το IoT, η ανταλλαγή και διαχείριση πόρων, η ανταλλαγή και διαχείριση δεδομένων, η διασύνδεση μεταξύ διαφορετικών δικτύων, η συλλογή δεδομένων και η αποθήκευση μεγάλων δεδομένων, η εξόρυξη δεδομένων, η συνάθροιση δεδομένων και η εξαγωγή πληροφοριών, καθώς και η υψηλή ποιότητα της ποιότητας των υπηρεσιών δικτύου (Quality of Service, QoS) αποτελούν σημαντικές υπηρεσίες. Στην πραγματικότητα, μία από τις πιο αντιπροσωπευτικές εφαρμογές που ενσωματώνουν το CPS και το IoT είναι οι έξυπνες πόλεις, στις οποίες λειτουργούν ταυτόχρονα πολλές CPS εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των έξυπνων μεταφορών, της έξυπνης υγειονομικής περίθαλψης κλπ [165].

Όπως τα CPS, έτσι και το IoT σαν βασικό επιμέρους κομμάτι των CPS, έχει τραβήξει αρκετό ενδιαφέρον τη σημερινή εποχή. Ειδικότερα, τη σημερινή εποχή το IoT αποτελεί μία νέα μετατόπιση παραδείγματος στο χώρο της πληροφορικής. Δεν υπάρχει διαθέσιμος αποκλειστικός ορισμός για το IoT που είναι αποδεκτός από την παγκόσμια κοινότητα χρηστών, καθώς ποικίλοι ορισμοί έχουν προταθεί από αυτούς. Ωστόσο, αυτό που έχουν κοινό όλοι οι ορισμοί είναι η ιδέα ότι η πρώτη έκδοση του διαδικτύου αφορούσε δεδομένα που δημιουργήθηκαν από ανθρώπους, ενώ η επόμενη έκδοση, δηλαδή το IoT, αφορά δεδομένα που δημιουργούνται από πράγματα. Ο καλύτερος ορισμός για το IoT θα ήταν: «Ένα ανοικτό και εκτεταμένο δίκτυο ευφών αντικειμένων που έχουν την ικανότητα να αυτοοργανώνουν, να μοιράζονται πληροφορίες, δεδομένα και πόρους, να αντιδρούν και να ενεργούν εν όψει καταστάσεων και αλλαγών στο περιβάλλον» [166]. Ρίχνοντας μια βαθύτερη ματιά στο νόημα του IoT, μπορεί να παρατηρηθεί ότι το IoT δημιουργείται από την πρώτη λέξη «διαδίκτυο» (Internet) και τη δεύτερη λέξη «αντικείμενα» (Things). Το διαδίκτυο είναι ένα παγκόσμιο σύστημα διασυνδεδεμένων δικτύων υπολογιστών που χρησιμοποιούν την τυπική αρχιτεκτονική του TCP/IP για να εξυπηρετούν δισεκατομμύρια χρήστες παγκοσμίως. Στην ουσία πρόκειται για ένα σύνολο δικτύων που αποτελείται από εκατομμύρια ιδιωτικά, δημόσια, ακαδημαϊκά, επιχειρηματικά και κυβερνητικά δίκτυα τοπικού και παγκόσμιου πεδίου, τα οποία συνδέονται με ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών ηλεκτρονικής, ασύρματης και οπτικής δικτύωσης [167]. Σήμερα περισσότερες από 100 χώρες συνδέονται με ανταλλαγές δεδομένων, ειδήσεων και απόψεων μέσω του διαδικτύου. Σύμφωνα με τα Internet World Statistics, στις 31 Δεκεμβρίου 2011 υπήρχαν περίπου 2 δισεκατομμύρια συνδεδεμένοι χρήστες στο διαδίκτυο παγκοσμίως [168]. Αυτό σημαίνει ότι το 32,7% του παγκόσμιου πληθυσμού χρησιμοποιεί το διαδίκτυο. Σχετικά με τη δεύτερη λέξη που απαρτίζεται η έννοια του IoT, τα Αντικείμενα, αυτά στην ουσία μπορεί να αντιπροσωπεύουν οποιοδήποτε αντικείμενο ή πρόσωπο που μπορεί να διακριθεί από τον πραγματικό κόσμο. Τα καθημερινά αντικείμενα περιλαμβάνουν όχι μόνο ηλεκτρονικές συσκευές και τεχνολογικά προηγμένα προϊόντα που χρησιμοποιούν οι άνθρωποι στην καθημερινότητά τους, αλλά και «πράγματα» που δεν θεωρούνται πως λειτουργούν με ηλεκτρονικό τρόπο, όπως τα τρόφιμα, τα είδη ένδυσης, τα έπιπλα, τα ορόσημα, τα μνημεία και τα έργα τέχνης, όλα τα διάφορα εμπορικά, πολιτιστικά και εκλεπτυσμένα προϊόντα, κλπ [169]. Αυτό σημαίνει ότι τα πράγματα μπορούν να είναι τόσο ζωντανά, όπως ζώα, φυτά, όσο και μη ζωντανά, όπως καρέκλες, κουρτίνες, κλπ. Ως εκ τούτου, καθίσταται σαφές ότι το IoT περιγράφει έναν κόσμο όπου σχεδόν τα πάντα μπορούν να συνδεθούν και να επικοινωνούν με ένα έξυπνο τρόπο, όπως ποτέ άλλοτε. Για τη σύνδεση αυτή, το IoT αξιοποιεί τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές που είναι ενσωματωμένοι σε φυσικά αντικείμενα, και συνδέονται μέσω ενσύρματων και ασύρματων δικτύων,

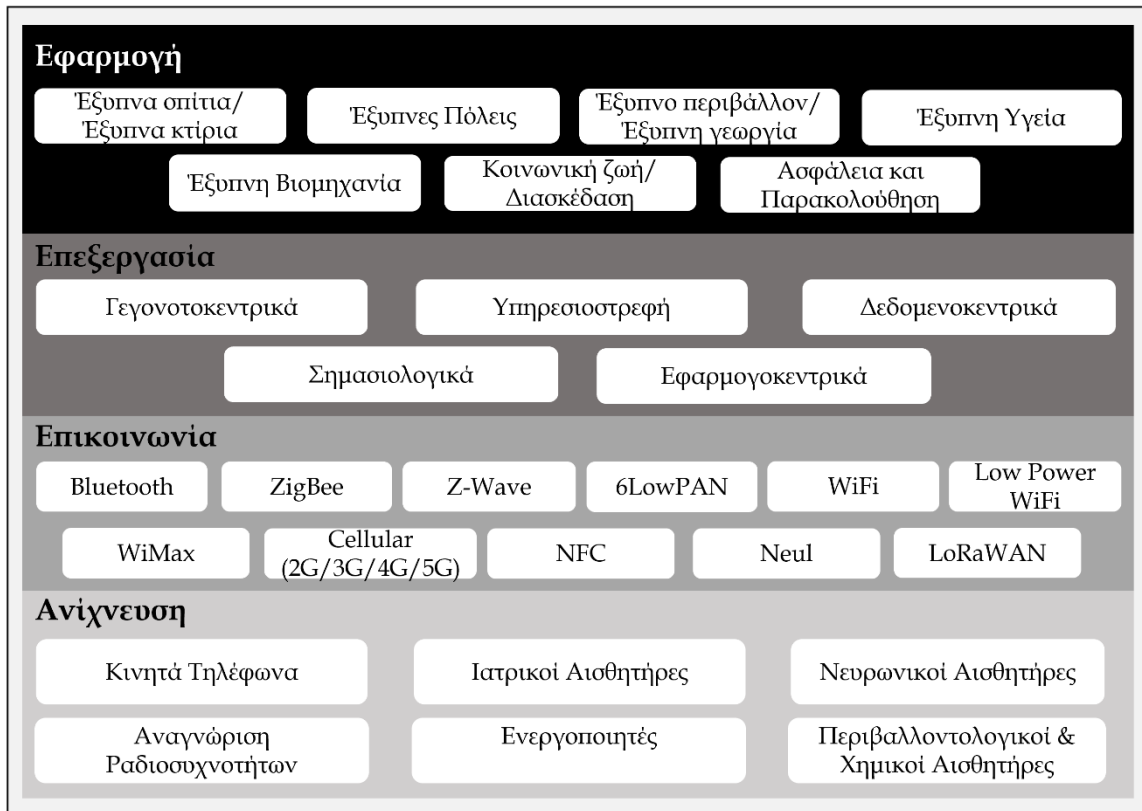
συχνά χρησιμοποιώντας την ίδια διεύθυνση IP που τα συνδέει στο Διαδίκτυο. Αυτά τα δίκτυα αναδεικνύουν μεγάλους όγκους δεδομένων που ρέουν στους υπολογιστές για ανάλυση. Όταν τα αντικείμενα μπορούν να αισθανθούν το περιβάλλον και να επικοινωνούν, γίνονται εργαλεία για την κατανόηση της πολυπλοκότητας και την ταχεία ανταπόκριση σε αυτά. Αυτό που είναι επαναστατικό σε όλα αυτά είναι ότι αυτά τα συστήματα φυσικής πληροφορίας αρχίζουν τώρα να αναπτύσσονται και μερικά από αυτά εργάζονται ακόμη και σε μεγάλο βαθμό χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Ως εκ τούτου λοιπόν, το IoT αναφέρεται στην κωδικοποίηση και τη δικτύωση των καθημερινών αντικειμένων για να τα καταστήσει ατομικά μηχανικά αναγνώσιμα και ανιχνεύσιμα στο διαδίκτυο [170], [171], [172], [173], [174], [175].

Γενικότερα, η έννοια του IoT ξεκίνησε το 1999, όταν θεωρήθηκε ως ένα οικοσύστημα υλικού που θα μπορούσε να επικοινωνήσει με άλλες συσκευές και έτσι οι άνθρωποι θα μπορούσαν να ελέγχουν όλες αυτές τις συσκευές για να βελτιώσουν την κοινωνία και την προσωπική τους ζωή [176]. Ειδικότερα, ο Kevin Ashton πρότεινε αρχικά την έννοια του IoT το 1999 και ανέφερε το IoT ως μοναδικά αναγνωρίσιμα διαλειτουργικά αντικείμενα που χρησιμοποιούν τεχνολογία RFID. Πιο συγκεκριμένα, η εξέλιξη του IoT μπορεί να περιγραφεί από διάφορες φάσεις. Το IoT ξεκινά από τη χρήση της τεχνολογίας RFID, η οποία χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο στην εφοδιαστική, τη φαρμακευτική παραγωγή, το λιανικό εμπόριο και τις ποικίλες βιομηχανίες [177], [178], [179], [180]. Οι αναδυόμενες ασύρματες αισθητικές τεχνολογίες έχουν επεκτείνει σημαντικά τις αισθητηριακές δυνατότητες των συσκευών και ως εκ τούτου η αρχική έννοια του IoT επεκτείνεται στην περιβαλλοντική ευφυΐα και τον αυτόνομο έλεγχο. Μέχρι στιγμής, πολλές τεχνολογίες εμπλέκονται στο IoT, όπως ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, barcodes, έξυπνη ανίχνευση, χαμηλής ενέργειας ασύρματες επικοινωνίες, υπολογιστικά νέφη, κλπ [181], [182], [183], [184]. Καθίσταται λοιπόν ξεκάθαρο πως οι εξελίξεις των τεχνολογιών αυτών φέρνουν νέες τεχνολογίες στην IoT. Το IoT περιγράφει την επόμενη γενιά του διαδικτύου, όπου τα φυσικά πράγματα μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση και να αναγνωριστούν μέσω του διαδικτύου. Ανάλογα με τις διάφορες τεχνολογίες για την εφαρμογή, ο ορισμός του IoT ποικίλλει. Ωστόσο, το θεμελιώδες του IoT υποδηλώνει ότι τα αντικείμενα σε ένα IoT περιβάλλον μπορούν να αναγνωριστούν μοναδικά στις εικονικές αναπαραστάσεις. Μέσα σε ένα IoT, όλα τα αντικείμενα είναι σε θέση να ανταλλάσσουν δεδομένα και, αν χρειαστεί, να επεξεργάζονται δεδομένα σύμφωνα με προκαθορισμένα σχήματα.

Κατά την τελευταία δεκαετία ο όρος του IoT έχει προσελκύσει αρκετά την προσοχή, προβάλλοντας το όραμα μιας παγκόσμιας υποδομής δικτυωμένων φυσικών αντικειμένων, επιτρέποντας οποιαδήποτε στιγμή και οπουδήποτε τη σύνδεση των αντικειμένων αυτών, για οποιοδήποτε σκοπό [185]. Η έννοια του IoT άρχισε να απογειώνεται το 2015, όταν ένας συνδυασμός αναλύσεων δεδομένων, υψηλής ταχύτητας και μονίμως διαθέσιμης σύνδεσης, και μια ποικιλία εφαρμογών έγιναν διαθέσιμα σε μαζική κλίμακα [169]. Έτσι λοιπόν, το IoT συνεχίζει να επεκτείνεται σε σπίτια, επιχειρήσεις και άλλα περιβάλλοντα, καθώς όλο και περισσότερες συσκευές αγοράζονται και συνδέονται με τον κόσμο του διαδικτύου, με στόχο τη συλλογή, τη διαχείριση και την ανταλλαγή δεδομένων [186]. Ειδικότερα, το 2020 αναμένεται ότι θα υπάρχουν 50 δισεκατομμύρια συσκευές παγκοσμίως, περίπου 6 ανά άτομο [170], ενώ προβλέπεται πως μέχρι το έτος 2035 θα είναι συνδεδεμένες πάνω από 1 τρισεκατομμύριο IoT συσκευές παγκοσμίως [171]. Οι αριθμοί αυτοί αυξάνονται συνεχώς, όπου εκτιμάται ότι περίπου 31 δισεκατομμύρια IoT συσκευές θα μεταφερθούν παγκοσμίως, θα αγοραστούν και θα χρησιμοποιηθούν έως το έτος 2020 [172], ενώ μέχρι το 2022, οι ροές αυτές αναμένεται να αποτελούν έως και το 45% της συνολικής κίνησης στο διαδίκτυο [187], [188], [189]. Ως εκ τούτου, καθίσταται σαφές ότι το IoT προσφέρει μια μεγάλη ευκαιρία αγοράς για τους κατασκευαστές εξοπλισμού, τους παρόχους υπηρεσιών διαδικτύου και τους προγραμματιστές εφαρμογών. Πέρα από αυτές τις προβλέψεις, το McKinsey Global Institute ανέφερε ότι ο αριθμός των συνδεδεμένων αντικειμένων έχει αυξηθεί κατά 300% τα τελευταία 5 χρόνια [190], ενώ η παρακολούθηση της κυκλοφορίας ενός κυπελοειδούς δικτύου στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής έδειξε επίσης αύξηση κατά 250% για τον όγκο κυκλοφορίας το 2011 [191]. Η οικονομική ανάπτυξη των υπηρεσιών διαδικτύου είναι επίσης σημαντική για τις επιχειρήσεις. Οι εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης και κατασκευής αναμένεται να αποτελέσουν το μεγαλύτερο οικονομικό αντίκτυπο. Οι εφαρμογές ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης και οι σχετικές υπηρεσίες που βασίζονται στο IoT, όπως η κινητή υγεία και η τηλεϊατρική που επιτρέπουν την αποτελεσματική παροχή υπηρεσιών ιατρικής ευεξίας, πρόληψης, διάγνωσης, θεραπείας και παρακολούθησης μέσω ηλεκτρονικών μέσων, αναμένεται να δημιουργήσουν περίπου \$1.1 - \$2.5 τρισεκατομμύρια ετησίως από την παγκόσμια οικονομία έως το 2025. Το συνολικό ετήσιο οικονομικό αντίκτυπο που προκαλείται από το διαδίκτυο εκτιμάται ότι θα κυμανθεί μεταξύ των 2,7 τρισεκατομμυρίων και των 6,2 τρισεκατομμυρίων δολαρίων έως το 2025 [190]. Όλες αυτές οι στατιστικές, δείχνουν μια δυναμικά σημαντική και ταχεία ανάπτυξη του IoT στο εγγύς μέλλον, των συναφών βιομηχανιών και υπηρεσιών, παρέχοντας μια μοναδική ευκαιρία στους παραδοσιακούς κατασκευαστές εξοπλισμού και συσκευών να μετατρέψουν τα προϊόντα τους σε «έξυπνα πράγματα».

2.2.2 Αρχιτεκτονική Διαδικτύου των Αντικειμένων

Είναι αναμφισβήτητο το γεγονός ότι τη σημερινή εποχή το IoT αναπτύσσεται με πολύ γοργούς ρυθμούς, μαζί με τον αριθμό των λύσεων και αρχιτεκτονικών που προτείνονται για να το χειριστούν [192]. Δεν υπάρχει λοιπόν μία ενιαία συναίνεση σχετικά με την αρχιτεκτονική που μπορεί να ακολουθείται στις IoT εφαρμογές, η οποία συμφωνείται παγκοσμίως. Διαφορετικές αρχιτεκτονικές έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές, ωστόσο η πιο βασική που είναι ευρέως αποδεκτή είναι η αρχιτεκτονική των τεσσάρων (4) επιπέδων [193], [194]. Η αρχιτεκτονική αυτή αποτελεί μία γενική απεικόνιση του μοντέλου αναφοράς του IoT, όπως αυτή απεικονίζεται στην Εικόνα 8, όπου απεικονίζεται η σύνδεση μεταξύ του φυσικού κόσμου που είναι το χαμηλότερο επίπεδο και του ψηφιακού κόσμου που είναι το ανώτερο επίπεδο.



Εικόνα 8. Γενική αρχιτεκτονική IoT συστημάτων

Πιο συγκεκριμένα, αυτή η αρχιτεκτονική προτάθηκε στα αρχικά στάδια της έρευνας στον τομέα αυτό, και αποτελείται από τα τέσσερα (4) ξεχωριστά επίπεδα της Ανίχνευσης, της Επικοινωνίας, της Επεξεργασίας, και της Εφαρμογής:

Ανίχνευση (Sensing): Αυτό το επίπεδο είναι το φυσικό επίπεδο, το οποίο διαθέτει όλους τους αισθητήρες για την ανίχνευση και τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με το περιβάλλον. Έτσι, ο κύριος στόχος του είναι να ανιχνεύσει μερικές φυσικές παραμέτρους ή να εντοπίσει άλλα έξυπνα αντικείμενα στο περιβάλλον που περιβάλλεται. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, αυτό το επίπεδο ενσωματώνει έναν ή περισσότερους αισθητήρες για τη συλλογή δεδομένων από το περιβάλλον. Αυτοί οι αισθητήρες είναι βασικά συστατικά των έξυπνων αντικειμένων, προσφέροντας διαφορετικές ικανότητες ανάλογα με το πλαίσιο στο οποίο χρησιμοποιούνται. Πιο συγκεκριμένα, οι αισθητήρες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις ακόλουθες ομάδες:

- i. Κινητά τηλέφωνα με αισθητήρες (Mobile phone-based sensors): Τα κινητά τηλέφωνα είναι πανταχού παρόντα και διαθέτουν πολλούς τύπους αισθητήρων ενσωματωμένους σε αυτά. Ειδικότερα, τα κινητά τηλέφωνα της νέας γενιάς είναι μια πολύ εύχρηστα και φιλικά προς το χρήστη, διαθέτοντας μια σειρά από ενσωματωμένες δυνατότητες επικοινωνίας και επεξεργασίας δεδομένων. Με την αυξανόμενη δημοτικότητα των κινητών τηλεφώνων μεταξύ των ανθρώπων, οι ερευνητές ενδιαφέρονται να δημιουργήσουν έξυπνες λύσεις IoT χρησιμοποιώντας τα τηλέφωνα αυτά, λόγω των ενσωματωμένων τους αισθητήρων (π.χ. επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο, φωτογραφική μηχανή και μικρόφωνο, μαγνητόμετρο, σύστημα τοποθεσίας, αισθητήρας φωτός, θερμομέτρο, βαρόμετρο και αισθητήρα υγρασίας) [195], [196]. Έτσι, οι εφαρμογές μπορούν να χτιστούν πάνω στα κινητά τηλέφωνα προκειμένου να χρησιμοποιούν τα δεδομένα αισθητήρων για να παράγει σημαντικά αποτελέσματα.
- ii. Ιατρικοί αισθητήρες (Medical sensors): Οι ιατρικοί αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης για τη μέτρηση και την παρακολούθηση διαφόρων ιατρικών παραμέτρων στο ανθρώπινο σώμα [197]. Αυτές οι εφαρμογές μπορούν να στοχεύουν στην παρακολούθηση της υγείας ενός ασθενούς όταν δεν βρίσκεται στο νοσοκομείο ή όταν είναι μόνος. Στη συνέχεια, μπορούν να παρέχουν ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο στον γιατρό, τους συγγενείς ή τον ίδιο τον ασθενή. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί αισθητήρες που μπορούν να φορεθούν στο σώμα για την παρακολούθηση της υγείας ενός ατόμου [198]. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν διαθέσιμες στην αγορά πολλές συσκευές φορητού αισθητήρα που είναι εξοπλισμένες με ιατρικούς αισθητήρες που μπορούν να μετρήσουν διαφορετικές παραμέτρους, όπως ο καρδιακός ρυθμός, ο παλμός, η αρτηριακή πίεση, η θερμοκρασία του σώματος, ο ρυθμός αναπνοής και τα επίπεδα γλυκόζης στο αίμα [199]. Αυτές οι συσκευές περιλαμβάνουν έξυπνα ρολόγια, παρακολουθητές δραστηριοτήτων, βραχιόλια βιομετρήσεων, μπαλώματα παρακολούθησης και έξυπνα υφάσματα. Ωστόσο, πρέπει να αναφερθεί πως

υπάρχουν και ορισμένες μη φορητές συσκευές που περιλαμβάνουν αισθητήρες για την καταγραφή ζωτικών δεδομένων, όπως οι συσκευές παρακολούθησης της αρτηριακής πίεσης, οι ζυγαριές, τα οξύμετρα, τα θερμόμετρα, κλπ. Επιπλέον, οι παράλληλες εξελίξεις στην ενσωμάτωση των μικροσκοπικών αισθητήρων, η μικροηλεκτρονική και οι διεργασίες κατασκευής και η διαθεσιμότητα ασύρματης παροχής ενέργειας έχουν κάνει τους μικροσκοπικούς εμφυτεύσιμους αισθητήρες όλο και πιο ευέλικτα [200]. Οι εμφυτεύσιμοι αισθητήρες αντιμετωπίζουν τις προκλήσεις τόσο της παρακολούθησης της οξείας όσο και της χρόνιας ασθένειας παρέχοντας ένα μέσο καταγραφής κρίσιμων συμβάντων και συνεχούς εξορθολογισμού των πληροφοριών για την υγεία. Οι πρόσφατες εξελίξεις στη μικροηλεκτρονική και στη νανοτεχνολογία έχουν βελτιώσει σημαντικά την ευαισθησία διαφορετικών αισθητήρων. Για παράδειγμα, με βάση τις μεταλλικές διατάξεις νανοσωματιδίων και τα μεμονωμένα νανοσωματίδια, η ευαισθησία των οπτικών αισθητήρων τοπικού συντονισμού επιφανειακών πλασμονίων μπορεί να ωθηθεί προς το όριο ανίχνευσης ενός μορίου [201]. Αυτό επέτρεψε την ανάπτυξη της επόμενης γενιάς τεχνολογιών προσδιορισμού αλληλουχίας υψηλής απόδοσης, καθώς και την ανίχνευση βιομορίων, όπως γλυκόζη, γαλακτικό, νιτροοξείδιο, και νάτριο [202]. Αυτό που αξίζει να αναφερθεί είναι ότι οι ιατρικές συσκευές διαχωρίζονται είτε σε ιατρικές συσκευές είτε σε συσκευές για τους καταναλωτές [203]. Πιο συγκεκριμένα, μια ιατρική συσκευή ιατρικής βαθμίδας είναι διαφορετική από συσκευές όπως οι παρακολουθητές δραστηριοτήτων, επειδή αυτές οι συσκευές πρέπει να εγκριθούν από την Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων (Food and Drug Administration, FDA) μετά από αυστηρούς ελέγχους. Είναι δηλαδή πιο αξιόπιστες από αυτές που δεν περνούν από την FDA. Από την άλλη πλευρά, οι ζώνες γυμναστικής και τα πιεσόμετρα που μπορούν να αγοραστούν παντού, δεν έχουν ελεγχθεί και εγκριθεί για ιατρική χρήση, επομένως αναφέρονται ως βαθμοί για τους καταναλωτές, αφήνοντας αμφιβολίες για την ποιότητα και την αξιοπιστία των παραγόντων δεδομένων, καθώς οι χρήστες τους εισέρχονται και ενημερώνουν τα δικά τους δεδομένα και έτσι μπορούν να προκύψουν σφάλματα στις πληροφορίες που παρέχουν. Επιπλέον, οι συσκευές ποιότητας για τους καταναλωτές δεν προστατεύονται κατά κανόνα από τον νόμο για την ασφάλεια φορητότητας και λογοδοσίας (Health Insurance Portability and Accountability Act, HIPAA), και τα δεδομένα που αποκτήθηκαν ενδέχεται να μην είναι ασφαλή.

- iii. Νευρωνικοί αισθητήρες (Neural sensors): Σήμερα, είναι δυνατόν να κατανοήσουμε τα νευρικά σήματα στον εγκέφαλο, να συναγάγουμε την κατάσταση του εγκεφάλου και να τον εκπαιδεύσουμε για καλύτερη προσοχή και εστίαση. Αυτό είναι γνωστό ως «neurofeedback» [204]. Η τεχνολογία που

χρησιμοποιείται για την ανάγνωση των σημάτων του εγκεφάλου ονομάζεται ηλεκτροεγκεφαλογράφημα ή μια διεπαφή υπολογιστή εγκεφάλου. Οι νευρώνες μέσα στον εγκέφαλο επικοινωνούν ηλεκτρονικά και δημιουργούν ένα ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο μπορεί να μετρηθεί από εξωτερικούς αισθητήρες ως προς τις συχνότητές τους. Τα κύματα του εγκεφάλου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε άλφα, βήτα, γάμα, θήτα και δέλτα, ανάλογα με τη συχνότητα. Με βάση τον τύπο του κύματος, μπορεί να συναχθεί εάν ο εγκέφαλος είναι ήρεμος ή περιπλανώμενος στις σκέψεις. Αυτός ο τύπος neurofeedback μπορεί να ληφθεί σε πραγματικό χρόνο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκπαιδεύσει τον εγκέφαλο να εστιάσει, να δώσει μεγαλύτερη προσοχή στα πράγματα, να διαχειριστεί το άγχος και να έχει καλύτερη ψυχική ευεξία.

- iv. Περιβαλλοντολογικοί και χημικοί αισθητήρες (Environmental and chemical sensors): Όσον αφορά τους περιβαλλοντικούς αισθητήρες, χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση παραμέτρων στο φυσικό περιβάλλον, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η πίεση, η ρύπανση των υδάτων και η ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι παράμετροι όπως η θερμοκρασία και η πίεση μπορούν να μετρηθούν με ένα θερμόμετρο και ένα βαρόμετρο. Η ποιότητα του αέρα μπορεί να μετρηθεί με αισθητήρες, οι οποίοι αντιλαμβάνονται την παρουσία αερίων και άλλων σωματιδίων στον αέρα [205]. Όσον αφορά τους χημικούς αισθητήρες, χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση χημικών και βιοχημικών ουσιών. Αυτοί οι αισθητήρες αποτελούνται από ένα στοιχείο αναγνώρισης και έναν μετατροπέα. Η ηλεκτρονική μύτη (electronic nose, e-nose) και η ηλεκτρονική γλώσσα (ηλεκτρονική γλώσσα, e-tongue) είναι τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση χημικών ουσιών με βάση την οσμή και τη γεύση, αντίστοιχα [206]. Η e-nose και η e-tongue αποτελούνται από μια σειρά από χημικούς αισθητήρες σε συνδυασμό με λογισμικό αναγνώρισης προτύπου προώθησης. Οι αισθητήρες αυτοί παράγουν πολύπλοκα δεδομένα, τα οποία στη συνέχεια αναλύονται μέσω αναγνώρισης προτύπων για τον προσδιορισμό του ερεθίσματος. Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση του επιπέδου ρύπανσης σε έξυπνες πόλεις [207], διατηρώντας παράλληλα τον έλεγχο της ποιότητας των τροφίμων σε έξυπνες κουζίνες, όπως και στις εφαρμογές αλυσίδας εφοδιασμού.
- v. RFID: Το RFID είναι μια τεχνολογία αναγνώρισης στην οποία μια ετικέτα RFID (δηλαδή ένα μικρό τσιπ με μια κεραία) μεταφέρει δεδομένα, μέσω ραδιοκυμάτων, τα οποία διαβάζονται από έναν αναγνώστη RFID. Είναι παρόμοιο με την τεχνολογία γραμμικού κώδικα. Ωστόσο, σε αντίθεση με έναν παραδοσιακό γραμμικό κώδικα, δεν απαιτεί επικοινωνία μεταξύ της ετικέτας και του αναγνώστη και μπορεί να εντοπιστεί από απόσταση ακόμη και χωρίς χειριστή ανθρώπου. Το εύρος της RFID διαφέρει ανάλογα με τη συχνότητα.

Μπορεί να ανέλθει σε εκατοντάδες μέτρα. Οι ετικέτες RFID είναι δύο (2) τύπων: ενεργές και παθητικές. Οι ενεργές ετικέτες έχουν πηγή ενέργειας και οι παθητικές ετικέτες δεν έχουν πηγή ενέργειας. Οι παθητικές ετικέτες αντλούν ενέργεια από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπονται από τον αναγνώστη και έτσι είναι φθηνά και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής [208], [209]. Υπάρχουν δύο τύποι τεχνολογιών RFID, οι κοντινοί και οι μακρινοί [208]. Ένας κοντινός αναγνώστης RFID χρησιμοποιεί ένα πηνίο μέσω του οποίου περνάει εναλλασσόμενο ρεύμα και δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο. Η ετικέτα έχει μικρότερο πηνίο, το οποίο δημιουργεί ένα δυναμικό λόγω των μεταβολών του περιβάλλοντος στο μαγνητικό πεδίο. Αυτή η τάση συνδέεται στη συνέχεια με έναν πυκνωτή για να συσσωρεύσει ένα φορτίο, το οποίο στη συνέχεια ενεργοποιεί την ετικέτα του τσιπ. Η ετικέτα μπορεί στη συνέχεια να παράγει ένα μικρό μαγνητικό πεδίο που κωδικοποιεί το σήμα που πρόκειται να μεταδοθεί και αυτό μπορεί να ληφθεί από τον αναγνώστη. Στα μακρινά RFID, υπάρχει μία διδυμη κεραία στον αναγνώστη, η οποία διαδίδει ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Η ετικέτα έχει επίσης μια διπολική κεραία στην οποία εμφανίζεται μια εναλλασσόμενη διαφορά δυναμικών δυνατοτήτων και είναι ενεργοποιημένη. Στη συνέχεια, μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτήν τη δύναμη για τη μετάδοση μηνυμάτων. Η τεχνολογία RFID χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές, όπως η διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού, ο έλεγχος πρόσβασης, ο έλεγχος ταυτότητας και η παρακολούθηση αντικειμένων. Η ετικέτα RFID συνδέεται με το προς παρακολούθηση αντικείμενο και ο RFID αναγνώστης ανιχνεύει και καταγράφει την παρουσία του όταν το αντικείμενο περνάει από αυτό. Με αυτόν τον τρόπο, η κίνηση αντικειμένων μπορεί να παρακολουθηθεί και το RFID μπορεί να χρησιμεύσει ως μηχανή αναζήτησης για τα έξυπνα πράγματα. Για έλεγχο πρόσβασης, μια ετικέτα RFID προσαρτάται στο εξουσιοδοτημένο αντικείμενο. Τα δεδομένα χαμηλού επιπέδου που συλλέγονται από τις ετικέτες RFID μπορούν να μετασχηματιστούν σε πληροφορίες υψηλότερου επιπέδου στις IoT εφαρμογές [210]. Υπάρχουν διαθέσιμα πολλά εργαλεία επιπέδου χρήστη, τα οποία μπορούν να διαχειρίζονται όλα τα δεδομένα που συλλέγονται από συγκεκριμένους αναγνώστες RFID και δεδομένα που σχετίζονται με τις ετικέτες RFID. Τα δεδομένα υψηλού επιπέδου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή συμπερασμάτων και την ανάληψη περαιτέρω ενεργειών.

- vi. Ενεργοποιητές (Actuators): Ένας ενεργοποιητής είναι μια συσκευή, η οποία μπορεί να επηρεάσει μια αλλαγή στο περιβάλλον μετατρέποντας την ηλεκτρική ενέργεια σε κάποια μορφή χρήσιμης ενέργειας. Μερικά παραδείγματα είναι τα στοιχεία θέρμανσης ή ψύξης, τα ηχεία, τα φώτα, οι οθόνες και οι κινητήρες. Οι ενεργοποιητές, οι οποίοι προκαλούν κίνηση, μπορούν να ταξινομηθούν στις κατηγορίες των ηλεκτρικών, υδραυλικών και

πνευματικών ενεργοποιητών, ανάλογα με τη λειτουργία τους. Οι υδραυλικοί ενεργοποιητές διευκολύνουν τη μηχανική κίνηση χρησιμοποιώντας υγρή ή υδραυλική ισχύ. Οι πνευματικοί ενεργοποιητές χρησιμοποιούν την πίεση του πεπιεσμένου αέρα, και οι ηλεκτρικοί χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια. Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι ένα έξυπνο οικιακό σύστημα, το οποίο αποτελείται από πολλούς αισθητήρες και ενεργοποιητές. Οι ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται για να κλειδώνουν/ξεκλειδώνουν τις πόρτες, να ενεργοποιούν/απενεργοποιούν τα φώτα ή άλλες ηλεκτρικές συσκευές, να ειδοποιούν τους χρήστες για τυχόν απειλές μέσω ειδοποιήσεων και να ελέγχουν τη θερμοκρασία ενός σπιτιού. Ένα πολύπλοκο παράδειγμα ενός ενεργοποιητή που χρησιμοποιείται στο IoT είναι ένα ψηφιακό δάχτυλο, το οποίο χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση των διακοπών (ή οτιδήποτε απαιτεί μικρή κίνηση) και ελέγχεται ασύρματα.

Επικοινωνία (Communication): Αυτό το επίπεδο είναι υπεύθυνο για τη σύνδεση με άλλα έξυπνα αντικείμενα, συσκευές δικτύου και διακομιστές, ενώ τα χαρακτηριστικά του χρησιμοποιούνται επίσης για τη μετάδοση και την επεξεργασία δεδομένων αισθητήρων. Αυτό το επίπεδο περιλαμβάνει ένα δίκτυο επικοινωνίας, ένα κέντρο διαχείρισης δικτύου, ένα κέντρο πληροφοριών και ένα έξυπνο κέντρο επεξεργασίας. Έτσι, το κύριο καθήκον του είναι να μεταδίδει και να επεξεργάζεται όλες τις πληροφορίες που λαμβάνονται από το επίπεδο της Ανίχνευση. Υπάρχει μια απίστευτη γκάμα επιλογών συνδεσιμότητας για μηχανικούς πληροφορικής και προγραμματιστές εφαρμογών που εργάζονται σε προϊόντα και συστήματα σχετικά με το IoT. Ανάλογα με την εφαρμογή, παράγοντες όπως το εύρος, οι απαιτήσεις δεδομένων, και οι απαιτήσεις ασφάλειας, ενέργειας και ζωής της μπαταρίας, καθορίζουν την επιλογή μίας συγκεκριμένης μορφής συνδυασμού τεχνολογιών. Ακολουθούν μερικές από τις κυριότερες τεχνολογίες τηλεπικοινωνιών που είναι ιδανικές για εφαρμογές του IoT:

- i. Bluetooth: Το Bluetooth βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.1. Πρόκειται για μια τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας χαμηλής κατανάλωσης, χαμηλού κόστους, κατάλληλη για τη μετάδοση δεδομένων μεταξύ κινητών συσκευών σε απόσταση μικρότερη από 8-10 μέτρα. Συγκεκριμένα, το Bluetooth περιέχει δύο (2) βασικές εκδόσεις: (i) το κλασικό Bluetooth τυποποιημένο από το IEEE ως 802.15.1, και (ii) το Bluetooth χαμηλής ενέργειας (Bluetooth low energy, BLE). Το BLE, γνωστό και ως «Bluetooth Smart», έχει ενσωματωθεί στην έκδοση Bluetooth 4.0 και σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως, θεωρώντας την καινοτομία που επιτρέπει πιο αποτελεσματική μετάδοση δεδομένων, χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και απλούστερες διαδικασίες επικοινωνίας σε σύγκριση με το κλασικό Bluetooth. Ωστόσο, αν και το BLE βασίζεται στο κλασικό Bluetooth, το BLE δεν είναι συμβατό με τα κλασικά Bluetooth [211],

[212]. Η κύρια διαφορά είναι ότι το BLE δεν υποστηρίζει δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Αντίθετα, υποστηρίζει τη γρήγορη μεταφορά μικρών πακέτων δεδομένων (μέγεθος πακέτου είναι μικρό) με ρυθμό δεδομένων 1 Mbps. Υπάρχουν δύο (2) τύποι συσκευών στο BLE, οι κύριες (master) και οι δευτερεύουσες (slave). Οι κύριες λειτουργούν ως κεντρικές συσκευές που μπορούν να συνδεθούν με διάφορες δευτερεύουσες συσκευές. Ας εξετάσουμε ένα σενάριο IoT όπου ένα τηλέφωνο ή ένας υπολογιστής λειτουργούν ως κύριες και κινητές συσκευές όπως ένας θερμοστάτης, ένας παρακολουθητής δραστηριοτήτων, ένα έξυπνο ρολόι ή οποιαδήποτε συσκευή παρακολούθησης δρουν ως δευτερεύουσες. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι δευτερεύουσες πρέπει να είναι πολύ αποδοτικοί. Επομένως, για εξοικονόμηση ενέργειας, οι δευτερεύουσες είναι από προεπιλογή σε λειτουργία αναμονής και ξυπνούν περιοδικά για να λαμβάνουν πακέτα από την κύρια συσκευή. Αντίθετα, στο κλασικό Bluetooth, η σύνδεση είναι ενεργή συνεχώς, ακόμα και αν δεν υπάρχει μετάδοση δεδομένων. Επιπλέον, υποστηρίζει 79 κανάλια δεδομένων (εύρος ζώνης καναλιού 1 MHz) και ρυθμό δεδομένων 1 εκατομμύριο σύμβολα/s, ενώ το BLE υποστηρίζει 40 κανάλια με εύρος ζώνης καναλιού 2 MHz και ταχύτητα δεδομένων 1 εκατομμύριο σύμβολα/s. Τέλος, το BLE υποστηρίζει απαιτήσεις χαμηλού κύκλου λειτουργίας, καθώς το μέγεθος του πακέτου είναι μικρό και ο χρόνος που απαιτείται για τη μετάδοση του μικρότερου πακέτου είναι μικρότερος από 80 μ s [213], [214].

- ii. ZigBee: Το ZigBee, όπως και το Bluetooth, διαθέτει μια μεγάλη εγκατεστημένη βάση λειτουργίας, αν και παραδοσιακά χρησιμοποιούνταν περισσότερο για βιομηχανικές εφαρμογές. Βασίζεται στο πρωτόκολλο επικοινωνίας IEEE 802.15.4 και χρησιμοποιείται για δίκτυα προσωπικής περιοχής ή PAN [215]. Η εμβέλεια της επικοινωνίας συσκευών Zigbee είναι πολύ μικρή (10-100 μέτρα). Τα ZigBee PRO και ZigBee Remote Control μεταξύ άλλων διαθέσιμων ZigBee εκδόσεων, βασίζονται στο πρωτόκολλο IEEE 802.15.4, το οποίο είναι ένα βιομηχανικό πρότυπο ασύρματης δικτύωσης, που λειτουργεί στα 2.4 GHz και στοχεύει σε εφαρμογές που απαιτούν σχετικά σπάνιες ανταλλαγές δεδομένων με χαμηλές ροές σε μια περιορισμένη περιοχή και μέσα σε ένα εύρος 100 μέτρων [216].
- iii. Z-Wave: Το Z-Wave είναι μια τεχνολογία επικοινωνιών ραδιοσυχνοτήτων χαμηλής ισχύος που έχει σχεδιαστεί κυρίως για αυτοματοποίηση λειτουργιών σε οικιακό περιβάλλον, δηλαδή για προϊόντα όπως ελεγκτές φωτιστικών και αισθητήρες μεταξύ πολλών άλλων. Είναι βελτιστοποιημένο για αξιόπιστη και χαμηλής καθυστέρησης επικοινωνία μικρών πακέτων δεδομένων, με ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων έως και τα 100 Kbit/s, ενώ λειτουργεί κάτω από την ζώνη του 1GHz που είναι αδιαπέραστη από άλλες ασύρματες τεχνολογίες που λειτουργούν στην ζώνη των 2.4 GHz [216].

- iv. 6LowPAN: Μια τεχνολογία βασισμένη στο IP πρωτόκολλο είναι το 6LowPan. Όπως το Bluetooth και το ZigBee, έτσι και το 6LowPAN είναι ένα πρωτόκολλο δικτύου που ορίζει μηχανισμούς ενθυλάκωσης και συμπίεσης κεφαλίδας, έχει ελευθερία επιλογής ζώνης συχνοτήτων και φυσικού επιπέδου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλαπλές επικοινωνιακές πλατφόρμες, συμπεριλαμβανομένων των Ethernet, 802.11 και 802.15.4 [216].
- v. WiFi: Η συνδεσιμότητα μέσω WiFi είναι συχνά μια προφανής επιλογή για πολλούς προγραμματιστές, καθώς προσφέρει γρήγορη μεταφορά δεδομένων και την ικανότητα διαχείρισης μεγάλης ποσότητας δεδομένων [216]. Ειδικότερα, το WiFi δημιουργήθηκε στα πλαίσια του IEEE 802.11 που είναι μια συλλογή προτύπων επικοινωνίας ασύρματου τοπικού δικτύου. Για παράδειγμα, το 802.11a λειτουργεί στη ζώνη των 5 GHz, τα 802.11b και 802.11g λειτουργούν στη ζώνη 2.4 GHz, το 802.11n λειτουργεί στις ζώνες 2.4/5 GHz, το 802.11ac λειτουργεί στη ζώνη των 5 GHz, και το 802.11ad λειτουργεί στις 60 GHz. Τα πρότυπα αυτά παρέχουν ταχύτητες δεδομένων από 1 Mb/s έως 6,75 Gb/s, ενώ το WiFi παρέχει εύρος επικοινωνιών της τάξεως των 20 (εσωτερικά) έως 100 μέτρων (εξωτερικά) [214].
- vi. WiFi HaLow: Η συμμαχία WiFi έχει αναπτύξει πρόσφατα το WiFi HaLow, το οποίο βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.11ah. Καταναλώνει λιγότερη ενέργεια από μια παραδοσιακή συσκευή WiFi και έχει επίσης μεγαλύτερη εμβέλεια. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο το πρωτόκολλο αυτό είναι κατάλληλο για IoT εφαρμογές. Το εύρος του WiFi HaLow είναι σχεδόν διπλάσιο από το παραδοσιακό WiFi. Όπως και άλλες συσκευές WiFi, οι συσκευές που υποστηρίζουν το WiFi HaLow υποστηρίζουν επίσης την συνδεσιμότητα IP, η οποία είναι σημαντική για IoT εφαρμογές. Το πρότυπο αυτό αναπτύχθηκε για να ασχοληθεί με σενάρια δικτύων ασύρματων αισθητήρων, όπου οι συσκευές είναι ενεργειακά περιορισμένες και απαιτούν επικοινωνία σχετικά μεγάλης εμβέλειας. Το IEEE 802.11ah λειτουργεί στη ζώνη sub-gigahertz (900 MHz). Λόγω της σχετικά χαμηλής συχνότητας, το εύρος είναι μεγαλύτερο, δεδομένου ότι τα κύματα υψηλότερης συχνότητας υποφέρουν από υψηλότερη εξασθένιση. Ωστόσο, το φάσμα μπορεί να επεκταθεί, μειώνοντας περαιτέρω τη συχνότητα. Ωστόσο, ο ρυθμός δεδομένων θα είναι επίσης χαμηλότερος και συνεπώς δεν είναι δικαιολογημένος ο συμβιβασμός. Το IEEE 802.11ah έχει επίσης σχεδιαστεί για να υποστηρίζει μεγάλα συνδεδεμένα δίκτυα, όπου πολλοί σταθμοί συνδέονται σε ένα ενιαίο σημείο πρόσβασης [217], [218].
- vii. WiMax: Το WiMax ανήκει στην IEEE 802.16 συλλογή, που είναι μια συλλογή ασύρματων ευρυζωνικών προτύπων. Τα πρότυπα WiMax παρέχουν ταχύτητες δεδομένων από 1,5 Mb/s έως 1 Gb/s. Η τελευταία του ενημέρωση (802.16 m) παρέχει ταχύτητα δεδομένων 100 Mb/s από κινητούς σταθμούς και 1 Gb/s για σταθερούς σταθμούς [214].

- viii. Cellular (2G/3G/4G/5G): Κάθε IoT εφαρμογή που απαιτεί λειτουργία πάνω από μεγαλύτερες αποστάσεις μπορεί να εκμεταλλευτεί τις δυνατότητες των κυψελοειδών τηλεπικοινωνιών. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν διάφορες γενιές προτύπων κινητής επικοινωνίας, όπως η δεύτερη γενιά (2G συμπεριλαμβανομένων των GSM και CDMA), η τρίτη γενιά (3G συμπεριλαμβανομένων των UMTS και CDMA2000), η τέταρτη γενιά (4G συμπεριλαμβανομένου του LTE), και η πέμπτη γενιά (5G). Οι IoT συσκευές με βάση αυτά τα πρότυπα μπορούν να επικοινωνούν μέσω κυψελοειδών δικτύων. Τη σημερινή εποχή, τα πλέον διαδεδομένα είναι αυτά της τέταρτης και της πέμπτης γενιάς, όπου τα ποσοστά δεδομένων για αυτά τα πρότυπα κυμαίνονται από 100 Mb/s (4G) έως και 10 Gb/s (5G) [214].
- ix. NFC: Το NFC [219], [220], [221] είναι μια τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας πολύ μικρής εμβέλειας, μέσω της οποίας οι κινητές συσκευές μπορούν να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους σε απόσταση μόνο μερικών εκατοστών. Όλοι οι τύποι δεδομένων μπορούν να μεταφερθούν μεταξύ δύο συσκευών με δυνατότητα NFC σε δευτερόλεπτα, φέρνοντάς τις κοντά τη μία στην άλλη. Αυτή η τεχνολογία βασίζεται στην τεχνολογία RFID. Χρησιμοποιεί παραλλαγές στο μαγνητικό πεδίο για την επικοινωνία δεδομένων μεταξύ δύο συσκευών με δυνατότητα NFC. Το NFC λειτουργεί σε μια ζώνη συχνοτήτων 13,56 MHz, η οποία είναι ίδια με την RFID υψηλής συχνότητας. Ωστόσο, το NFC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αμφίδρομη επικοινωνία σε αντίθεση με την RFID. Συνεπώς, σχεδόν όλα τα κινητά τηλέφωνα της νέας γενιάς στην αγορά είναι ενεργοποιημένα με NFC, επιτρέποντας την εύκολη και ασφαλή αμφίδρομη αλληλεπίδραση μεταξύ των συσκευών αυτών.
- x. Sigfox: Μια εναλλακτική τεχνολογία ευρείας κλίμακας είναι το Sigfox, το οποίο από άποψη εμβέλειας είναι μεταξύ του 802.11 και των κυψελοειδών επικοινωνιών. Χρησιμοποιεί τις ISM ζώνες συχνοτήτων, οι οποίες είναι ελεύθερες για χρήση χωρίς την ανάγκη για απόκτηση αδειών [216].
- xi. Neul: Το Neul είναι παρόμοιας φιλοσοφίας με το Sigfox και λειτουργεί κάτω από την ζώνη συχνοτήτων του 1GHz. Το Neul αξιοποιεί πολύ μικρά κομμάτια του φάσματος της τηλεόρασης (White Spaces) για να παρέχει υψηλή κλιμάκωση, υψηλή κάλυψη, χαμηλή κατανάλωση και χαμηλού κόστους ασύρματα δίκτυα. Τα συστήματα βασίζονται στο Icen1 Chip, το οποίο επικοινωνεί χρησιμοποιώντας τη White Space συχνότητα για να αποκτά πρόσβαση στο υψηλής ποιότητας φάσμα, το οποίο είναι διαθέσιμο λόγω της μετάβασης από την αναλογική στην ψηφιακή τηλεόραση. Αυτή η τεχνολογία ονομάζεται Weightless και είναι μια νέα τεχνολογία ευρείας εμβέλειας ασύρματης δικτύωσης σχεδιασμένη για το IoT που ανταγωνίζεται σε μεγάλο βαθμό τις υπάρχουσες τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης [216].

xii. LoRaWAN: Το LoRaWAN είναι ένα πρόσφατα αναπτυγμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας μεγάλης εμβέλειας που σχεδιάστηκε από τη συμμαχία LoRaTM που είναι μια ανοικτή και μη κερδοσκοπική ένωση. Ορίζει το πρότυπο δικτύου LPWAN για την ενεργοποίηση του IoT. Ο στόχος της είναι κυρίως η διασφάλιση της διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφόρων φορέων σε ένα ανοιχτό παγκόσμιο πρότυπο. Το LoRaWAN είναι παρόμοιο σε κάποια σημεία με το Sigfox και το Neul, στοχεύει σε ασύρματες εφαρμογές και παρέχει χαμηλής κατανάλωσης ασύρματα δίκτυα με χαρακτηριστικά ειδικά απαιτούμενα για την υποστήριξη ασφαλούς, αμφίδρομης και χαμηλού κόστους κινητή επικοινωνία σε IoT εφαρμογές [216]. Οι ταχύτητες δεδομένων LoRaWAN κυμαίνονται από 0,3 kb/s έως 50 kb/s και λειτουργούν σε ζώνες ISM 868 και 900 MHz, ενώ επικοινωνούν μεταξύ των συνδεδεμένων κόμβων εντός εύρους 20 μιλίων σε περιβάλλον χωρίς εμπόδια. Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας για τον προσαρτημένο κόμβο είναι συνήθως πολύ μεγάλη, έως και 10 χρόνια [214].

Επεξεργασία (Processing): Αυτό το επίπεδο είναι επίσης γνωστό ως το μεσαίο λογισμικό. Αποθηκεύει, αναλύει και επεξεργάζεται τους μεγάλους όγκους δεδομένων που προέρχονται από το επίπεδο του δικτύου, ενώ μπορεί να διαχειριστεί και να παρέχει ένα ποικίλο σύνολο υπηρεσιών προς τα κάτω επίπεδα. Χρησιμοποιεί πολλές τεχνολογίες, όπως βάσεις δεδομένων, υπολογιστικά νέφη και μεγάλες μονάδες επεξεργασίας δεδομένων. Στην ουσία αυτό το επίπεδο αποτελεί ένα προκαταρκτικό επίπεδο για τις τελικές εφαρμογές που ανήκουν στο επόμενο επίπεδο, παρέχοντάς τους τις γενικές δυνατότητες που χρησιμοποιούνται από όλες τις εφαρμογές, όπως η επεξεργασία και η αποθήκευση δεδομένων. Επιπλέον, στο ίδιο επίπεδο παρέχονται και πιο εξειδικευμένες δυνατότητες για την εξυπηρέτηση διαφοροποιημένων εφαρμογών. Μία από τις δυνατότητες αυτές είναι η διαχείριση της παραγόμενης δικτυακής κίνησης (με τον όρο δικτυακή κίνηση εννοούμε το σύνολο των δεδομένων που μεταφέρονται). Ορισμένες από τις πληροφορίες απαιτούν φιλτράρισμα ή δρομολόγηση σε άλλα συστήματα για περαιτέρω επεξεργασία πληροφορίας. Επίσης, υπάρχουν εφαρμογές που λόγω κρισιμότητας απαιτούν άμεση αποκρισμότητα και προτεραιότητα στην επεξεργασία έναντι των υπολοίπων, όπως για παράδειγμα οι νοσοκομειακές εφαρμογές. Το επίπεδο αυτό έχει τη δυνατότητα να ελέγχει όλες αυτές τις ροές δεδομένων και να εφαρμόζει κανόνες προτεραιότητας, δρομολόγηση και φιλτραρίσματος και την αποτελεσματικότερη συνολική εξυπηρέτηση [193]. Στην ουσία το συγκεκριμένο επίπεδο δρα ως μια γέφυρα λογισμικού μεταξύ των αντικειμένων και των εφαρμογών. Πρέπει να παρέχει τις απαιτούμενες υπηρεσίες στους προγραμματιστές εφαρμογών [222], ώστε να μπορούν να επικεντρωθούν περισσότερο στις απαιτήσεις των εφαρμογών και όχι στην αλληλεπίδραση με το

βασικό υλικό. Συνοψίζοντας, το ενδιαμέσο λογισμικό αφαιρεί το υλικό και παρέχει ένα API για επικοινωνία, διαχείριση δεδομένων, υπολογισμό, ασφάλεια και ιδιωτικότητα. Υπάρχουν πολλές λύσεις ενδιάμεσου λογισμικού για το IoT, οι οποίες αφορούν ένα ή περισσότερα από τα προαναφερθέντα ζητήματα. Όλα αυτά τα ενδιάμεσα λογισμικά μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής βάσει του σχεδιασμού τους [223]:

- i. Γεγονотоκεντρικά (Event based): Σε αυτή την περίπτωση όλα τα στοιχεία αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους μέσω συμβάντων. Κάθε συμβάν έχει έναν τύπο και μερικές παραμέτρους. Οι εκδηλώσεις παράγονται από τους παραγωγούς και λαμβάνονται από τους καταναλωτές. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως αρχιτεκτονική δημοσίευσης/εγγραφής, όπου οι οντότητες μπορούν να εγγραφούν για ορισμένους τύπους συμβάντων και να ενημερώνονται για αυτές τις εκδηλώσεις.
- ii. Υπηρεσιοστρεφή (Service oriented): Τα υπηρεσιοστρεφή ενδιάμεσα λογισμικά βασίζονται σε αρχιτεκτονικές προσανατολισμένες προς την SOA γενική αρχιτεκτονική, στις οποίες υπάρχουν ανεξάρτητες μονάδες που παρέχουν υπηρεσίες μέσω προσβάσιμων διεπαφών. Ένα ενδιάμεσο λογισμικό με γνώμονα τις υπηρεσίες αντιμετωπίζει τους πόρους ως παροχές υπηρεσιών. Απεικονίζει τους υποκείμενους πόρους μέσω ενός συνόλου υπηρεσιών που χρησιμοποιούνται από εφαρμογές. Υπάρχει ένα αποθετήριο υπηρεσιών, όπου οι υπηρεσίες δημοσιεύονται από τους παρόχους. Οι καταναλωτές μπορούν να ανακαλύψουν υπηρεσίες από το χώρο αποθήκευσης και στη συνέχεια να δεσμευτούν με τον πάροχο για να έχουν πρόσβαση στην υπηρεσία. Αυτού του είδους λογισμικό, πρέπει να έχει υποστήριξη χρόνου εκτέλεσης διαφημιστικών υπηρεσιών από τους παρόχους και υποστήριξη για την ανεύρεση και χρήση υπηρεσιών από τους καταναλωτές.
- iii. Δεδομενοκεντρικά (Database oriented): Σε αυτή την προσέγγιση, το δίκτυο IoT συσκευών θεωρείται ως ένα εικονικό σύστημα σχεσιακής βάσης δεδομένων. Η βάση δεδομένων μπορεί στη συνέχεια να ερωτηθεί από τις εφαρμογές χρησιμοποιώντας μια γλώσσα ερωτήματος. Υπάρχουν εύχρηστες διεπαφές για την εξαγωγή δεδομένων από τη βάση δεδομένων. Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση έχει προβλήματα με την κλιμάκωση λόγω του κεντρικού μοντέλου της.
- iv. Σημασιολογικά (Semantic): Το σημασιολογικό ενδιάμεσο λογισμικό επικεντρώνεται στη συνεργασία διαφόρων τύπων συσκευών, οι οποίες επικοινωνούν χρησιμοποιώντας διαφορετικές μορφές δεδομένων. Ενσωματώνει συσκευές με διαφορετικές μορφές δεδομένων και οντολογίες και τις συνδέει όλες μαζί σε ένα κοινό πλαίσιο. Το πλαίσιο χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφόρων τύπων συσκευών. Για μια κοινή σημασιολογική μορφή, πρέπει να έχουμε N προσαρμογείς για επικοινωνία μεταξύ συσκευών, ενώ για κάθε συσκευή χρειάζονται προσαρμογείς για τη

χαρτογράφηση προτύπων σε ένα αφηρημένο πρότυπο [224]. Σε ένα τέτοιου είδους σημασιολογικό ενδιάμεσο λογισμικό [225], εισάγεται ένα σημασιολογικό επίπεδο, στο οποίο υπάρχει μια χαρτογράφηση από κάθε πόρο σε ένα επίπεδο λογισμικού για αυτόν τον πόρο. Οι στρώσεις λογισμικού επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας μια αμοιβαία κατανοητή γλώσσα (με βάση τον σημασιολογικό ιστό). Αυτή η τεχνική επιτρέπει σε πολλούς φυσικούς πόρους να επικοινωνούν ακόμα κι αν δεν εφαρμόζουν ή κατανοούν τα ίδια πρωτόκολλα.

- v. Εφαρμογοκεντρικά (Application specific): Αυτός ο τύπος ενδιάμεσου λογισμικού χρησιμοποιείται ειδικά για έναν τομέα εφαρμογής για τον οποίο έχει αναπτυχθεί το εκάστοτε ενδιάμεσο λογισμικό, και έχει τελειοποιηθεί με βάση τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Σαν αποτέλεσμα αυτού, η εφαρμογή και το μεσαίο λογισμικό συνδέονται στενά. Ωστόσο, αυτό το είδος ενδιάμεσου λογισμικού δεν αποτελεί λύση γενικού σκοπού [214].

Εφαρμογή (Application): Αυτό το επίπεδο είναι υπεύθυνο για την παροχή συγκεκριμένων υπηρεσιών εφαρμογής στον χρήστη. Είναι ένας συνδυασμός των τεχνολογιών του IoT και της βιομηχανίας, προκειμένου να πραγματοποιεί τις υπάρχουσες διαφορετικές ανάγκες των χρηστών. Επομένως, το επίπεδο αυτό είναι η βαθιά σύγκλιση της τεχνολογίας του IoT και της βιομηχανίας. Έτσι, μπορεί να καθορίσει διάφορες εφαρμογές στις οποίες μπορεί να αναπτυχθεί το IoT, για παράδειγμα, τα έξυπνα σπιτία, οι έξυπνες πόλεις και η έξυπνη υγεία. Ένας λεπτομερής κατάλογος των εφαρμογών διασύνδεσης που υπάρχουν σήμερα περιγράφεται στην Ενότητα 2.2.4 [214], [226].

Αυτή ήταν η βασική δομή μίας IoT αρχιτεκτονικής. Γενικά έχουν προταθεί πολλές καινούριες αρχιτεκτονικές, οι οποίες βασίζονται πάνω στην προαναφερθείσα βασική δομή, αλλά έχουν προτείνει καινούρια επίπεδα, κλπ. Ωστόσο, οι πιο αξιόλογες είναι οι πρόσφατες τάσεις των αρχιτεκτονικών υπολογιστικών νεφών (Cloud Computing) και της υπολογιστικής ομίχλης (Fog Computing) [227]. Να σημειωθεί βέβαια πως αυτή η ταξινόμηση είναι διαφορετική από την κατάταξη στην προηγούμενη Ενότητα (2.2.2), η οποία έγινε με βάση τα πρωτόκολλα. Συγκεκριμένα, έχουμε ελαφρώς ασαφείς πληροφορίες σχετικά με τη φύση των δεδομένων που παράγονται από τις IoT συσκευές και τη φύση της επεξεργασίας δεδομένων. Σε ορισμένες αρχιτεκτονικές συστημάτων, η επεξεργασία δεδομένων πραγματοποιείται κεντρικά από τα υπολογιστικά νέφη. Μια τέτοια κεντρική αρχιτεκτονική των υπολογιστικών νεφών κρατά το υπολογιστικό νέφος στο κέντρο, τις εφαρμογές πάνω από αυτό και το δίκτυο έξυπνων πραγμάτων κάτω από αυτό [228]. Ειδικότερα, το υπολογιστικό νέφος έχει προτεραιότητα επειδή παρέχει μεγάλη ευελιξία και δυνατότητα κλιμάκωσης. Προσφέρει υπηρεσίες όπως η βασική

υποδομή, η πλατφόρμα, το λογισμικό και η αποθήκευση, ενώ οι προγραμματιστές μπορούν να διαχειρίζονται τα εργαλεία αποθήκευσης, λογισμικού, εξόρυξη δεδομένων και εκμάθησης μηχανών, και οπτικοποίησης μέσω αυτού. Τον τελευταίο καιρό υπάρχει μια κίνηση προς μια άλλη αρχιτεκτονική, αυτή της υπολογιστικής ομίχλης [229], [230], [231], όπου οι αισθητήρες και οι πύλες δικτύου αποτελούν μέρος της επεξεργασίας και της ανάλυσης δεδομένων. Μια αρχιτεκτονική υπολογιστικής ομίχλης [232] παρουσιάζει μια πολυεπίπεδη προσέγγιση, η οποία εισάγει επίπεδα παρακολούθησης, προεπεξεργασίας, αποθήκευσης και ασφάλειας μεταξύ των φυσικών και των ψηφιακών μερών. Το επίπεδο παρακολούθησης παρακολουθεί την ισχύ, τους πόρους, τις απαντήσεις και τις υπηρεσίες. Το επίπεδο προεπεξεργασίας εκτελεί φιλτράρισμα, επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων αισθητήρων. Το επίπεδο προσωρινής αποθήκευσης παρέχει λειτουργίες αποθήκευσης όπως αναπαραγωγή, διανομή και αποθήκευση δεδομένων. Τέλος, το επίπεδο ασφαλείας εκτελεί κρυπτογράφηση/αποκρυπτογράφηση και διασφαλίζει την ακεραιότητα και την ιδιωτικότητα των δεδομένων. Η παρακολούθηση και η προεπεξεργασία πραγματοποιούνται στην άκρη του δικτύου πριν από την αποστολή δεδομένων στο υπολογιστικό νέφος. Συχνά οι όροι υπολογιστικό νέφος και υπολογιστική ομίχλη χρησιμοποιούνται εναλλακτικά. Ωστόσο, ο τελευταίος αυτός όρος προηγείται του πρώτου και θεωρείται πιο γενικός. Η υπολογιστική ομίχλη προβλέπει την προσθήκη έξυπνων δυνατοτήτων προεπεξεργασίας δεδομένων σε φυσικές συσκευές όπως κινητήρες, αντλίες ή φώτα. Στόχος είναι να γίνει όσο το δυνατόν περισσότερη προεπεξεργασία των δεδομένων σε αυτές τις συσκευές, ενώ όσον αφορά την αρχιτεκτονική του συστήματος, το αρχιτεκτονικό διάγραμμα δεν διαφέρει αισθητά από αυτό της γενικής αρχιτεκτονικής του ΙοΤ (Ενότητα 2.2.2).

2.2.3 Προκλήσεις Διαδικτύου των Αντικειμένων

Παρά τη μεγάλη εμφάνισή του, το IoT βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο, απαιτώντας μεγάλο εύρος έρευνας για ποικίλα ζητήματα όπως η διαθεσιμότητα, η αξιοπιστία, η κινητικότητα, οι επιδόσεις, η επεκτασιμότητα, η διαλειτουργικότητα, η ασφάλεια, η ετερογένεια συσκευών, η παραγωγή μεγάλου όγκου δεδομένων, η ενσωμάτωση με τα υπάρχοντα συστήματα και πλατφόρμες πληροφορικής κλπ [172]. Ως εκ τούτου, η πραγματοποίηση του οράματος του IoT δεν είναι εύκολο έργο λόγω των πολλών προκλήσεων που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Αυτές οι προκλήσεις πρέπει να ξεπεραστούν προκειμένου να διασφαλιστεί η υιοθέτηση και η επιτυχής διάδοση του IoT. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται μεγάλη προσοχή, ιδίως για την αντιμετώπιση όλων των ακόλουθων προκλήσεων:

Ασφάλεια (Security): Η ασφάλεια παρουσιάζει μια σημαντική πρόκληση για τις εφαρμογές του IoT λόγω της έλλειψης κοινού προτύπου και αρχιτεκτονικής για την ασφάλεια των εφαρμογών αυτών. Σε ετερογενή δίκτυα, όπως στην περίπτωση του IoT, δεν είναι εύκολο να διασφαλιστεί η ασφάλεια των χρηστών. Η βασική λειτουργικότητα του IoT βασίζεται στην ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ δισεκατομμυρίων ή και τρισεκατομμυρίων συνδεδεμένων στο διαδίκτυο αντικειμένων, τα οποία είναι συνήθως ασύρματα και ενδέχεται να βρίσκονται σε δημόσιους χώρους. Η ασύρματη επικοινωνία στο σημερινό διαδίκτυο είναι συνήθως πιο ασφαλής μέσω της κρυπτογράφησης. Η κρυπτογράφηση θεωρείται επίσης ως το κλειδί για την εξασφάλιση της ασφάλειας των πληροφοριών στο διαδίκτυο. Ωστόσο, πολλές IoT συσκευές δεν είναι αρκετά ισχυρές για να υποστηρίξουν την απαιτούμενη ισχυρή κρυπτογράφηση. Για να είναι δυνατή η κρυπτογράφηση τους, οι αλγόριθμοι πρέπει να γίνουν πιο αποτελεσματικοί και να καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια [233], [234], [235]. Εκτός από την κρυπτογράφηση, η διαχείριση ταυτότητας αποτελεί σημαντική συνιστώσα κάθε μοντέλου ασφαλείας και τα μοναδικά αναγνωριστικά στοιχεία είναι απαραίτητα για τις IoT συσκευές. Αυτά τα αναγνωριστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξατομίκευση προσωπικών ταυτοτήτων στα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα, τον εντοπισμό παράνομων δραστηριοτήτων και άλλων λειτουργιών. Έτσι, η διασφάλιση ότι τα έξυπνα αντικείμενα είναι αυτά που λένε είναι απαραίτητη για την επιτυχία του IoT [236].

Ιδιωτικότητα (Privacy): Καθώς όλο και περισσότερα αντικείμενα καθίστανται ανιχνεύσιμα μέσω του διαδικτύου, οι απειλές για την ιδιωτική ζωή γίνονται όλο και πιο σοβαρές. Εκτός από την εξασφάλιση δεδομένων για να βεβαιώνεται ότι δεν εμπίπτουν σε λάθος χέρια, πρέπει να αντιμετωπιστούν και τα θέματα της ιδιοκτησίας δεδομένων. Επομένως, πρέπει να καθοριστεί σαφώς η ιδιωτικότητα

των δεδομένων που συλλέγονται από έξυπνα αντικείμενα. Ο κάτοχος δεδομένων πρέπει να είναι βέβαιος ότι τα δεδομένα δεν θα χρησιμοποιηθούν χωρίς τη συγκατάθεσή του, ιδιαίτερα όταν τα δεδομένα θα μοιραστούν. Οι πολιτικές απορρήτου μπορούν να είναι μια προσέγγιση για την εξασφάλιση της ιδιωτικής ζωής των πληροφοριών. Τα έξυπνα αντικείμενα και οι συσκευές ανάγνωσης στο IoT μπορούν να εξοπλιστούν με πολιτικές απορρήτου. Όταν το αντικείμενο και ο αναγνώστης έρχονται σε επαφή, μπορούν να ελέγξουν την πολιτική απορρήτου του άλλου για συμβατότητα πριν επικοινωνήσουν [234].

Διαθεσιμότητα (Availability): Η διαθεσιμότητα του IoT πρέπει να πραγματοποιείται σε επίπεδο υλικού και λογισμικού για να παρέχει οπουδήποτε και οποτεδήποτε τις αντίστοιχες υπηρεσίες. Η διαθεσιμότητα του λογισμικού αναφέρεται στην ικανότητα των εφαρμογών του IoT να παρέχουν υπηρεσίες για όλους σε διαφορετικά μέρη ταυτόχρονα. Η διαθεσιμότητα υλικού αναφέρεται στην ύπαρξη συσκευών που είναι συμβατές με τις υπάρχουσες λειτουργίες και τα πρωτόκολλα του διαδικτύου. Τα πρωτόκολλα όπως IPv6, 6LoWPAN, CoAP, κλπ., θα πρέπει να ενσωματωθούν στις συσκευές που περιορίζουν τους πόρους μιας πλακέτας και παρέχουν τη λειτουργικότητα του IoT. Μια λύση για την επίτευξη υψηλής διαθεσιμότητας υπηρεσιών IoT είναι η παροχή πλεονασμού για κρίσιμες συσκευές και υπηρεσίες [237]. Επιπλέον, υπάρχουν μερικές μελέτες για την αξιολόγηση και την αξιολόγηση της διαθεσιμότητας των εφαρμογών IoT κατά τα πρώτα στάδια του σχεδιασμού του συστήματος [237], [238]. Τέτοια εργαλεία μπορούν να βοηθήσουν τους σχεδιαστές συστημάτων να λάβουν εκπαιδευμένες αποφάσεις για τη μεγιστοποίηση της διαθεσιμότητας του συστήματός τους.

Αξιοπιστία (Reliability): Η αξιοπιστία αφορά την ορθή λειτουργία του συστήματος βάσει των προδιαγραφών του [237]. Η αξιοπιστία στοχεύει στην αύξηση του ποσοστού επιτυχίας της παροχής υπηρεσιών IoT, και έχει στενή σχέση με τη διαθεσιμότητα, καθώς από την αξιοπιστία, εξασφαλίζοντας τη διαθεσιμότητα πληροφοριών και υπηρεσιών με την πάροδο του χρόνου. Η αξιοπιστία είναι ακόμη πιο κρίσιμη και έχει αυστηρότερες απαιτήσεις όσον αφορά το πεδίο εφαρμογών απόκρισης έκτακτης ανάγκης [239]. Στα συστήματα αυτά, το κρίσιμο μέρος είναι το δίκτυο επικοινωνίας το οποίο πρέπει να είναι ανθεκτικό στις αστοχίες, προκειμένου να πραγματοποιήσει αξιόπιστη κατανομή πληροφοριών. Έτσι, η αξιοπιστία πρέπει να εφαρμοστεί σε λογισμικό και υλικό σε όλα τα επίπεδα IoT. Προκειμένου να υπάρχει αποτελεσματικό IoT, η υποκείμενη επικοινωνία πρέπει να είναι αξιόπιστη, διότι, για παράδειγμα, από μια αναξιόπιστη αντίληψη, η συλλογή, η επεξεργασία και η διαβίβαση δεδομένων μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλες καθυστερήσεις, απώλεια δεδομένων και τελικά λανθασμένες αποφάσεις, και σενάρια, καθιστώντας το IoT λιγότερο αξιόπιστο [240].

Κινητικότητα (Mobility): Η κινητικότητα αποτελεί μια ακόμη πρόκληση για τις υλοποιήσεις του IoT, επειδή οι περισσότερες από τις υπηρεσίες αναμένεται να παραδοθούν σε χρήστες κινητής τηλεφωνίας. Η συνεχής σύνδεση των χρηστών με τις επιθυμητές υπηρεσίες τους ενώ βρίσκονται σε κίνηση είναι μια σημαντική προϋπόθεση για το IoT. Η διακοπή της υπηρεσίας για κινητές συσκευές μπορεί να συμβεί όταν αυτές οι συσκευές μεταφέρονται από μια πόλη στην άλλη. Στο πλαίσιο αυτό, στο [241] προτείνεται ένα πρόγραμμα κινητικότητας πόρων το οποίο υποστηρίζει την προσωρινή αποθήκευση για την υποστήριξη της συνέχειας των υπηρεσιών, επιτρέποντας στις εφαρμογές να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα IoT στην περίπτωση προσωρινής μη διαθεσιμότητας πόρων. Ο μεγάλος αριθμός έξυπνων συσκευών στα IoT συστήματα απαιτεί επίσης ορισμένους αποτελεσματικούς μηχανισμούς διαχείρισης της κινητικότητας. Μια εφικτή προσέγγιση παρουσιάστηκε στο [242], όπου η ομαδική κινητικότητα επιτυγχάνεται από μία κεντρική συσκευή που βασίζεται σε κάποια μετρική ομοιότητας που βασίζεται στο μοτίβο κινητικότητας όλων των συσκευών. Ένα άλλο σύστημα διαχείρισης κινητικότητας προτείνεται στο [243], στο οποίο αντιμετωπίζεται η κινητικότητα των κόμβων αισθητήρων καθώς και η διαθεσιμότητα υπηρεσιών με την παροχή ενός μηχανισμού διαχειριζόμενου διακυβέρνησης διανομής υπηρεσιών. Αυτή η τεχνική ελέγχει τον κύκλο ζωής των περιπτώσεων υπηρεσιών ιστού που αντιπροσωπεύουν έναν αισθητήρα, παρακολουθώντας τη συνεχή κινητικότητά του.

Απόδοση (Performance): Η αξιολόγηση της απόδοσης των υπηρεσιών IoT είναι μια μεγάλη πρόκληση, καθώς εξαρτάται από την απόδοση πολλών συνιστωσών καθώς και από τις επιδόσεις των βασικών τεχνολογιών. Το IoT, όπως και άλλα συστήματα, πρέπει να αναπτύξει και να βελτιώσει συνεχώς τις υπηρεσίες του ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις των πελατών. Οι IoT συσκευές πρέπει να παρακολουθούνται και να αξιολογούνται για να παρέχουν την καλύτερη δυνατή απόδοση σε προσιτή τιμή για τους πελάτες. Πολλές μετρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της απόδοσης του IoT, συμπεριλαμβανομένης της ταχύτητας επεξεργασίας, της ταχύτητας επικοινωνίας, και του συντελεστή μορφής συσκευής και του κόστους. Η αξιολόγηση της απόδοσης των μεμονωμένων υποκείμενων πρωτοκόλλων και τεχνολογιών όπως τα πρωτόκολλα BLE, IEEE 802.15.4, RFID, 6LoWPAN, κλπ., έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία, αλλά η έλλειψη εμπεριστατωμένης αξιολόγησης των επιδόσεων για τις εφαρμογές του IoT εξακολουθεί να είναι ανοικτό ζήτημα.

Διαχείριση (Management): Η σύνδεση δισεκατομμυρίων ή τρισεκατομμυρίων έξυπνων συσκευών παρέχει στους φορείς παροχής υπηρεσιών δυσκολίες για τη διαχείριση των παραμέτρων των παραβιάσεων, των ρυθμίσεων, της λογιστικής,

των επιδόσεων και της ασφάλειας αυτών των συσκευών. Αυτή η προσπάθεια διαχείρισης απαιτεί την ανάπτυξη νέων πρωτοκόλλων διαχείρισης ελαφρού βάρους για την αντιμετώπιση του δυνητικού εφιάλτη διαχείρισης που θα προκύψει ενδεχομένως από την ανάπτυξη του IoT τα επόμενα χρόνια. Η διαχείριση συσκευών και εφαρμογών IoT μπορεί να αποτελέσει αποτελεσματικό παράγοντα για την ανάπτυξη των εφαρμογών IoT [244]. Για παράδειγμα, η παρακολούθηση της επικοινωνίας των IoT αντικειμένων είναι σημαντική για να εξασφαλιστεί η σύνδεση όλων των χρόνων για την παροχή υπηρεσιών κατόπιν αιτήματος. Το LWM2M [245] είναι ένα πρότυπο για την παροχή διεπαφής μεταξύ των IoT συσκευών και διακομιστών, για την ανάπτυξη ενός προγράμματος γνωστικής εφαρμογής για τη διαχείριση διαφόρων συσκευών. Σκοπός της είναι να παρέχει IoT εφαρμογές με δυνατότητες απομακρυσμένης διαχείρισης συσκευών, υπηρεσιών και εφαρμογών. Το πρωτόκολλο NETCONF Light [246], το οποίο προσπαθεί να επιτύχει τη διαχείριση περιορισμένων συσκευών, παρέχει μηχανισμούς για την εγκατάσταση, τον χειρισμό και τη διαγραφή της διαμόρφωσης των συσκευών δικτύου. Είναι σε θέση να διαχειρίζεται ένα ευρύ φάσμα συσκευών από περιορισμένες από πόρους σε συσκευές πλούσιες σε πόρους. Η προτεινόμενη IoT πλατφόρμα του [247] είναι ένα παράδειγμα πλατφόρμας που διευκολύνει τη διαχείριση (παρακολούθηση, έλεγχο και διαμόρφωση) περιουσιακών στοιχείων IoT οπουδήποτε σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας ένα ταμπλό IoT σε smartphones. Η διατήρηση της συμβατότητας σε όλα τα επίπεδα IoT χρειάζεται επίσης να γίνει για να βελτιωθεί η ταχύτητα σύνδεσης και να εξασφαλιστεί η παροχή υπηρεσιών. Στο [248], οι συγγραφείς προτείνουν ένα πλαίσιο για τη διαχείριση του διαδικτύου μέσω της έννοιας της παρακολούθησης του ενδιάμεσου φορέα στον οποίο εκτελούν βαριά καθήκοντα διαχείρισης συσκευών στους δρομολογητές ή τις πύλες των περιορισμένων δικτύων.

Επεκτασιμότητα (Scalability): Η επεκτασιμότητα του IoT αναφέρεται στην ικανότητα προσθήκης νέων συσκευών, υπηρεσιών και λειτουργιών για τους πελάτες χωρίς να επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα των υφιστάμενων υπηρεσιών. Η προσθήκη νέων λειτουργιών και η υποστήριξη νέων συσκευών δεν είναι εύκολη υπόθεση, ειδικά με την παρουσία διαφορετικών πλατφόρμων υλικού και πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Οι IoT εφαρμογές πρέπει να σχεδιάζονται από το χαμηλότερο επίπεδο ώστε να διευκολύνουν τις υπηρεσίες και τις λειτουργίες [249]. Μία τέτοιου είδους γενική αρχιτεκτονική IoT παρουσιάστηκε στο [250] με την εισαγωγή ενός δαίμονα IoT που αποτελείται από τρία (3) επίπεδα, το Εικονικό Αντικείμενο, το Σύνθετο Εικονικό Αντικείμενο, και το Επίπεδο Υπηρεσίας. Παρουσιάζοντας αυτά τα επίπεδα που χαρακτηρίζονται από αυτοματοποίηση, νοημοσύνη και μηδενική διαμόρφωση, σε κάθε αντικείμενο εγγυάται επεκτασιμότητα καθώς και διαλειτουργικότητα στο περιβάλλον του IoT.

Ετερογένεια (Heterogeneity): Η ετερογένεια είναι μια ακόμη πρόκληση για το IoT λόγω της ανάγκης να χειριστεί μεγάλο αριθμό ετερογενών συσκευών που ανήκουν σε διαφορετικές πλατφόρμες. Η ετερογένεια πρέπει να εξεταστεί τόσο από τους προγραμματιστές εφαρμογών όσο και από τους κατασκευαστές IoT συσκευών για να διασφαλιστεί η παροχή υπηρεσιών για όλους τους πελάτες ανεξάρτητα από τις προδιαγραφές της πλατφόρμας υλικού που χρησιμοποιούν. Για παράδειγμα, τα περισσότερα από τα κινητά τηλέφωνα σήμερα υποστηρίζουν κοινές τεχνολογίες επικοινωνιών όπως WiFi, NFC και GSM για να εγγυηθούν τη διαλειτουργικότητα σε διάφορα σενάρια, και να παρουσιάσουν οποιαδήποτε ετερογένεια με άλλα συστήματα. Επίσης, οι προγραμματιστές του IoT θα πρέπει να χτίζουν τις εφαρμογές τους για να επιτρέπουν την προσθήκη νέων λειτουργιών χωρίς να προκαλούν προβλήματα ή να χάνουν λειτουργίες διατηρώντας παράλληλα την ολοκλήρωση με διαφορετικές τεχνολογίες επικοινωνίας. Συνεπώς, η διαλειτουργικότητα και η ετερογένεια αποτελούν σημαντικό κριτήριο για το σχεδιασμό και την κατασκευή υπηρεσιών IoT για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των πελατών [251]. Εκτός από την ποικιλία των πρωτοκόλλων, οι διαφορετικές ερμηνείες του ίδιου προτύπου που εφαρμόζουν τα διάφορα μέρη αποτελούν πρόκληση για την ετερογένεια [252]. Προκειμένου να αποφευχθούν τέτοια προβλήματα, θα ήταν χρήσιμη η διεξαγωγή δοκιμών διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών προϊόντων σε δοκιμαστικά περιβάλλοντα. Ενσωματώνοντας ετερογενείς δυνατότητες πληροφορικής και επικοινωνίας, οι μελλοντικές συσκευές είναι πιθανό να αλληλοσυνδέονται σε ολόένα και πιο σύνθετα ανοιχτά συστήματα με διαφορετικούς τρόπους ενσωμάτωσης, οι οποίοι καθιστούν ζωνικό το ετερογενές δίκτυο ελέγχου και τον έλεγχο κλειστού βρόχου των διασυνδεδεμένων συσκευών. Ενεργοποιημένες λοιπόν από την επιστήμη και τις αναδυόμενες τεχνολογίες, οι IoT εφαρμογές του μέλλοντος αναμένεται να παρέχουν αυτονομία στην παρακολούθηση και τη διαχείριση των ετερογενών συσκευών, διασφαλίζοντας σε πραγματικό χρόνο ετερογενείς εξατομικευμένες διαμορφώσεις πολύ πιο ικανές και πολύπλοκες από τις σημερινές.

2.2.4 Τομείς Διαδικτύου των Αντικειμένων

Δεδομένου ότι η έρευνα για το IoT αποτελεί έναν τομέα ενδιαφέροντος τόσο για τον ακαδημαϊκό όσο και για τον βιομηχανικό τομέα, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν την ανάγκη συνεχούς εξεύρεσης νέων μεθοδολογιών για τη σύνδεση διάφορων συσκευών μέσω του IoT με τη βοήθεια πρόσθετων αισθητήρων. Αυτή η έννοια αντιμετωπίζεται τώρα ως η βάση ανάπτυξης σε πολλούς από τους τομείς που απασχολούν την κοινωνία, όπως η έξυπνη κινητικότητα, το έξυπνο δίκτυο, τα έξυπνα σπίτια και κτίρια, η δημόσια ασφάλεια και η παρακολούθηση του περιβάλλοντος, η ιατρική και η υγειονομική περίθαλψη, η βιομηχανική επεξεργασία, η γεωργία και η αναπαραγωγή, η ανεξάρτητη διαβίωση. Ως εκ τούτου, το IoT μπορεί να βρει τις εφαρμογές του σε όλες σχεδόν τις πτυχές της καθημερινής ζωής των ανθρώπων, καθώς συνδέονται με αυτές με τον ένα ή τον άλλο τρόπο. Η χρήση αυτών των εφαρμογών και τα ζωντανά οφέλη έχουν έναν σημαντικό ρόλο, έχοντας δημιουργήσει μια έντονη εξάρτηση από την ύπαρξή τους. Τα τελευταία χρόνια, η ύπαρξή τους και η χρησιμότητά τους έχουν φτάσει σε οραματισμό και έχουν αποκτήσει πρωταρχική σημασία. Μπορεί να μην είναι λανθασμένο να δηλώνουμε ότι το μέλλον του IoT στηρίζεται καθαρά στην έννοια και το όραμα του διαδικτύου, το οποίο μας οδηγεί στο μέλλον στην πράξη. Διάφορες περιοχές εφαρμογών του IoT αναλύονται παρακάτω:

Έξυπνα σπίτια/Έξυπνα κτίρια (Smart Homes/Smart Buildings): Η οργάνωση κτιρίων με προηγμένες τεχνολογίες IoT μπορεί να συμβάλει τόσο στη μείωση της κατανάλωσης των πόρων που σχετίζονται με τα κτίρια (π.χ. ηλεκτρική ενέργεια, νερό), όσο και στη βελτίωση του επιπέδου ικανοποίησης των ανθρώπων που κατοικούν, είτε πρόκειται για εργαζόμενους σε κτίρια γραφείων είτε για ενοικιαστές ιδιωτικών κατοικιών. Το αντίκτυπο είναι τόσο από οικονομική (μειωμένες επιχειρησιακές δαπάνες) όσο και από την κοινωνική άποψη (μειωμένα αποτυπώματα άνθρακα που συνδέεται με τα κτίρια, τα οποία συνεισφέρουν σημαντικά στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου). Ειδικά σήμερα, τα έξυπνα σπίτια γίνονται πιο δημοφιλή λόγω δύο (2) λόγων. Πρώτον, οι τεχνολογίες αισθητήρα και ενεργοποίησης μαζί με τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν ωριμάσει σημαντικά. Δεύτερον, οι άνθρωποι σήμερα εμπιστεύονται την τεχνολογία για να αντιμετωπίσουν τις ανησυχίες τους σχετικά με την ποιότητα ζωής τους και την ασφάλεια των σπιτιών τους. Στα έξυπνα σπίτια αναπτύσσονται διάφοροι αισθητήρες, οι οποίοι παρέχουν ευφυείς και αυτοματοποιημένες υπηρεσίες στο χρήστη. Βοηθούν στην αυτοματοποίηση καθημερινών εργασιών και βοηθούν στη διατήρηση μιας ρουτίνας για άτομα που τείνουν να είναι ξεχασμένα. Βοηθά στην εξοικονόμηση ενέργειας κλείνοντας αυτόματα τα φώτα και τα ηλεκτρονικά συστήματα, χρησιμοποιώντας συνήθως

αισθητήρες κίνησης για το σκοπό αυτό. Οι αισθητήρες κίνησης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για ασφάλεια. Για παράδειγμα, οι συγγραφείς του [253], πρότειναν έναν έξυπνο πράκτορα, ο οποίος χρησιμοποιεί διάφορους αλγόριθμους πρόβλεψης για να κάνει αυτοματοποιημένες εργασίες σε απόκριση στα γεγονότα που πυροδότησαν οι χρήστες και προσαρμόζεται στις συνήθειες των κατοίκων. Οι αλγόριθμοι πρόγνωσης χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της ακολουθίας συμβάντων [254] σε ένα σπίτι. Ένας αλγόριθμος αντιστοίχισης αλληλουχίας διατηρεί ακολουθίες συμβάντων σε μια ουρά και αποθηκεύει επίσης τη συχνότητά τους. Στη συνέχεια, μια πρόβλεψη γίνεται χρησιμοποιώντας το μήκος και τη συχνότητα αντιστοίχισης. Η εξοικονόμηση ενέργειας σε έξυπνα σπίτια [255] επιτυγχάνεται συνήθως μέσω αισθητήρων και ευαισθητοποίησης περιβάλλοντος. Οι αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα από το περιβάλλον (π.χ. συνθήκες φωτός, θερμοκρασίας, υγρασίας, αερίου και πυρκαγιάς). Αυτά τα δεδομένα με τη σειρά τους τροφοδοτούνται σε έναν συσσωρευτή περιβάλλοντος, ο οποίος τα προωθεί στην μηχανή εξυπηρέτησης που έχει σημασία για το περιβάλλον. Αυτός ο κινητήρας επιλέγει υπηρεσίες βάσει του πλαισίου. Για παράδειγμα, μια εφαρμογή μπορεί να ενεργοποιήσει αυτόματα το κλιματιστικό όταν η υγρασία ανεβαίνει ή όταν υπάρχει διαρροή αερίου, μπορεί να σβήσει όλες τις λυχνίες. Οι έξυπνες οικιακές εφαρμογές είναι πραγματικά ωφέλιμες για τους ηλικιωμένους και τους ασθενείς. Η υγεία τους παρακολουθείται και οι συγγενείς ενημερώνονται αμέσως σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Τα δάπεδα είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες πίεσης, οι οποίοι παρακολουθούν την κίνηση ενός ατόμου σε ολόκληρο το έξυπνο σπίτι και επίσης βοηθούν στην ανίχνευση αν κάποιος έχει πέσει κάτω. Ειδικά, οι εφαρμογές ανίχνευσης πτώσης σε έξυπνα περιβάλλοντα [256], [257], [258] είναι χρήσιμες για την ανίχνευση αν οι ηλικιωμένοι έχουν πέσει κάτω. Οι συγγραφείς του [258] χρησιμοποίησαν τεχνικές βασισμένες σε όραμα υπολογιστή για την ανάλυση στάσεων του ανθρώπινου σώματος. Οι συγγραφείς του [257] χρησιμοποίησαν χαμηλού κόστους τεχνολογία υπέρυθρων αισθητήρων, οι οποίες μπορούν να παράσχουν πληροφορίες όπως η θέση, το μέγεθος και η ταχύτητα ενός αντικειμένου στόχου. Ανιχνεύει τη δυναμική μιας πτώσης αναλύοντας τα μοτίβα κίνησης και ανιχνεύει την αδράνεια και τη συγκρίνει με τη δραστηριότητα στο παρελθόν. Χρησιμοποιούνται νευρωνικά δίκτυα και παρέχονται δείγματα δεδομένων στο σύστημα για διάφορους τύπους πτώσεων. Υπάρχουν επίσης διαθέσιμες πολλές εφαρμογές που βασίζονται σε κινητά τηλέφωνα, οι οποίες ανιχνεύουν πτώση με βάση τις μετρήσεις από τα δεδομένα του επιταχυνσιόμετρου και του γυροσκοπίου. Επιπλέον, στα έξυπνα σπίτια, οι κάμερες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή οποιοδήποτε γεγονότων, τα οποία στη συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή σχετικών αποφάσεων/ενεργειών.

Έξυπνες πόλεις (Smart Cities): Ο όρος έξυπνες πόλεις χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει το ψηφιακό-φυσικό οικοσύστημα που αναδύεται με την ανάπτυξη προηγμένης υποδομής επικοινωνίας και καινοτόμων υπηρεσιών σε σενάρια σε όλη την πόλη. Με τις προηγμένες υπηρεσίες, είναι πράγματι δυνατή η βελτιστοποίηση της χρήσης των φυσικών υποδομών της πόλης (π.χ. οδικά δίκτυα, ηλεκτρικό δίκτυο κλπ.) και της ποιότητας ζωής των πολιτών της. Οι τεχνολογίες IoT μπορούν να βρουν διάφορες εφαρμογές σε σενάρια έξυπνων πόλεων. Ως μελέτη περίπτωσης, οι τεχνολογίες IoT μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή προηγμένων συστημάτων ελέγχου της κυκλοφορίας. Μέσω του IoT θα είναι δυνατή η παρακολούθηση της κυκλοφορίας αυτοκινήτων σε μεγάλες πόλεις ή αυτοκινητόδρομους και η ανάπτυξη υπηρεσιών που προσφέρουν συμβουλές για τη δρομολόγηση της κυκλοφορίας για την αποφυγή συμφόρησης. Με αυτή την προοπτική, τα αυτοκίνητα θα θεωρούνται ότι αντιπροσωπεύουν έξυπνα αντικείμενα. Επιπλέον, το σύστημα έξυπνων συσκευών σταθμεύσεως, βασισμένο σε τεχνολογίες RFID και αισθητήρες, μπορεί να επιτρέψει την παρακολούθηση των διαθέσιμων χώρων στάθμευσης και την παροχή στους οδηγούς αυτοματοποιημένων συμβουλών στάθμευσης, βελτιώνοντας έτσι την κινητικότητα στην αστική περιοχή. Επιπλέον, οι αισθητήρες μπορούν να παρακολουθούν τη ροή κυκλοφορίας των οχημάτων σε αυτοκινητόδρομους και να ανακτούν συγκεντρωτικές πληροφορίες όπως η μέση ταχύτητα και ο αριθμός των αυτοκινήτων. Σε αυτό το πλαίσιο, οι συγγραφείς στο [259] εφάρμοσαν ένα σύστημα παρακολούθησης οχημάτων για επιτήρηση της κυκλοφορίας χρησιμοποιώντας βιντεοταινίες που κατέγραφαν στους δρόμους. Οι αισθητήρες μπορούσαν να ανιχνεύσουν το επίπεδο ρύπανσης του αέρα, να ανακτούν πληροφορίες σχετικά με την αιθαλομίχλη, όπως το επίπεδο διοξειδίου του άνθρακα, και να παρέχουν αυτές τις πληροφορίες σε φορείς υγείας. Επιπλέον, οι αισθητήρες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε μια εγκληματολογική οργάνωση, ανιχνεύοντας παραβιάσεις και διαβιβάζοντας τα σχετικά δεδομένα στις υπηρεσίες επιβολής του νόμου για να εντοπίσουν τον παραβάτη ή να αποθηκεύσουν τις πληροφορίες που θα παρασχεθούν σε περίπτωση ατυχήματος για μεταγενέστερη ανάλυση σκηνής ατυχημάτων. Βέβαια, πέρα από τις έξυπνες πόλεις, αξίζουν να αναφερθούν οι εφαρμογές που υπάρχουν στον τομέα των έξυπνων μεταφορών για την εξασφάλιση της ασφάλειας των οδηγών. Υπάρχουν πολλές IoT εφαρμογές που αναπτύσσονται για να βοηθήσουν τους οδηγούς να γίνουν ασφαλέστεροι οδηγοί. Τέτοιες εφαρμογές παρακολουθούν την οδηγική συμπεριφορά των οδηγών και τους βοηθούν να οδηγούν με ασφάλεια εντοπίζοντας πότε αισθάνονται υπνηλία ή κουρασμένοι και βοηθώντας τους να το αντιμετωπίσουν ή να προτείνουν την ηρεμία [260], [261]. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε τέτοιες εφαρμογές είναι η ανίχνευση προσώπου, η ανίχνευση κίνησης των ματιών και η ανίχνευση πίεσης στο τιμόνι για να μετρηθεί η

πρόσφυση των χεριών του οδηγού στο σύστημα διεύθυνσης. Μια εφαρμογή κινητού τηλεφώνου η οποία εκτιμά την οδηγική συμπεριφορά του οδηγού χρησιμοποιώντας τους αισθητήρες, το γυροσκόπιο, το GPS και την κάμερα του τηλεφώνου, έχει προταθεί από τους συγγραφείς στο [262], όπου μπορεί να αποφασίσει αν η οδήγηση είναι ασφαλής ή όχι αναλύοντας τα δεδομένα αισθητήρα. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί η εργασία που προτείνεται στο [263], όπου μια εφαρμογή κινητού τηλεφώνου σχεδιάστηκε για την ανίχνευση της εμφάνισης ενός ατυχήματος με τη βοήθεια ενός επιταχυνσιόμετρου και ακουστικών δεδομένων, στέλνοντας αμέσως αυτές τις πληροφορίες μαζί με την τοποθεσία στο πλησιέστερο νοσοκομείο. Επίσης, αποστέλλονται κάποιες πρόσθετες πληροφορίες κατάστασης, όπως επιτόπιες φωτογραφίες, ώστε οι πρώτοι αποστολείς να γνωρίζουν το σενάριο και τον βαθμό ιατρικής βοήθειας που απαιτείται.

Έξυπνο περιβάλλον/Έξυπνη γεωργία (Smart Environment/Smart Agriculture): Οι περιβαλλοντικές παράμετροι όπως η θερμοκρασία και η υγρασία είναι σημαντικές για τη γεωργική παραγωγή. Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται από τους αγρότες στον τομέα για τη μέτρηση αυτών των παραμέτρων και τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποτελεσματική παραγωγή. Μια εφαρμογή είναι η αυτόματη άρδευση ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες. Η παραγωγή με θερμοκήπια [264] είναι μία από τις κυριότερες εφαρμογές του IoT στον τομέα της γεωργίας. Οι περιβαλλοντικές παράμετροι που καταγράφονται σε όρους θερμοκρασίας, πληροφοριών εδάφους και υγρασίας μετριοούνται σε πραγματικό χρόνο και αποστέλλονται σε έναν διακομιστή για ανάλυση. Τα αποτελέσματα στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της ποιότητας των καλλιεργειών και της απόδοσης. Τα υπολείμματα φυτοφαρμάκων στην καλλιέργεια ανιχνεύονται χρησιμοποιώντας έναν βιοαισθητήρα ακετυλοχολινεστεράσης [265]. Αυτά τα δεδομένα αποθηκεύονται και αναλύονται για την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών, όπως το μέγεθος του δείγματος, ο χρόνος, η τοποθεσία και η ποσότητα των υπολειμμάτων. Μπορούμε έτσι να διατηρήσουμε την ποιότητα της καλλιέργειας. Επιπλέον, ένας QR κώδικας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μοναδική αναγνώριση ενός χαρτοκιβωτίου αγροτικών προϊόντων. Οι καταναλωτές μπορούν να σαρώσουν τον QR κώδικα και να ελέγξουν την ποσότητα των φυτοφαρμάκων σε αυτό (μέσω μιας κεντρικής βάσης δεδομένων), ηλεκτρονικά πριν το αγοράσουν. Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί σήμερα ένα σημαντικό μέλημα, καθώς αλλάζει το κλίμα της γης και υποβαθμίζει την ποιότητα του αέρα. Τα οχήματα προκαλούν μεγάλη ατμοσφαιρική ρύπανση. Μια εφαρμογή IoT που προτείνεται από τους συγγραφείς [207] παρακολουθεί την ατμοσφαιρική ρύπανση στους δρόμους. Επίσης, παρακολουθεί οχήματα που προκαλούν υπερβολική ρύπανση. Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες τοξικού αερίου μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Τα

οχήματα αναγνωρίζονται με ετικέτες RFID. Οι αναγνώστες RFID τοποθετούνται και στις δύο πλευρές του δρόμου μαζί με τους αισθητήρες αερίου. Με αυτή την προσέγγιση είναι δυνατό να εντοπιστούν και να ληφθούν μέτρα κατά των ρυπογόνων οχημάτων. Εκτός από αυτά, η τεχνολογία IoT μπορεί να εφαρμοστεί κατάλληλα σε εφαρμογές περιβαλλοντικής παρακολούθησης. Σε αυτήν την περίπτωση, ο ρόλος κλειδί διαδραματίζεται στην ικανότητα να ανιχνεύονται, με καταναμημένο και αυτοδιαχειριζόμενο τρόπο, φυσικά φαινόμενα και διαδικασίες (π.χ. θερμοκρασία, αιολική ενέργεια, βροχόπτωση, ύψος ποταμού), καθώς και να ενσωματώνουν απρόσκοπτα τέτοια ετερογενή δεδομένα στις αντίστοιχες IoT εφαρμογές. Η επεξεργασία πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, σε συνδυασμό με την ικανότητα ενός μεγάλου αριθμού συσκευών να επικοινωνούν μεταξύ τους, παρέχει μια σταθερή πλατφόρμα για την ανίχνευση και την παρακολούθηση ανωμαλιών που μπορούν να οδηγήσουν σε κίνδυνο για την ανθρώπινη και τη ζωική ζωή. Η εκτεταμένη ανάπτυξη των μικροσκοπικών συσκευών μπορεί να επιτρέψει την πρόσβαση σε κρίσιμες περιοχές, όπου η παρουσία ανθρώπινων φορέων εκμετάλλευσης ενδέχεται να μην αποτελεί βιώσιμη επιλογή (π.χ. ηφαιστειακές περιοχές, ωκεανοί, απομακρυσμένες περιοχές), από όπου οι πληροφορίες μπορούν να κοινοποιηθούν σε ένα σημείο απόφασης για την ανίχνευση ανώμαλων συνθηκών. Μια άλλη περίπτωση στην οποία η ικανότητα ανίχνευσης των IoT συσκευών υποστηρίζει την περιβαλλοντική ασφάλεια αντιπροσωπεύεται από την ανίχνευση πυρκαγιάς. Όταν μια σειρά αισθητήρων ανιχνεύει την πιθανή παρουσία πυρκαγιάς (μέσω αισθητήρων θερμοκρασίας), ένας συναγερμός αποστέλλεται απευθείας στην πυροσβεστική υπηρεσία σε σύντομο χρονικό διάστημα, αξιοποιώντας τα προηγμένα χαρακτηριστικά επικοινωνίας της πλατφόρμας IoT, μαζί με άλλες παραμέτρους που είναι χρήσιμες στη λήψη αποφάσεων, όπως η περιγραφή της περιοχής που υπόκειται στην πυρκαγιά, η πιθανή παρουσία ανθρώπων, εύφλεκτων υλικών κλπ. Είναι σαφές ότι η ταχεία αντίδραση έχει ως συνέπεια τη διάσωση ανθρώπινων ζωών, την άμβλυνση των ζημιών στην ιδιοκτησία ή τη βλάστηση και γενικά τη μείωση του επιπέδου της καταστροφής. Πολλά άλλα σενάρια που σχετίζονται με την πολιτική προστασία μπορούν να επωφεληθούν από τις τεχνολογίες του πολέμου (π.χ. περιοχή σήραγγας, σεισμό, τσουνάμι), όπου η δυνατότητα πρόσβασης σε περιβαλλοντικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σε μεγάλες περιοχές επιτρέπει την υιοθέτηση αποτελεσματικών στρατηγικών συντονισμού μεταξύ των ομάδων διάσωσης. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί η ύπαρξη των έξυπνων συστημάτων ύδρευσης. Δεδομένης της επικρατούσας ποσότητας λειψυδρίας στα περισσότερα μέρη του κόσμου, είναι πολύ σημαντικό να διαχειριζόμαστε αποτελεσματικά τους υδάτινους πόρους μας. Ως αποτέλεσμα, οι περισσότερες πόλεις επιλέγουν έξυπνες λύσεις που τοποθετούν πολλούς μετρητές σε γραμμές παροχής νερού και αποχετεύσεις καταιγίδων. Μια καλή αναφορά στον τομέα αυτό είναι η εργασία

που προτείνεται στο [266], όπου οι συγγραφείς περιέγραψαν διάφορα σχέδια για έξυπνες μετρητές νερού. Αυτοί οι μετρητές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση του βαθμού εισροής και εκροής του νερού και για τον εντοπισμό ενδεχόμενων διαρροών. Τα έξυπνα συστήματα μέτρησης του νερού χρησιμοποιούνται επίσης σε συνδυασμό με δεδομένα από τους δορυφόρους και τους αισθητήρες νερού του ποταμού, συμβάλλοντας επίσης στην πρόβλεψη των πλημμυρών.

Έξυπνη βιομηχανία (Smart Industry): Το IoT είναι σε θέση να βελτιώσει τις επιχειρηματικές συναλλαγές με ευφύστερα δίκτυα εξυπηρέτησης, τα οποία θα βελτιώσουν σημαντικά την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, όπως η πληρωμή μέσω διαδικτύου, και η αποθήκευση κρίσιμων δεδομένων. Το IoT μπορεί να μειώσει το χάσμα μεταξύ των συνιστωσών της τρέχουσας ψηφιακής οικονομίας, όπου η οικονομία που βασίζεται στις υπηρεσίες πραγματοποιείται μέσω συναλλαγών δικτύωσης. Εν τω μεταξύ, το επιχειρηματικό μοντέλο μπορεί να επωφεληθεί από το IoT στα επίπεδα των εταιρικών οργανώσεων. Οι επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν το Ίντερνετ μπορούν να επωφεληθούν από ανταγωνιστικά προϊόντα, πιο αποδοτικά επιχειρηματικά μοντέλα, βελτιστοποιημένους πόρους και επεξεργασία πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. Ένας από τους σημαντικότερους τομείς που εμπίπτουν στην ομπρέλα των βιομηχανικών εφαρμογών είναι οι αλυσίδες εφοδιασμού, τα λογιστικά RFID, και τα δίκτυα αισθητήρων που έχουν ήδη εδραιωμένους ρόλους στις αλυσίδες εφοδιασμού. Οι αισθητήρες έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε γραμμές συναρμολόγησης στις εγκαταστάσεις παραγωγής, και η RFID χρησιμοποιείται συχνά για την παρακολούθηση προϊόντων μέσω του τμήματος της εφοδιαστικής αλυσίδας που ελέγχεται από μια συγκεκριμένη επιχείρηση. Πιο συγκεκριμένα, το IoT μπορεί να βελτιώσει περαιτέρω την αποτελεσματικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας, παρέχοντας πιο λεπτομερείς και ενημερωμένες πληροφορίες από ό,τι είναι σήμερα διαθέσιμες, και τη βελτίωση της ανιχνευσιμότητας του προϊόντος. Πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα και τη χρησιμότητα του προϊόντος μπορούν επίσης να αποθηκευτούν σε ετικέτες RFID που συνδέονται με τις αποστολές. Οι συγγραφείς στο [267] παρουσίασαν ένα σύστημα μετάδοσης πληροφοριών για τη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού, το οποίο βασίζεται στο IoT. Οι ετικέτες RFID αναγνωρίζουν αυτόματα ένα προϊόν, δημιουργώντας ένα δίκτυο πληροφοριών του προϊόντος για τη μετάδοση αυτών των πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο μαζί με τις πληροφορίες της θέσης του προϊόντος. Αυτό το σύστημα βοηθά στην αυτόματη συλλογή και ανάλυση όλων των πληροφοριών που σχετίζονται με τη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού, οι οποίες μπορούν να συμβάλουν στην εξέταση της ζήτησης στο παρελθόν, και να παρουσιάσουν μια πρόβλεψη για τη μελλοντική ζήτηση. Τα στοιχεία της αλυσίδας

εφοδιασμού μπορούν να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και όλες αυτές οι πληροφορίες μπορούν να αναλυθούν για να αποκτήσουν χρήσιμες γνώσεις. Αυτό μακροπρόθεσμα θα βελτιώσει την απόδοση των συστημάτων αλυσίδας εφοδιασμού.

Κοινωνική ζωή και διασκέδαση (Social Life and Entertainment): Πρόσφατα προτάθηκε η ιδέα που ενσωματώνει το IoT με τα κοινωνικά δίκτυα [268], δημιουργώντας το νέο πρότυπο του Κοινωνικού Διαδικτύου των Αντικειμένων (Social Internet of Things, SIoT) που περιγράφει έναν κόσμο όπου τα αντικείμενα γύρω από τον άνθρωπο μπορούν να ανιχνευθούν και να δικτυωθούν έξυπνα. Το SIoT μπορεί να πραγματοποιήσει αποτελεσματικά τα πράγματα και την ανακάλυψη υπηρεσιών και να βελτιώσει την κλιμάκωση του IoT παρόμοια με τα ανθρώπινα κοινωνικά δίκτυα. Επομένως, δεδομένου ότι οι IoT συσκευές είναι πιθανό να συνδέονται με πολλά αντικείμενα και ακόμη και με τους ίδιους τους ανθρώπους, η εξέταση των πιθανών κοινωνικών και προσωπικών επιπτώσεων του IoT είναι απολύτως απαραίτητη. Οι IoT συσκευές επιτρέπουν διάφορες λειτουργίες που μπορούν να προωθήσουν την κοινωνική αλληλεπίδραση και τις προσωπικές ανάγκες. Μια πιθανή εφαρμογή του IoT σε ένα κοινωνικό πλαίσιο είναι η αλληλεπίδραση των IoT συσκευών με τις υπάρχουσες υπηρεσίες κοινωνικής δικτύωσης όπως το Facebook ή το Twitter. Η χρήση των IoT συσκευών για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τις δραστηριότητες και τη θέση ενός ατόμου μπορεί να εξοικονομήσει χρόνο για τον χρήστη. Επιπλέον, οι εφαρμογές που συλλέγουν αυτόματα και ενσωματώνουν αυτές τις πληροφορίες μπορούν να ενημερώσουν τα άτομα όταν βρίσκονται κοντά σε φίλους, κοινωνικές εκδηλώσεις ή άλλες δραστηριότητες που τους ενδιαφέρουν. Επιπλέον, τα κινητά τηλέφωνα με δυνατότητα IoT μπορούν να συνδεθούν άμεσα με άλλα κινητά τηλέφωνα και να μεταφέρουν πληροφορίες επικοινωνίας όταν τα προκαθορισμένα προφίλ φιλίας είναι συμβατά. Έχουν αναπτυχθεί πολλές εφαρμογές, οι οποίες παρακολουθούν τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Το Circle Sense [269] είναι μία από αυτές τις εφαρμογές, η οποία ανιχνεύει τις κοινωνικές δραστηριότητες ενός ατόμου με τη βοήθεια διαφόρων τύπων δεδομένων αισθητήρων. Προσδιορίζει τον κοινωνικό κύκλο ενός ατόμου, αναλύοντας τα πρότυπα των κοινωνικών δραστηριοτήτων και τους ανθρώπους που υπάρχουν σε αυτές τις δραστηριότητες, διακρίνοντας διάφορους τύπους κοινωνικών δραστηριοτήτων και το σύνολο των ατόμων που συμμετέχουν σε αυτές τις δραστηριότητες. Χρησιμοποιεί αισθητήρες θέσης για να ανακαλύψει πού είναι το άτομο και χρησιμοποιεί Bluetooth για να αναζητήσει ανθρώπους γύρω του. Το σύστημα έχει ενσωματωμένους αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, βελτιώνοντας έτσι σταδιακά τη συμπεριφορά του με τη μάθηση.

Ασφάλεια και παρακολούθηση (Security and surveillance): Σε ένα εικονικό μοντέλο του ΙοΤ, κάθε φυσικό αντικείμενο μπορεί να βρει ένα αντίστοιχο αντίγραφο που μπορεί να παρέχει υπηρεσίες στους χρήστες. Κάθε αντικείμενο πρέπει να αντιμετωπιστεί καλά και να επισημανθεί στον κόσμο του ΙοΤ. Ωστόσο, οι διασυνδέσεις μεταξύ των πραγμάτων μπορεί να φέρουν πρωτοφανή ζητήματα ασφάλειας [270]. Στα παραδοσιακά δίκτυα, όπως το ΙοΤ, τα πρωτόκολλα ασφάλειας και η διασφάλιση της ιδιωτικής ζωής χρησιμοποιούνται ευρέως για την προστασία της ιδιωτικής ζωής και της επικοινωνίας. Ωστόσο, οι τεχνικές ασφαλείας που εφαρμόζονται στα συμβατικά δίκτυα είναι ανεπαρκείς για το ΙοΤ [271]. Τα υπάρχοντα πρωτόκολλα και οι μηχανισμοί ασφαλείας θα πρέπει να βελτιωθούν, ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα στο διαδίκτυο. Από την άλλη πλευρά, το νομικό και τεχνικό πλαίσιο είναι επίσης απαραίτητο. Λόγω της δυναμικής, της αβεβαιότητας και της πολυπλοκότητας του ΙοΤ, η προστασία χιλιάδων ακόμη και εκατομμυρίων ευφύων πραγμάτων είναι ένα πολύ δύσκολο έργο. Εκτός αυτού, η ετερογένεια επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την προστασία της ασφάλειας των δικτύων. Τα πράγματα ενδέχεται να βρίσκονται υπό πολλαπλές απειλές, όπως η διαρροή δεδομένων και οι απειλές από εξωτερικά δίκτυα. Επομένως, οι τεχνολογίες ασφάλειας πρέπει να παρέχουν ισχυρή προστασία για όλα τα επίπεδα των στοιχείων του συστήματος σε όλα τα στάδια, από το επίπεδο αίσθησης έως το επίπεδο διασύνδεσης, από την αναγνώριση έως την παροχή υπηρεσιών, και από τις ετικέτες RFID στην υποδομή πληροφορικής. Με άλλα λόγια, οι πληροφορίες πρέπει να εξασφαλίζονται από την αρχή της ύπαρξής τους μέχρι το τέλος του κύκλου ζωής τους. Καθίσταται λοιπόν ξεκάθαρο πως το απόρρητο των πληροφοριών είναι ένα από τα πιο ευαίσθητα θέματα για το ΙοΤ, ενώ η ανάγκη για εύκολη πρόσβαση σε δεδομένα φέρνει την πρόκληση για την προστασία των πληροφοριών στις εξατομικευμένες υπηρεσίες [272], [273].

2.2.5 Διαδίκτυο των Αντικειμένων στον τομέα της Υγείας

Έχει καταστεί σαφές ότι η χρήση του IoT σε πολλούς διαφορετικούς τομείς έχει σημειώσει σημαντική εξέλιξη, ιδίως στον τομέα της ψηφιακής υγείας [274], [275], [276]. Σύμφωνα με το [277], σήμερα χρησιμοποιούνται 50 εκατομμύρια ιατρικές συσκευές, προβλέποντας ότι μέχρι το 2020 θα είναι παγκοσμίως συνδεδεμένες περισσότερες από 161 εκατομμύρια από αυτές. Αυτή η μεγάλη επέκταση της αγοράς ιατρικών IoT συσκευών οφείλεται στην εξέλιξη των τεχνολογιών δικτύωσης υψηλής ταχύτητας και στην αυξανόμενη υιοθέτηση φορητών συσκευών, κινητών συσκευών, και άλλων κινητών πλατφόρμων στην υγεία [278]. Από τώρα και στο εξής, η υγεία είναι ένας από τους σημαντικότερους τομείς εφαρμογής του IoT. Πιο συγκεκριμένα, τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία έχει επικεντρωθεί σε μεγάλο βαθμό στο πώς οι ιατρικές συσκευές και συσκευές παρακολούθησης της υγείας, τα κλινικά φορητά και τα τηλεχειριστήρια μπορούν να συμβάλουν στην καλύτερη υγεία των ασθενών και στην αποτελεσματικότερη υγειονομική περίθαλψη που μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερα ιατρικά συστήματα [279]. Επί του παρόντος, η υγειονομική περίθαλψη είναι μία από τις ταχύτερες βιομηχανίες που υιοθετούν τις τεχνολογίες IoT, οι οποίες βοηθούν στις εξατομικευμένες υπηρεσίες, μειώνοντας το λειτουργικό κόστος και βελτιώνοντας την φροντίδα των ασθενών και την ποιότητα ζωής [280]. Ως εκ τούτου, η ύπαρξη του IoT στον τομέα της υγείας, έχει υποσχεθεί να βελτιώσει την ποιότητα της ανθρώπινης ζωής, αυτοματοποιώντας μερικά από τα βασικά καθήκοντα που πρέπει να εκτελέσει ο άνθρωπος. Με αυτή την έννοια, η παρακολούθηση και η λήψη αποφάσεων μπορούν να μεταφερθούν από την ανθρώπινη πλευρά στην πλευρά της μηχανής. Έτσι, η ύπαρξη IoT εφαρμογών για την υγειονομική περίθαλψη είναι αναγκαία σε σενάρια υποβοηθούμενης διαβίωσης, βελτιώνοντας την ποιότητα των υπηρεσιών και μειώνοντας το κόστος. Ειδικότερα, οι εφαρμογές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση των σημερινών λύσεων υποβοηθούμενης διαβίωσης. Οι ασθενείς θα μπορούν να διαθέτουν ιατρικούς αισθητήρες για την παρακολούθηση των ζωτικών τους παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία του σώματος, η αρτηριακή πίεση, και η αναπνευστική δραστηριότητα, ενώ θα μπορούν να χρησιμοποιούν και άλλους αισθητήρες, είτε φορώντας τους είτε απλά έχοντας τους κοντά τους, για τη συλλογή δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των δραστηριοτήτων των ασθενών στο περιβάλλον τους. Οι πληροφορίες θα συγκεντρώνονται τοπικά και θα μεταδίδονται σε απομακρυσμένα ιατρικά κέντρα, τα οποία θα είναι σε θέση να εκτελούν προηγμένη απομακρυσμένη παρακολούθηση, και θα είναι ικανά για άμεσες ενέργειες αντιμετώπισης, όταν χρειάζεται. Η διασύνδεση τέτοιων ετερογενών αισθητήρων θα μπορούσε να παράσχει μια ολοκληρωμένη εικόνα των παραμέτρων υγείας, ενεργοποιώντας έτσι μια παρέμβαση του ιατρικού

προσωπικού κατά τον εντοπισμό συνθηκών που μπορεί να οδηγήσουν σε επιδείνωση της υγείας, πραγματοποιώντας έτσι προληπτική φροντίδα. Ένας άλλος σχετικός τομέας εφαρμογής σχετίζεται με τις εξατομικευμένες λύσεις υγειονομικής περίθαλψης και ευεξίας. Η χρήση φορητών αισθητήρων μαζί με τις κατάλληλες εφαρμογές που εκτελούνται σε προσωπικές υπολογιστικές συσκευές, επιτρέπει στους ανθρώπους να παρακολουθούν τις καθημερινές τους δραστηριότητες (π.χ. βήματα με τα πόδια, θερμίδες που έχουν καεί, ασκήσεις που εκτελούνται κλπ.), παρέχοντας προτάσεις για την ενίσχυση του τρόπου ζωής τους και την πρόληψη της εμφάνισης προβλημάτων υγείας. Έτσι, η πρόοδος στους αισθητήρες, στην ασύρματη επικοινωνία και στις τεχνολογίες επεξεργασίας δεδομένων είναι η κινητήρια δύναμη για την εφαρμογή του IoT στα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης.

Η έξυπνη υγειονομική περίθαλψη έχει προσελκύσει σημαντικό ενδιαφέρον από τις κυβερνητικές οργανώσεις, τις ιδιωτικές εταιρείες και τους ερευνητές από διαφορετικούς τομείς λόγω των κοινωνικών και οικονομικών ωφελειών της. Κατά συνέπεια, προέκυψαν πολυάριθμες μελέτες [281], μοντέλα [282] και υπηρεσίες [283], [284] σχετικά με την έξυπνη υγειονομική περίθαλψη λόγω της ενσωμάτωσης τεχνολογιών διαδικτύου. Σε ένα τέτοιο μοντέλο έξυπνης υγειονομικής περίθαλψης, οι ιατροί, συμπεριλαμβανομένων των μελών του προσωπικού, μπορούν να αναλύσουν τα στοιχεία της υγειονομικής περίθαλψης σε πραγματικό χρόνο. Σε άλλη μελέτη [285], ο συγγραφέας συζήτησε ένα έξυπνο πλαίσιο υγείας, στο οποίο οι έξυπνοι κάτοικοι της πόλης μπορούν να χρησιμοποιήσουν έξυπνες συσκευές για να βρουν μια διαδρομή προς τα κέντρα υγειονομικής περίθαλψης. Σε άλλη μελέτη [283], ο συγγραφέας συζήτησε ένα διασυνδεδεμένο πλαίσιο έξυπνης υγειονομικής περίθαλψης που περιλαμβάνει την επεξεργασία ηλεκτρονικών αρχείων υγείας. Στο [286], οι ερευνητές πρότειναν ένα έξυπνο σύστημα παρακολούθησης γλυκόζης για διαβητικούς ασθενείς, το οποίο περιλάμβανε καθημερινές δραστηριότητες και τοποθεσίες. Στο [284], ο συγγραφέας πρότεινε ένα ελεγχόμενο με ρομπότ αυτόματο ασθενοφόρο για τη θεραπεία ασθενών με καρδιακή αρρυθμία που απαιτούν άμεση περίθαλψη. Άλλες μελέτες έχουν διερευνήσει ιατρική πλαστογραφία στην έξυπνη υγειονομική περίθαλψη [287]. Η αποτελεσματική χρήση της τεχνολογίας επικοινωνιών, της ανάλυσης δεδομένων, των έξυπνων αισθητήρων και των πόρων υπολογιστικών νεφών είναι ζωτικής σημασίας για το ευφές περιβάλλον της υγειονομικής περίθαλψης [288]. Στο ίδιο πλαίσιο, οι συντάκτες στο [289] πρότειναν ένα πλαίσιο για την έξυπνη παρακολούθηση της υγειονομικής περίθαλψης, ανταποκρινόμενοι στις διάφορες υπάρχουσες ανάγκες και προκλήσεις, παρέχοντας μια λύση για την ανάπτυξη ενός αυτόματου συστήματος ανίχνευσης κρίσεων με βάση το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα. Συγκεκριμένα, χρησιμοποίησαν τεχνολογίες έξυπνης

ανίχνευσης, τεχνογνωσίας IoT και τεχνολογίες υπολογιστικών νεφών. Επιπλέον, οι συγγραφείς [290] πρότειναν μία IoT πλατφόρμα για υπηρεσίες υγειονομικής περιθαλψης στο σπίτι με βάση το IoT, που απεικονίζει ένα κιβώτιο ευφυούς ιατρικής που ενσωματώνεται με αισθητήρες, και συσκευές που επικοινωνούν μέσω WAN, GPRS ή/και 3G. Οι υπηρεσίες όπως η έξυπνη φαρμακευτική συσκευασία ενεργοποιούνται μέσω της δυνατότητας RFID, οι οποίες ενεργοποιούνται από λειτουργικά υλικά, ευέλικτη και φορητή βιοιατρική συσκευή αισθητήρα. Με τη σειρά της αυτή η συσκευή αποφασίζει πότε πρέπει να καλέσει τον απομακρυσμένο γιατρό, το κέντρο έκτακτης ανάγκης, το νοσοκομείο, την κλινική δοκιμών και τους εμπόρους λιανικής της αλυσίδας εφοδιασμού. Οι συγγραφείς στο [291] παρουσίασαν μια νέα αρχιτεκτονική βασισμένη στο IoT για να βρουν την κατάσταση υγείας στο σπίτι ενημερώνοντας τους κατοίκους για τις κρίσιμες αντιλήψεις του σπιτιού. Λίγες εφαρμογές παρακολουθούν την υγεία των ηλικιωμένων με τη χρήση τυποποιημένων τεχνολογιών [292]. Οι συγγραφείς στο [293] επεξεργάζονται την αρχιτεκτονική του IoT στον αθλητισμό με βάση κυρίως το ποδόσφαιρο όπου δίνεται η μεγαλύτερη προτεραιότητα στην φροντίδα της υγείας, ενώ μοντελοποιημένες αρχιτεκτονικές υποδειγμάτων δομών και γενικευμένων τομέων εμφανίζονται διαδοχικά στα [294] και [295] για την επίλυση της υγείας και σχετικά ζητήματα στην πραγματική ζωή. Μία άλλη εφαρμογή, το Home Health Hub Internet of Things, έχει σχεδιαστεί για τη διάδοση της υγειονομικής περιθαλψης των ηλικιωμένων στο σπίτι [296]. Πρόκειται για μια προσέγγιση όπου εκτιμώνται και παρακολουθούνται οι φυσιολογικές μεταβολές των ηλικιωμένων, λαμβάνοντας περαιτέρω ενέργειες για περαιτέρω έλεγχο της υγείας από το γιατρό και τους φροντιστές. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [297] πρότειναν ένα πλαίσιο διαφύλαξης της προστασίας της ιδιωτικής ζωής για την επίτευξη αρχιτεκτονικής βασισμένης στις διαπραγματεύσεις, προκειμένου να βρεθεί λύση για τη διαφύλαξη της ιδιωτικής ζωής και στη διαχείριση δεδομένων των IoT, ειδικά στον τομέα της ηλεκτρονικής υγείας. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [298] πρότειναν μια αρχιτεκτονική βασισμένη στο IoT του έξυπνου νοσοκομείου για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας του σημερινού νοσοκομειακού συστήματος πληροφοριών, όπως το σταθερό σημείο πληροφόρησης, και οι συναφείς παράμετροι. Το προτεινόμενο σύστημα αυτοματοποίησης της μεθοδολογίας σχεδιασμού για την έξυπνη αποκατάσταση του πληθυσμού των ηλικιωμένων [299], αποτελεί ένα σύστημα που βασίζεται σε οντολογίες, δημιουργεί προσωποποιημένες στρατηγικές, και επαναπροσδιορίζει τους ιατρικούς πόρους σύμφωνα με τις ειδικές απαιτήσεις των ασθενών, με γρήγορο και αυτόματο τρόπο.

2.3 Ενσωμάτωση Συσκευών στον κόσμο του Διαδικτύου των Αντικειμένων

2.3.1 Ανάγκη Ενσωμάτωσης Συσκευών

Με βάση όλες τις προκλήσεις που διατυπώθηκαν στη Ενότητα 2.2.3, καθίσταται σαφές ότι οι εφαρμογές του IoT πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους και να ικανοποιούν διάφορες κρίσιμες προκλήσεις. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη ότι το μεγαλύτερο και βασικότερο μέρος των εφαρμογών αυτών είναι οι συσκευές, οι κύριες προκλήσεις που πρέπει να επιλυθούν σχετίζονται άμεσα με τις συσκευές αυτές. Πιο συγκεκριμένα, οι συσκευές στο πλαίσιο του IoT μπορούν να χωριστούν σε τρεις (3) κύριες κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει τις συσκευές που είναι προσαρτημένες σε αντικείμενα για την αναγνώριση αυτών, η δεύτερη περιλαμβάνει τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές για την παροχή εξωτερικής πρόσβασης στις ιδιότητες και τις λειτουργίες του αντικειμένου, ενώ η τρίτη αφορά τις συσκευές που έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες, όπως οι φορητές συσκευές και τα κινητά τηλέφωνα με ενσωματωμένη πρόσβαση στις ιδιότητές τους και τις λειτουργίες τους κυρίως μέσω του IoT. Ωστόσο, ανεξάρτητα από τον τρόπο με τον οποίο οι συσκευές συνδέονται με το διαδίκτυο, θα πρέπει να είναι ομοιόμορφες, καθιστώντας εφικτή την ανακάλυψη και την ενσωμάτωσή τους στην υποδομή δικτύου και στις υπάρχουσες διαφορετικές υπηρεσίες/εφαρμογές, επιτυγχάνοντας έτσι διαλειτουργικότητα σε πολλαπλά επίπεδα [174].

Ωστόσο, όλοι αυτοί οι διαφορετικοί τύποι IoT συσκευών χαρακτηρίζονται συνήθως από υψηλό βαθμό ετερογένειας, όσον αφορά την ύπαρξη διαφορετικών δυνατοτήτων, λειτουργιών και πρωτοκόλλων δικτύου. Σε ένα τέτοιο σενάριο, είναι απαραίτητο να παρέχονται πιο ευρείες προσεγγίσεις για τις συσκευές και υπηρεσίες IoT σε εφαρμογές και τελικούς χρήστες, καθώς και μέσα διαχείρισης της διαλειτουργικότητας μεταξύ αυτών των ετερογενών στοιχείων [300]. Επομένως, η πρόκληση που ανακύπτει και πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι πως όλες αυτές οι συσκευές χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό ετερογένειας, απαιτώντας την δημιουργία και ύπαρξη εξατομικευμένων εφαρμογών για να είναι ικανές να αλληλοεπιδρούν με κάθε διαφορετική συσκευή, και να εντοπίζουν και να κατανοούν τη φύση της προκειμένου να χρησιμοποιούν τις ιδιότητες και τα δεδομένα της. Ως αποτέλεσμα, όσες υπάρχουσες IoT εφαρμογές/πλατφόρμες χρειάζονται τα δεδομένα αυτών των συσκευών, θα πρέπει να περιέχουν μηχανισμούς που θα είναι ανεξάρτητοι από τις δυνατότητες, τις λειτουργίες και τα χαρακτηριστικά των συσκευών, και θα μπορούν να εντοπίζουν δυναμικά και ταχύτατα τις ετερογενείς IoT συσκευές, των οποίων επιθυμούν να συγκεντρώνουν τα δεδομένα τους [174]. Αυτό που πρέπει επίσης να αναφερθεί είναι ότι το IoT

εφαρμόζεται σε σενάρια εφαρμογών σε πραγματικό χρόνο, μεγάλης κλίμακας και ποικίλων λειτουργιών, τα οποία προτρέπουν την ενσωμάτωση διαφόρων περιφερειακών συσκευών με τη συσκευή. Ωστόσο, τα περιφερειακά κατασκευάζονται παραδοσιακά ως ιδιόκτητα και η ενσωμάτωσή τους με IoT συσκευές είναι τυπικά συγκεκριμένη για κάθε ξεχωριστό κατασκευαστή του εκάστοτε περιφερειακού. Η αντιμετώπιση της ενσωμάτωσης των ετερογενών περιφερειακών συσκευών με συσκευές χαμηλής κατανάλωσης και χαμηλής επεξεργασίας είναι ένα δύσκολο ζήτημα στον κόσμο του IoT. Σε αυτή την περίπτωση, το IoT υπόσχεται να αντιμετωπίσει αυτήν την πρόκληση διευκολύνοντας την αυτόματη αλληλεπίδραση και πρόσβαση σε όλες αυτές τις συσκευές [301]. Αυτό θα επιτρέψει την ανάπτυξη συστημάτων και εφαρμογών που μπορούν να διερευνήσουν και να διαχειριστούν την ποικιλομορφία αυτών των συσκευών [302], ανεξάρτητα από τον τομέα της κάθε εφαρμογής, όπως η αυτοματοποίηση οικιακής χρήσης, η έξυπνη διαχείριση ενέργειας και έξυπνα δίκτυα, η διαχείριση ηλεκτρονικής υγείας, κλπ [17], [303]. Ως αποτέλεσμα, οι προγραμματιστές του IoT θα πρέπει να είναι σε θέση να δημιουργούν εφαρμογές βασισμένες σε ετερογενή δεδομένα και συσκευές, ανεξάρτητα από τις δυνατότητες υλικού και λογισμικού τους, τόσο γνωστού όσο και άγνωστου τύπου για αυτές [174]. Ωστόσο, οι υπάρχουσες IoT πλατφόρμες δεν διαθέτουν επαρκή ευελιξία για να προσαρμοστούν στις αλλαγές αυτές, καθώς οι τεχνικές αναγνώρισης και ενσωμάτωσης είναι τόσο στατικές όσο και ευαίσθητες στα συνεχώς εξελισσόμενα ή μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα συσκευών [25]. Έτσι, αφού δεν είναι σε θέση να προσδιορίσουν τις διαφορετικές υπάρχουσες συσκευές, δεν είναι ούτε σε θέση να αποφασίσουν εάν σχετίζονται με κάθε συγκεκριμένη πλατφόρμα και τα δεδομένα τους πρέπει να συλλεχθούν. Επομένως, τόσο η αναγνώριση όσο και η ενσωμάτωση των συσκευών αποτελούν πρόκληση για την ερευνητική κοινότητα στην σημερινή εποχή του IoT.

Μια αποτελεσματική λύση που θα μπορούσε να οδηγήσει ομαλά στην επίλυση αυτής της πρόκλησης θα ήταν η ανάπτυξη και υιοθέτηση ευρέως αποδεκτών προτύπων. Ωστόσο, αυτή η λύση δεν είναι επί του παρόντος εφικτή, καθώς μέχρι σήμερα δεν έχει προταθεί κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο για την αντιμετώπιση όλων των προαναφερθέντων θεμάτων. Παρόλο που η ενσωμάτωση των έξυπνων αντικειμένων στον κόσμο του IoT έχει εξεταστεί με κάποιες προσπάθειες τυποποίησης [303], [304], [305], κανένα από αυτά δεν είναι επί του παρόντος ευρέως αποδεκτό και χρησιμοποιούμενο. Η υιοθέτηση ενός συγκεκριμένου προτύπου θα διευκόλυνε τις λειτουργίες της ενσωμάτωσης και της αλληλεπίδρασης των συσκευών με τα υπάρχοντα IoT συστήματα και εφαρμογές, διευκολύνοντας παράλληλα την ανασυγκρότηση και την ανταλλαγή πληροφοριών. Δεδομένου ότι τόσο τα έξυπνα περιβάλλοντα IoT όσο και οι

συνδεδεμένες συσκευές αυξάνονται σε αριθμούς, είναι πιο ξεκάθαρο από ποτέ πως προγραμματιστές θα πρέπει να είναι σε θέση να δημιουργούν εφαρμογές βασισμένες σε ετερογενή δεδομένα και συσκευές ανεξάρτητα από τις δυνατότητες υλικού και λογισμικού τους. Επομένως, όλες οι έξυπνες συσκευές που παρέχονται από τους πολλαπλούς κατασκευαστές θα πρέπει να λειτουργούν βάσει κοινών προτύπων. Εάν θα ήταν δυνατή η ενσωμάτωση του IoT με την υπάρχουσα υποδομή πληροφορικής, θα λύνονταν πολλά υπάρχοντα προβλήματα ασυμβατότητας μεταξύ των συσκευών αυτών και των συστημάτων/εφαρμογών. Η συνεργασία μεταξύ διαφορετικών κατασκευαστών μπορεί επίσης να είναι μια εφικτή προσπάθεια επίλυσης των ζητημάτων ετερογένειας. Οι κατασκευαστές πρέπει να συνεργαστούν σε αυτά τα θέματα και να αναπτύξουν μια διαφανή μέθοδο ενοποίησης που μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε τομέα. Απαιτείται ισχυρή υποδομή για κάθε πλατφόρμα για να μπορεί να ταιριάζει σε οποιαδήποτε συσκευή, ασχέτως του κατασκευαστή της. Ο καταναλωτής θα πρέπει να αισθάνεται ελεύθερος να χρησιμοποιεί οποιαδήποτε συσκευή από οποιονδήποτε κατασκευαστή, ενώ ο κατασκευαστής με τη σειρά του θα πρέπει να φροντίζει για την εμπιστοσύνη των καταναλωτών του. Ένας μεγάλος αριθμός IoT συσκευών από άγνωστους κατασκευαστές διαθέτει διαφορετικές μεθόδους διαμόρφωσης και εγκατάστασης, ενώ οι συσκευές από πολλούς κατασκευαστές έχουν διαφορετικές μεθόδους χειρισμού δεδομένων, περιέχοντας διαφορετικές σημασιολογικές και συντακτικές ονομασίες, δημιουργώντας έτσι διαφορετικές σημασιολογικές και συντακτικές συγκρούσεις, καθιστώντας εν τέλει μη εφικτή τη συλλογή των δεδομένων. Επομένως, θα είναι δύσκολο να προστεθεί μια νέα συσκευή στο δίκτυο του IoT και να συλλεχθούν τα δεδομένα της στο δίκτυο του IoT, χωρίς να επιλυθεί η ασάφεια αυτή των μεθόδων χειρισμού των δεδομένων της [167]. Ως εκ τούτου, γίνεται σαφές ότι οι εξατομικευμένες αρχιτεκτονικές των εφαρμογών των κατασκευαστών, τα ιδιόκτητα πρωτόκολλα επικοινωνίας, και η έλλειψη προτύπων IoT αποτελούν μερικούς λόγους που ευθύνονται για τον περιορισμό του IoT, δημιουργώντας την ανάγκη να προταθούν και να αναπτυχθούν λύσεις για την επιτυχή αναγνώριση και ενσωμάτωση συσκευών σε διαφορετικές πλατφόρμες και συστήματα IoT.

2.3.2 Τεχνικές Ενσωμάτωσης Συσκευών

Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 2.3.1, ανεξάρτητα από τον τρόπο με τον οποίο οι συσκευές συνδέονται με το διαδίκτυο, πρέπει να είναι ομοιόμορφα ανακαλυπτόμενες διαθέτοντας την ικανότητα να ενσωματώνονται με διαφορετικές IoT πλατφόρμες και συστήματα, προκειμένου να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα των υπαρχουσών συσκευών και να τα αξιοποιούν με το βέλτιστο δυνατό τρόπο. Σε αυτή την έννοια, έχουν προταθεί διάφορες προσεγγίσεις στον ερευνητικό κόσμο του IoT, οι οποίες καταβάλλουν προσπάθειες για την ενσωμάτωση ετερογενών συσκευών ώστε να είναι διαλειτουργικές και ικανές να συνδέονται με διαφορετικές πλατφόρμες και συστήματα IoT, προσφέροντας παράλληλα τα δεδομένα τους. Πιο συγκεκριμένα, οι συγγραφείς στο [306] πρότειναν ένα σύστημα συλλογής και δημοσίευσης δεδομένων αισθητήρων ικανό να συλλέγει δεδομένα από μεμονωμένες συσκευές, εμπλουτίζοντας σημασιολογικά τα δεδομένα αισθητήρων τους και διανέμοντάς τα σε μια βάση δεδομένων MySQL [307], βασισμένα στη χειροκίνητη χαρτογράφηση σε οντολογικές έννοιες [308]. Στην ίδια έννοια, οι συγγραφείς στο [24] ανέπτυξαν ένα IoT περιβάλλον που μεταξύ των λειτουργιών του, όρισε μια αναπτυξιακή διαδικασία για την ενσωμάτωση συγκεκριμένων συσκευών, χρησιμοποιώντας την OWL [309] για να τις μοντελοποιήσει και να τις περιγράψει, και εν τέλει να μπορεί να τις ενσωματώσει. Πιο συγκεκριμένα, οι συσκευές αυτές θεωρήθηκαν σαν πόροι και εκπροσωπούνταν από έναν κεντρικό διαχειριστή πόρων, ο κύριος ρόλος του οποίου ήταν να κατασκευάσει το μοντέλο οντολογιών των πόρων, προσδιορίζοντας ποια ήταν η κάθε πηγή, πώς θα μπορούσε το εκάστοτε σύστημα να συνδεθεί με αυτήν, ποια ήταν η επιμέρους λειτουργία της συσκευής, πού βρισκόταν και πώς θα μπορούσε να προσφέρει τις δυνατότητές της. Επιπλέον, οι προσεγγίσεις των [310], [311], [312], [313] αντιμετώπισαν τη συχνή τροποποίηση των περιβαλλόντων των συσκευών, παρέχοντας ομοιογενείς προβολές για την κατανόηση του περιεχομένου και των λειτουργιών τους, βασιζόμενες στις οντολογίες. Στο ίδιο πλαίσιο, οι συγγραφείς [314] πρότειναν ένα σύστημα που βασίζεται και πάλι στη χρήση των οντολογιών, σκοπός του οποίου ήταν να παρέχει σημασιολογική διαλειτουργικότητα μεταξύ ετερογενών συσκευών, προκειμένου να διευκολυνθεί η ενσωμάτωση, η ανταλλαγή και η ανάλυση των δεδομένων τους. Το σύστημα αυτό αποτελείται από δύο (2) βασικά στοιχεία. Την IFO για την επίσημη αναπαράσταση των βασικών εννοιών των συσκευών και το σύστημα χαρτογράφησης βασισμένο στην RML [315] για την κατανάλωση των κατασκευασμένων οντολογιών IFO, μετατρέποντάς τες σε μια γραφική παράσταση RDF, χαρτογραφώντας και ενσωματώνοντάς τες έτσι στο σύστημα.

Όλες οι παραπάνω προσεγγίσεις εστίασαν την έρευνά τους μόνο σε συγκεκριμένες συσκευές, ενώ οι περισσότερες από αυτές είχαν προσδιορίσει τις οντολογίες ως μία από τις βασικές τεχνολογίες για την ολοκλήρωση της ενσωμάτωσης των συσκευών αυτών. Υπάρχει μια πληθώρα πρόσφατων ερευνών που έχουν αντιμετωπίσει τον προαναφερθέντα περιορισμό και δε στηρίζουν τις προσεγγίσεις τους αποκλειστικά στη χρήση των οντολογιών, αλλά ωστόσο, δεν είναι σε θέση να καλύψουν το δύσκολο θέμα της ενσωμάτωσης ετερογενών συσκευών άγνωστης φύσης. Για παράδειγμα, οι συγγραφείς στο [316] παρουσίασαν μια αρχιτεκτονική ενοποίησης δεδομένων βασισμένη σε οντολογίες, όπου δόθηκε έμφαση στην επίλυση των συντακτικών και σημασιολογικών ετερογενειών κατά την πρόσβαση σε ετερογενείς συσκευές, χρησιμοποιώντας τη γλώσσα OWL-DL [317]. Εκτός από αυτό, το SPOT [318] προτάθηκε σαν μια έξυπνη πλατφόρμα βασισμένη σε ένα δυναμικό μοντέλο αφαίρεσης οδηγών συσκευών XML [319] που αντιμετώπισε τις πτυχές της ετερογένειας των πηγών δεδομένων, προσφέροντας ένα ανοιχτό και ενοποιημένο API για την πρόσβαση στις γνωστές συσκευές. Οι προδιαγραφές και τα API αυτής της πλατφόρμας δημοσιοποιήθηκαν έτσι ώστε όλοι οι κατασκευαστές συσκευών, η κοινότητα ανοιχτού κώδικα ή ακόμα και οι τελικοί χρήστες να μπορούν να δημιουργούν ή να προσαρμόζουν τα API αυτά στις εκάστοτε απαιτήσεις των συσκευών τους, αποκτώντας ή δημιουργώντας προγράμματα οδήγησης συσκευών που αντιστοιχούν σε εγκατεστημένες συσκευές και αναπτύσσοντας τα στην πλατφόρμα SPOT. Στο ίδιο πλαίσιο, το EcoDiF [320] πρότεινε μια πλατφόρμα βασισμένη στο διαδίκτυο για την ενσωμάτωση ετερογενών συσκευών με εφαρμογές. Το κύριο μέρος αυτής της πλατφόρμας ήταν μια μονάδα σύνδεσης συσκευών που αποσκοπούσε στη διευκόλυνση της σύνδεσης των συσκευών με την πλατφόρμα EcoDiF. Με αυτή την προοπτική, οι κατασκευαστές έπρεπε να διαμορφώσουν τις συσκευές τους σύμφωνα με το συγκεκριμένο API του EcoDiF για να επιτρέψουν την ενσωμάτωση στην πλατφόρμα, ενώ οι χρήστες έπρεπε να συνδέσουν τις προκαθορισμένες συσκευές τους για να εκτελέσουν τις λειτουργίες του παρεχόμενου API, και να στείλουν εν τέλει τα δεδομένα των συσκευών. Το Xively [321] είναι ένα πρόσθετο παράδειγμα, προσφέροντας μια πλατφόρμα IoT που βασίζεται στο υπολογιστικό νέφος για τη σύνδεση διάφορων γνωστών συσκευών, τη διαχείριση αυτών των συσκευών και των δεδομένων που παράγουν, καθώς και την ενσωμάτωσή τους σε άλλα συστήματα. Για να συλλέξει τα δεδομένα αυτών των συσκευών, το Xively παρείχε ένα RESTful API για να πάρει όλα αυτά τα δεδομένα, καθώς και να τα οπτικοποιήσει. Το RestThing [322] είναι μια άλλη υποδομή διαδικτύου βασισμένη σε REST, σχεδιασμένη να αντιμετωπίζει την ετερογένεια μεταξύ των φυσικών συσκευών και να παρέχει μέσα ενσωμάτωσης συσκευών για την επιτυχή ενοποίησή τους με ποικίλες IoT εφαρμογές. Το RestThing επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργούν εφαρμογές που βασίζονται σε REST συνδυάζοντας φυσικούς και

ψηφιακούς πόρους, έτσι ώστε οι συσκευές και οι πληροφορίες να εκπροσωπούνται ως πόροι και να χειρίζονται μέσω ενός RESTful API μέσω των συμβατικών λειτουργιών που ορίζονται στο πρωτόκολλο HTTP. Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί το έργο που παρουσιάστηκε στο [323], όπου οι συγγραφείς πρότειναν μια άλλη πλατφόρμα βασισμένη σε REST για την ενσωμάτωση αισθητήρων και την ανταλλαγή δεδομένων που τους παρείχαν. Αυτά τα δεδομένα αποστέλλονται σε ένα διακομιστή, ο οποίος επικοινωνεί με μια βάση δεδομένων που αποθηκεύει δεδομένα που αποστέλλονται από τους αισθητήρες (στην περίπτωση συσκευών με απευθείας σύνδεση στο Internet) ή από πύλες (στην περίπτωση συσκευών χωρίς τέτοια χωρητικότητα). Ως εκ τούτου, αυτά τα δεδομένα μπορούν να προσεγγιστούν από εφαρμογές ή/και χρήστες μέσω των RESTful αιτήσεων προς το διακομιστή, ο οποίος μπορεί να επιστρέψει διαφορετικές παραστάσεις στις μορφές δεδομένων XML, JSON [324] και CSV [325]. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [326] πρότειναν μια άλλη προτεινόμενη προσέγγιση για την ενσωμάτωση διάφορων συσκευών, οι οποίες είχαν αναπτύξει μια αρχιτεκτονική προσανατολισμένη στις υπηρεσίες για την ενσωμάτωση διάφορων συσκευών στο περιβάλλον του IoT, χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση tuple space σχετικά με τις συσκευές που ενσωματώθηκαν στην πλατφόρμα. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί στο S³OIA είναι ότι παρείχε ένας μηχανισμός πρόθεσης που επιτρέπει στους χρήστες να αλληλοεπιδρούν με την πλατφόρμα εκφράζοντας τις προτιμήσεις τους και άλλες σχετικές πληροφορίες, ενώ η πλατφόρμα μπορεί να παρέχει ανατροφοδότηση στους χρήστες. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [327] πρότειναν μια δυναμική μέθοδο σύνδεσης συσκευών μεταξύ IoT εφαρμογών και περιφερειακών, χρησιμοποιώντας το διαδίκτυο για να υποστηρίξουν διάφορα είδη συσκευών με πολλαπλά λειτουργικά συστήματα σε σενάρια IoT. Επιπλέον, απέδειξαν τη σκοπιμότητα της προτεινόμενης μεθόδου, εφαρμόζοντάς την στο λειτουργικό σύστημα του Android. Στη λύση τους, τα πλησιέστερα περιφερειακά ελέγχονται ασύρματα από ένα κινητό τηλέφωνο. Ωστόσο, το προτεινόμενο σχήμα περιορίζεται μόνο σε κινητά τηλέφωνα, όπου υπάρχει επαρκής μνήμη, ισχύς επεξεργαστή και ενέργεια μαζί με το διαδίκτυο.

Εκτός από αυτά, οι συγγραφείς στο [328], προκειμένου να επιτευχθεί μια λύση ενσωμάτωσης, πρότειναν τη χρήση ενός γενικού επικοινωνίας ενδιάμεσου IoT λογισμικού, η οποία συνδυάζει τόσο τα πλεονεκτήματα της SOA και των MAS [329], προκειμένου να μετατραπεί το IoT σε ένα ομογενές δίκτυο [330]. Στο ίδιο πλαίσιο, το ezContext [331] είναι ένα άλλο ενδιάμεσο λογισμικό που διευκολύνει την ενοποίηση εφαρμογών εξαρτώμενων από δεδομένα περιβάλλοντος και νέων συσκευών. Το ενδιάμεσο λογισμικό αποτελείται από τέσσερα (4) κύρια επίπεδα, την πηγή πλαισίου δεδομένων που είναι υπεύθυνη για την ενσωμάτωση των συσκευών, τον πάροχο πλαισίου που συλλέγει δεδομένα από τις συσκευές, τον

διαχειριστή περιεχομένων που συγκεντρώνει και διαχειρίζεται τον κύκλο ζωής των δεδομένων, την αποθήκευση και την εξαγωγή συμπερασμάτων και το επίπεδο εφαρμογής που στέλνει ερωτήματα στον διαχειριστή περιεχομένων ζητώντας δεδομένα περιβάλλοντος, επιτυγχάνοντας εν τέλει την απόκτηση των δεδομένων των συσκευών. Επιπλέον, το SM4ALL [332] είναι ένα άλλο προτεινόμενο ενδιάμεσο λογισμικό για τη δυναμική σύνδεση και αποσύνδεση ετερογενών συσκευών και υπηρεσιών των συνδεδεμένων συσκευών που προσφέρονται στο υπόλοιπο σύστημα. Προκειμένου να είναι δυνατή η ενσωμάτωση ετερογενών συσκευών στο λογισμικό SM4ALL, το αναπτυγμένο εκτεταμένο πλαίσιο παρέχει ένα πλαίσιο ανακάλυψης, το οποίο υποστηρίζει την ανακάλυψη συσκευών Bluetooth και UPnP. Επιπλέον, το OpenIoT Project [333] πρότεινε ένα ενδιάμεσο λογισμικό ανοιχτού κώδικα για IoT εφαρμογές σε ένα μοντέλο Sensing as a Service που είναι διαθέσιμο σε ένα περιβάλλον υπολογιστικών νεφών, το οποίο μπορεί να είναι προσβάσιμο με διαφάνεια και διαμορφωμένο από τους χρήστες. Αυτό το ενδιάμεσο λογισμικό συνδέει τους αισθητήρες με το περιβάλλον του υπολογιστικού νέφους, έτσι ώστε οι πηγές στο σύννεφο να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία και τη διαχείριση δεδομένων, οι οποίες αντιπροσωπεύουν χρήσιμες λειτουργίες που συνήθως δεν μπορούν να εκτελεστούν άμεσα από τις συσκευές περιορισμένων πόρων. Με τη σειρά του, το LinkSmart [334] πρότεινε ένα μεσαίο λογισμικό προσανατολισμένο στις υπηρεσίες για ενσωματωμένα συστήματα, προκειμένου να υποστηριχθεί η ανάπτυξη εφαρμογών που αποτελούνται από ετερογενείς φυσικές συσκευές. Αυτή η πλατφόρμα παρέχει διασυνδέσεις βασισμένες σε υπηρεσίες του διαδικτύου για τον έλεγχο οποιουδήποτε τύπου φυσικής συσκευής και επιτρέπει στους προγραμματιστές να ενσωματώνουν φυσικές συσκευές στις εφαρμογές. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί το έργο των δημιουργών [335], όπου παρουσιάζεται μια λύση ενσωμάτωσης, ονομαζόμενη ως SensPnP, η οποία συνδυάζει το ενσωματωμένο υλικό και το λογισμικό που έχει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης ενσωματωμένων αισθητήρων με τις IoT συσκευές χωρίς προηγούμενη ενημέρωση σχετικά με τους αισθητήρες και τις συσκευές αυτές. Έτσι, παρουσίασαν μια αρχιτεκτονική μιας συσκευής IoT με δυνατότητα ενσωμάτωσης, η οποία υποστηρίζει ετερογενή ενσωματωμένα πρωτόκολλα περιφερειακής επικοινωνίας.

2.3.3 Ενσωμάτωση Συσκευών στον τομέα της Υγείας

Η υγεία μεταβάλλεται ολοένα και περισσότερο από τα απομονωμένα ιατρικά επεισόδια θεραπείας σε μία διαδικασία συνεχούς θεραπείας που περιλαμβάνει πολλαπλούς φορείς του τομέα της υγείας (π.χ. ιατρούς, ιατρικό προσωπικό, ιατρικά κέντρα, νοσοκομεία, ασθενείς, κλπ.). Η αλλαγή αυτή ενθαρρύνει την ολοκληρωμένη και επιτυχή υποστήριξη των υπολογιστικών συστημάτων για την υγεία, επιβάλλοντας νέες απαιτήσεις για την πληροφορική, και ειδικότερα για τον κόσμο του ΙοΤ. Οι σημερινές ΙοΤ εφαρμογές θα πρέπει να κατευθύνουν την απόκτηση δεδομένων με τέτοιο τρόπο ώστε τα δεδομένα να μπορούν να συλλέγονται σε ένα ουσιαστικό πλαίσιο από την αρχή, έτσι ώστε να είναι έτοιμα για επαναχρησιμοποίηση σε διαφορετικά περιβάλλοντα, χωρίς την ανάγκη χειροκίνητης συλλογής ή μετατροπής τους. Για να επιτευχθεί αυτό, τα ετερογενή συστήματα και συσκευές που παράγουν τα δεδομένα αυτά πρέπει να είναι ικανά να ενσωματώνονται στα ποικίλα υπάρχοντα ΙοΤ συστήματα/εφαρμογές. Ωστόσο, η ενσωμάτωση αυτών των αυτόνομων στοιχείων είναι ένα δύσκολο έργο, καθώς οι μεμονωμένες εφαρμογές από τη μία μεριά και οι μεμονωμένες συσκευές από την άλλη μεριά συνήθως δεν σχεδιάζονται για να συνεργαστούν, καθώς το κάθε ένα από αυτά βασίζεται συχνά σε διαφορετικές εννοιολογικές γνώσεις του τομέα εφαρμογής. Τη σημερινή εποχή έχουν καταβληθεί πολλές προσπάθειες για την ευέλικτη διαλειτουργικότητα και την καθιέρωση της επικοινωνίας μεταξύ των ετερογενών συστημάτων και συσκευών υγειονομικής περίθαλψης. Για παράδειγμα, στη μονάδα εντατικής θεραπείας υπάρχουν πολλές ετερογενείς ιατρικές συσκευές, όπως το ηλεκτροκαρδιογράφημα, τα λειτουργικά μικροσκόπια, κλπ. Αυτές οι συσκευές κατασκευάζονται από διαφορετικούς κατασκευαστές με αποτέλεσμα να μη μπορούν να λειτουργούν σε διαφορετικές αρχιτεκτονικές και λειτουργικά συστήματα. Ένα άλλο παράδειγμα, που αναφέρεται στην τηλεπαρακολούθηση των ασθενών στο σπίτι, απαιτεί μια μεγάλη ποικιλία αισθητήρων και συσκευών που συνήθως παρουσιάζουν ένα σύνολο πολύ συγκεκριμένων χαρακτηριστικών και λειτουργιών, καθιστώντας έτσι δύσκολη την ενσωμάτωσή τους σε διαφορετικές πλατφόρμες, προκειμένου να προσφέρουν τα ιατρικά δεδομένα κάθε ασθενούς. Χωρίς την αποτελεσματική ενσωμάτωση των δεδομένων των ιατρικών ΙοΤ συσκευών, δεν είναι δυνατό να συλλέγονται δεδομένα ασθενών, και συνεπώς δεν είναι δυνατή η πραγματοποίηση περαιτέρω ενεργειών, καθώς δεν επιτυγχάνεται ολοκληρωμένη περίθαλψη. Σαν συνέπεια αυτού, η ενσωμάτωση των συσκευών θεωρείται βασικό στοιχείο και, ιδιαίτερα στον τομέα της υγείας, όπου στις περισσότερες περιπτώσεις θεωρείται απαραίτητη προϋπόθεση σε σχεδόν κάθε αναπτυγμένο σύστημα υγείας. Επομένως, το πιο δύσκολο ζήτημα για την ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων είναι η ενσωμάτωση όλων των υφιστάμενων ετερογενών ιατρικών συσκευών, έτσι ώστε τα σχετικά δεδομένα

από όλες αυτές τις συσκευές να μπορούν εύκολα να μοιράζονται και να ανταλλάσσονται, και έτσι οι πληροφορίες για την υγεία των ασθενών να είναι διαθέσιμες οποτεδήποτε και οπουδήποτε [336]. Οι τεχνολογικές αλλαγές επιταχύνονται σε εκατοντάδες κατηγορίες ιατρικών συσκευών και συστημάτων με ρυθμό που αφήφά την ικανότητα των πολλών ετερογενών συστημάτων να τις απορροφούν. Οι αυτόνομες συσκευές μεταμορφώνονται σε δικτυωμένες συσκευές και συστήματα που προσθέτουν σημαντικό κόστος, πολυπλοκότητα ενοποίησης και νέους λειτουργικούς κινδύνους σε μια υποδομή που ήδη πιέζει τα όρια του τι μπορεί να κατανοήσει, να καταφέρει ή να αναπτύξει με ασφάλεια στο εθνικό σύστημα υγείας. Οι περισσότεροι οργανισμοί υγειονομικής περίθαλψης δεν είναι καλά προετοιμασμένοι να χειριστούν σημαντικές αλλαγές ακόμη και σε έναν λειτουργικό τομέα, και δεν υπάρχει σαφές προηγούμενο για οργανισμούς ή επαγγελματίες υγείας σχετικά με τον τρόπο κατανόησης και διαχείρισης τομειακών αλλαγών αυτού του μεγέθους [337]. Σημαντική εργασία απαιτείται επίσης για τη διαμόρφωση και τον έλεγχο αυτών των καταστάσεων. Η επίλυση του προβλήματος για ένα ζευγάρι συστημάτων δεν βοηθά πολύ με το επόμενο ζευγάρι. Ωστόσο, μια ποικιλία παραμέτρων - ζωτικών σημείων, ρυθμίσεων, ρυθμών έγχυσης, συμβάντων συναγερού, ρυθμίσεων και διαμόρφωσης, καθώς και άλλων δεδομένων που λαμβάνονται από ιατρικές συσκευές και που αποστέλλονται σε ιατρικές συσκευές - αποτελούν κρίσιμο μέρος της παρακολούθησης της κατάστασης του ασθενούς και του σχεδιασμού και αξιολόγησης της θεραπείας σε όλα τα κλινικά περιβάλλοντα, που κυμαίνονται από το σπίτι μέχρι τα νοσοκομειακά χειρουργεία και τις περιοχές φροντίδας. Αυτή η έλλειψη ροής δεδομένων αποτελεί μία σοβαρή πρόκληση, η οποία μπορεί να αποτρέψει τους κλινικούς ιατρούς από την έγκαιρη πρόσβαση ή ενδεχομένως από οποιαδήποτε πρόσβαση σε δεδομένα παρατήρησης που θα τους βοηθούσαν να δώσουν την ασφαλέστερη και αποτελεσματικότερη φροντίδα των ασθενών [338].

Προκειμένου να ξεπεραστεί το ζήτημα της ενσωμάτωσης, ο σχεδιασμός διαλειτουργικών πλατφόρμων καθίσταται απαραίτητος λόγω της αυξανόμενης αναγκαιότητας ενσωμάτωσης ενός μεγάλου και ετερογενούς ποσού ιατρικών δεδομένων που προέρχονται από ένα ευρύ φάσμα συσκευών και αισθητήρων. Όταν χρησιμοποιείται μεγάλος αριθμός ιατρικών συσκευών με ιδιόκτητες μορφές από διαφορετικούς κατασκευαστές, προκύπτει το ζήτημα της έλλειψης διαλειτουργικότητας. Δεδομένου λοιπόν πως οι υπάρχουσες ιατρικές συσκευές παρέχονται με συγκεκριμένα μοντέλα δεδομένων και πρωτόκολλα επικοινωνίας, η διαχείρισή τους παραμένει μια σημαντική πρόκληση για τις τεχνικές υλοποίησης ενδιάμεσων λογισμικών [339]. Συνεπώς, η ενσωμάτωση των συσκευών και ως εκ τούτου η ενσωμάτωση των δεδομένων θεωρούνται ως βασικά συστατικά, ειδικά στον τομέα της υγείας, όπου στις περισσότερες περιπτώσεις θεωρείται απαραίτητη

προϋπόθεση σε κάθε συστηματική προσπάθεια για παροχή ολοκληρωμένης φροντίδας. Στο πλαίσιο της υγείας, η ενσωμάτωση δεδομένων είναι μια πολύπλοκη διαδικασία συνδυασμού πολλαπλών τύπων δεδομένων από διαφορετικές ετερογενείς συσκευές σε μια ενιαία πλατφόρμα, επιτρέποντας σε πολλαπλά επίπεδα χρηστών να έχουν πρόσβαση, και να επεξεργάζονται τα ιατρικά δεδομένα [340]. Ωστόσο, χωρίς την ενοποίηση των συσκευών, η συλλογή των δεδομένων τους καθίσταται αδύνατη, και εάν δεν συλλέγονται δεδομένα, δεν μπορεί να επιτευχθεί η περαιτέρω χρήση και αξιοποίησή τους. Ανεξάρτητα από τον τρόπο σύνδεσης των συσκευών σε κάθε πλατφόρμα, αυτές θα πρέπει να μπορούν να ανιχνεύονται ομοιόμορφα και να ενσωματώνονται σε διαφορετικές πλατφόρμες, ώστε να δίνουν πρόσβαση στα συλλεχθέντα ιατρικά δεδομένα τους.

Μια κατάλληλη λύση για να ξεπεραστούν αυτοί οι περιορισμοί είναι η εφαρμογή ενδιάμεσων λογισμικών ώστε να επιτρέπουν την επικοινωνία των ποικίλων συστημάτων με τις υφιστάμενες ετερογενείς ιατρικές συσκευές. Σε αυτό το πλαίσιο, διάφορες κυβερνητικές οργανώσεις, οργανισμοί τυποποίησης και κατασκευαστές εργάζονται στη δημιουργία γενικών κατασκευαστικών λύσεων για την αντιμετώπιση της ετερογένειας του μεγάλου πλήθους των ιατρικών συσκευών, και της ενσωμάτωσης των δεδομένων τους. Ωστόσο, οι ερευνητικές προσπάθειες σε σχέση με αυτήν την πρόκληση είναι οι πιο αξιοσημείωτες, δεδομένου ότι έχουν προτείνει διάφορες IoT υποδομές που επικεντρώνονται αποκλειστικά στην προσπάθεια ενσωμάτωσης ετερογενών ιατρικών συσκευών ώστε να είναι διαλειτουργικές και να συνδέονται με διαφορετικές πλατφόρμες. Λεπτομερέστερα, οι συγγραφείς του [341] πρότειναν ένα σύστημα για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας συλλογής των ζωτικών δεδομένων του ασθενούς μέσω ενός δικτύου αισθητήρων που συνδέονται με παλαιές ιατρικές συσκευές και την παράδοση αυτών στο υπολογιστικό νέφος του ιατρικού κέντρου για την αποθήκευση, την επεξεργασία και τη διανομή τους. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [314] πρότειναν ένα σύστημα ηλεκτρονικής υγείας που βασίζεται στη χρήση οντολογιών, σκοπός του οποίου είναι να παρέχει σημασιολογική διαλειτουργικότητα μεταξύ ετερογενών συσκευών γυμναστικής και συσκευών ευεξίας για τη διευκόλυνση της ολοκλήρωσης, της ανταλλαγής και της ανάλυσης των δεδομένων τους. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [167] πρότειναν ένα μοντέλο διαλειτουργικότητας για την παροχή σημασιολογικής διαλειτουργικότητας μεταξύ ετερογενών IoT συσκευών στον τομέα της υγείας. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [342] πρότειναν το METABO, ένα ειδικό μεσαίο λογισμικό για την ανάλυση της επικοινωνίας και της διαχείρισης δεδομένων που προέρχονται από μια ομάδα ετερογενών ιατρικών συσκευών. Δεδομένου ότι ο κύριος στόχος τους ήταν να δημιουργήσουν ένα μεσαίο λογισμικό που να μπορεί να τρέχει σε διαφορετικές κινητές συσκευές, όρισαν μια κατανεμημένη αρχιτεκτονική. Οι συγγραφείς

δημιούργησαν έναν ευφυή προσωπικό βοηθό ως παράγοντα λογισμικού στις IoT συσκευές για να παρέχει στον ιατρό πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τους ασθενείς που παρακολουθούνται [343], ενώ η πύλη κινητής τηλεφωνίας που διέθετε μπορούσε να συλλέγει πληροφορίες από διαφορετικές συσκευές που είχαν ενσωματωμένους ευφυείς προσωπικούς βοηθούς, πραγματοποιώντας τις αντίστοιχες απαιτούμενες ενέργειες, και επιτρέποντας τη διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών συσκευών. Εκτός αυτού, το σύστημα που προτείνεται στο [344] χρησιμοποιεί υπολογισμό με χρονική ώθηση και επικοινωνία που ενεργοποιείται από το χρόνο, προκειμένου να ενσωματώνονται διαφορετικές ιατρικές συσκευές. Αυτό σημαίνει ότι οι συσκευές εκτελούν ενέργειες και επικοινωνούν σε προκαθορισμένα χρονικά σημεία. Για να διασφαλιστεί αυτό, κάθε συσκευή συνδέεται με ένα κλειδί που προστατεύει το δίκτυο από τη συσκευή και τη συσκευή από το δίκτυο, αντίστοιχα. Αυτή η αλληλεπίδραση ενεργεί ως πύλη στο ιατρικό δίκτυο, υλοποιώντας τη λειτουργία ενσωμάτωσης, και τελικά χειρίζοντας τη διεπαφή του επιπέδου επικοινωνίας. Επιπλέον, οι συντάκτες του [345] ανέπτυξαν μια ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική υγειονομικής περίθαλψης τριών (3) επιπέδων που αποτελείται από το επίπεδο ιατρικών συσκευών, το επίπεδο υπολογιστικής ομίχλης και το επίπεδο υπολογιστικών σύννεφων, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη λύση για την απόκτηση δεδομένων, την επεξεργασία δεδομένων και την ανάλυση δεδομένων στην πλατφόρμα του υπολογιστικού νέφους. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [25] πρότειναν ένα προσαρμοστικό ενδιάμεσο λογισμικό βασισμένο στη σημασιολογία, το Data Concierge, το οποίο είναι σε θέση να ενσωματώνει δυναμικά ετερογενείς πηγές βιολογικών δεδομένων χωρίς την ανάγκη περαιτέρω επεξεργασιών. Μαζί με την αρχιτεκτονική που είναι απαραίτητη για τη διευκόλυνση της δυναμικής ενοποίησης, πρότειναν έναν μηχανισμό περιγραφής API που είναι σε θέση να ταξινομεί, να αναγνωρίζει, να εντοπίζει και να επικαλείται λειτουργίες πηγής βιολογικών δεδομένων που προστέθηκαν πρόσφατα. Αξιζει να σημειωθεί το έργο των συγγραφέων που προτάθηκε στο [346], όπου πρότειναν ένα έξυπνο μεσαίο λογισμικό με αρχιτεκτονική βασισμένη στη γνώση δύο (2) επιπέδων, η οποία μπορεί να ενσωματώσει δυναμικά τις ετερογενείς εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης. Στο πρώτο επίπεδο ενσωμάτωσης πηγών δεδομένων, δημιουργείται η οντολογία υγειονομικής περίθαλψης βασισμένη σε πρότυπα και παγκόσμια μεταδεδομένα API, τα οποία καθιστούν εξουσιοδοτημένες τις εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης ώστε να κατανοήσουν και να αλληλοεπιδράσουν με ετερογενείς πηγές δεδομένων αυτόματα και με διαφάνεια. Με βάση αυτές τις πληροφορίες, στο δεύτερο επίπεδο ενσωμάτωσης εφαρμογών, πραγματοποιείται διαμορφωμένη ενσωμάτωση ροής εργασίας βασισμένη σε πρότυπα, διευκολύνοντας την επικοινωνία και τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των διαφόρων εφαρμογών υγειονομικής περίθαλψης.

2.4 Αξιοπιστία Συσκευών στον κόσμο του Διαδικτύου των Αντικειμένων

2.4.1 Ανάγκη Διασφάλισης Αξιοπιστίας Συσκευών

Με βάση την Ενότητα 2.3.1, η ενσωμάτωση των συσκευών έχει μεγάλη σημασία, δεδομένου ότι οι υπάρχουσες μεγάλες ποσότητες ετερογενών IoT συσκευών χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό ετερογένειας, από την άποψη πως διαθέτουν διαφορετικές προδιαγραφές, δυνατότητες και λειτουργίες. Λόγω του γεγονότος αυτού, οι συσκευές αναγνωρίζονται ως αξιόπιστες σε διαφορετικά επίπεδα (π.χ. χαμηλού ή υψηλού επιπέδου δεδομένων), παρέχοντας έτσι δεδομένα με διαφορετικά επίπεδα αξιοπιστίας (π.χ. δεδομένα χαμηλού ή υψηλού επιπέδου) [347]. Ως εκ τούτου, η πρόκληση που ανακύπτει αφορά τη διαχείριση του μεγάλου αριθμού των υφιστάμενων διαφόρων συσκευών και τον προσδιορισμό των επιπέδων ποιότητάς τους σε συνδυασμό με τα δεδομένα που προέρχονται από αυτά, τα οποία πρέπει να είναι αξιόπιστα στο μέγιστο βαθμό. Για τον λόγο αυτό, είναι σημαντικό όχι μόνο να επινοηθεί ένας αυτοματοποιημένος τρόπος αναγνώρισης και ενσωμάτωσης όλων αυτών των συσκευών σε διαφορετικές πλατφόρμες έτσι ώστε να μπορούν να συλλέγονται τα δεδομένα τους, αλλά και να βρεθεί ένας αυτοματοποιημένος τρόπος μέτρησης και βελτίωσης της αξιοπιστίας αυτών των συσκευών σε συνδυασμό με την αξιοπιστία των δεδομένων τους. Πιο συγκεκριμένα, όταν αναφερόμαστε στην αξιοπιστία των συσκευών, αναφερόμαστε στην πιθανότητα μιας συσκευής να εκτελέσει μια απαιτούμενη λειτουργία υπό καθορισμένες συνθήκες για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα [348], [349]. Στο σενάριο του IoT, η αξιοπιστία είναι ένα μέτρο που αντιπροσωπεύει κυρίως εάν μια συσκευή θα λειτουργήσει σωστά όταν χρησιμοποιείται από τους τυπικούς χρήστες στο περιβάλλον λειτουργίας της ή όχι. Σύμφωνα με το [350], [351], η αξιοπιστία είναι μια τεχνική προσπάθεια για να διασφαλιστεί ότι ένα σύστημα που έχει αναπτυχθεί ή σχεδιαστεί είναι απαλλαγμένο από οποιοδήποτε σφάλμα που μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία κατά τη λειτουργία του. Αυτό συνεπάγεται ότι το σύστημα είναι εξαιρετικά αξιόπιστο και λειτουργεί μέγιστα σε κάθε δεδομένη στιγμή ή κατάσταση κατά την περίοδο που δημιουργείται ή αναπτύσσεται για να εξυπηρετήσει [352], [353], [354]. Ως αποτέλεσμα, οι προδιαγραφές αξιοπιστίας και ο σχεδιασμός αξιοπιστίας απαιτούν τον προσδιορισμό των συνθηκών χρήσης και τι συνιστά τη σωστή λειτουργία (δηλαδή όταν ένα γεγονός θεωρεί ότι είναι αποτυχία). Με άλλα λόγια, η αξιοπιστία αντιπροσωπεύει ένα μέτρο για το πόσο κοντά ένα σύστημα ταιριάζει με τις δηλωμένες προδιαγραφές του.

Η αξιοπιστία στον τομέα της Πληροφορικής, μπορούμε να αναφέρεται είτε στην αξιοπιστία του υλικού είτε του λογισμικού, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί στον τομέα του IoT και στις υπάρχουσες συσκευές του. Η αξιοπιστία του λογισμικού δεν είναι άμεση συνάρτηση του χρόνου και διαφέρει ουσιαστικά από την αξιοπιστία του υλικού. Το λογισμικό δεν κινδυνεύει να φθαρεί, καθώς δεν αλλοιώνεται ή αλλάζει φυσικά με οποιονδήποτε άλλο τρόπο με το χρόνο. Με αυτή την έννοια, ο παράγοντας του χρόνου δεν εμπλέκεται καθόλου. Σε αντίθεση με τα μηχανικά ή ηλεκτρονικά εξαρτήματα που υπόκεινται σε φθορά, η αξιοπιστία του λογισμικού δεν μειώνεται με το χρόνο, επειδή το λογισμικό δεν φθείρεται. Η αποτυχία υλικού μπορεί να αποκατασταθεί με την αντικατάσταση ενός ελαττωματικού στοιχείου με το ίδιο, ενώ αν η αξιοπιστία του υλικού είναι σταθερή με την πάροδο του χρόνου, δεν μπορεί να υπάρξει αύξηση της αξιοπιστίας. Αντίθετα, τα προβλήματα λογισμικού μπορούν να διορθωθούν με την αλλαγή του κώδικα, προκειμένου η αποτυχία να μην ξανασυμβεί, και επομένως υπάρχει πάντα η δυνατότητα αύξησης της αξιοπιστίας του λογισμικού. Καθίσταται λοιπόν σαφές ότι η μέτρηση της αξιοπιστίας σημαίνει τη μέτρηση ελαττωμάτων και βλαβών του συστήματος, όπου η αναγνώριση και η αφαίρεση των σφαλμάτων λογισμικού συμβάλλουν στην αύξηση του λογισμικού και της αξιοπιστίας του προϊόντος [355]. Για το σκοπό αυτό, πρέπει να αναφερθεί ότι ενδέχεται να προκύψουν βλάβες του συστήματος [356], [357], [358], [359], [360] εξαιτίας δυσλειτουργιών υλικού, σφαλμάτων λογισμικού, ελλείψεων ρεύματος ή περιβαλλοντικών κινδύνων. Οι περισσότερες μελέτες για τα IoT συστήματα έχουν διεξαχθεί υποθέτοντας ότι υπάρχουν λίγα ελαττώματα μέσω των οποίων διαταράσσονται οι λειτουργίες ενός συστήματος IoT. Ωστόσο, επειδή οι συσκευές των IoT συστημάτων είναι γεωγραφικά κατανεμημένες και σπάνια διατηρούνται, τα συστήματα αυτά είναι όλο και περισσότερο ευάλωτα σε αστοχίες. Επιπλέον, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των κόμβων σε ένα σύστημα IoT μεγάλης κλίμακας, αυξάνεται η πιθανότητα εμφάνισης σφάλματος, προκαλώντας το σύστημα να λειτουργήσει εσφαλμένα.

Η αξιοπιστία των συσκευών IoT, καθώς και των δεδομένων που δημιουργούνται από αυτές, δεν ήταν στο επίκεντρο και μεγάλο μέρος της εργασίας έχει γίνει με πιο κατανεμημένο τρόπο [361], καθώς οι συσκευές αυτές αντιμετωπίστηκαν κυρίως ως μαύρα κουτιά, δίνοντας έτσι λίγη προσοχή στην αξιοπιστία τους όταν ενσωματώνονται σε μεγαλύτερα συστήματα [362]. Η χρήση συσκευών μαύρου κουτιού χωρίς κατάλληλες αξιολογήσεις αξιοπιστίας μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στις επιστημονικές εξετάσεις, ενώ η απουσία αξιοπιστίας θα μειώσει τον βαθμό της επιτυχημένης ερμηνείας και τη σημασία των εξερχόμενων αποτελεσμάτων και ευρημάτων [363]. Ωστόσο, σήμερα έχει δοθεί μεγάλη προσοχή στην πρόκληση της αξιοπιστίας, αντιμετωπίζοντας την αξιοπιστία του συστήματος ως θεμελιώδη απαίτηση των συσκευών IoT. Πιο συγκεκριμένα, η έννοια της

αξιοπιστίας θεωρείται ένας σημαντικός παράγοντας που μετριάξει όλες τις μορφές σφαλμάτων και αποτυχιών σε ένα λειτουργικό σύστημα υπολογιστών, ενισχύοντας την παραγωγικότητα, καθώς και μεγιστοποιώντας τη λειτουργικότητα των υπολογιστικών συστημάτων. Αυτή η έννοια της διασφάλισης της αξιοπιστίας, όταν ενσωματωθεί στο τεχνολογικό πρότυπο του IoT, σύμφωνα με το [364], θα εγγυάτο υψηλό βαθμό εμπιστοσύνης και αξιοπιστίας κατά τη διάρκεια των επιχειρήσεων. Συνεπώς, είναι σαφές ότι η εκτίμηση της αξιοπιστίας αποτελεί αντικείμενο πολλών θεωρητικών και πειραματικών ερευνών, ειδικά στον κόσμο του IoT [365], [366], [367]. Προβλέπονται πρότυπα για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή δοκιμών αξιοπιστίας, με σκοπό την αξιολόγηση των διαφόρων παραμέτρων αξιοπιστίας ή των ισχυρών επιδόσεων των συσκευών κατά τη διάρκεια του χρόνου [368]. Ωστόσο, ακόμη και μετά από δεκάδες μοντέλα αξιολόγησης αξιοπιστίας και δεκαετίες έρευνας, η βιομηχανία του IoT εξακολουθεί να πάσχει από την πρόκληση της αξιοπιστίας [369], εξαιτίας της οποίας δεν υπάρχει ακόμα ένα γνωστό μοντέλο που να μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα πλαίσια, ιδιαίτερα όσον αφορά τον υψηλό βαθμό ετερογένειας που τυπικά χαρακτηρίζει όλες τις υπάρχουσες IoT συσκευές. Δεδομένου ότι υπάρχουν εκατομμύρια συνδεδεμένες IoT συσκευές, η αξιοπιστία αυτών των συσκευών που αναμένεται να λειτουργούν σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες γίνεται ένα σοβαρό ανοιχτό σημείο. Επομένως, η πρόκληση που προκύπτει είναι η δυσκολία να αποφασιστεί εάν όλες αυτές οι IoT συσκευές θεωρούνται αξιόπιστες ή όχι, όταν συμπεριλαμβάνονται σε μεγαλύτερες πλατφόρμες/συστήματα.

Για την εκτίμηση και την αξιολόγηση της αξιοπιστίας των συστημάτων, υπάρχουν διαφορετικές μετρήσεις αξιοπιστίας που είναι σημαντικές για την παρακολούθηση της ανάπτυξης αξιοπιστίας, και την ανάλυση των πιθανών κινδύνων. Σε αυτό το πλαίσιο, οι μετρήσεις αξιοπιστίας εκτιμούν το βαθμό στον οποίο ένα προϊόν λογισμικού πραγματοποιεί την προοριζόμενη λειτουργία του χωρίς αποτυχία (δηλαδή εκτιμά την πιθανότητα αποτυχίας λογισμικού ή τον ρυθμό με τον οποίο θα προκύψουν σφάλματα λογισμικού). Ως εκ τούτου, οι μετρήσεις αξιοπιστίας είναι σημαντικές για την εκτίμηση της αξιοπιστίας, καθώς παρέχουν ποσοτικούς δείκτες για τη διαχείριση, την αξιολόγηση και την επικύρωση της αξιοπιστίας, καθώς και την παρακολούθηση της διαδικασίας του ελέγχου και της ερμηνεία της συμπεριφοράς αξιοπιστίας. Προκειμένου να εκτιμηθεί η αξιοπιστία, οι μετρήσεις του μπορούν να προέρχονται είτε από τις εκφράσεις αποτυχίας (δηλαδή την αξιοπιστία του λογισμικού) είτε από τα παραγόμενα δεδομένα (δηλαδή την αξιοπιστία των δεδομένων). Όσον αφορά τις υπάρχουσες μετρήσεις αξιοπιστίας λογισμικού, μερικές από τις πιο συνηθισμένες για την ποσοτική έκφραση της αξιοπιστίας των προϊόντων λογισμικού και ως εκ τούτου την αξιοπιστία των IoT συσκευών [370], [371], [372], [373], [374], [375], [376] είναι οι εξής:

Μέσος χρόνος αποτυχίας (Mean Time To Failure, MTTF): Ο μέσος χρόνος αποτυχίας αποτελεί βασικό μέτρο αξιοπιστίας για τα μη επισκευάσιμα συστήματα. Ορίζεται ως το χρονικό διάστημα μεταξύ των διαδοχικών βλαβών. Συνεπώς, ο μέσος χρόνος αποτυχίας αντιστοιχεί στο μέσο χρόνο μεταξύ δύο (2) διαδοχικών αποτυχιών που παρατηρήθηκαν σε μεγάλο αριθμό βλαβών.

Μέσος χρόνος επιδιόρθωσης (Mean Time To Repair, MTTR): Ο μέσος χρόνος επιδιόρθωσης είναι μια κρίσιμη μέτρηση για την εκτίμηση της αξιοπιστίας, η οποία μετρά τον χρόνο που απαιτείται για την επισκευή ενός συστήματος και την επαναφορά του στο διαδίκτυο. Ορίζεται ως ο μέσος χρόνος που απαιτείται για την παρακολούθηση των σφαλμάτων που προκαλούν την αποτυχία και στη συνέχεια για την επίλυσή τους.

Μέσος χρόνος μεταξύ αποτυχιών (Mean Time Between Failure, MTBF): Η πιο συνηθισμένη μετρική αξιοπιστίας είναι ο μέσος χρόνος μεταξύ αποτυχιών, η οποία αναφέρεται στο χρονικό διάστημα που διαρκεί μεταξύ μιας αποτυχίας και της επόμενης. Συνεπώς, είναι ο μέσος χρόνος μεταξύ των διαδοχικών βλαβών του συστήματος, παρέχοντας το ποσό των αποτυχιών για ένα προϊόν.

Συντελεστής εμφάνισης βλάβης (Rate Of Occurrence Of Failure, ROCOF): Ο συντελεστής εμφάνισης βλάβης είναι μια μέτρηση αξιοπιστίας που αναφέρεται στον αριθμό των βλαβών που εμφανίζονται σε ένα χρονικό διάστημα ανά μονάδα. Επομένως, ο συντελεστής εμφάνισης βλάβης αντιστοιχεί στην ένταση αποτυχίας, που σημαίνει ότι μετρά τη συχνότητα εμφάνισης απροσδόκητων συμπεριφορών.

Πιθανότητα αποτυχίας ζήτησης (Probability Of Failure On Demand, POFOD): Η πιθανότητα αποτυχίας ζήτησης ορίζεται ως η πιθανότητα ένα σύστημα να αποτύχει όταν ζητηθεί μια υπηρεσία, και εκφράζεται από τον αριθμό των βλαβών του συστήματος, δεδομένου ενός συγκεκριμένου αριθμού εισόδων συστημάτων. Στην ουσία η πιθανότητα αποτυχίας ζήτησης αναφέρεται στην πιθανότητα ότι ένα αίτημα συναλλαγής ή ένα σύστημα θα αποτύχει όταν γίνει μια αίτηση υπηρεσίας.

Διαθεσιμότητα (Availability): Θεωρούμενο ως ένα άλλο ποσοτικό μέτρο για τη μέτρηση της αξιοπιστίας, η διαθεσιμότητα αναφέρεται στην πιθανότητα ενός συστήματος να είναι διαθέσιμο για χρήση σε δεδομένη χρονική στιγμή, λαμβάνοντας υπόψη τον απαιτούμενο χρόνο επισκευής και επανεκκίνησης του συστήματος. Επομένως, η διαθεσιμότητα είναι η πιθανότητα ότι το σύστημα θα λειτουργήσει ικανοποιητικά σε μια δεδομένη χρονική περίοδο, απεικονίζοντας όλη την διαδικασία κατά τη διάρκεια του ανοδικού και του χρόνου εγκατάστασης ενός συστήματος.

Ωστόσο, μερικές φορές η αξιοπιστία του λογισμικού δεν μπορεί να μετρηθεί άμεσα μέσω των υφιστάμενων μετρήσεων αξιοπιστίας του λογισμικού και, για το λόγο αυτό, υπολογίζονται και άλλοι σχετικοί παράγοντες για την εκτίμηση της αξιοπιστίας. Αυτοί οι παράγοντες αναφέρονται στην αξιοπιστία των δεδομένων, μέσω των οποίων πρέπει να συλλέγονται ορισμένα δεδομένα από τις απαιτούμενες συσκευές που πρέπει να δοκιμαστούν για την αξιοπιστία τους, προκειμένου να υπολογιστούν οι αντίστοιχοι βαθμοί αξιοπιστίας των δεδομένων τους [378]. Υπάρχουν διάφορες ποιοτικές και ποσοτικές μετρήσεις που μπορούν να αξιολογηθούν για την αύξηση της αξιοπιστίας των δεδομένων στα συστήματα IoT, ωστόσο, οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες είναι οι ποσοτικές μετρήσεις που χρησιμοποιούνται για την ποσοτική εκτίμηση της αξιοπιστίας των δεδομένων. Μερικές από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μετρήσεις αξιοπιστίας για την ποσοτική έκφραση της αξιοπιστίας των δεδομένων και ως αποτέλεσμα η αξιοπιστία των δεδομένων που προέρχονται από IoT συσκευές είναι τα ακόλουθα [378], [379]:

Εσωτερική αξιοπιστία (*Inter-Rater Reliability, IRR*): Η εσωτερική αξιοπιστία είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέτρηση αξιοπιστίας δεδομένων, που αντιπροσωπεύει το βαθμό συμφωνίας μεταξύ διαφορετικών κριτών. Δίνει μια βαθμολογία για το πόσο ομοιογένεια ή συναίνεση υπάρχει στις βαθμολογίες που δίνουν οι κριτές και είναι μία από τις πτυχές της εγκυρότητας της δοκιμής. Με άλλα λόγια, η εσωτερική αξιοπιστία παρέχει έναν τρόπο ποσοτικοποίησης του βαθμού συμφωνίας μεταξύ δύο (2) ή περισσότερων κωδικοποιητών που κάνουν ανεξάρτητες αξιολογήσεις για τα χαρακτηριστικά ενός συνόλου θεμάτων [380], [381].

Αξιοπιστία δοκιμής-επανεξέτασης (*Test-Retest Reliability, TRR*): Η αξιοπιστία δοκιμής-επανεξέτασης είναι μια άλλη μέτρηση της αξιοπιστίας των δεδομένων, εκφράζοντας την εγγύτητα της συμφωνίας μεταξύ των αποτελεσμάτων των διαδοχικών μετρήσεων του ίδιου μέτρου που διεξάγονται υπό τις ίδιες συνθήκες μέτρησης [382]. Για το λόγο αυτό, οι μετρήσεις λαμβάνονται από ένα μόνο άτομο στο ίδιο αντικείμενο, υπό τις ίδιες συνθήκες και σε σύντομο χρονικό διάστημα, αξιολογώντας την αξιοπιστία κατά την περίοδο αυτή [383]. Επομένως, για να μετρηθεί η αξιοπιστία δοκιμής-επανεξέτασης, πρέπει να δοθεί η ίδια δοκιμή στους ίδιους ερωτηθέντες σε δύο (2) διαφορετικές περιπτώσεις.

Αξιοπιστία παράλληλων μορφών (*Parallel Forms Reliability, PFR*): Η αξιοπιστία παράλληλων μορφών είναι μια άλλη υπάρχουσα μετρική για τη μέτρηση της αξιοπιστίας των δεδομένων που αξιολογεί διαφορετικές ερωτήσεις και σύνολα ερωτήσεων που επιδιώκουν να αξιολογήσουν την ίδια δομή. Έτσι, η αξιοπιστία

παράλληλων φορμών πρέπει να δημιουργηθούν δύο (2) παράλληλες μορφές. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, δημιουργείται ένα μεγάλο σύνολο ερωτήσεων που απευθύνονται στο ίδιο κατασκευάσμα, το οποίο στη συνέχεια χωρίζει τυχαία τις ερωτήσεις σε δύο (2) σύνολα, αναθέτοντας και τα δύο όργανα στο ίδιο δείγμα ανθρώπων. Επομένως, η συσχέτιση μεταξύ των δύο (2) παραλλήλων μορφών είναι η εκτίμηση της αξιοπιστίας παράλληλων φορμών [384].

Αξιοπιστία εσωτερικής συνοχής (Internal Consistency Reliability, ICR): Η αξιοπιστία εσωτερικής συνοχής χρησιμοποιείται συχνά για δοκιμές με βάση το πρότυπο. Αυτή η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να διεξαχθεί χρησιμοποιώντας μία μοναδική μορφή που δίδεται σε μία μόνο χορήγηση. Επομένως, η μέθοδος εσωτερικής συνοχής υπολογίζει πόσο καλά συσχετίζεται το σύνολο των αντικειμένων μιας δοκιμής. Με άλλα λόγια, υπολογίζει πόσο παρόμοια είναι τα στοιχεία σε μια δοκιμαστική φόρμα μεταξύ τους [385].

Ως εκ τούτου, γίνεται σαφές ότι υπάρχουν διάφορες μετρήσεις αξιοπιστίας λογισμικού και δεδομένων, καθένα από τα οποία κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε για την εξυπηρέτηση διαφορετικών πτυχών της αξιοπιστίας των συσκευών IoT, όλες μειώνοντας πιθανές αναφορές ψευδών και μη αξιόπιστων δεδομένων παρακολούθησης, μεγάλες καθυστερήσεις και ακόμη απώλεια δεδομένων που θα μπορούσαν να προκληθεί. Ωστόσο, παρόλο που οι παραδοσιακές μετρήσεις αξιοπιστίας έχουν επιτύχει μεγάλη επιτυχία, υπάρχουν σενάρια όπου δεν λειτουργούν καλά. Οι συγγραφείς στο [386] συνοψίζουν ότι πρέπει να ικανοποιηθούν τρεις (3) διαφορετικές ανάγκες έτσι ώστε τα μέτρα πιθανοτήτων να έχουν νόημα: (i) Ακριβώς καθορισμένα γεγονότα, (ii) Πιθανότητα επαναληψιμότητας στα δεδομένα που συλλέγονται, και (iii) Μεγάλο μέγεθος δείγματος. Ως εκ τούτου, εξαρτάται από κάθε διαφορετικό σύστημα και τους σκοπούς του, ποια μέτρηση πρέπει να χρησιμοποιήσει και σε ποιο βαθμό προκειμένου να αποδώσει το βαθμό αξιοπιστίας των εκάστοτε συστημάτων και συσκευών.

2.4.2 Τεχνικές Διασφάλισης Αξιοπιστίας Συσκευών

Ο βαθμός αναξιοπιστίας και αβεβαιότητας που εισάγεται στα IoT περιβάλλοντα, ακολουθώντας τη δυναμική του πραγματικού κόσμου, καθιστά αυτά τα περιβάλλοντα δυναμικά, επιρρεπή σε λάθη, και απρόβλεπτα. Επιπλέον, η σύνδεση των πόρων και των υπηρεσιών του IoT είναι αυθαίρετη, έχοντας ως αποτέλεσμα τη δημιουργία αναξιόπιστων πληροφοριών, αμφιβόλου ποιότητας. Για το λόγο αυτό, η ενίσχυση της αξιοπιστίας των συσκευών και των δεδομένων απαιτεί νέες μεθόδους για τη διαχείριση της μεταβλητότητας και την ενημέρωση σχετικά με τα πρότυπα αξιοπιστίας και τις πιθανές μελλοντικές επιπτώσεις τους σε περιβάλλοντα IoT. Τέτοιες μέθοδοι αναφέρονται σε προσεγγίσεις για τον προσδιορισμό της αξιοπιστίας των υπάρχουσών συσκευών, της ποιότητας των πληροφοριών, και των συνθηκών και της σειράς των γεγονότων κάτω από τα οποία χρησιμοποιούνται οι συσκευές αυτές [387]. Σε αυτό το πλαίσιο, έχουν προταθεί διάφορες μελέτες αξιοπιστίας στη βιβλιογραφία που καταβάλλουν προσπάθειες για την εκτίμηση της αξιοπιστίας των διαφόρων συσκευών και συστημάτων στον κόσμο του IoT, βασιζοντας την εργασία τους σε υφιστάμενα μοντέλα και μετρήσεις αξιοπιστίας. Πιο συγκεκριμένα, στο [388] παρουσιάζεται μια νέα μεθοδολογία για την εκτίμηση της αξιοπιστίας του υλικού και του λογισμικού με αβέβαιες συνθήκες χρήσης, έτσι ώστε να προκύψουν πιθανοτικές εκτιμήσεις για τη συνολική αξιοπιστία του συστήματος. Στο ίδιο πλαίσιο, στο [389] προτείνεται μια θεωρία που βασίζεται στην πιθανότητα μέτρησης της αξιοπιστίας των IoT συσκευών, διερευνώντας το προτεινόμενο μοντέλο από τις προοπτικές του καταναλωτικού κόσμου. Στην ίδια ιδέα, στο [390] προτείνεται ένα μοντέλο πιθανότητας για τη λήψη μέτρων αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας μιας υποδομής διαδικτύου. Επιπλέον, στο [391] εξετάζεται η ποιοτική προσέγγιση της αξιοπιστίας ποικίλων IoT συστημάτων, όπου παρουσιάζεται ένα απλό πλαίσιο για την αναγνώρισή τους, ενώ στο ίδιο πλαίσιο, στο [392] παρουσιάζεται μια απλή έκφραση αξιοπιστίας για τα βιομηχανικά συστήματα που επηρεάζουν τη συντήρηση των δραστηριοτήτων τους. Εκτός από αυτό, στο [393] προτείνονται αποτελεσματικές τεχνικές μηχανικής αξιοπιστίας για τη βελτίωση της αξιοπιστίας των προϊόντων και των διαδικασιών, ενώ στα [394], [395] προτείνονται βασικές αρχές και πρακτικές για την εκτίμηση υλικού και την αξιοπιστία του λογισμικού βάσει της συνιστάμενης πρακτικής αξιοπιστίας λογισμικού. Επιπλέον, στο [396] προτείνεται ένα ολοκληρωμένο κριτήριο αξιοπιστίας των αντικειμένων του IoT βάσει της αρχιτεκτονικής του, καθώς και ένας ολοκληρωμένος αλγόριθμος αξιολόγησης αξιοπιστίας. Επιπλέον, για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας των αντικειμένων του IoT, στο [397] εφαρμόζεται αναλυτική ιεραρχική διαδικασία και μέθοδοι υπολογισμού σφαλμάτων προκειμένου να προσδιοριστεί το βάρος του προτεινόμενου δείκτη στην αξιολόγηση των αντικειμένων αυτών.

2.4.3 Αξιοπιστία Συσκευών στον τομέα της Υγείας

Όπως αναφέρθηκε και στην Ενότητα 2.2.5, σήμερα υπάρχει μια μεγάλη επέκταση της αγοράς ιατρικών συσκευών IoT, με αποτέλεσμα μια πληθώρα ετερογενών συσκευών που συνδέονται με τον κόσμο της υγείας. Ωστόσο, αυτές οι συσκευές τυπικά χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό ετερογένειας [23], παράγοντας μεγάλα ποσά δεδομένων υγείας και φυσικής κατάστασης ετερογενούς μορφής [398]. Εκατοντάδες οργανώσεις υγειονομικής περίθαλψης ασχολούνται καθημερινά με προκλήσεις στην εξαγωγή δεδομένων από διάφορα είδη ιατρικών συσκευών, που επηρεάζουν τόσο την περίθαλψη των ασθενών όσο και την ιατρική έρευνα [399]. Ωστόσο, όλοι αυτοί οι οργανισμοί υγειονομικής περίθαλψης αντιμετωπίζουν πολλές δυσκολίες όσον αφορά τη διαχείριση όλων αυτών των δεδομένων, χάνοντας κυρίως ένα ολοκληρωμένο σύστημα ανταλλαγής δεδομένων [400]. Ωστόσο, τα ανταλλασσόμενα ιατρικά δεδομένα μπορεί να είναι όχι μόνο ετερογενούς μορφής αλλά και διαφορετικών επιπέδων αξιοπιστίας [347]. Ακόμη και αν όλα αυτά τα στοιχεία θα είναι διαλειτουργικά μεταξύ τους, δεν αρκεί να διατηρηθούν όλα τα δεδομένα για περαιτέρω χρήση, καθώς είναι εξαιρετικά κρίσιμα μιας και οδηγούν στη λήψη ιατρικών αποφάσεων [401]. Αντίθετα, θα ήταν πιο συνετό και αποτελεσματικότερο να ληφθούν υπόψη τα διαφορετικά επίπεδα αξιοπιστίας που μπορεί να έχουν αυτά τα δεδομένα, αναλύοντας έτσι μόνο τα δεδομένα που έχουν υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας. Επομένως, η πρόκληση που προκύπτει αναφέρεται στη δυσκολία προσδιορισμού της αξιοπιστίας αυτού του μεγάλου αριθμού δεδομένων. Παρόλα αυτά, η εκτίμηση της αξιοπιστίας των συσκευών, καθώς και των παραγόμενων δεδομένων τους, αντιμετωπίζονται κυρίως ως μαύρα κουτιά στον τομέα της υγείας και δεν δίνεται μεγάλη προσοχή στην ποιότητά τους όταν ενσωματώνονται σε μεγαλύτερα συστήματα. Η χρήση αυτών των συσκευών χωρίς κατάλληλες αξιολογήσεις αξιοπιστίας μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στον τομέα της υγείας, ενώ η αξιοπιστίας θα μπορούσε να μειώσει τον βαθμό της επιτυχημένης ερμηνείας και της σημασίας των εξαγόμενων αποτελεσμάτων και ευρημάτων [28]. Το εν λόγω πρόβλημα δημιουργεί μεγάλους κινδύνους για την υγειονομική περίθαλψη, ειδικά στην εποχή της Υγειονομικής Περίθαλψης 4.0 [31], καθώς οι σημερινές πηγές δεδομένων των διαδικτυακών τμημάτων θεωρούνται ισχυρό μέρος της [32] ενώ τα παραγόμενα δεδομένα τους είναι μεγάλης σημασίας δεδομένου ότι οδηγούν την ιατρική λήψη.

Ειδικά στον τομέα της υγείας, δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η αξιοπιστία έχει τραβήξει εξαιρετικά υψηλή δημοτικότητα. Ίσως αυτό οφείλεται σε ιατρικά σφάλματα που έχουν άμεσες και πιθανώς θανατηφόρες συνέπειες στα ανθρώπινα θέματα. Όλοι γνωρίζουμε ιστορίες ασθενών που έλαβαν το λανθασμένο φάρμακο ή το σωστό φάρμακο σε λάθος δόση επειδή η λανθασμένη ασθένεια διαγνώστηκε

από ιατρικό προσωπικό με ανεπαρκή εκπαίδευση στη χορήγηση συγκεκριμένου τεστ. Ως εκ τούτου, η βελτίωση της αξιοπιστίας των ιατρικών συστημάτων ήταν πιθανώς πολύ πιο επείγουσα από τη βελτίωση, για παράδειγμα, της ποιότητας ενός βιντεοπαιχνιδιού. Η φροντίδα των ασθενών, για παράδειγμα, στον τομέα της νοσηλείας είναι μια άλλη εξαιρετικά ευαίσθητη περιοχή όπου η αξιοπιστία έχει βρει ένα εύφορο έδαφος [402]. Ως εκ τούτου, η αξιοπιστία των τεχνολογικών συστημάτων είναι πολύ σημαντική για την ιατρική μηχανική. Η αποτυχία των ιατρικών συστημάτων μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα αρνητικές επιπτώσεις που θα ήταν τραυματισμός ή θάνατος ενός ασθενούς, και μπορεί να έχει σοβαρές νομικές συνέπειες. Έτσι, προκύπτει η πρόκληση των αξιόπιστων ιατρικών συσκευών ή εξοπλισμού που μπορεί να έχουν υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας. Η ένταση αποτυχίας αυξάνεται με την ηλικία του ιατρικού εξοπλισμού, απαιτώντας έτσι την τεχνολογική επισκευή και την παρακολούθηση του εξοπλισμού. Αναφέρεται ότι έως και 80% του ιατρικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται σήμερα σε οργανώσεις δημόσιας υγείας είναι φθαρμένο ή παρωχημένο, γεγονός που δυσχεραίνει την εγγύηση όχι μόνο της αξιοπιστίας και της αποτελεσματικότητας αλλά και της ασφάλειας του ιατρικού εξοπλισμού [403], ενώ σε άλλη μελέτη [404] επισημαίνεται ότι τα στοιχεία από διάφορες πηγές δείχνουν ότι ορισμένοι νοσηλεύόμενοι ασθενείς υποφέρουν από τραυματισμούς που προκαλούνται από τη θεραπεία, οι περισσότεροι από τους οποίους οφείλονται σε αποτυχίες των συστημάτων/συσκευών. Για να είμαστε ακριβέστεροι, είναι κοινή πεποίθηση στην κοινωνία της υγειονομικής περίθαλψης ότι οι ιατρικές συσκευές αποτυγχάνουν ανεξάρτητα από την ηλικία τους, μετά από εκθετική διανομή. Αυτή η πίστη προέρχεται από τη γενική πεποίθηση ότι ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός έχει σταθερό ποσοστό αποτυχίας. Ακόμα και το πιο γνωστό και χρησιμοποιημένο εγχειρίδιο πρόβλεψης αξιοπιστίας [405], προτείνει μοντέλα αξιοπιστίας των οποίων η κατασκευή βασίζεται στην παραδοχή σταθερού ποσοστού αποτυχίας. Ωστόσο, η υπόθεση αυτή έχει επικριθεί ως ανακριβής και η χρήση της μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες αποφάσεις [406], [407], [408]. Τα μοντέλα αξιοπιστίας και αποτυχίας μιας συσκευής ενδέχεται να επηρεάζονται από εξωτερικούς παράγοντες όπως οι συνθήκες λειτουργίας, το περιβαλλοντικό άγχος, το επίπεδο εμπειρογνομosύνης των χειριστών κλπ. Επομένως, για να προσδιοριστεί ρεαλιστικά η αξιοπιστία τους, οι συσκευές πρέπει να μελετηθούν στο λειτουργικό περιβάλλον τους.

Με τον αυξανόμενο πληθυσμό και τη γήρανση της κοινωνίας σε αρκετές χώρες, οι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης στοχεύουν στην ενίσχυση της ποιότητας των υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης, ενώ εξισορροπούν τον μετριασμό του κινδύνου και το κόστος των υπηρεσιών. Ως εκ τούτου, διάφορες νέες τεχνολογίες πληροφοριών και καινοτόμες μεθοδολογίες επικοινωνίας έχουν εξελιχθεί για τη βελτίωση του τομέα της υγείας. Αυτές οι τεχνολογίες αυξάνουν την ποιότητα των

υπηρεσιών και έτσι συμβάλλουν στη μείωση του κόστους του συστήματος υγειονομικής περίθαλψης και στην αύξηση της ποιότητας των υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης. Σε αυτό το πλαίσιο, έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι αξιοπιστίας στη βιβλιογραφία σχετικά με τον κόσμο του IoT, και ειδικότερα τον τομέα της υγείας, οι οποίοι καταβάλλουν προσπάθειες για τη μέτρηση της αξιοπιστίας των IoT συσκευών που χρησιμοποιούνται για διάφορους σκοπούς υγείας. Πιο συγκεκριμένα, στο [409] συζητήθηκε η αξιοπιστία των συσκευών Fitbit, αξιολογώντας την αξιοπιστία μεταξύ των συσκευών του Fitbit Flex και δύο (2) διαφορετικών άλλων παρόμοιων συσκευών, καταγράφοντας τη δραστηριότητά τους βάσει της μέτρησης του καθιστικού χρόνου, χρόνο που δαπανάται σε διαφορετικές εντάσεις δραστηριότητας, έναντι ενός επικυρωμένου τριαξονικού επιταχυνσιόμετρου. Στο ίδιο πλαίσιο, οι συγγραφείς εξέτασαν την αξιοπιστία δέκα (10) παρακολουθητών δραστηριοτήτων για τη μέτρηση των βημάτων σε εργαστηριακές και ελεύθερες συνθήκες διαβίωσης, με την εκτίμηση των μέσων απόλυτων ποσοστιαίων σφαλμάτων, της ενδοκλαδικής συσχέτισης (Intra-Class Correlation, ICC). Στο [410] οι συγγραφείς αξιολόγησαν την αξιοπιστία δύο (2) κριτηρίων που σχετίζονται με το κριτήριο σε δύο (2) διαφορετικές συσκευές δυσκαμψίας των ποδιών σε διαφορετικές προσεγγίσεις δοκιμών, μετρώντας τον συντελεστή μεταβλητότητας (Coefficient of Variation, CV), το ICC, καθώς και το τυπικό σφάλμα μέτρησης (Standard Error of Measurement, SEM) αυτών των συσκευών. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [411] αξιολόγησαν την αξιοπιστία μιας ιατρικής εφαρμογής κινητών τηλεφώνων, χρησιμοποιώντας μια δοκιμή αντοχής με βαρύτητα, καταγράφοντας τα αντίστοιχα ICC και SEM των δεδομένων αυτών. Στο ίδιο πλαίσιο, οι συγγραφείς στο [412] κατέγραψαν τη μέτρηση του ICC για την αξιολόγηση της ενδοεπάρκειας και της αλληλοεπιδρώσας αξιοπιστίας μιας νέας συσκευής που χρησιμοποιείται από ασθενείς με διαβήτη, υπολογίζοντας τόσο το ICC, όσο και το SEM των δεδομένων που παράγει η συσκευή αυτή. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [413] πρότειναν μια προσέγγιση για τη σύγκριση των μέτρων σταθερότητας της στάσης μεταξύ και εντός των συσκευών προκειμένου να κατασκευαστεί η εγκυρότητά τους και να προσδιοριστεί η αξιοπιστία τους ως προς τα όρια των μέτρων σταθερότητας που παράγονται από το Master NeuroCom Smart Balance Master Biodex Balance System, καταγράφοντας τόσο το ICC, όσο και το SEM. Στον ίδιο τομέα ο σκοπός της μελέτης [414] ήταν να προσδιοριστεί η αξιοπιστία των αυτοματοποιημένων συσκευών που μετρούν τη συστολική αρτηριακή πίεση του ποδιού και του δείκτη βραχιόνων του δακτύλου ενός ασθενούς, ενώ ο σκοπός της μελέτης [415] ήταν να προσδιορίσει την εσωτερική αξιοπιστία ενός γωνιόμετρου κινητής συσκευής στην μέτρηση εύρους κίνησης της οσφυϊκής κάμψης. Επιπλέον, στόχος της μελέτης [416] ήταν να εκτιμηθεί η εγκυρότητα και η αξιοπιστία των συσκευών θερμοκρασίας που χρησιμοποιούνται στα άτομα που ασκούνται σε ελεγχόμενη, εσωτερική θερμοκρασία υψηλής

θερμοκρασίας περιβάλλοντος, καταγράφοντας έτσι τόσο το ICC, όσο και το SEM των δεδομένων αυτών. Εκτός από τα προαναφερθέντα, οι συγγραφείς στο [376] παρουσίασαν μια απλή μέθοδο αποσύνθεσης που θα μπορούσε εύκολα να εφαρμοστεί σε περίπλοκα ιατρικά συστήματα, μέσω των οποίων θα μπορούσε εύκολα να υπολογιστεί η επίδραση των υποσυστημάτων ή των συστατικών στην αξιοπιστία του συνολικού συστήματος, εκτιμώντας τις των μετρήσεις του μέσου χρόνου αποτυχίας, του μέσου χρόνου επιδιόρθωσης και τη διαθεσιμότητα. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [417] ανέλυσαν μια βάση δεδομένων για να καταγράψουν τις αποτυχίες των διαφορετικών υπαρχόντων τύπων ιατρικού εξοπλισμού, και για να μελετήσουν την εξάρτηση του ποσοστού αποτυχίας στην ηλικία του εξοπλισμού και εγκαίρως από την επισκευή, ενώ βασιζόμενοι στην ίδια ιδέα, οι συγγραφείς στο [418] παρουσίασαν διάφορα κριτήρια και μεθόδους για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας του ιατρικού εξοπλισμού. Επιπλέον, οι συγγραφείς στο [419] παρουσίασαν την ανάλυση αξιοπιστίας ενός σύνθετου συστήματος ετοιμότητας με ατελής συσκευή μετάβασης και ανάλυση διαθεσιμότητας του συστήματος παραγωγής σε μονάδα παραγωγής γάλακτος. Τέλος, οι συγγραφείς στο [420] ανέλυσαν τα δεδομένα πεδίου για τα συστήματα ιατρικής απεικόνισης κατά τη διάρκεια της περιόδου εγγύησης, ενώ οι συγγραφείς στο [421] παρουσίασαν τα αποτελέσματα της πρόωρης πρόβλεψης αξιοπιστίας για τα ιατρικά συστήματα της Philips βάσει δεδομένων πεδίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Προσέγγιση Ενσωμάτωσης Αξιόπιστων Συσκευών στον κόσμο του Διαδικτύου των Αντικειμένων

Περιεχόμενα

- 3.1. Ορόσημα Προσεγγίσεων Ενσωμάτωσης Αξιόπιστων Συσκευών
- 3.2. Τελική Προσέγγιση Ενσωμάτωσης Αξιόπιστων Συσκευών
- 3.3. Εφαρμογή Τελικής Προσέγγισης Ενσωμάτωσης Αξιόπιστων Συσκευών στον τομέα της Υγείας

Περίληψη

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**, αναλύεται η προτεινόμενη προσέγγιση Ενσωμάτωσης Αξιόπιστων Συσκευών στον κόσμο του IoT, προκειμένου να πραγματοποιήσει την επιτυχή αναγνώριση και ενσωμάτωση ετερογενών IoT συσκευών τόσο γνωστού όσο και άγνωστου τύπου, σε συνδυασμό με την εκτίμηση των επιπέδων αξιοπιστίας των συσκευών αυτών, και τη συλλογή των δεδομένων μόνο των αξιόπιστων συσκευών. Ειδικότερα, γίνεται μια λεπτομερής αναφορά στις πιο κομβικές προσωπικές προσεγγίσεις που προτάθηκαν στο πλαίσιο της Διδακτορικής Διατριβής και συνέβαλαν στη δημιουργία της τελικής προτεινόμενης προσέγγισης, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματά τους. Παράλληλα, σε κάθε μία από τις κομβικές αυτές προσεγγίσεις καταγράφονται οι εκάστοτε αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στις διαφορετικές προσεγγίσεις, επισημαίνοντας τα ελαττώματα που εντοπίστηκαν σε κάθε μία από αυτές. Ακολούθως, περιγράφονται οι τεχνικές της τελικής προσέγγισης της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής, αναφορικά με την εύρεση και τη σύνδεση των υφιστάμενων ετερογενών IoT συσκευών, την αναγνώριση του τύπου των συσκευών αυτών, τη συλλογή των δεδομένων τους, καθώς και την εκτίμηση της αξιοπιστίας τόσο των συσκευών αυτών καθ' αυτών όσο και των δεδομένων που οι συσκευές αυτές παράγουν, ώστε εν τέλει να ολοκληρωθεί η λειτουργία της προσέγγισης. Τέλος, παρατίθεται μία λεπτομερής επεξήγηση της εφαρμογής της προσέγγισης στον τομέα της υγείας, καταγράφοντας τη συμβολή και την αναγκαιότητα ύπαρξής της στο συγκεκριμένο τομέα.

3.1 Ορόσημα Προσεγγίσεων Ενσωμάτωσης Αξιόπιστων Συσκευών

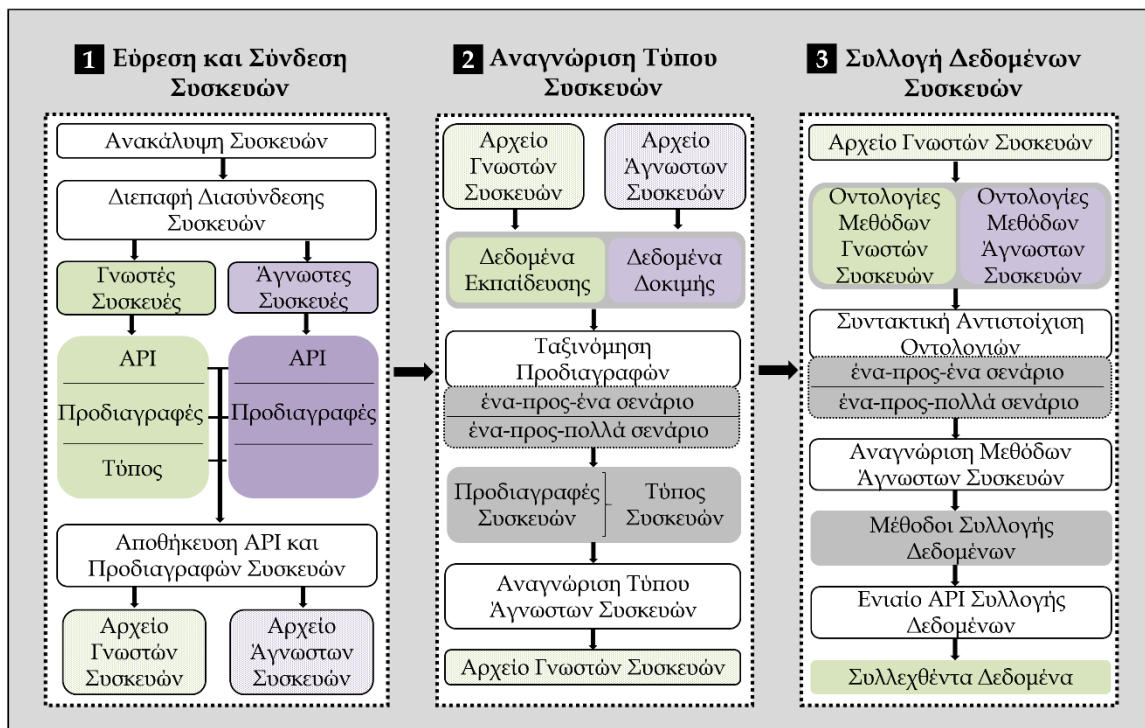
Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 1.2, βασικός στόχος της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής είναι η σχεδίαση και η υλοποίηση μίας πρωτοποριακής προσέγγισης για την αποτελεσματική συλλογή των δεδομένων που προέρχονται από διαφορετικές IoT συσκευές. Για το λόγο αυτό, η εν λόγω προσέγγιση υλοποιήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ικανή να ενσωματώνει ετερογενείς IoT συσκευές (τόσο γνωστού όσο και άγνωστου τύπου), προκειμένου να επιτυγχάνεται η αυτόματη συλλογή των δεδομένων που παράγονται από τις συσκευές, οι οποίες θα πρέπει να είναι άνω ενός επιπέδου αξιοπιστίας. Προκειμένου να ολοκληρωθεί επιτυχώς η συγκεκριμένη προσέγγιση, υλοποιήθηκαν ποικίλες προσεγγίσεις, με δύο (2) από αυτές να αποδεικνύονται κομβικές, καθιστώντας τες ως τα δύο (2) βασικά ορόσημα του μηχανισμού. Συνοπτικά, στο 1^ο ορόσημο είχε προταθεί η αρχική προσέγγιση του μηχανισμού, όπου είχαν καταγραφεί τα επιμέρους βήματα που θα ακολουθούσαν για την ομαλή εκτέλεσή του. Ωστόσο, κατά την προσπάθεια διεκπεραίωσης των πειραμάτων της συγκεκριμένης προσέγγισης, φανερώθηκε πως υπήρχαν αρκετά προβλήματα, καθιστώντας την εν λόγω προσέγγιση μη υλοποιήσιμη. Για το λόγο αυτό, προτάθηκε η επόμενη έκδοση της προσέγγισης του μηχανισμού (2^ο ορόσημο), όπου και επίλυσε όλα τα υπάρχοντα κενά της προηγούμενης προσέγγισης. Βέβαια, η συγκεκριμένη προσέγγιση περιείχε εξίσου κάποια μικρά προβληματικά σημεία στο μηχανισμό της, ενώ κάποια άλλα μπορούσαν κάλλιστα να βελτιωθούν προκειμένου να παράγονται πιο γρήγορα και ακριβή αποτελέσματα. Για το λόγο αυτό, προτάθηκε η τελική έκδοση της προσέγγισης του μηχανισμού, επιτυγχάνοντας όλους τους επιμέρους στόχους που είχαν τεθεί. Στην ουσία όλες οι διαφορετικές εκδόσεις της προτεινόμενης προσέγγισης βασίστηκαν πάνω στα βασικά τέσσερα (4) επίπεδα της γενικής IoT αρχιτεκτονικής που αναλύθηκε στην Ενότητα 2.3.2, τα οποία ήταν η Ανίχνευση, η Επικοινωνία, η Επεξεργασία και η Εφαρμογή. Πιο συγκεκριμένα, η προτεινόμενη προσέγγιση καλύπτει μόνο τα τρία (3) από τα τέσσερα (4) αυτά επίπεδα, αναφερόμενοι στα επίπεδα της Ανίχνευσης, της Επικοινωνίας, και της Επεξεργασίας. Το επίπεδο της Εφαρμογής δεν καλύπτεται, δεδομένου ότι δεν εμπίπτει στο πεδίο εφαρμογής του μηχανισμού. Ωστόσο, όλα τα στάδια και οι εκδόσεις του μηχανισμού της προσέγγισης κατασκευάστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε τα συνολικά εξαγόμενα αποτελέσματά του να μπορούν πάντα να είναι αξιοποιήσιμα από τις διάφορες υπάρχουσες IoT εφαρμογές και πλατφόρμες που θέλουν να αξιοποιούν τα εκάστοτε συλλεχθέντα δεδομένα του.

3.1.1 1^ο Ορόσημο Προσέγγισης

Όπως αναλύθηκε στην Ενότητα 2.3.1, οι υπάρχουσες IoT συσκευές τυπικά χαρακτηρίζονται από έναν υψηλό βαθμό ετερογένειας, αναδεικνύοντας την ανάγκη εφαρμογής IoT λύσεων που θα είναι σε θέση να διαχειρίζονται και να ενσωματώνουν το μεγάλο αριθμό των υφιστάμενων ετερογενών συσκευών, οι οποίες περιλαμβάνουν το δικό τους λογισμικό, υλικό, προδιαγραφές και API. Ωστόσο, οι υπάρχουσες τεχνολογίες ενσωμάτωσης δε διαθέτουν επαρκή ευελιξία για να ξεπεράσουν αυτήν την πρόκληση, καθώς οι τεχνικές αυτές είναι τόσο στατικές όσο και ευαίσθητες σε νέες ή μεταβαλλόμενες εφαρμογές και απαιτήσεις συσκευών.

Συνεπώς, η αρχική έκδοση της προσέγγισης που προτάθηκε στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή προσπάθησε να αντιμετωπίσει ακριβώς αυτήν την πρόκληση. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτή την προσέγγιση προτάθηκε ένας καινοτόμος μηχανισμός για την εύκολη, αυτόματη και ταχεία ενσωμάτωση ετερογενών συσκευών, τόσο γνωστού όσο και σε άγνωστου τύπου, ώστε να καθιστάται δυνατή η συλλογή δεδομένων από αυτές. Ειδικότερα, αυτή η προσέγγιση συνίστατο σε τρία (3) διαφορετικά στάδια. Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε η αναγνώριση και η σύνδεση των διαθέσιμων τόσο γνωστών όσο και άγνωστων συσκευών, συνοδευόμενη από τη συλλογή των προδιαγραφών των συσκευών αυτών (δηλαδή των προδιαγραφών λογισμικού και υλικού), και των API τους. Στη συνέχεια, στο δεύτερο στάδιο, πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση όλων των συνδεδεμένων συσκευών με κάποιες γνωστές (προϋπάρχουσες) συσκευές του μηχανισμού, βάσει των κοινών προδιαγραφών που όλες αυτές οι συσκευές είχαν μεταξύ τους, προκειμένου να αναγνωριστεί ο τύπος των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών βάσει των γνωστών τύπων των γνωστών συσκευών. Τέλος, στο τρίτο στάδιο, εφόσον όλες οι συσκευές ήταν πλέον γνωστού τύπου, οι API μέθοδοι των γνωστών συσκευών που είχαν κοινό τύπο συσκευής με την εκάστοτε συνδεδεμένη συσκευή, απεικονίστηκαν σε οντολογίες, προκειμένου να αντιστοιχηθούν οι API μέθοδοι των άγνωστων συνδεδεμένων συσκευών με τις αντίστοιχες API μεθόδους των γνωστών συσκευών, βάσει της συντακτικής ομοιότητάς των ονομασιών των μεθόδων τους, και να εξαχθούν οι μέθοδοι αυτοί που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων των συνδεδεμένων συσκευών. Όλα τα προαναφερθέντα στάδια πραγματοποιήθηκαν ως προκαταρκτικά βήματα για το ενιαίο API που υλοποιήθηκε στα πλαίσια του εν λόγω μηχανισμού, το οποίο ήταν υπεύθυνο για τη μετατροπή όλων των εξαχθέντων API μεθόδων των συσκευών σε μία κοινή μορφή, ώστε να χρησιμοποιούνταν εν τέλει για την απόκτηση των δεδομένων από τις επιμέρους συνδεδεμένες συσκευές. Στο σημείο

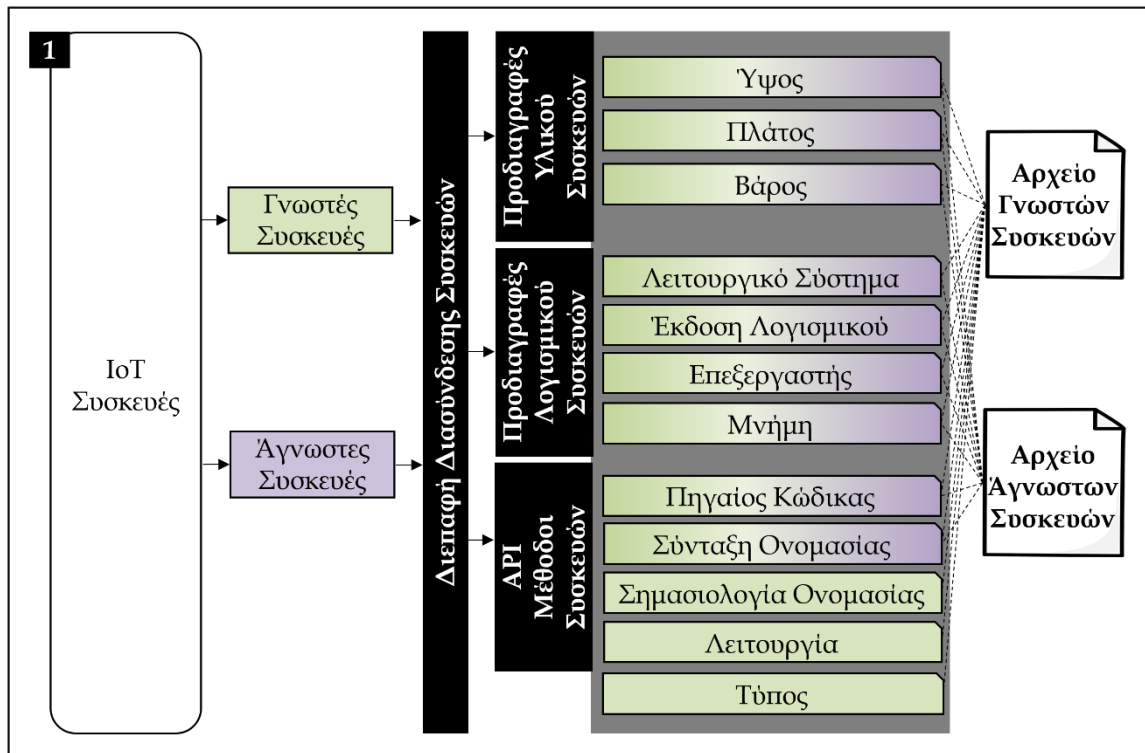
αυτό πρέπει να αναφερθεί πως ο προτεινόμενος μηχανισμός απαιτούσε να έχει προηγούμενη γνώση των συνδεδεμένων συσκευών σχετικά με (i) τα API (δηλαδή τον πηγαίο κώδικα και τις ονομασίες των μεθόδων) τους, και (ii) τις προδιαγραφές (δηλαδή τις προδιαγραφές υλικού και λογισμικού) τους, οι οποίες περιείχαν την ίδια σημασιολογία όσον αφορά τις περιγραφές των προδιαγραφών και τις μονάδες μέτρησής τους. Επιπλέον, η εν λόγω έκδοση του μηχανισμού βασίστηκε στο γεγονός πως η σύνδεση του δικτύου μεταξύ των συσκευών και του μηχανισμού δεν ενέπιπτε στο πεδίο εφαρμογής της προτεινόμενης προσέγγισης, και για το λόγο αυτό υποτέθηκε πως όλες οι διαθέσιμες συσκευές επέτρεπαν την επικοινωνία τους με το μηχανισμό μέσω όλων των πιθανών πρωτοκόλλων επικοινωνίας (π.χ. WiFi, Bluetooth Classic, BLE, NFC, κλπ.). Όπως φαίνεται στην Εικόνα 9, η προτεινόμενη αρχιτεκτονική αποτελείται από τα τρία (3) κύρια στάδια της: (i) Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών, (ii) Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών, (iii) Συλλογής Δεδομένων Συσκευών.



Εικόνα 9. Αρχιτεκτονική 1^{ου} ορόσημου προτεινόμενης προσέγγισης

3.1.1.1 Τεχνική Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών

Στο πρώτο στάδιο του ανεπτυγμένου μηχανισμού, πραγματοποιήθηκε η εύρεση των διάφορων διαθέσιμων συσκευών (π.χ. αισθητήρων, φορητών συσκευών, ρολογιών κλπ.) που συλλέγουν δεδομένα πραγματικού χρόνου, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 10.



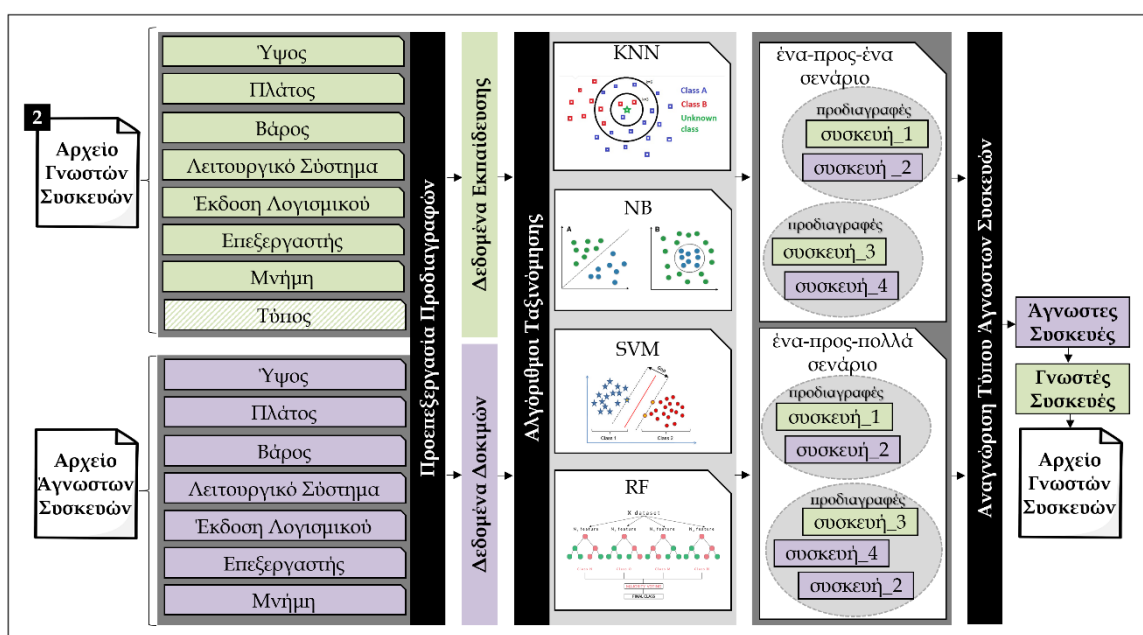
Εικόνα 10. Διαδικασία εύρεσης και σύνδεσης συσκευών 1^{ου} ορόσημου

Αρχικά σε αυτό το στάδιο, οι διάφορες διαθέσιμες συσκευές ανακαλύφθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν είτε σε γνωστές (από την άποψη του προκαθορισμένου τύπου και των προκαθορισμένων και γνωστών API μεθόδων τους) είτε σε συσκευές που ήταν προηγουμένως άγνωστες (από την άποψη του απροσδιόριστου τύπου και των απροσδιόριστων και άγνωστων API μεθόδων τους). Στη συνέχεια, όλες αυτές οι συσκευές συνδέθηκαν μέσω της διεπαφής διασύνδεσης που παρέχεται από το μηχανισμό. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι δικτυακές λεπτομέρειες της διεπαφής αυτής ήταν εκτός πεδίου της τρέχουσας έρευνας, και θεωρήθηκε πως η συγκεκριμένη διεπαφή παρείχε μία γενική διεπαφή διασύνδεσης στις διάφορες διαθέσιμες συσκευές προκειμένου αυτές να συνδέονται στο μηχανισμό, και αυτός με τη σειρά του να είναι σε θέση να συλλέγει τις προδιαγραφές και τα API των συσκευών αυτών. Ειδικότερα, μέσω αυτής της διεπαφής συγκεντρώθηκαν πληροφορίες σχετικά με (i) τις προδιαγραφές λογισμικού τόσο για τις γνωστές όσο και για τις άγνωστες συσκευές (δηλαδή λειτουργικό σύστημα, έκδοση λογισμικού,

επεξεργαστής, και μνήμη), (ii) τις προδιαγραφές υλικού τόσο για τις γνωστές όσο και για τις άγνωστες συσκευές (δηλαδή ύψος, πλάτος και βάρος), (iii) τα API των γνωστών συσκευών, όχι μόνο από την άποψη του πηγαίου κώδικα, αλλά και από την άποψη της ακριβούς συντακτικής και σημασιολογικής ονομασίας και λειτουργίας της κάθε μεθόδου των API αυτών, και (iv) τα API των άγνωστων συσκευών, από την άποψη του πηγαίου κώδικα, και μόνο από την άποψη της σύνταξης της ονομασίας της κάθε μεθόδου των API αυτών, καθώς η σημασιολογία της ονομασίας τους και σαν αποτέλεσμα η λειτουργικότητα της κάθε μεθόδου ήταν άγνωστη. Επιπλέον, πρέπει να αναφερθεί ότι όσον αφορά τις γνωστές συσκευές, ο μηχανισμός είχε εκ των προτέρων γνώση του τύπου των συσκευών τους, ενώ ο τύπος των άγνωστων συσκευών δεν ήταν γνωστός εκ των προτέρων, και θα εντοπιζόταν στο επόμενο στάδιο του μηχανισμού. Τέλος, σε αυτό το στάδιο, μόλις αποκτήθηκαν όλες οι προαναφερθείσες πληροφορίες σχετικά με τις συσκευές, πραγματοποιήθηκε η αποθήκευση αυτών των πληροφοριών στα αντίστοιχα αρχεία κειμένου, όπου οι πληροφορίες των γνωστών συσκευών αποθηκεύτηκαν στο αρχείο κειμένου των γνωστών συσκευών και οι πληροφορίες των άγνωστων συσκευών αποθηκεύτηκαν στο αρχείο κειμένου των άγνωστων συσκευών. Συνεπώς, όπως απεικονίζεται και στην Εικόνα 10, το αρχείο κειμένου των γνωστών συσκευών αποτελούνταν από τα πεδία του ύψους, του πλάτους, του βάρους, του λειτουργικού συστήματος, της έκδοσης λογισμικού, του επεξεργαστή, της μνήμης, του πηγαίου κώδικα, της σύνταξης και της σημασιολογίας των ονομασιών και των λειτουργιών των μεθόδων των API, και του τύπου των γνωστών συσκευών. Αντιστοίχως, σε παρόμοιο πλαίσιο, το αρχείο κειμένου των άγνωστων συσκευών αποτελούνταν από τα πεδία του ύψους, του πλάτους, του βάρους, του λειτουργικού συστήματος, της έκδοσης λογισμικού, του επεξεργαστή, της μνήμης, καθώς και του πηγαίου κώδικα και της σύνταξης των ονομασιών των API μεθόδων των άγνωστων συσκευών.

3.1.1.2 Τεχνική Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών

Στο δεύτερο στάδιο του προτεινόμενου μηχανισμού, πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση των προδιαγραφών όλων των συσκευών, όπως αυτή απεικονίζεται στην Εικόνα 11. Ειδικότερα, το στάδιο αυτό περιλάμβανε την προεπεξεργασία των προδιαγραφών και την ταξινόμηση αυτών, προκειμένου να επιτευχθεί η επιτυχής ταξινόμηση όλων των υπάρχοντων συσκευών με βάση τις κοινές προδιαγραφές τους, και επομένως να αναγνωριστούν οι τύποι των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών βάσει των τύπων των γνωστών συσκευών. Έτσι, αυτό το στάδιο έλαβε χώρα μόνο για τις συνδεδεμένες συσκευές που ήταν άγνωστου τύπου, καθώς ο τύπος των γνωστών συσκευών ήταν ήδη γνωστός από το μηχανισμό.



Εικόνα 11. Διαδικασία αναγνώρισης τύπου συσκευών 1^ο ορόσημου

Αρχικά, στην πρώτη φάση αυτού του σταδίου, πραγματοποιήθηκε η προεπεξεργασία όλων των συλλεχθέντων πληροφοριών των συσκευών που ήταν απαραίτητες για την ομαλή λειτουργία του εν λόγω σταδίου (δηλαδή των προδιαγραφών). Λεπτομερέστερα, αφού καταγράφηκαν οι προδιαγραφές των διαφορετικών συσκευών (είτε με γνωστό είτε με άγνωστο τύπο συσκευής) και αποθηκεύτηκαν στα αντίστοιχα σύνολα δεδομένων (δηλαδή αρχεία κειμένων), η προεπεξεργασία τους έλαβε χώρα. Για το λόγο αυτό, οι συσκευές διαχωρίστηκαν σε δύο (2) διαφορετικές ομάδες. Η 1^η ομάδα περιείχε όλες τις συσκευές με γνωστό τύπο συσκευής (δηλαδή περιείχε τα δεδομένα εκπαίδευσης για την ταξινόμηση), ενώ η 2^η περιείχε όλες τις συσκευές με άγνωστο τύπο συσκευής (δηλαδή περιείχε τα δεδομένα δοκιμών για την ταξινόμηση). Συνεπώς, οι προδιαγραφές σε συνδυασμό με τον τύπο συσκευής των γνωστών συσκευών ανακτήθηκαν από το αρχείο

κειμένων των γνωστών συσκευών και αποθηκεύτηκαν σε ένα κοινό αρχείο ARFF, ενώ οι προδιαγραφές κάθε άγνωστης συνδεδεμένης συσκευής ανακτήθηκαν από το αρχείο κειμένου των άγνωστων συσκευών και αποθηκεύτηκαν σε διαφορετικά αρχεία ARFF. Να σημειωθεί ότι για τις άγνωστες συσκευές, στο αρχεία ARFF αποθηκεύτηκαν μόνο τα χαρακτηριστικά του λειτουργικού συστήματος, της έκδοσης λογισμικού, του επεξεργαστή, της μνήμης, του ύψους, του πλάτους και του βάρους, καθώς ο τύπος συσκευής τους δεν ήταν ακόμη γνωστός. Εν συνεχεία, όλα αυτά τα αποθηκευμένα δεδομένα μετασχηματίστηκαν και καθαρίστηκαν χειροκίνητα ώστε να έχουν μια ενιαία και κατανοητή μορφή, καθώς τέτοιου είδους δεδομένα που προέρχονταν από διαφορετικές συσκευές, και πιθανώς από διαφορετικούς κατασκευαστές, είχαν τις δικές τους διαφορετικές μορφές. Σαν αποτέλεσμα αυτού, ο μηχανισμός αξιοποίησε δεδομένα που δεν περιείχαν ούτε ένα σφάλμα, διασφαλίζοντας έτσι την πληρότητα των δεδομένων.

Ως εκ τούτου, γνωρίζοντας όλες τις προδιαγραφές των συσκευών (δηλαδή τόσο των γνωστών όσο και των άγνωστων), έχοντας τες αποθηκεύσει στα αντίστοιχα σύνολα δεδομένων, και έχοντας τες προεπεξεργαστεί, η ταξινόμησή τους έλαβε χώρα, προκειμένου να προβλεφθεί ο τύπος των άγνωστων συσκευών, βάσει όλων των ομαδοποιημένων προδιαγραφών των συσκευών. Αρχικά σε αυτή τη φάση, τα προεπεξεργασμένα σύνολα δεδομένων εισήχθησαν στο WEKA [422] εργαλείο εξόρυξης δεδομένων που χρησιμοποιούσε ο μηχανισμός, όπου πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή των αλγορίθμων ταξινόμησης. Ειδικότερα, το WEKA αποτελεί ένα εργαλείο εξόρυξης δεδομένων ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιείται για την ακριβή ταξινόμηση των συνόλων δεδομένων, εφαρμόζοντας διαφορετικές αλγοριθμικές προσεγγίσεις, συμπεριλαμβανομένης της προεπεξεργασίας δεδομένων (pre-processing), της ομαδοποίησης (clustering), της ταξινόμησης (classification), της παλινδρόμησης (regression), της οπτικοποίησης (visualization), και της επιλογής χαρακτηριστικών (feature selection). Ωστόσο, ο προτεινόμενος μηχανισμός διερεύνησε τους KNN, NB, SVM και RF αλγόριθμους ταξινόμησης, οι οποίοι είναι οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενοι, ενώ επιλέχθηκε η ταυτόχρονη εφαρμογή τους ώστε να επαληθεύονται τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων. Εν συντομία οι αλγόριθμοι αυτοί λειτουργούν ως εξής:

Ο KNN είναι ένας από τους πιο απλούς αλγορίθμους μηχανικής μάθησης που δεν πραγματοποιεί γενικευμένες παραδοχές ούτε βάσει της υποκείμενης κατανομής δεδομένων ούτε βάσει των ίδιων των δεδομένων εκπαίδευσης. Είναι ένας ευέλικτος αλγόριθμος, καθώς οι εφαρμογές του μπορούν να κυμανθούν από την υγειονομική περίθαλψη μέχρι και την υπολογιστική γεωμετρία των γραφημάτων. Λόγω των χαρακτηριστικών του, ο KNN μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για προγνωστικά προβλήματα ταξινόμησης όσο και για προβλήματα παλινδρόμησης

[423]. Με περισσότερες λεπτομέρειες, ο KNN αποθηκεύει όλα τα διανύσματα και ετικέτες κλάσης για όλα τα δείγματα εκπαίδευσης, ενώ ένας αριθμός K είναι υπεύθυνος για να αποφασίσει πόσοι γείτονες επηρεάζουν τη διαδικασία της ταξινόμησης. Για την πρόβλεψη της κατηγορίας ενός συνόλου δοκιμών επιλέγονται οι πλησιέστεροι K γείτονες από το σύνολο εκπαίδευσης και η τελική πρόβλεψη γίνεται με βάση την απόσταση μεταξύ των δειγμάτων εκπαίδευσης και του συνόλου δεδομένων δοκιμών [424], [425].

Ο NB είναι ένας απλός πιθανολογικός αλγόριθμος μηχανικής μάθησης που βασίζεται στην εφαρμογή του θεωρήματος Bayes με την παραδοχή της ανεξαρτησίας μεταξύ των χαρακτηριστικών [426], [427], [428]. Το μοντέλο του NB είναι εύκολο να δημιουργηθεί και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για πολύ μεγάλα σύνολα δεδομένων, ενώ παράλληλα με την απλότητά του, ο NB είναι γνωστό πως ξεπερνάει ακόμη και εξαιρετικά εξελιγμένες μεθόδους ταξινόμησης, καθώς είναι εύκολος και γρήγορος στην πρόβλεψη της τάξεως ενός συνόλου δεδομένων δοκιμής [429]. Ως εκ τούτου, είναι ένας πρόθυμος και γρήγορος ταξινομητής μάθησης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πραγματοποίηση προβλέψεων σε πραγματικό χρόνο, οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως στην ταξινόμηση κειμένου. Πιο συγκεκριμένα, ο NB παράγει ένα μοντέλο υπολογίζοντας την πιθανότητα κάθε πιθανής κλάσης λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε κλάσης, ενώ αφελώς θέτει την ανεξαρτησία μεταξύ όλων των χαρακτηριστικών, έχοντας ως αποτέλεσμα την ταξινόμηση της κλάσης με την υψηλότερη πιθανότητα [427].

Ο SVM αποτελείται από ένα σύνολο εποπτευόμενων μεθόδων μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιούνται κυρίως για εργασίες ταξινόμησης ή παλινδρόμησης [430]. Δεδομένου ότι τα δεδομένα εκπαιδευτικής κατάρτισης φέρουν επισήμανση, ο SVM εξάγει ένα βέλτιστο επίπεδο που κατηγοριοποιεί νέα παραδείγματα, με βάση την έννοια των επιπέδων λήψης αποφάσεων [431]. Λόγω της φύσης του, χρησιμοποιεί ένα υποσύνολο σημείων κατάρτισης στη λειτουργία λήψης αποφάσεων, με αποτέλεσμα να είναι αποδοτικός στη μνήμη, θεωρούμενος έτσι και αρκετά ευέλικτος. Ειδικότερα, ο SVM υλοποιείται χρησιμοποιώντας έναν πυρήνα. Η εκπαίδευση του βέλτιστου επιπέδου του γίνεται με το μετασχηματισμό του προβλήματος χρησιμοποιώντας τη γραμμική άλγεβρα, ενώ μπορεί να αναδιατυπωθεί χρησιμοποιώντας το εσωτερικό προϊόν οποιωνδήποτε δύο (2) παρατηρήσεων, παρά τις ίδιες τις παρατηρήσεις [430]. Σαν αποτέλεσμα αυτού, εκτελεί την ταξινόμηση βρίσκοντας το επίπεδο που μεγιστοποιεί το περιθώριο μεταξύ των δύο (2) παρατηρήσεων, ενώ οι φορείς που ορίζουν το βέλτιστο επίπεδο είναι οι φορείς στήριξης.

Ο RF είναι μια μέθοδος μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιείται ευρέως για την ταξινόμηση και την παλινδρόμηση, και βασίζεται στην κατασκευή δέντρων αποφάσεων κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης [432]. Ο RF χρησιμοποιείται κυρίως για την ταξινόμηση κειμένων και την αναγνώριση εικόνων, ενώ μπορεί να λειτουργεί αποτελεσματικά σε μεγάλα σύνολα δεδομένων, να χειρίζεται χιλιάδες μεταβλητές εισόδου [433], [432], και να υπολογίζει ελλιπή δεδομένα. Ειδικότερα, ο RF χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο εκμάθησης δέντρων που επιλέγει, σε κάθε υποψήφιο διαχωρισμό στη διαδικασία εκμάθησης, ένα τυχαίο υποσύνολο χαρακτηριστικών [434]. Όταν δημιουργηθεί το σύνολο κατάρτισης για το τρέχον δέντρο, περίπου το ένα τρίτο των περιπτώσεων παραμένουν εκτός δείγματος. Μετά την κατασκευή κάθε δέντρου, όλα τα δεδομένα τρέχουν κάτω από το δέντρο και οι γειτνιάσεις υπολογίζονται για κάθε ζεύγος περιπτώσεων. Εάν δύο (2) περιπτώσεις καταλαμβάνουν τον ίδιο τερματικό κόμβο, η γειτνίαση τους αυξάνεται κατά ένα, ενώ στο τέλος της διαδρομής, αυτές οι γειτνιάσεις διαιρούνται με τον αριθμό των δέντρων [433].

Η τρέχουσα έκδοση της προσέγγισης χρησιμοποίησε τους προαναφερθέντες τέσσερις (4) αλγόριθμους. Ειδικότερα, σε κάθε έναν από αυτούς, δόθηκε ως είσοδος ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης, το οποίο περιείχε τις προδιαγραφές των συσκευών γνωστού τύπου για την αποτελεσματική εκπαίδευση του μοντέλου του εκάστοτε αλγορίθμου. Έτσι, αρχικά πραγματοποιήθηκαν διαφορετικά πειράματα αυτών των αλγορίθμων βάσει του συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης, ενώ όλοι οι αλγόριθμοι είχαν ως κοινό ότι χρησιμοποίησαν ως δοκιμαστική μέθοδο το 10-fold, και ως μοντέλο ταξινομητή το πλήρες σύνολο εκπαίδευσης [435]. Μετά την εκπαίδευση των τεσσάρων (4) διαφορετικών ταξινομητών, πραγματοποιήθηκε η επαναξιολόγηση των μοντέλων τους. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκε το σύνολο δεδομένων δοκιμών, το οποίο περιείχε τις προδιαγραφές των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών που ήταν άγνωστου τύπου. Ειδικότερα, η τιμή της κλάσης (δηλαδή του τύπου) αυτών των συσκευών δεν ήταν προκαθορισμένη. Για το λόγο αυτό εφαρμόστηκαν οι τέσσερις (4) εκπαιδευμένοι αλγόριθμοι σε αυτό το σύνολο δεδομένων, προκειμένου οι άγνωστες συσκευές να ταξινομηθούν σε έναν από τους υπάρχοντες τύπους συσκευών των γνωστών συσκευών. Ως αποτέλεσμα αυτού, με την εφαρμογή των προαναφερθέντων αλγορίθμων ταξινόμησης στα σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης και δοκιμής, πραγματοποιήθηκε η πρόβλεψη της κλάσης των άγνωστων συσκευών. Έτσι, ο μηχανισμός κατάφερε τελικά να ταξινομήσει τις διαφορετικές συσκευές, λαμβάνοντας υπόψη τους τύπους των γνωστών συσκευών και τις παρόμοιες προδιαγραφές που όλες αυτές οι συσκευές μπορεί να είχαν με τις άγνωστες συσκευές. Συνεπώς, βάσει των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης, ο μηχανισμός κατάφερε να εντοπίσει τους τύπους των άγνωστων συσκευών, υποθέτοντας ότι οι συσκευές με τις ίδιες

προδιαγραφές ήταν του ίδιου τύπου. Στο σημείο αυτό να αναφερθεί πως κατά τη διαδικασία της ταξινόμησης μπορούσαν να προκύψουν δύο (2) πιθανά σενάρια, όπως αυτά φαίνονται και στην Εικόνα 11:

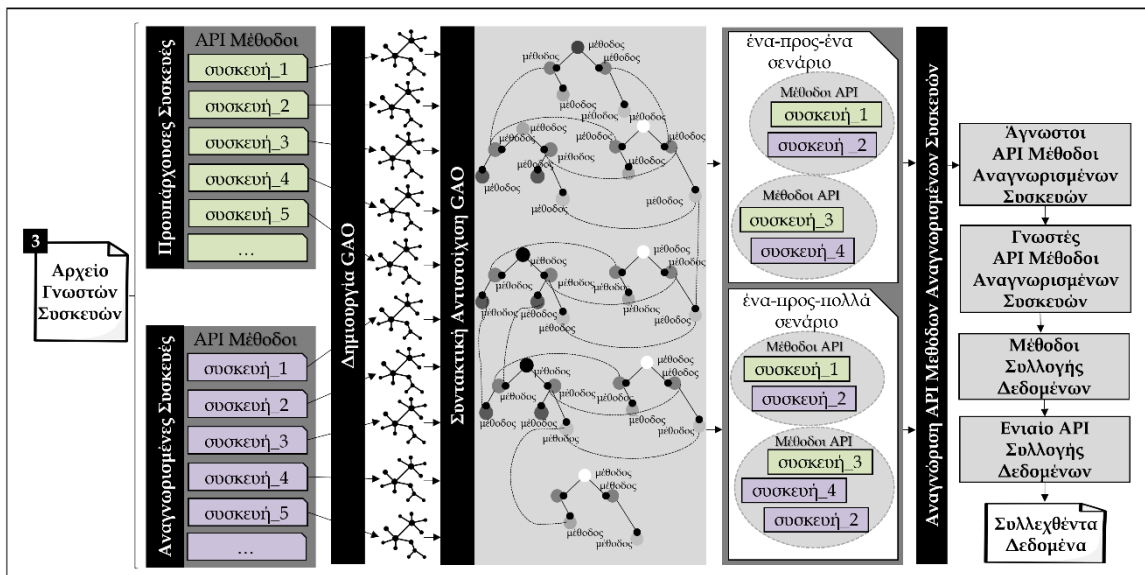
1^ο Σενάριο: Οι διαθέσιμες συσκευές γνωστού και άγνωστου τύπου μπορεί να είχαν ακριβώς τις ίδιες προδιαγραφές (ένα προς ένα σενάριο). Για παράδειγμα, έστω ότι ο μηχανισμός είχε προηγούμενη γνώση του τύπου της συσκευής Α, αλλά δεν είχε προηγούμενη γνώση του τύπου της συσκευής Γ, ενώ και οι δύο (2) συσκευές είχαν τις ίδιες προδιαγραφές. Καταγράφοντας τις προδιαγραφές τους, παρατηρήθηκε ότι αυτές οι συσκευές είχαν ταξινομηθεί στην ίδια ομάδα, δεδομένου ότι είχαν ακριβώς τις ίδιες προδιαγραφές, και κατά συνέπεια είχαν τον ίδιο τύπο συσκευής (π.χ. και οι δύο (2) συσκευές ήταν παρακολουθητές δραστηριοτήτων).

2^ο Σενάριο: Οι διαθέσιμες συσκευές ενδέχεται να είχαν κοινές μερικές προδιαγραφές (ένα προς πολλά σενάρια). Για παράδειγμα, έστω ότι ο μηχανισμός είχε προηγούμενη γνώση του τύπου των συσκευών Α και Β, οι οποίες είχαν διαφορετικές προδιαγραφές, ενώ δεν είχε προηγούμενη γνώση του τύπου της συσκευής Γ, η οποία είχε κάποιες προδιαγραφές κοινές με τη συσκευή Α και κάποιες άλλες κοινές με τη συσκευή Β. Ταξινομώντας τις προδιαγραφές τους, παρατηρήθηκε ότι η συσκευή Γ είχε ταξινομηθεί τόσο στην ίδια ομάδα με τη συσκευή Α όσο και στην ίδια ομάδα με τη συσκευή Β, καθώς η συσκευή Γ είχε ορισμένες κοινές προδιαγραφές με τις δύο (2) συσκευές. Σαν αποτέλεσμα αυτού, η συσκευή Γ μπορεί να είχε τον ίδιο τύπο συσκευής είτε με τη συσκευή Β (π.χ. έξυπνο ρολόι) είτε με τη συσκευή Α (π.χ. παρακολουθητής δραστηριοτήτων).

Αυτή η διαδικασία επαναλήφθηκε για όλες τις υπάρχουσες συνδεδεμένες άγνωστες συσκευές, με αποτέλεσμα ο τύπος όλων αυτών των συσκευών να γίνει γνωστός, παρέχοντας λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με το λειτουργικό σύστημα, την έκδοση λογισμικού, τον επεξεργαστή, τη μνήμη, το ύψος, το πλάτος, το βάρος, καθώς και τον τύπο των συσκευών, που ήταν ο κύριος στόχος της τρέχουσας φάσης. Συνεπώς, εφόσον οι άγνωστες συσκευές είχαν πλέον αναγνωριστεί, οι πληροφορίες τους αποθηκεύτηκαν στο αρχείο κειμένων των γνωστών συσκευών, έτσι ώστε να θεωρούνται ως γνωστές συσκευές σε μελλοντικές τους χρήσεις στο μηχανισμό. Πέρα από αυτό, δεδομένου ότι ένας από τους επιμέρους στόχους του μηχανισμού ήταν να προσδιορίσει αν κάθε συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή σχετιζόταν με κάθε πλατφόρμα που επιθυμούσε να συνδεθεί, και ως εκ τούτου τα δεδομένα της σχετιζόταν με την πλατφόρμα αυτή και έπρεπε να συλλεχθούν, βάσει των αποτελεσμάτων ο μηχανισμός μπορούσε να συμπεράνει αν αυτά τα δεδομένα θα διατηρούνταν, ανάλογα με τον αναγνωρισμένο τύπο κάθε συσκευής.

3.1.1.3 Τεχνική Συλλογής Δεδομένων Συσκευών

Το τρίτο στάδιο του προτεινόμενου μηχανισμού στην ουσία αποτελούσε το κεντρικό στάδιο του μηχανισμού, όπου πραγματοποιούνταν η αντιστοιχία των API μεθόδων όλων των συνδεδεμένων συσκευών, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 12. Ειδικότερα, στο εν λόγω στάδιο, χρησιμοποιώντας τόσο τις API μεθόδους των γνωστών και των άγνωστων συσκευών, όσο και τον τύπο συσκευής των άγνωστων συσκευών, ο μηχανισμός μπορούσε να αντιστοιχήσει τις API μεθόδους των γνωστών συσκευών με εκείνες των άγνωστων συσκευών, συγκρίνοντας συντακτικά τις ονομασίες των API μεθόδων των συσκευών του ίδιου τύπου (π.χ. όλα τα πιεσόμετρα), ξεχωρίζοντας έτσι τις μεθόδους των άγνωστων συσκευών που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων των συσκευών αυτών.



Εικόνα 12. Διαδικασία συλλογής δεδομένων συσκευών 1^ο ορόσημο

Προκειμένου να επιτευχθεί η προαναφερθείσα αντιστοιχία, αρχικά, για το API κάθε συσκευής, χρησιμοποιήθηκε η έννοια της Γενικής Οντολογίας Διεπαφής Προγραμματισμού Εφαρμογών (Generic API Ontology, GAO), βασισμένη στις προσεγγίσεις που έχουν προταθεί στα [25], [436], οι οποίες χρησιμοποιούνταν για να μοντελοποιήσουν τη σημασιολογία των ονομασιών των API μεθόδων των συσκευών, και να επιτύχουν το μέγιστο επίπεδο κατανόησής τους. Ειδικότερα, στην παρούσα έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης, τα API κάθε συσκευής απεικονίστηκαν σε μία αντιστοιχη GAO, προσθέτοντας συντακτικές ετικέτες στις ονομασίες των μεθόδων του API της κάθε συσκευής, προκειμένου να τις περιγράψουν με έναν τυποποιημένο τρόπο, επιτρέποντας έτσι την αντιστοιχία ποικίλων μεθόδων των API. Ως αποτέλεσμα αυτού, οι API μέθοδοι των γνωστών συσκευών που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων τους μπορούσαν

να αντιστοιχηθούν με τις αντίστοιχες API μεθόδους των άγνωστων συσκευών που ήταν αντίστοιχα υπεύθυνες για την συλλογή των δεδομένων τους. Ειδικότερα, προκειμένου να επιτευχθεί όλη η προαναφερθείσα διαδικασία, ο μηχανισμός χρησιμοποίησε σαν είσοδο τις πληροφορίες που είχε συλλέξει στο πρώτο στάδιο του (Εύρεση και Σύνδεση Συσκευών) σχετικά με τις API μεθόδους όλων των συνδεδεμένων άγνωστων και προϋπαρχουσών γνωστών συσκευών. Ειδικότερα, ο μηχανισμός είχε γνώση τόσο για τον πηγαίο κώδικα όσο και για τη σύνταξη και τη σημασιολογία της ονομασίας και σαν αποτέλεσμα των λειτουργικών σκοπών των API μεθόδων (δηλαδή τι αντιπροσώπευε κάθε μέθοδος) των γνωστών συσκευών, ενώ για τις άγνωστες συσκευές είχε μόνο γνώση για τον πηγαίο κώδικα και τη σύνταξη της ονομασίας των API μεθόδων τους, καθώς η σημασιολογία της ονομασίας τους και σαν αποτέλεσμα η σημασιολογία των επιμέρους λειτουργιών της κάθε μεθόδου ήταν άγνωστες. Συνεπώς, με την αντιστοίχιση όλων των API των συσκευών (δηλαδή τόσο των γνωστών όσο και των άγνωστων) μέσω της απεικόνισής τους σε διαφορετικές GAO, με την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων των ομάδων των κατηγοριοποιημένων συσκευών από το δεύτερο στάδιο (Αναγνώριση Τύπου Συσκευών), και με τη σύγκριση των GAO των συσκευών που ήταν του ίδιου τύπου, ο προτεινόμενος μηχανισμός ήταν σε θέση να καταλήξει στην τελική αντιστοίχιση των μεθόδων των API. Σαν αποτέλεσμα αυτού, οι μέθοδοι των γνωστών συσκευών που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων των συσκευών οδήγησαν στην αναγνώριση των μεθόδων των άγνωστων συσκευών που ήταν αντίστοιχα υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων των συσκευών αυτών, οι οποίες ήταν άγνωστες πριν από αυτό το βήμα. Σε αυτό το πλαίσιο, όπως απεικονίζεται και στην Εικόνα 12, προκύπτουν δύο (2) πιθανά σενάρια, λαμβάνοντας υπόψη τα δύο (2) σενάρια που μπορούσαν να προκύψουν στο δεύτερο στάδιο (Αναγνώριση Τύπου Συσκευών) του μηχανισμού:

1^ο Σενάριο: Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ταξινόμησης των προδιαγραφών, κάθε συσκευή μπορούσε να ανήκει σε μια μοναδική ομάδα ταξινόμησης. Επομένως, όλες οι συσκευές που κατηγοριοποιούνταν στην ίδια ομάδα, θα είχαν τα ίδια API (ένα προς ένα σενάριο). Σύμφωνα με το παράδειγμα του δεύτερου σταδίου, η γνωστή συσκευή Α και η άγνωστη συσκευή Γ κατηγοριοποιήθηκαν στην ίδια ομάδα, καθώς είχαν τις ίδιες προδιαγραφές. Στο παρόν στάδιο ο μηχανισμός κατέληξε στο συμπέρασμα πως αυτές οι δύο (2) συσκευές είχαν επίσης κοινά API, συμπεριλαμβανομένων των ίδιων μεθόδων συλλογής δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, έστω ότι η συσκευή Α είχε το API_A που περιλάμβανε μια μέθοδο που ονομαζόταν getSource() για να βρίσκει τον τύπο της συσκευής, και μια μέθοδο που ονομαζόταν getData() για να συλλέγει τα δεδομένα της συσκευής, των οποίων οι λειτουργίες ήταν γνωστές εκ των προτέρων. Αντίθετα, η συσκευή Γ είχε το API_G που περιείχε μια μέθοδο που ονομαζόταν getMySource() και μια μέθοδο που

ονομαζόταν `getMyData()`, των οποίων οι σημασίες και λειτουργίες ήταν άγνωστες. Με την απεικόνιση των API των δύο (2) αυτών συσκευών (δηλαδή της A και της Γ) στις αντίστοιχες GAO, και τη σύγκρισή τους θεωρώντας ότι η συσκευή A είχε τις ίδιες προδιαγραφές με τη συσκευή Γ, ο μηχανισμός συμπέρανε ότι οι δύο (2) συσκευές είχαν τα ίδια API, και ως εκ τούτου οι μέθοδοί τους είχαν τις ίδιες λειτουργίες. Επομένως, ο μηχανισμός συμπέρανε ότι η μέθοδος `getMySource()` της συσκευής Γ χρησιμοποιούνταν για την εύρεση του τύπου της συσκευής, ενώ η μέθοδος `getMyData()` για τη συλλογή των δεδομένων της συσκευής.

2^ο Σενάριο: Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ταξινόμησης των προδιαγραφών, ορισμένες συσκευές ενδέχεται να ανήκαν σε μία ή περισσότερες ομάδες ταξινόμησης. Ως εκ τούτου, οι συσκευές που κατηγοριοποιήθηκαν σε πολλές ομάδες θα είχαν εν μέρει τα ίδια API με τις συσκευές των άλλων ομάδων (ένα προς πολλά σενάριο). Σύμφωνα με το παράδειγμα του δεύτερου σταδίου, η άγνωστη συσκευή Γ κατηγοριοποιήθηκε στην ίδια ομάδα ταξινόμησης με τη συσκευή A και στην ίδια ομάδα ταξινόμησης με τη συσκευή B, καθώς η συσκευή Γ είχε μερικές προδιαγραφές κοινές με τις δύο (2) συσκευές. Στο παρόν στάδιο ο μηχανισμός κατέληξε στο συμπέρασμα πως η συσκευή Γ είχε εν μέρει το ίδιο API με τη συσκευή A και εν μέρει το ίδιο API με τη συσκευή B, δεδομένου πως η συσκευή Γ είχε ορισμένες προδιαγραφές από κοινού με τις άλλες (2) συσκευές. Πιο συγκεκριμένα, έστω ότι η συσκευή A είχε ένα `API_A` που περιείχε μια μέθοδο που ονομαζόταν `getSource()` για να βρίσκει τον τύπο της συσκευής, και μια μέθοδο που ονομαζόταν `getData()` για να συλλέγει τα δεδομένα της συσκευής, η συσκευή B είχε ένα `API_B` που περιείχε μια μέθοδο που ονομαζόταν `getSourceType()` για την εύρεση του τύπου της συσκευής, και μια μέθοδο που ονομαζόταν `getDataInfo()` για τη συλλογή των δεδομένων της συσκευής, των οποίων οι λειτουργίες ήταν γνωστές εκ των προτέρων. Αντίθετα, η συσκευή Γ είχε ένα `API_Γ` που περιείχε μια μέθοδο που ονομαζόταν `getMySource()` και μια μέθοδο που ονομαζόταν `getMyData()`, των οποίων οι σημασίες και λειτουργίες ήταν άγνωστες. Με την απεικόνιση όλων των API των συσκευών στις γενικές οντολογίες, και τη σύγκρισή τους θεωρώντας ότι η συσκευή Γ είχε εν μέρει τις ίδιες προδιαγραφές με τη συσκευή A και εν μέρει τις ίδιες προδιαγραφές με τη συσκευή B, ο μηχανισμός κατέληξε στο συμπέρασμα πως είχαν μερικό κοινό μέρος με τα API τους, ενώ μερικές από τις μεθόδους τους είχαν ίδιες λειτουργίες. Επομένως, ο μηχανισμός συμπέρανε ότι η μέθοδος `getMySource()` της συσκευής Γ χρησιμοποιούνταν για την εύρεση του τύπου της συσκευής (σύμφωνα με τη μέθοδο `getSource()` του `API_A`), ενώ η μέθοδος `getMyData()` της συσκευής Γ χρησιμοποιούνταν για τη συλλογή των δεδομένων της συσκευής (σύμφωνα με τη μέθοδο `getDataInfo()` του `API_B`).

Αυτή η διαδικασία επαναλήφθηκε για όλες τις υπάρχουσες μεθόδους των API των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών, έχοντας ως αποτέλεσμα την αναγνώριση όλων των μεθόδων των συσκευών αυτών, αναγνωρίζοντας εν τέλει εκείνες που απαιτούνταν για την ανάκτηση των δεδομένων από τις αντίστοιχες συσκευές. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως όλες οι οντολογίες δημιουργήθηκαν μέσω της OWL, που είναι η τρέχουσα σύσταση του W3C για την ανταλλαγή σημασιολογικού περιεχομένου στο Web, ενώ η ανάπτυξη και η συντήρησή τους πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας το Protégé εργαλείο [437]. Ωστόσο, όλα τα προαναφερθέντα βήματα πραγματοποιήθηκαν ως προκαταρκτικά βήματα για το υλοποιημένο ενιαίο API, το οποίο κατασκευάστηκε για τη συλλογή των δεδομένων από τα API των υφιστάμενων συσκευών, μετατρέποντας όλες τις αναγνωρισμένες μεθόδους των API σε μια κοινή μορφή (π.χ. όλες οι μέθοδοι όλων των συσκευών για την απόκτηση δεδομένων θα ονομάζονταν `getDeviceData()`). Λεπτομερέστερα, η υλοποίηση του ενιαίου API επιτεύχθηκε χρησιμοποιώντας το Studio Restlet [438] που περιγράφει τα API με ένα σύνολο οπτικών εργαλείων και δημιουργεί αυτόματα κώδικα Java σκελετού για αυτές, ενώ η δοκιμή του πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το Runscope [439]. Έτσι, μετά την ολοκλήρωση της αντιστοίχισης, βάσει του υλοποιημένου ενιαίου API, πραγματοποιήθηκε η συλλογή των δεδομένων από όλες τις συνδεδεμένες (αναγνωρισμένες πλέον) συσκευές, όπου τα δεδομένα κάθε συσκευής αποθηκεύτηκαν στα αντίστοιχα αρχεία κειμένων.

Όλη η προαναφερθείσα διαδικασία της προτεινόμενης προσέγγισης μελέτησε το δύσκολο θέμα της συλλογής δεδομένων από ετερογενείς συσκευές για τα περιβάλλοντα του IoT. Ειδικότερα, η εν λόγω προσέγγιση θεώρησε ότι τα δεδομένα μπορεί να προέρχονται τόσο από γνωστές όσο και από άγνωστες συσκευές, προτείνοντας ένα μηχανισμό για την εύκολη και ταχεία ενσωμάτωση των ετερογενών αυτών συσκευών στις αντίστοιχες IoT πλατφόρμες που επιθυμούν να συλλέγουν και να αξιοποιούν τα δεδομένα τους. Στο μηχανισμό αυτό, αρχικά εφαρμόστηκε μία τεχνική εύρεσης για τον εντοπισμό και τη σύνδεση όλων των διαθέσιμων IoT συσκευών που ήθελαν να συνδεθούν στο μηχανισμό. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκε μία τεχνική ταξινόμησης για την εύρεση του τύπου των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών, μέσω της ταξινόμησης των διαφόρων συνδεδεμένων και κάποιων προϋπαρχουσών συσκευών με βάση τις προδιαγραφές τους. Εν συνεχεία ακολούθησε μία τεχνική αντιστοίχισης. Η τελευταία χρησιμοποιούσε τόσο τα αποτελέσματα της εύρεσης όσο και της ταξινόμησης, προκειμένου να κατασκευάσει τις γενικές οντολογίες των API μεθόδων των γνωστών και των άγνωστων συσκευών του ίδιου τύπου, να συγκρίνει συντακτικά τις ονομασίες των API μεθόδων τους, να αντιστοιχίσει τις API μεθόδους των γνωστών συσκευών με εκείνες των άγνωστων συσκευών, και εν τέλει να ξεχωρίσει

τις μεθόδους που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων των άγνωστων αυτών συσκευών. Τέλος, όλες αυτές οι πληροφορίες χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδος για το υλοποιημένο ενιαίο API, το οποίο κατασκευάστηκε για τη συλλογή των δεδομένων από τα API των υφιστάμενων συσκευών, μετατρέποντας όλες τις αναγνωρισμένες API μεθόδους των συσκευών σε μια κοινή μορφή. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί πως η τρέχουσα εκδοχή της προσέγγισης δεν αξιολογήθηκε ολοκληρωτικά στην πράξη, παρά μόνο αποσπασματικά, καθώς παρατηρήθηκε ότι περιείχε διάφορα κενά που έπρεπε πρώτα να αντιμετωπιστούν ώστε να λειτουργήσει ενοποιημένα, ομαλά και σωστά η όλη διαδικασία του προτεινόμενου μηχανισμού. Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκε η επόμενη έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης, μεριμνώντας για την αντιμετώπιση όλων των προβλημάτων που είχαν προκύψει στην πρώτη έκδοση της προσέγγισης.

3.1.2 2^ο Ορόσημο Προσέγγισης

Δεδομένου πως η προσέγγιση της Ενότητας 3.1.1 ήταν η αρχική έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης, περιείχε διάφορα κενά που είτε δεν είχαν αντιμετωπιστεί σωστά είτε δεν εξετάστηκαν καθόλου. Για το λόγο αυτό, υλοποιήθηκε η δεύτερη έκδοση της προσέγγισης. Ειδικότερα, στη συγκεκριμένη έκδοση πραγματοποιήθηκαν διάφορες βελτιώσεις σε σχέση με όλα τα ξεχωριστά στάδια της αρχικής έκδοσης της προτεινόμενης προσέγγισης, εφαρμόζοντας κάποιες μικρές ή μείζονες αλλαγές όσον αφορά τη λειτουργικότητά τους.

Εύρεση και Σύνδεση Συσκευών: Στο στάδιο της Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών του μηχανισμού, ο μηχανισμός παραμετροποιήθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ικανός να συλλέγει πρόσθετες προδιαγραφές των συνδεδεμένων συσκευών, ενώ μετά από μία σε βάθος έρευνα που διεξήχθη για τη συλλογή των API των συσκευών, αποκαλύφθηκε πως υπάρχουν τόσο ιδιωτικά όσο και ανοικτά API για να παρέχεται πρόσβαση στις εκάστοτε συσκευές [440]. Ωστόσο, ο μηχανισμός είχε κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να ήταν σε θέση να συνδέεται μόνο με συσκευές που είχαν ανοικτά API για να παρέχεται περαιτέρω πρόσβαση στις μεθόδους τους, καθώς οι ιδιωτικές δεν προσέφεραν δημόσιες πληροφορίες για τις μεθόδους αυτές. Εκτός από αυτό, στο ίδιο στάδιο, δεδομένου ότι ο μηχανισμός ήταν σε θέση να ανακτήσει μόνο δεδομένα από συσκευές με ανοικτά API, αυτά μπορούσαν να ανακτηθούν μόνο από το διαδικτυακό (online) εγχειρίδιο χρήσης (documentation) των API του αντίστοιχου κατασκευαστή συσκευών. Αυτό που αξίζει να αναφερθεί σε αυτό το στάδιο του μηχανισμού είναι, πως στην πρώτη έκδοσή του δεν είχε διευκρινιστεί ο τρόπος ταξινόμησης των συσκευών σε γνωστές ή άγνωστες συσκευές, καθώς η φύση των συσκευών (δηλαδή γνωστές ή άγνωστες συσκευές) θεωρούνταν ως δεδομένος από την αρχή του μηχανισμού. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το κενό, σε αυτή την έκδοση της προσέγγισης όλες οι επιλεγμένες πληροφορίες (δηλαδή οι προδιαγραφές) των συνδεδεμένων συσκευών συγκρίνονταν αυτόματα με τις αντίστοιχες πληροφορίες που υπήρχαν ήδη σε μία ΒΔ που περιείχε προδιαγραφές συσκευών που ήταν ήδη γνωστές στο μηχανισμό. Με αυτόν τον τρόπο, ο μηχανισμός μπορούσε να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι μία συσκευή ήταν άγνωστου τύπου αν δεν βρισκόταν σε αυτή τη ΒΔ, ενώ κατέληγε στο συμπέρασμα ότι μία συσκευή ήταν γνωστού τύπου αν βρισκόταν σε αυτή τη ΒΔ. Στα πλαίσια αυτής της αλλαγής, πραγματοποιήθηκε και μία επιπλέον σχετική παραμετροποίηση από την πρώτη έκδοση στη δεύτερη έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης. Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σε αυτό το στάδιο όλες οι πληροφορίες των συσκευών αποθηκεύονταν σε μία ΒΔ αντί για αρχεία κειμένων. Επομένως, αυτό που άλλαξε μεταξύ των δύο (2) εκδόσεων είναι το

γεγονός ότι όλες οι πληροφορίες που συγκεντρώνονταν από τις γνωστές συσκευές αποθηκεύονταν σε μία ΒΔ γνωστών συσκευών, ενώ όλες οι πληροφορίες των άγνωστων συσκευών αποθηκεύονταν σε μία ΒΔ άγνωστων συσκευών, δίνοντας έτσι μία πιο δομημένη δομή στα δεδομένα και στις πληροφορίες που συλλέγονταν.

Αναγνώριση Τύπου Συσκευών: Όσον αφορά το στάδιο της Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών του μηχανισμού, προκειμένου να βελτιωθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του, προστέθηκε ένα ακόμη βήμα πριν από την ταξινόμηση των προδιαγραφών αυτού του σταδίου, έτσι ώστε όχι μόνο να ταξινομούνται οι προδιαγραφές των συσκευών, αλλά και να καταγράφονται οι συντακτικές ομοιότητες που έχουν μεταξύ τους. Έτσι, αυτό το στάδιο στη δεύτερη έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης αποτελούνταν από δύο (2) επιμέρους στάδια, την Ταξινόμηση Προδιαγραφών και την Εκτίμηση Συντακτικής Ομοιότητας. Με αυτόν τον τρόπο, ο συνδυασμός των αντίστοιχων αποτελεσμάτων τόσο της συντακτικής ομοιότητας των προδιαγραφών όσο και της ταξινόμησης των προδιαγραφών αυτών, θα οδηγούσε σε πιο αξιόπιστα και ακριβή αποτελέσματα όσον αφορά τον αναγνωρισμένο τύπο της συσκευής των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών.

Συλλογή Δεδομένων Συσκευών: Σχετικά με το στάδιο της Συλλογής Δεδομένων Συσκευών του μηχανισμού, εφαρμόστηκαν κάποιες μικρές αλλαγές όσον αφορά την αντιστοίχιση των οντολογιών των μεθόδων, καθώς και τη δημιουργία του ενιαίου API που ήταν υπεύθυνο για την τελική συλλογή των δεδομένων των συσκευών. Αναλυτικότερα, όσον αφορά την αντιστοίχιση των οντολογιών των API μεθόδων των γνωστών και των άγνωστων συσκευών, αυτή δεν πραγματοποιούνταν βάσει της συντακτικής ομοιότητας των ονομασιών των μεθόδων, αλλά βάσει της σημασιολογικής ομοιότητάς τους, καθώς κατά την αρχική προσέγγιση παρατηρήθηκε πως πολλές φορές η συντακτική σύγκριση αυτών δεν οδηγούσε σε κάποιο επαρκές αποτέλεσμα, καθιστώντας μη εφικτή την αναγνώριση των API μεθόδων των άγνωστων συσκευών. Εκτός από αυτό, πραγματοποιήθηκαν σχετικές αλλαγές στο κομμάτι της δημιουργίας του ενιαίου API. Έπειτα από μια λεπτομερέστερη έρευνα που πραγματοποιήθηκε για τις API μεθόδους των συσκευών, παρατηρήθηκε πως αυτές οι μέθοδοι ήταν συνήθως γραμμένες σε διαφορετικές γλώσσες προγραμματισμού, καθιστώντας έτσι μη εφικτή τη μετάφραση του περιεχομένου τους σε μια κοινή μορφή, όπως είχε προταθεί στην πρώτη έκδοση της προσέγγισης. Για το λόγο αυτό, η τρέχουσα έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης κατασκεύασε ένα ενιαίο δυναμικό API που περιείχε όλες τις λειτουργίες των μεθόδων που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων των διαφορετικών συσκευών, ομαδοποιώντας τες με βάση τους κατασκευαστές τους. Σαν αποτέλεσμα αυτού, το υλοποιημένο ενιαίο δυναμικό

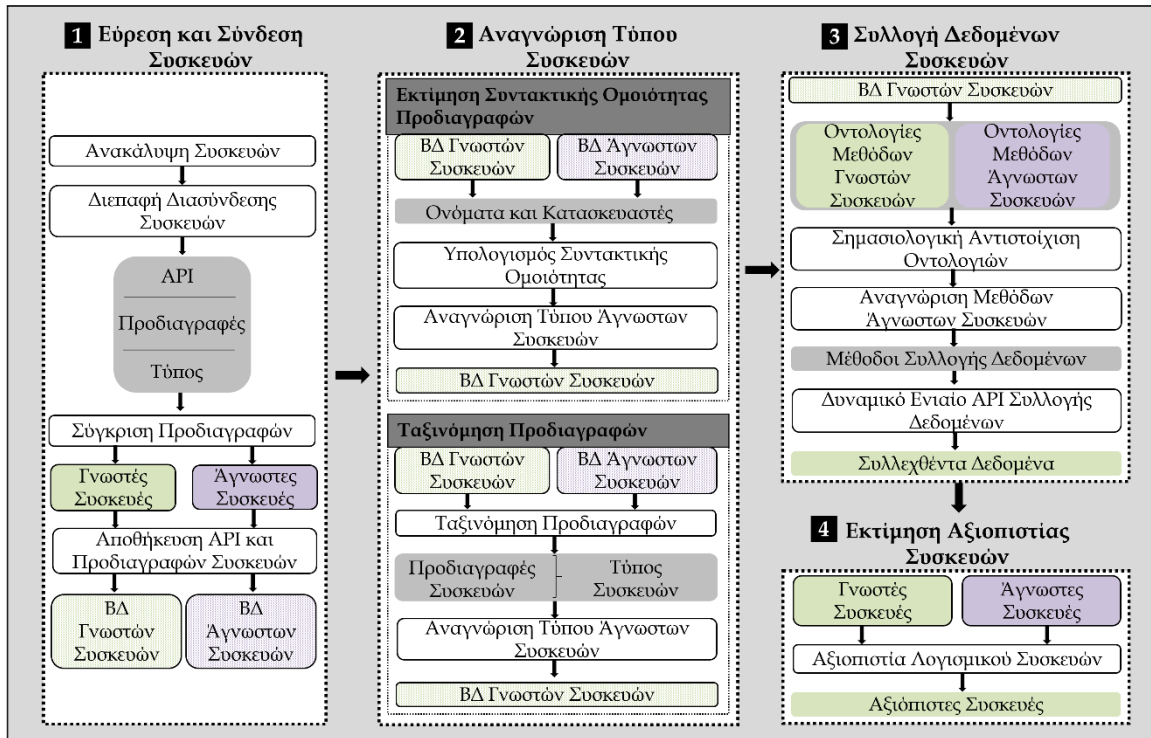
API περιείχε επιμέρους API που αντιστοιχούσαν στους διαφορετικούς κατασκευαστές όπου ανήκαν οι συνδεδεμένες συσκευές. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί πως μετά από κάθε επανάληψη του μηχανισμού αυτού του σταδίου, προκειμένου να αναγνωρίζονταν μία προς μία οι μέθοδοι των άγνωστων συσκευών, το ενιαίο δυναμικό API ενημερωνόταν δυναμικά με βάση τους πηγαίους κώδικες όλων των υπάρχουσών μεθόδων συλλογής δεδομένων, καλύπτοντας έτσι ένα ευρύτερο φάσμα μεθόδων και συσκευών. Επιπλέον, στο ίδιο στάδιο, παρατηρήθηκε ότι σε πολλές περιπτώσεις τα τελικά αποτελέσματα (δηλαδή η ταυτοποίηση των μεθόδων συλλογής δεδομένων) δεν ήταν πάντα όπως αναμένονταν - όσον αφορά την αδυναμία ανάκτησης των δεδομένων (βάσει των αναγνωρισμένων μεθόδων) είτε από όλες τις συσκευές είτε από έναν συγκεκριμένο αριθμό αυτών των συσκευών είτε ακόμα και από καμία από αυτές. Για το λόγο αυτό, προστέθηκε ένας βρόγχος επανάληψης για να επιστρέφει τη διαδικασία του μηχανισμού στο στάδιο της Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών, όπου καθοριζόταν το κατώτατο όριο του 90% - ένα πολύ υψηλό όριο, ώστε να εξασφαλίζεται πως ο προβλεπόμενος τύπος των άγνωστων συσκευών θα είναι πάντα σωστός. Στις περιπτώσεις που το όριο αυτό δεν ξεπερνούσαν κατά τη διάρκεια του βρόγχου επανάληψης, ο μηχανισμός λάμβανε υπόψη του έναν μεγαλύτερο αριθμό γνωστών συσκευών έτσι ώστε να βοηθάει την ολική διαδικασία της αναγνώρισης του τύπου συσκευής των άγνωστων συσκευών. Από την άλλη πλευρά, στις περιπτώσεις υπέρβασης του προκαθορισμένου ορίου, τα αποτελέσματα θεωρούνταν ως υψηλής ακρίβειας, επιβεβαιώνοντας την επιτυχή ολοκλήρωση της διαδικασίας της αναγνώρισης του τύπου συσκευής των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών. Επομένως, με αυτόν τον τρόπο κατέστη εφικτό να αντιμετωπιστούν πιθανά μη αποτελεσματικά και ορθά αποτελέσματα που μπορεί να συνέβησαν κατά την αρχική αναγνώριση των συσκευών, και σαν αποτέλεσμα αυτού να οδηγήσαν στην εσφαλμένη αντιστοίχιση των μεθόδων τους.

Τέλος, ένα από τα πιο αξιοσημείωτα κενά που υπήρχαν στην πρώτη έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης ήταν το γεγονός ότι ο μηχανισμός συγκέντρωνε δεδομένα από όλες τις συνδεδεμένες συσκευές, χωρίς να εξετάζει εάν αυτές οι συσκευές είχαν υψηλή αξιοπιστία ή όχι, παράγοντας έτσι εξαιρετικά αξιόπιστα δεδομένα, τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω χρήση από τις αντίστοιχες πλατφόρμες που ήθελαν να τα χρησιμοποιήσουν. Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 2.4, η εκτίμηση της αξιοπιστίας των συσκευών αποτελεί αντικείμενο πολλών θεωρητικών και πειραματικών ερευνών, ειδικά στον κόσμο του IoT που αποτελείται από χιλιάδες ετερογενείς συσκευές διαφορετικών βαθμίδων αξιοπιστίας. Ως εκ τούτου, η πρόκληση που αναδύεται και καλέστηκε να αντιμετωπίσει η εν λόγω προσέγγιση ήταν η δυσκολία να αποφασίζεται εάν όλες αυτές οι συσκευές θα μπορούσαν να θεωρηθούν αξιόπιστες ή όχι, όταν

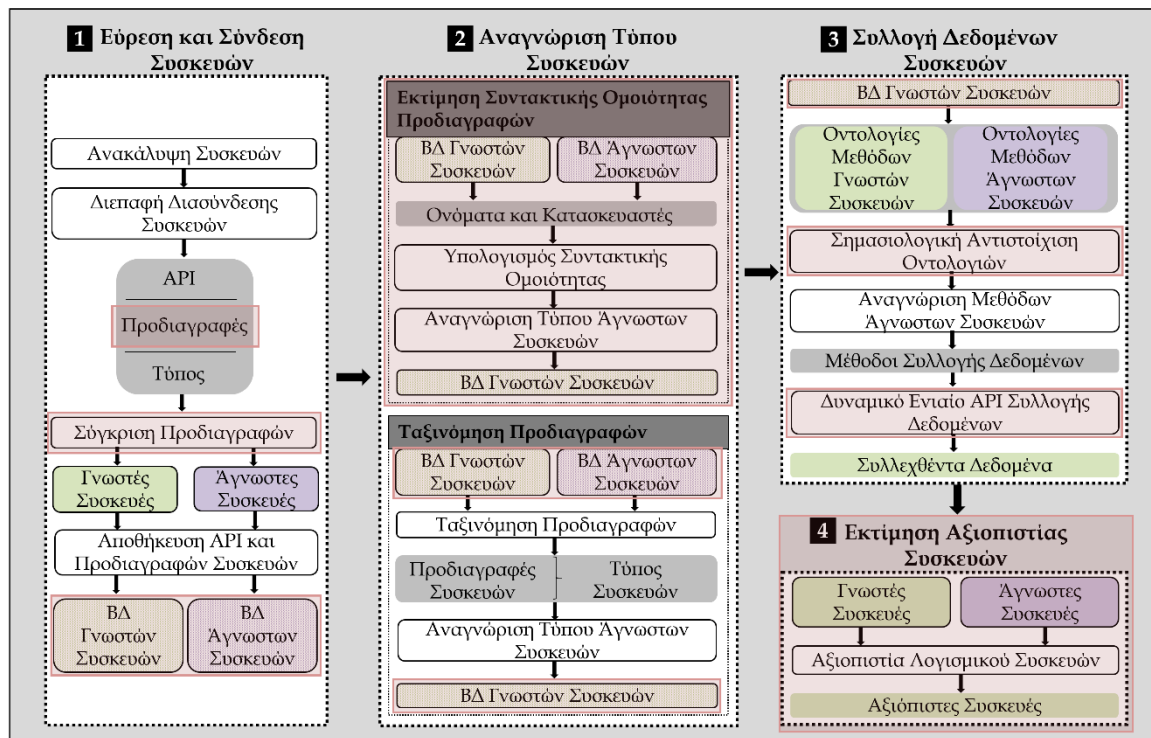
συμπεριλαμβάνονταν σε μεγαλύτερες πλατφόρμες/συστήματα. Ως αποτέλεσμα, η δεύτερη έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης ανανεώθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να αντιμετωπίσει ακριβώς αυτήν την πρόκληση, επεκτείνοντας τον προτεινόμενο μηχανισμό προκειμένου όχι μόνο να είναι σε θέση να συνδέει και να ενσωματώνει διαφορετικές συσκευές έτσι ώστε να συλλέγονται τα δεδομένα τους, αλλά και να είναι σε θέση να υπολογίζει τα επίπεδα αξιοπιστίας των συσκευών αυτών. Για το σκοπό αυτό, ένα επιπλέον στάδιο προστέθηκε στο συνολικό μηχανισμό, δηλαδή το στάδιο της Εκτίμησης Αξιοπιστίας Συσκευών.

Κατά συνέπεια, η δεύτερη έκδοση της προσέγγισης που προτάθηκε στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή προσπάθησε να αντιμετωπίσει όλα τα προαναφερθέντα κενά. Αναλυτικότερα, σε αυτήν την προσέγγιση προτάθηκε ένας διαλειτουργικός μηχανισμός ενσωμάτωσης συσκευών για την αυτόματη, εύκολη και γρήγορη σύνδεση και αναγνώριση ετερογενών συσκευών γνωστού και άγνωστου τύπου, την ενσωμάτωσή τους, και τον υπολογισμό των επιπέδων αξιοπιστίας τους, προκειμένου να συγκεντρωθούν τελικά τα δεδομένα μόνο από τις αξιόπιστες συσκευές. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η έκδοση της προσέγγισης συνίστατο σε τέσσερα (4) ξεχωριστά στάδια. Στο πρώτο στάδιο, πραγματοποιήθηκε η εύρεση καθώς και η σύνδεση των διαθέσιμων ετερογενών τόσο γνωστών όσο και άγνωστων (από άποψη γνωστού και άγνωστου τύπου) συσκευών, ακολουθούμενη από τη συλλογή των προδιαγραφών και των API τους. Ακολούθως, έχοντας αποκτήσει αυτές τις πληροφορίες, πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση της συντακτικής ομοιότητας που υπήρχε μεταξύ των προδιαγραφών των διαφόρων προϋπαρχουσών γνωστών συσκευών και των προδιαγραφών των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών, έτσι ώστε να ταξινομηθούν οι συνδεδεμένες άγνωστες συσκευές στον τύπο συσκευής των γνωστών συσκευών, ανάλογα με τη συντακτική ομοιότητα που θα είχαν μεταξύ τους οι προδιαγραφές τους. Ωστόσο, ενδέχεται να υπήρχαν περιπτώσεις όπου οι συνδεδεμένες άγνωστες συσκευές δεν αντιστοιχίζονταν με καμία από τις προϋπάρχουσες γνωστές συσκευές. Αυτή η πιθανότητα οδήγησε στην εκτέλεση του δεύτερου σταδίου του μηχανισμού, όπου αρχικά καταγράφηκε η συντακτική ομοιότητα των προδιαγραφών των γνωστών και των άγνωστων συσκευών, και εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση των προδιαγραφών των άγνωστων συσκευών, ώστε εν τέλει να ταξινομηθούν όλες οι συνδεδεμένες άγνωστες συσκευές με τις προϋπάρχουσες γνωστές συσκευές με βάση τις ταξινομημένες προδιαγραφές τους και τις συντακτικές ομοιοτήτες τους. Από τη στιγμή που ολοκληρώθηκε με επιτυχία ο προσδιορισμός του τύπου των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών, ακολούθησε το τρίτο στάδιο του μηχανισμού, προκειμένου να αναγνωριστεί η σημασία και η λειτουργικότητα των API μεθόδων των συνδεδεμένων άγνωστων (αναγνωρισμένων πλέον) συσκευών που ήταν ακόμα άγνωστες, να βρεθούν οι μέθοδοι που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των

δεδομένων των συσκευών, και εν τέλει να συλλεχθούν τα δεδομένα τους. Έτσι, σε αυτό το στάδιο ο μηχανισμός ήταν σε θέση να κατανοήσει τη φύση και τη σημασία των διαφορετικών API μεθόδων που χρησιμοποιούνταν από τις συνδεδεμένες άγνωστες συσκευές προκειμένου να συλλέγουν τα δεδομένα τους. Για να επιτευχθεί αυτό, κατασκευάστηκαν οι γενικές οντολογίες των API μεθόδων από τις συνδεδεμένες και τις προϋπάρχουσες συσκευές, των οποίων οι ονομασίες συγκρίθηκαν σημασιολογικά μεταξύ τους έτσι ώστε να αναγνωριστεί τελικά η σημασία και η λειτουργικότητα των API μεθόδων των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών, και να χρησιμοποιηθούν εκείνες που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων τους. Μόλις ολοκληρώθηκε αυτή η διαδικασία, ο μηχανισμός χρησιμοποίησε όλες τις API μεθόδους που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων των συσκευών και τις ενσωμάτωσε σε ένα ενιαίο δυναμικό API που ήταν ικανό να συγκεντρώσει τα δεδομένα από όλες τις συσκευές τόσο γνωστού όσο και άγνωστου τύπου. Ωστόσο, δεν ήταν ορθό να διατηρηθούν όλα αυτά τα δεδομένα για περαιτέρω αξιοποίηση από τις εκάστοτε IoT πλατφόρμες που τα χρειαζόντουσαν, δεδομένου ότι οι συσκευές που παρήγαγαν τα δεδομένα αυτά μπορεί να ήταν αναξιόπιστες, παράγοντας έτσι αναξιόπιστα δεδομένα. Για το λόγο αυτό, υλοποιήθηκε το τέταρτο και τελικό στάδιο του μηχανισμού, προκειμένου να καταγράψει τα επίπεδα αξιοπιστίας των συνδεδεμένων συσκευών, και τελικά να διατηρήσει μόνο τα αξιόπιστα δεδομένα. Προκειμένου να εκτελέσει επιτυχώς όλη την προαναφερθείσα διαδικασία, ο προτεινόμενος μηχανισμός χρειάστηκε να έχει προηγούμενη γνώση σχετικά με τις συνδεδεμένες συσκευές, αναφορικά με (i) τα API τους, και (ii) τις προδιαγραφές που περιείχαν την ίδια σημασιολογία όσον αφορά τις περιγραφές των προδιαγραφών και τις μονάδες μέτρησής τους. Επιπλέον, όπως και στην πρώτη έκδοση της προσέγγισης, η σύνδεση του δικτύου μεταξύ των συσκευών και του μηχανισμού θεωρήθηκε ότι δεν ενέπιπτε στο πεδίο εφαρμογής της προτεινόμενης προσέγγισης. Έτσι λοιπόν, και για αυτήν την περίπτωση, υποτέθηκε ότι όλες οι διαθέσιμες συσκευές μπορούσαν να επικοινωνήσουν με το μηχανισμό μέσω όλων των πιθανών πρωτοκόλλων επικοινωνίας (π.χ. WiFi, Bluetooth Classic, BLE, NFC, κλπ.). Με βάση τις προαναφερθείσες αλλαγές, η δεύτερη ανανεωμένη έκδοση της αρχιτεκτονικής του μηχανισμού απεικονίζεται στην Εικόνα 13, και αποτελείται από τα τέσσερα (4) στάδια της: (i) Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών, (ii) Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών, (iii) Συλλογής Δεδομένων Συσκευών, (iv) Εκτίμησης Αξιοπιστίας Συσκευών. Αντιστοίχως, η Εικόνα 14 απεικονίζει την ίδια αρχιτεκτονική, αλλά διαχωρίζει όλες τις αλλαγές που έχουν πραγματοποιηθεί σε σχέση με την προηγούμενη έκδοση της αρχιτεκτονικής (ροζ πλαίσια).



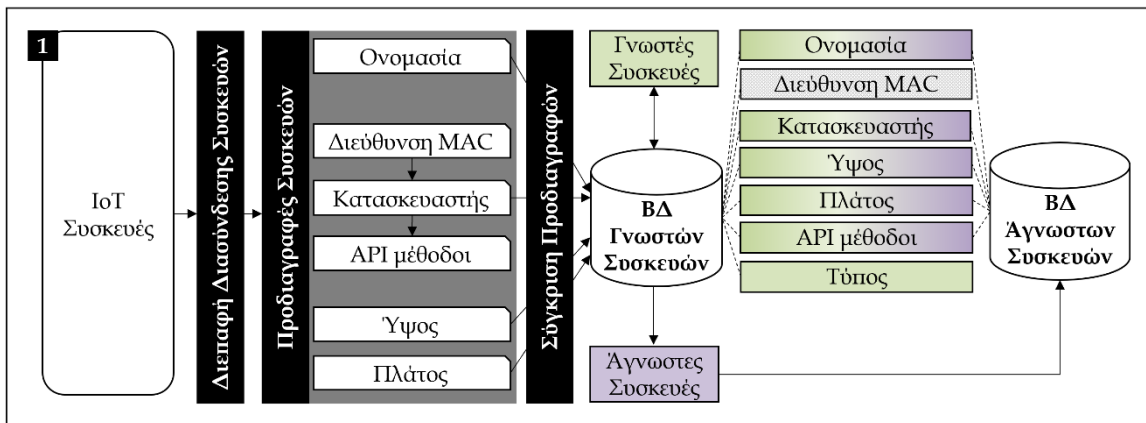
Εικόνα 13. Αρχιτεκτονική 2^ο ορόσημου προτεινόμενης προσέγγισης



Εικόνα 14. Αλλαγές μεταξύ αρχιτεκτονικών 1^ο και 2^ο ορόσημου προτεινόμενης προσέγγισης

3.1.2.1 Τεχνική Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών

Όπως και στην προηγούμενη έκδοση του προτεινόμενου μηχανισμού, στο πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε η αναγνώριση των διαθέσιμων ετερογενών συσκευών, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 15. Για το σκοπό αυτό, αρχικά σε αυτό το στάδιο εντοπίστηκαν οι διάφορες διαθέσιμες συσκευές. Στη συνέχεια, αυτές οι συσκευές συνδέθηκαν μέσω της δικτυακής διεπαφής που παρέχονταν από το υπάρχον επίπεδο δικτύου του μηχανισμού. Το επίπεδο δικτύου ήταν εκτός πεδίου της παρούσας έρευνας και θεωρήθηκε ότι παρείχε μια γενική διασύνδεση με τις διάφορες υφιστάμενες συσκευές, η οποία ήταν υπεύθυνη για τη συλλογή γενικών πληροφοριών σχετικά με τις προδιαγραφές και τα API των συσκευών αυτών, ενώ παρείχε τη δυνατότητα σύνδεσης μόνο σε συσκευές που διέθεταν ανοικτά API για να παρέχουν πρόσβαση στις μεθόδους τους.



Εικόνα 15. Διαδικασία εύρεσης και σύνδεσης συσκευών 2^ο ορόσημο

Ειδικότερα, μέσω αυτού του σταδίου, ο μηχανισμός μπορούσε να συγκεντρώσει πληροφορίες σχετικά με (i) τα ονόματα και (ii) τις διευθύνσεις MAC των συνδεδεμένων συσκευών. Οι διευθύνσεις MAC κάθε συσκευής στην ουσία αποτελούσαν ένα μοναδικό αναγνωριστικό των συσκευών αυτών, αποκαλύπτοντας το μοναδικό OUI αναγνωριστικό τους που επιτρέπει τη συσχέτιση των διευθύνσεων MAC με τον αντίστοιχο κατασκευαστή τους. Αυτό το OUI μπορούσε να βρεθεί αυτόματα μέσω του μηχανισμού από τις πρώτες τρεις (3) οκτάδες κάθε διεύθυνσης MAC, το οποίο στη συνέχεια δινόταν ως εισόδος στο MAC Vendors API [441], μέσω του οποίου καθίστατο εφικτό να βρεθεί ο αντίστοιχος κατασκευαστής κάθε διαφορετικού OUI των διαφορετικών διευθύνσεων MAC. Ωστόσο, αυτές οι πληροφορίες θεωρούνταν ανεπαρκείς για το μηχανισμό, καθώς αποκάλυπταν μόνο το όνομα του κατασκευαστή, ενώ μερικές φορές κανένας κατασκευαστής δεν συσχετιζόταν με τη ληφθείσα διεύθυνση MAC. Επιπλέον, ενδέχεται να υπήρχαν κάποιες άλλες περιπτώσεις που ένας

κατασκευαστής μπορεί να παρήγαγε πολλές διαφορετικές συσκευές που είχαν το ίδιο ΟΥΙ, εμποδίζοντας έτσι τη χρήση αυτής της προδιαγραφής για την μετέπειτα αναγνώριση του τύπου των συσκευών. Για το λόγο αυτό, εκτός από το όνομα του κατασκευαστή και το όνομα κάθε συσκευής, ο μηχανισμός συγκέντρωνε πληροφορίες σχετικά με τις διαστάσεις κάθε συσκευής (δηλαδή το ύψος και το πλάτος), έτσι ώστε αυτές να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να συνδυαστούν με τον κατασκευαστή και το όνομα των αντίστοιχων συσκευών στα επόμενα βήματα του μηχανισμού.

Σε συνέχεια της σύνδεσης των διαθέσιμων συσκευών και της συλλογής των απαιτούμενων προδιαγραφών τους (δηλαδή όνομα, κατασκευαστής, ύψος και πλάτος), οι προδιαγραφές αυτές συγκρίνονταν αυτόματα με τις αντίστοιχες προδιαγραφές (δηλαδή όνομα, κατασκευαστή, ύψος και πλάτος) των συσκευών που υπήρχαν ήδη σε μία δημιουργημένη ΒΔ που περιείχε γνωστές συσκευές (ΒΔ γνωστών συσκευών). Με αυτόν τον τρόπο, ο μηχανισμός ήταν σε θέση να διαπιστώσει εάν οι συνδεδεμένες συσκευές υπήρχαν ήδη σε αυτή τη ΒΔ ή όχι, και σαν αποτέλεσμα αυτού θα χαρακτηρίζονταν ως γνωστές ή άγνωστες αντιστοίχως. Ειδικότερα, στην περίπτωση που οι προδιαγραφές των συνδεδεμένων συσκευών ταίριαζαν ακριβώς με τις προδιαγραφές κάποιας συσκευής της ΒΔ γνωστών συσκευών, τότε οι συνδεδεμένες συσκευές θεωρούνταν αυτόματα ως γνωστές (δηλαδή συσκευές γνωστού τύπου). Από την άλλη πλευρά, αν η σύγκριση κατέληγε πως δεν υπήρχε ομοιότητα ή υπήρχε μερική ομοιότητα μεταξύ των προδιαγραφών των συνδεδεμένων συσκευών και των προδιαγραφών των συσκευών της ΒΔ γνωστών συσκευών, τότε οι συνδεδεμένες συσκευές θεωρούνταν άγνωστες (δηλαδή συσκευές άγνωστου τύπου). Επομένως, με αυτόν τον τρόπο όλες οι συνδεδεμένες συσκευές χαρακτηρίζονταν τελικά ως γνωστού ή άγνωστου τύπου συσκευών. Ως αποτέλεσμα αυτού, μετά την καταγραφή των προδιαγραφών των διαφόρων συσκευών και την κατηγοριοποίησή τους, πραγματοποιούνταν η αποθήκευση των πληροφοριών τους. Έτσι, οι προδιαγραφές των άγνωστων συσκευών αποθηκεύονταν σε μία νέα ΒΔ, τη ΒΔ άγνωστων συσκευών, ενώ οι προδιαγραφές των γνωστών συσκευών δεν χρειαζόταν να αποθηκευτούν, δεδομένου ότι υπήρχαν ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών.

Ωστόσο, εκτός από αυτές τις πληροφορίες, ο μηχανισμός χρειαζόταν γνώση σχετικά με τα API των συσκευών. Επομένως, δεδομένου ότι ο μηχανισμός είχε γνώση για όλους τους κατασκευαστές των συσκευών και της φύσης των συσκευών αυτών (δηλαδή είτε γνωστές είτε άγνωστες συσκευές), σε αυτό το στάδιο ήταν σε θέση να ανακτήσει από τον ιστότοπο κάθε κατασκευαστή τα αντίστοιχα διαδικτυακά εγχειρίδια χρήσης των API που περιείχαν πληροφορίες για τα προσφερόμενα API τους. Ως αποτέλεσμα, ο μηχανισμός μπορούσε να

συγκεντρώσει πληροφορίες σχετικά με (i) τις ονομασίες των ενιαίων εντοπιστών πόρων (Uniform Resource Locator, URL) των API, παρέχοντας έτσι πρόσβαση στις διαφορετικές μεθόδους που συμπεριλαμβάνονταν στα API και χρησιμοποιούνταν για την εκτέλεση των διαφορετικών ενεργειών τους, και (ii) τις περιγραφές των μεθόδων των API. Ωστόσο, για το σκοπό αυτό, πρέπει να σημειωθεί πως, δεδομένου ότι ένας κατασκευαστής μπορεί να παρήγαγε περισσότερους από έναν διαφορετικούς τύπους συσκευών, το διαδικτυακό εγχειρίδιο χρήσης των API του θα περιείχε πληροφορίες των API σχετικά με όλους τους διαφορετικούς τύπους των συσκευών. Έτσι λοιπόν, για τις προϋπάρχουσες γνωστές συσκευές ο μηχανισμός είχε αποθηκευμένες στη ΒΔ γνωστών συσκευών, για κάθε διαφορετική γνωστή συσκευή, τις αντίστοιχες API μεθόδους για το συγκεκριμένο τύπο συσκευής. Αντίθετα, για τις άγνωστες συσκευές, ο μηχανισμός αποθήκευε στη ΒΔ άγνωστων συσκευών, για κάθε διαφορετική άγνωστη συσκευή, όλες τις πληροφορίες των μεθόδων του API, καθώς ο τύπος των συσκευών δεν ήταν ακόμη γνωστός ώστε να αποθηκεύονται μόνο οι αντίστοιχες μέθοδοι.

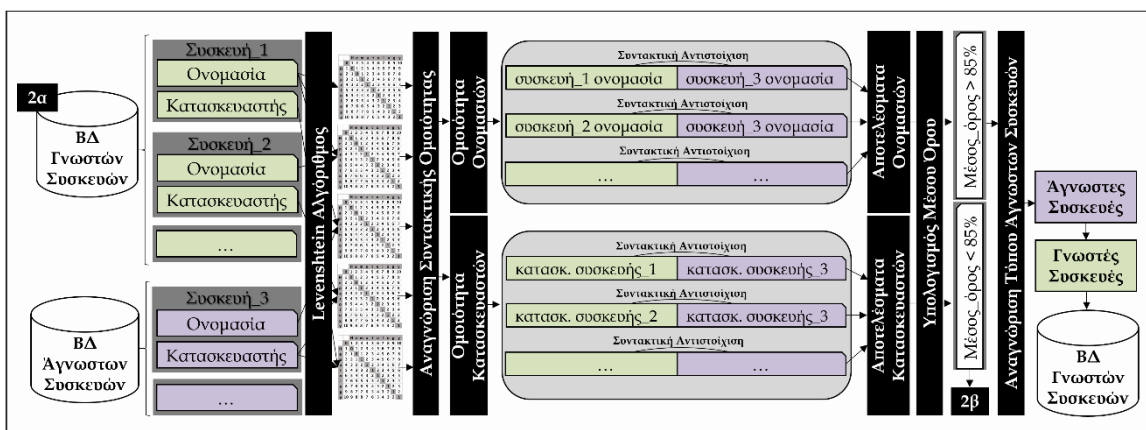
Συνεπώς, βάσει των προαναφερθέντων, η ΒΔ άγνωστων συσκευών αποτελούταν από τα πεδία του ονόματος, του κατασκευαστή, του ύψους, του πλάτους και των πληροφοριών του API κάθε άγνωστης συσκευής, ενώ η ΒΔ γνωστών συσκευών αποτελούταν από τα πεδία του ονόματος, της διεύθυνσης MAC, του κατασκευαστή, του ύψους, του πλάτους, των πληροφοριών του API, καθώς και του τύπου συσκευής κάθε γνωστής συσκευής. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι στα επόμενα στάδια του μηχανισμού το πεδίο της διεύθυνσης MAC δεν θα χρησιμοποιηθεί περαιτέρω, επομένως κατά την ολοκλήρωση αυτού του σταδίου διαγραφόταν από τη ΒΔ γνωστών συσκευών, δεδομένου ότι χρειαζόταν μόνο για το τρέχον στάδιο του μηχανισμού. Επιπλέον, πρέπει να αναφερθεί ότι δεδομένου ότι σε αυτό το στάδιο όλες οι συνδεδεμένες συσκευές χαρακτηρίστηκαν ως γνωστές ή άγνωστες, τα ακόλουθα στάδια του μηχανισμού εφαρμόζονταν μόνο για τις συνδεδεμένες συσκευές που ήταν άγνωστου τύπου. Πιο συγκεκριμένα, οι συνδεδεμένες γνωστές συσκευές δεν χρειαζόταν να εξετασθούν περαιτέρω εφόσον υπήρχαν ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών. Επομένως, ο τύπος συσκευής τους ήταν γνωστός εκ των προτέρων, και ως εκ τούτου οι API μέθοδοί τους για τη συλλογή των δεδομένων τους είχαν ήδη αναγνωριστεί και μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν.

3.1.2.2 Τεχνική Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών

Στο δεύτερο στάδιο της δεύτερης έκδοσης του μηχανισμού, πραγματοποιήθηκε η αναγνώριση του τύπου των άγνωστων συσκευών, ακολουθώντας δύο (2) διαφορετικά υπό-στάδια, την Εκτίμηση Συντακτικής Ομοιότητας Προδιαγραφών και την Ταξινόμηση Προδιαγραφών. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτό το στάδιο εφαρμόστηκε μόνο για τις συνδεδεμένες συσκευές που ήταν άγνωστου τύπου, καθώς οι γνωστές συσκευές υπήρχαν ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών και ο τύπος συσκευής τους ήταν ήδη γνωστός.

Εκτίμηση Συντακτικής Ομοιότητας Προδιαγραφών

Στο πρώτο υπό-στάδιο, πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση της συντακτικής ομοιότητας που υπήρχε μεταξύ των προϋπαρχουσών γνωστών συσκευών και των προδιαγραφών κάθε συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής, έτσι ώστε να ταξινομηθούν οι συνδεδεμένες άγνωστες συσκευές στον τύπο συσκευής των γνωστών, ανάλογα με τις συντακτικές ομοιότητες που είχαν οι προδιαγραφές τους (δηλαδή το όνομα και η διεύθυνση MAC), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 16. Να σημειωθεί πως σε αυτό το υπό-στάδιο, ο μηχανισμός λάμβανε υπόψη μόνο τις προδιαγραφές του ονόματος και του κατασκευαστή των συσκευών, δεδομένου ότι, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο στάδιο του μηχανισμού, οι πληροφορίες αυτές θεωρούνταν ικανοποιητικά αναγνωριστικές για τον προτεινόμενο μηχανισμό.



Εικόνα 16. Διαδικασία εκτίμησης συντακτικής ομοιότητας προδιαγραφών 2^{ου} ορόσημου

Για να ξεκινήσει λοιπόν η διαδικασία αυτού του υπό-σταδίου, ο μηχανισμός έλαβε σαν εισοδο τα ονόματα και τις διευθύνσεις MAC των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών που προέκυψαν από το προηγούμενο βήμα (Εύρεση και Σύνδεση Συσκευών), ώστε να συγκριθούν με τα αντίστοιχα ονόματα και διευθύνσεις MAC

των γνωστών συσκευών που υπήρχαν στη ΒΔ γνωστών συσκευών. Προκειμένου να προσδιοριστεί η συντακτική ομοιότητα των προαναφερθέντων, ακολουθήθηκαν τα ακόλουθα βήματα όσον αφορά τις συντακτικές ομοιότητες των ονομάτων και των διευθύνσεων MAC των συσκευών. Και στις δύο (2) περιπτώσεις, βάσει των αποτελεσμάτων της έρευνας στο [442], χρησιμοποιήθηκε ο Levenshtein αλγόριθμος συντακτικής ομοιότητας, ο οποίος λειτουργεί μεταξύ δύο (2) συμβολοσειρών εισόδου, επιστρέφοντας έναν αριθμό ισοδύναμο με τον αριθμό υποκαταστάσεων και διαγραφών που απαιτούνται για να μετασχηματίσουν μία συμβολοσειρά εισόδου σε μία άλλη. Πιο συγκεκριμένα, στην περίπτωση του Levenshtein αλγορίθμου, οι μετασχηματισμοί αναφέρονται στις λειτουργίες της εισαγωγής, της διαγραφής, και της αντιστοίχισης. Στις απλούστερες εκδόσεις, οι αντιστοιχίσεις απαιτούν δύο (2) μονάδες, εκτός εάν η πηγή και ο στόχος είναι ταυτόσημες, οπότε το κόστος είναι μηδενικό, ενώ οι εισαγωγές και οι διαγραφές απαιτούν το μισό από αυτό των αντιστοιχίσεων. Έτσι λοιπόν, ο αλγόριθμος ξεκινάει με την επάνω αριστερή γωνία μιας διοδιάστατης συστοιχίας που αντιστοιχεί σε σειρές που περιέχουν τα γράμματα των λέξεων της πηγής και σε στήλες που περιέχουν τα γράμματα των λέξεων του στόχου. Εν συνεχεία, συμπληρώνει την υπόλοιπη συστοιχία, ενώ βρίσκει όλες τις αποστάσεις μεταξύ κάθε αρχικού προθέματος της πηγής και κάθε αρχικού προθέματος του στόχου. Κάθε στοιχείο $[i, j]$ αντιπροσωπεύει την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των πρώτων γραμμάτων i της λέξης της πηγής και των πρώτων j γραμμάτων της λέξης του στόχου. Μαθηματικά, η απόσταση Levenshtein μεταξύ δύο (2) συμβολοσειρών a , b (μήκους i και j αντίστοιχα) δίνεται από το $lev_{a,b}(i, j)$ όπως καταγράφεται στην Εξίσωση (1). Πιο συγκεκριμένα το $lev_{a,b}(i, j)$ αντιπροσωπεύει την απόσταση μεταξύ των πρώτων i χαρακτήρων του a και των πρώτων j χαρακτήρων του b . Το πρώτο στοιχείο στο ελάχιστο αντιστοιχεί στη διαγραφή (από το a έως το b), το δεύτερο στην εισαγωγή, και το τρίτο στην αντιστοίχιση ή στην αναντιστοίχια, ανάλογα με το αν τα αντίστοιχα σύμβολα είναι τα ίδια ή όχι.

$$lev_{a,b}(i, j) = \begin{cases} \max(i, j) \\ \min \left\{ \begin{array}{l} lev_{a,b}(i-1, j) + 1 \\ lev_{a,b}(i, j-1) + 1 \\ lev_{a,b}(i-1, j-1) + 1_{(a_i \neq b_j)} \end{array} \right. \end{cases} \quad (1)$$

Επομένως, όσον αφορά την εκτίμηση της συντακτικής ομοιότητας του ονόματος των συσκευών, ο μηχανισμός δεχόταν ως είσοδο το όνομα κάθε συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής και τα διαφορετικά ονόματα των συσκευών που βρίσκονταν στη ΒΔ γνωστών συσκευών, και τα σύγκρινε συντακτικά μεταξύ τους. Έτσι λοιπόν, ακολουθώντας την Εξίσωση (1), υπολόγιζε για κάθε όνομα διαφορετικής άγνωστης συσκευής την απόσταση Levenshtein μεταξύ του ονόματος κάθε άγνωστης

συσκευής και κάθε διαφορετικού ονόματος γνωστής συσκευής, αποθηκεύοντας τα αντίστοιχα αποτελέσματα όλων των διαφορετικών συνδυασμών συγκρίσεων, σε διαφορετικά αρχεία. Επομένως, ο σκοπός αυτού του βήματος ήταν η αναγνώριση του ονόματος της συσκευής που υπήρχε στη ΒΔ γνωστών συσκευών με την οποία το όνομα κάθε άγνωστης συνδεδεμένης συσκευής είχε μεγαλύτερο βαθμό ομοιότητας, και ως αποτέλεσμα το όνομά της έμοιαζε με το αντίστοιχο όνομα της γνωστής συσκευής. Ωστόσο, δεδομένου ότι το βήμα αυτό παρείχε αποτελέσματα συντακτικής ομοιότητας που αφορούσαν μόνο το όνομα κάθε συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής, κατασκευάστηκε ένα πρόσθετο βήμα στο εν λόγω υπό-στάδιο, για τη μέτρηση της συντακτικής ομοιότητας των κατασκευαστών των συσκευών.

Επομένως, όσον αφορά την εκτίμηση της συντακτικής ομοιότητας του κατασκευαστή των συσκευών, ο μηχανισμός δεχόταν ως είσοδο το όνομα του κατασκευαστή κάθε συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής και τα διαφορετικά ονόματα των κατασκευαστών των συσκευών που βρίσκονταν στη ΒΔ γνωστών συσκευών, και τα σύγκρινε συντακτικά μεταξύ τους. Έτσι λοιπόν, ακολουθώντας την Εξίσωση (1), υπολόγιζε για κάθε όνομα του κατασκευαστή κάθε διαφορετικής άγνωστης συσκευής την απόσταση Levenshtein μεταξύ του ονόματος του κατασκευαστή κάθε άγνωστης συσκευής και κάθε ονόματος του κατασκευαστή των γνωστών συσκευών, αποθηκεύοντας τα αντίστοιχα αποτελέσματα όλων των διαφορετικών συνδυασμών συγκρίσεων, σε διαφορετικά αρχεία. Επομένως, ο σκοπός αυτού του βήματος ήταν η αναγνώριση του κατασκευαστή της συσκευής που υπήρχε στη ΒΔ γνωστών συσκευών με την οποία ο κατασκευαστής κάθε άγνωστης συνδεδεμένης συσκευής είχε μεγαλύτερο βαθμό ομοιότητας, και ως αποτέλεσμα το όνομα του κατασκευαστή της έμοιαζε με το αντίστοιχο όνομα του κατασκευαστή της γνωστής συσκευής. Όπως και στο προηγούμενο βήμα, το βήμα αυτό παρείχε αποτελέσματα συντακτικής ομοιότητας που αφορούσαν μόνο τον κατασκευαστή κάθε άγνωστης συνδεδεμένης συσκευής. Για το λόγο αυτό, έπρεπε να εφαρμοστεί ένα πρόσθετο βήμα για τον υπολογισμό της συνολικής συντακτικής ομοιότητας των προδιαγραφών των συσκευών, βάσει της ονομασίας και του κατασκευαστή τους για να προσδιοριστεί τελικά ο τύπος των άγνωστων συσκευών.

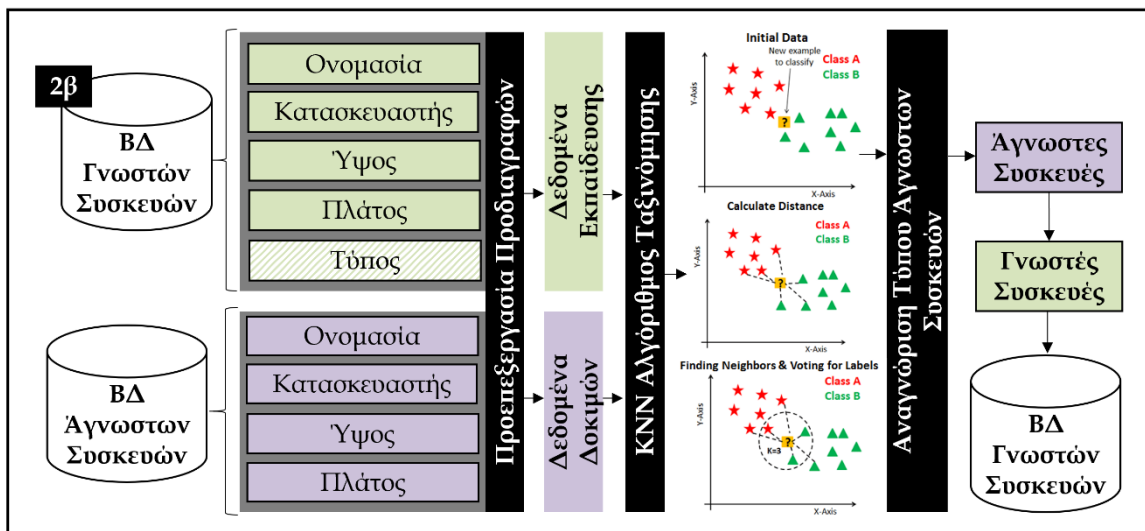
Για το σκοπό αυτό, στο τελικό βήμα αυτού του υπό-σταδίου υπολογίστηκε ο μέσος όρος των συντακτικών ομοιοτήτων που είχαν υπολογιστεί βάσει των ονομάτων και των κατασκευαστών των συσκευών. Συνεπώς, ο μηχανισμός χρησιμοποίησε τις τιμές που είχαν υπολογιστεί για κάθε διαφορετική περίπτωση, και παρείχε τη μέση τιμή μεταξύ αυτών των αποτελεσμάτων. Αυτός ο μέσος όρος υπολογίστηκε ως το σύνολο της συντακτικής ομοιότητας του ονόματος και του κατασκευαστή για κάθε συνδυασμό συγκρίσιμων συσκευών, διαιρούμενο με το δύο, όπως φαίνεται και στην Εξίσωση (2).

$$\text{Μέσος_όρος} = \frac{\text{Ομοιότητα(Όνομα)} + \text{Ομοιότητα(Κατασκευαστής)}}{2} \quad (2)$$

Μετά τον υπολογισμό του μέσου όρου, η συσκευή της ΒΔ γνωστών συσκευών με υψηλότερη πιθανότητα ομοιότητας με κάθε άγνωστη συνδεδεμένη συσκευή θεωρήθηκε αυτόματα ότι ήταν πανομοιότυπη ή σχεδόν πανομοιότυπη με την αντίστοιχη άγνωστη συσκευή. Ως αποτέλεσμα αυτού, ο τύπος συσκευής κάθε άγνωστης συνδεδεμένης συσκευής έγινε γνωστός. Ωστόσο, στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί πως για να λαμβάνονται υπόψη και να θεωρούνταν τα αποτελέσματα ως αξιόπιστα, αυτά έπρεπε να υπερβαίνουν το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 85% του συνολικού μέσου όρου. Έτσι λοιπόν, κάθε άγνωστη συσκευή που ξεπερνούσε αυτό το όριο θεωρούνταν γνωστή, παρέχοντας λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με το όνομα, τον κατασκευαστή, το ύψος, το πλάτος, και τον τύπο της συσκευής της. Συνεπώς, κάθε μία από τις συνδεδεμένες αναγνωρισμένες συσκευές σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες προδιαγραφές τους αποθηκεύονταν τελικά στη ΒΔ γνωστών συσκευών, ώστε να θεωρούνται ως γνωστές συσκευές για μελλοντική χρήση. Μέσω της ενημέρωσης της ΒΔ γνωστών συσκευών με τις νέες αναγνωρισμένες συσκευές, μειώθηκε η πολυπλοκότητα του συνολικού μηχανισμού στις περιπτώσεις που μια νέα συνδεδεμένη συσκευή αναγνωριζόταν πως ήταν διαθέσιμη για σύνδεση το μηχανισμό. Πιο συγκεκριμένα, όταν μία νέα συνδεδεμένη συσκευή έπρεπε να αναγνωριστεί μέσω του μηχανισμού, αν ο μηχανισμός αναγνώριζε ότι αυτή η συσκευή είχε ακριβώς τις ίδιες προδιαγραφές με μία συσκευή της ΒΔ γνωστών συσκευών, τότε η συνολική διαδικασία αναγνώρισης του τύπου και των API μεθόδων της νέας συνδεδεμένης συσκευής παρακάμπτονταν, δεδομένου ότι αυτές οι πληροφορίες υπήρχαν ήδη στην ενημερωμένη ΒΔ γνωστών συσκευών. Ως αποτέλεσμα αυτού, οι διαδικασίες των σταδίων της Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών και της Συλλογής Δεδομένων Συσκευών δεν θα εφαρμόζονταν καθόλου, μειώνοντας τη συνολική πολυπλοκότητα του μηχανισμού. Επιπλέον, δεδομένου ότι ένας από τους επιμέρους στόχους του μηχανισμού ήταν να προσδιορίσει αν κάθε συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή σχετιζόταν με κάθε συγκεκριμένη πλατφόρμα που επιθυμούσε να συνδεθεί και ως εκ τούτου, εάν τα δεδομένα της σχετιζόνταν με την πλατφόρμα και έπρεπε να συλλεχθούν, βάσει των αποτελεσμάτων του εν λόγω υπό-σταδίου, ο μηχανισμός μπορούσε να συμπεράνει αν αυτά τα δεδομένα θα διατηρούνταν, ανάλογα με τον αναγνωρισμένο τύπο συσκευής κάθε συσκευής.

Ταξινόμηση Προδιαγραφών

Ωστόσο, κατά την ολοκλήρωση του υπό-σταδίου της Εκτίμησης Συντακτικής Ομοιότητας, ενδέχεται να υπήρχαν περιπτώσεις όπου οι συνδεδεμένες άγνωστες συσκευές δεν υπερέβαιναν το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 85%, υποδεικνύοντας ότι ούτε το όνομα ούτε ο κατασκευαστής των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών ταίριαζαν με τις αντίστοιχες προδιαγραφές των προϋπαρχουσών συσκευών που υπήρχαν ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών. Για το λόγο αυτό, υλοποιήθηκε το δεύτερο υπό-στάδιο του μηχανισμού. Στο συγκεκριμένο υπό-στάδιο, πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση των προδιαγραφών των άγνωστων συσκευών, έτσι ώστε να ομαδοποιηθούν όλες οι συνδεδεμένες άγνωστες συσκευές με τις προϋπάρχουσες γνωστές συσκευές με βάση τις προδιαγραφές τους (π.χ. όνομα, κατασκευαστής, ύψος, πλάτος και τύπος συσκευής), και ως αποτέλεσμα να προβλεφθεί ο τύπος τους. Η συνολική διαδικασία της ταξινόμησης που προτάθηκε απεικονίζεται στην Εικόνα 17.



Εικόνα 17. Διαδικασία ταξινόμησης προδιαγραφών 2^{ου} ορόσημου

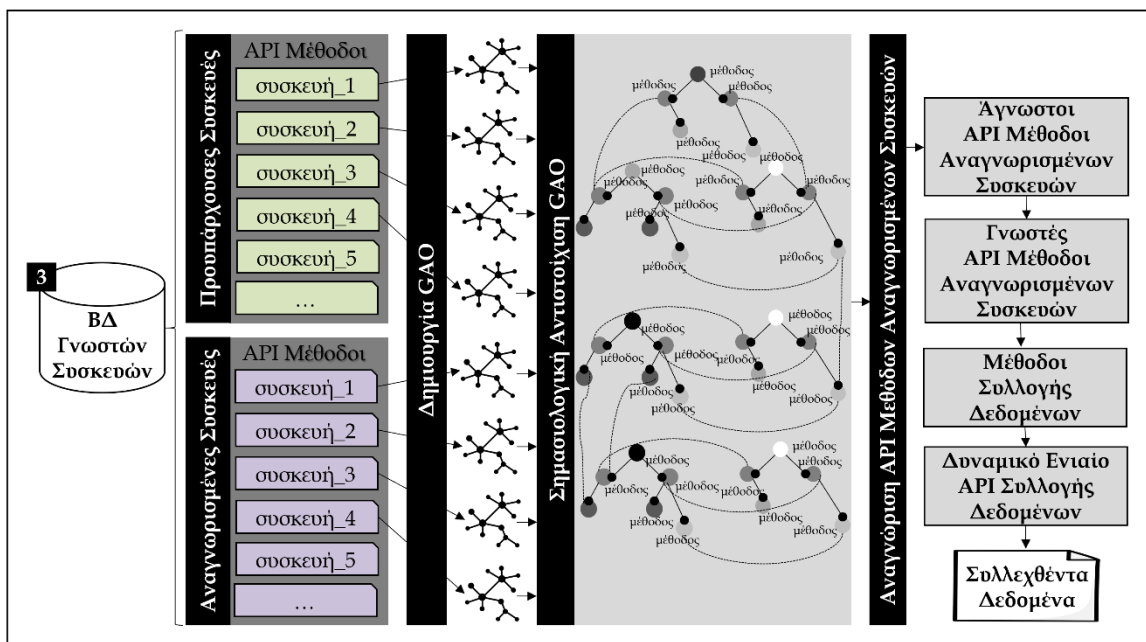
Αρχικά, σε αυτό το υπό-στάδιο πραγματοποιήθηκε μια προεπεξεργασία των δεδομένων, όπου οι προδιαγραφές τόσο των γνωστών όσο και των άγνωστων συσκευών αποθηκεύτηκαν στα αντίστοιχα σύνολα δεδομένων. Αναλυτικότερα, οι προδιαγραφές σε συνδυασμό με τον τύπο συσκευής των γνωστών συσκευών ανακτήθηκαν από τη ΒΔ γνωστών συσκευών και αποθηκεύτηκαν σε ένα αρχείο ARFF, ενώ οι προδιαγραφές κάθε άγνωστης συνδεδεμένης συσκευής ανακτήθηκαν από τη ΒΔ άγνωστων συσκευών και αποθηκεύτηκαν σε διαφορετικά αρχεία ARFF. Θα πρέπει να σημειωθεί πως για τις άγνωστες συσκευές, στα αρχεία ARFF αποθηκεύτηκαν μόνο οι προδιαγραφές του ονόματος, του κατασκευαστή, του ύψους και του πλάτους, καθώς ο τύπος συσκευής τους δεν ήταν γνωστός.

Επομένως, έχοντας γνώση όλων των προδιαγραφών των συσκευών (τόσο των γνωστών όσο και των άγνωστων) και έχοντας τες αποθηκεύσει στα αντίστοιχα σύνολα δεδομένων, πραγματοποιήθηκε η ταξινόμησή τους, προκειμένου να προβλεφθεί ο τύπος των άγνωστων συσκευών με βάση τις κοινές προδιαγραφές που είχαν με τις προδιαγραφές των γνωστών συσκευών. Λεπτομερέστερα, τα διαφορετικά σύνολα δεδομένων με τις προδιαγραφές κάθε διαφορετικής άγνωστης συσκευής αναφέρονταν στα σύνολα δεδομένων δοκιμής, ενώ το σύνολο δεδομένων με τις προδιαγραφές των γνωστών συσκευών αναφερόταν στο σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης. Προκειμένου να ταξινομηθούν αυτά τα σύνολα δεδομένων και να προβλεφθεί ο τύπος των άγνωστων συσκευών με βάση τις προδιαγραφές των γνωστών και των άγνωστων συσκευών, όπως και στην πρώτη έκδοση του μηχανισμού (Ενότητα 3.1.1.2), χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη του εργαλείου WEKA. Ως εκ τούτου, τόσο το σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης όσο και το σύνολο δεδομένων δοκιμής, εισήχθησαν στο WEKA για να εκκινηθεί η διαδικασία ταξινόμησης, ενώ χρειάστηκε μία αρχική προεπεξεργασία των δεδομένων, προκειμένου να μετασχηματιστούν οι τιμές των συμβολοσειρών των συνόλων δεδομένων σε αριθμητικές. Για τους σκοπούς της διαδικασίας ταξινόμησης εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος ταξινόμησης KNN, καθώς στα πειράματα της προηγούμενης έκδοσης του μηχανισμού παρήγαγε τα πιο αξιόπιστα και ακριβή αποτελέσματα μεταξύ των αλγορίθμων που εφαρμόστηκαν [443]. Στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι ο KNN αντιστοιχεί στον αλγόριθμο IBk στο εργαλείο WEKA, όπου ο IBk αντιπροσωπεύει μια μέθοδο βασισμένη στη γειτονικότητα των επιμέρους στιγμιότυπων που περιέχονται στα σύνολα των δεδομένων. Έτσι, για τους σκοπούς της ταξινόμησης, ο IBk χρησιμοποίησε την προεπιλεγμένη τιμή (δηλαδή 1) για τον αριθμό των γειτονικών στιγμάτων (δηλαδή k) που θα χρησιμοποιούνταν κατά την ταξινόμηση, η διασταυρούμενη επικύρωση (cross-validation) χρησιμοποιήθηκε για να ελεγχθεί η απόδοση του αλγορίθμου - αφήνοντας τον αριθμό των πτυχών στην προεπιλεγμένη τιμή των 10, ενώ το πλήρες σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης ορίστηκε ως το μοντέλο ταξινομητή (classifier model). Μόλις ο αλγόριθμος εκπαίδευσε το μοντέλο, πραγματοποιήθηκε η επαναξιολόγηση του μοντέλου αυτού, βάσει του συνόλου δεδομένων δοκιμής. Εφαρμόζοντας το εκπαιδευμένο μοντέλο ταξινομητή σε αυτό το σύνολο δεδομένων, ο μηχανισμός ήταν σε θέση να ταξινομήσει όλες τις συνδεδεμένες άγνωστες συσκευές σε έναν από τους τύπους των υφιστάμενων γνωστών συσκευών. Έτσι, ο μηχανισμός μπορούσε τελικά να ταξινομήσει τις διαφορετικές συσκευές, λαμβάνοντας υπόψη τους τύπους των γνωστών συσκευών και τις παρόμοιες προδιαγραφές που όλες αυτές οι συσκευές μπορεί να είχαν με τις άγνωστες συσκευές. Συνεπώς, βάσει των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης, ο μηχανισμός μπορούσε να προσδιορίσει τους τύπους των άγνωστων συσκευών, υποθέτοντας ότι οι συσκευές με τις ίδιες προδιαγραφές θα ήταν του ίδιου τύπου.

Ωστόσο, βάσει των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης, ο μηχανισμός μπορεί να προσδιόριζε ότι μια άγνωστη συσκευή μπορεί να είχε διαφορετικούς βαθμούς ομοιότητας με μία ή περισσότερες διαφορετικές γνωστές συσκευές. Για παράδειγμα, οι προδιαγραφές μιας άγνωστης συσκευής μπορεί να είχαν ομοιότητα 20% με τις προδιαγραφές μιας συγκεκριμένης γνωστής συσκευής, 10% με τις προδιαγραφές μιας δεύτερης συσκευής, και 90% με μιας τρίτης. Στην περίπτωση του μηχανισμού, υποτέθηκε πως η εκάστοτε άγνωστη συσκευή θα ταξινομούταν στον τύπο της κατηγορίας της συσκευής με την οποία είχε μεγαλύτερες τιμές ομοιότητας (δηλαδή 90%), και έτσι θα αντιμετωπιζόταν τελικά ως μία συσκευή γνωστού τύπου. Αυτή η διαδικασία επαληθεύτηκε για όλες τις συνδεδεμένες άγνωστες συσκευές και, ως εκ τούτου, όλες οι συνδεδεμένες συσκευές άγνωστου τύπου θεωρήθηκαν γνωστές, παρέχοντας λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με το όνομα, τον κατασκευαστή, το ύψος, το πλάτος και τον τύπο της συσκευής τους. Επιπλέον, να σημειωθεί πως παρόλο που στο αντίστοιχο στάδιο της αρχικής έκδοσης της προτεινόμενης προσέγγισης (Ενότητα 3.1.1.2) είχαν προκύψει δύο (2) πιθανά σενάρια, σε αυτή την έκδοση υπήρχε μόνο το ένα προς πολλά σενάριο, το οποίο κάλυπτε το ένα προς ένα σενάριο. Μετά την επιτυχή ολοκλήρωση της διαδικασίας της ταξινόμησης, κάθε μία από τις αναγνωρισμένες συσκευές σε συνδυασμό με τις προδιαγραφές τους αποθηκεύονταν στη ΒΔ γνωστών συσκευών, ώστε να θεωρούνταν ως γνωστές συσκευές για μελλοντική χρήση. Πέρα από αυτό, δεδομένου ότι ένας από τους επιμέρους στόχους του μηχανισμού ήταν να προσδιορίσει αν κάθε συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή σχετιζόταν με κάθε συγκεκριμένη πλατφόρμα που επιθυμούσε να συνδεθεί και ως εκ τούτου, εάν τα δεδομένα της σχετιζόνταν με την πλατφόρμα και έπρεπε να συλλεχθούν, βάσει των αποτελεσμάτων ο μηχανισμός μπορούσε να συμπεράνει αν αυτά τα δεδομένα θα διατηρούνταν, ανάλογα με τον αναγνωρισμένο τύπο συσκευής κάθε συσκευής.

3.1.2.3 Τεχνική Συλλογής Δεδομένων Συσκευών

Όπως και στην προηγούμενη έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης, στο τρίτο στάδιο του μηχανισμού πραγματοποιήθηκε η αντιστοίχιση των API μεθόδων των συσκευών, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 18. Λεπτομερέστερα, στο πρώτο στάδιο του μηχανισμού (Εύρεση και Σύνδεση Συσκευών), είχαν συλλεχθεί πληροφορίες για τις API μεθόδους των γνωστών συσκευών, προσφέροντας πλήρη πληροφόρηση για τους πηγαίους κώδικες, τη σύνταξη, τη σημασιολογία και τη λειτουργικότητα των μεθόδων αυτών. Ωστόσο, όσον αφορά τις API μεθόδους των άγνωστων συσκευών, οι πληροφορίες που είχαν συλλεχθεί αφορούσαν μόνο τους πηγαίους κώδικες και τη σημασιολογία των μεθόδων, καθώς οι λειτουργικότητες της κάθε μεθόδου ήταν άγνωστες. Από τη στιγμή λοιπόν, που ο μηχανισμός είχε συγκεντρώσει όλες αυτές τις πληροφορίες για όλες τις συσκευές (δηλαδή τόσο για τις γνωστές όσο και για τις άγνωστες), ήταν σε θέση να αντιστοιχίσει τις API μεθόδους των γνωστών συσκευών με αυτές των άγνωστων συσκευών, συγκρίνοντας τις API μεθόδους των συσκευών του ίδιου τύπου (π.χ. όλα τα πιεσόμετρα).



Εικόνα 18. Διαδικασία συλλογής δεδομένων συσκευών 2^{ου} ορόσημου

Προκειμένου να επιτευχθεί αυτή η αντιστοίχιση, αρχικά για κάθε μία από αυτές τις συσκευές κατασκευάστηκε μια GAO, προκειμένου να προσδιοριστεί και να μοντελοποιηθεί ένα ιεραρχικό δέντρο των διαφορετικών τάξεων και υποκατηγοριών της σημασιολογίας των API μεθόδων των συσκευών, και να επιτευχθεί το μέγιστο επίπεδο της εκφραστικότητάς τους. Όπως και στην προηγούμενη έκδοση της προσέγγισης, όλες οι κατασκευασμένες οντολογίες χτίστηκαν μέσω της

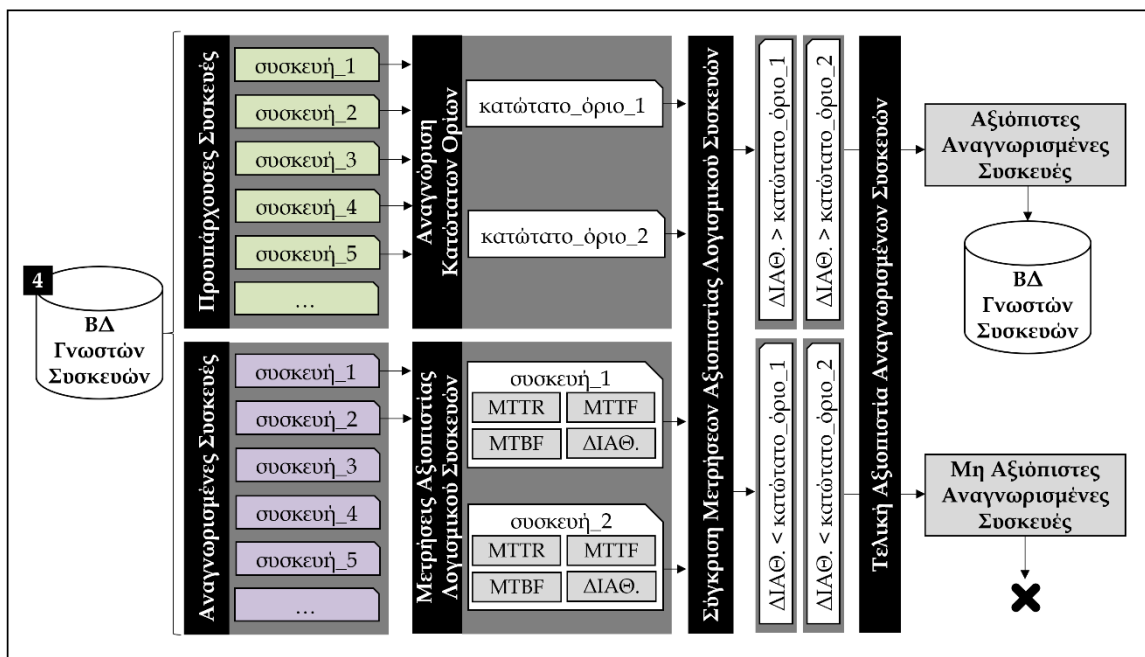
OWL, ενώ η ανάπτυξή τους υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το Protégé. Λεπτομερέστερα, κάθε GAO περιείχε διαφορετικές οντολογίες για κάθε διαφορετική μέθοδο του API κάθε συσκευής, δημιουργώντας έτσι ένα ιεραρχικό δέντρο για κάθε API. Στις περιπτώσεις που μία μέθοδος επαναλαμβανόταν, όταν ο μηχανισμός εκτελούταν προκειμένου να αναγνωρίσει νέες μεθόδους, για αυτές τις μεθόδους δημιουργούνταν σχετικοί κανόνες, καταλήγοντας εν τέλει στην κατανόηση της σημασιολογίας των μεθόδων αυτών. Πιο συγκεκριμένα, ο κάθε κανόνας περιείχε πληροφορίες - στη μορφή μεταδεδομένων, σχετικά με τις περιπτώσεις: (i) που χρησιμοποιείται η κάθε μέθοδος (π.χ. μια μέθοδος παρακολούθησης της αρτηριακής πίεσης χρησιμοποιήθηκε για τη λήψη μιας αριθμητικής μέτρησης), (ii) τον αριθμό που επαναλήφθηκε (π.χ. 5 φορές), και (iii) τα αποτελέσματα που είχε εξάγει μετά τη χρήση του (π.χ. η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή των μετρήσεων καρδιακού ρυθμού), οδηγώντας έτσι στη σημασιολογική έννοια της συγκεκριμένης κατηγορίας. Συνεπώς, μετά το σημασιολογικό χαρακτηρισμό όλων των μεθόδων, με βάση τους δημιουργημένους κανόνες τους, ο μηχανισμός επεξεργάστηκε όλες τις διαφορετικές μεθόδους, αντιστοιχίζοντας τη σημασιολογία των API μεθόδων των άγνωστων (αναγνωρισμένων πλέον) συσκευών με τις παρεμφερείς API μεθόδους των γνωστών συσκευών. Στην περίπτωση του προτεινόμενου μηχανισμού, αυτός έπρεπε να προσδιορίσει και να χαρτογραφήσει τη μέθοδο που ήταν υπεύθυνη για τη συλλογή των δεδομένων των άγνωστων συσκευών. Έτσι, η API μέθοδος των γνωστών συσκευών που είχε εκχωρηθεί με υψηλότερα επίπεδα πιθανότητας, ανατέθηκε αυτόματα στην αναγνωρισμένη API μέθοδο της άγνωστης συσκευής. Ως αποτέλεσμα αυτού, οι API μέθοδοι των γνωστών συσκευών που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων τους αντιστοιχήθηκαν με τις API μεθόδους των άγνωστων συσκευών που ήταν εν τέλει υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων των άγνωστων αυτών συσκευών.

Μόλις η προαναφερθείσα αντιστοιχισή ολοκληρωνόταν με επιτυχία, και όλες οι API μέθοδοι όλων των συσκευών του ίδιου τύπου (π.χ. όλες οι συσκευές παρακολούθησης της αρτηριακής πίεσης) είχαν αναγνωριστεί και ήταν πλέον γνωστές, πραγματοποιούνταν η υλοποίηση και η εφαρμογή ενός ενιαίου δυναμικού API. Ειδικότερα, το συγκεκριμένο API αποτελούσε ένα ενιαίο API που συγχώνευε όλες τις μεθόδους που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων από τις αντίστοιχες συσκευές, ομαδοποιώντας τες με βάση τους κατασκευαστές τους. Έτσι, αυτό το ενιαίο δυναμικό API περιείχε επιμέρους API που αντιστοιχούσαν στους διαφορετικούς κατασκευαστές όπου ανήκαν οι συνδεδεμένες συσκευές. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί πως μετά από κάθε επανάληψη αυτού του σταδίου του μηχανισμού, προκειμένου να αναγνωρίζονταν μία προς μία οι μέθοδοι των άγνωστων συσκευών, το ενιαίο

δυναμικό API ενημερωνόταν δυναμικά με βάση τους πηγαίους κώδικες όλων των υπάρχουσών μεθόδων συλλογής δεδομένων, καλύπτοντας έτσι ένα ευρύτερο φάσμα μεθόδων και συσκευών. Επιπλέον, στο σημείο αυτό να αναφερθεί πως η δοκιμή του εν λόγω API πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του Runscope, όπως είχε γίνει και στην πρώτη έκδοση του μηχανισμού. Ωστόσο, στα πειράματα της εν λόγω έκδοσης παρατηρήθηκε πως σε πολλές περιπτώσεις τα τελικά αποτελέσματα (δηλαδή η ταυτοποίηση των μεθόδων συλλογής δεδομένων) δεν ήταν πάντα όπως αναμενόταν - όσον αφορά την αδυναμία ανάκτησης των δεδομένων (βάσει των αναγνωρισμένων μεθόδων) είτε από όλες τις συσκευές είτε από έναν συγκεκριμένο αριθμό των συσκευών ή ακόμα και από καμία από αυτές. Για το λόγο αυτό, προστέθηκε ένας βρόγχος επανάληψης για να επιστρέφει τη διαδικασία του μηχανισμού στο στάδιο της Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών, όπου καθοριζόταν το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 90%, ένα πολύ υψηλό όριο, ώστε να εξασφαλίζεται πως ο προβλεπόμενος τύπος των άγνωστων συσκευών θα είναι πάντα σωστός. Όσον αφορά το προκαθορισμένο κατώτατο όριο, αυτό επιλέχθηκε με βάση τα ερευνητικά αποτελέσματα που αποκτήθηκαν κατά τη διάρκεια διαφορετικών πειραμάτων του μηχανισμού ταξινόμησης που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες συσκευές στο παρελθόν [443]. Στις περιπτώσεις που το όριο αυτό δεν ξεπερνούσαν κατά τη διάρκεια του βρόγχου επανάληψης, ο μηχανισμός λάμβανε υπόψη του μεγαλύτερο αριθμό γνωστών συσκευών έτσι ώστε να βοηθάει την όλη η διαδικασία της αναγνώρισης του τύπου συσκευής των άγνωστων συσκευών. Από την άλλη πλευρά, στις περιπτώσεις υπέρβασης του προκαθορισμένου ορίου, τα αποτελέσματα θεωρούνταν ως υψηλής ακρίβειας, επιβεβαιώνοντας την επιτυχή ολοκλήρωση της διαδικασίας της αναγνώρισης του τύπου συσκευής των άγνωστων συσκευών. Επομένως, με αυτόν τον τρόπο κατέστη εφικτό να αντιμετωπιστούν πιθανά μη αποτελεσματικά και ανακριβή αποτελέσματα που μπορεί να προέκυψαν κατά την αρχική αναγνώριση των συσκευών, και σαν αποτέλεσμα αυτού να οδήγησαν στην εσφαλμένη αντιστοίχιση των μεθόδων τους. Επιπλέον, να σημειωθεί πως παρόλο που στο αντίστοιχο στάδιο της αρχικής έκδοσης της προτεινόμενης προσέγγισης (Ενότητα 3.1.1.3) είχαν προκύψει δύο (2) πιθανά σενάρια, σε αυτή την έκδοση υπήρχε μόνο το ένα προς πολλά σενάριο, το οποίο κάλυπτε το ένα προς ένα σενάριο. Μετά την επιτυχή ολοκλήρωση της διαδικασίας της αντιστοίχισης, βάσει του ενιαίου δυναμικού API που είχε υλοποιηθεί, πραγματοποιήθηκε η συλλογή των δεδομένων από όλες τις συνδεδεμένες συσκευές, όπου τα δεδομένα της κάθε συσκευής αποθηκεύτηκαν στα αντίστοιχα αρχεία κειμένων.

3.1.2.4 Τεχνική Εκτίμησης Αξιοπιστίας Συσκευών

Στο νέο πρόσθετο στάδιο του μηχανισμού, το τέταρτο στάδιο, πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση της αξιοπιστίας των συσκευών, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 19. Αυτό το στάδιο ήταν πολύ σημαντικό, καθώς δεν ήταν αρκετό να διατηρούνται όλα τα συλλεχθέντα δεδομένα των συνδεδεμένων συσκευών και να χρησιμοποιούνται για περαιτέρω χρήση, καθώς πολλά από αυτά μπορεί να προέρχονται από μη αξιόπιστες συσκευές. Για το λόγο αυτό, ήταν απαραίτητο να υπολογίζεται και να αξιολογείται η αξιοπιστία των συνδεδεμένων συσκευών, έτσι ώστε να διατηρούνται τελικά μόνο τα δεδομένα που προέρχονται από αποκλειστικά αξιόπιστες συσκευές.



Εικόνα 19. Διαδικασία εκτίμησης αξιοπιστίας συσκευών 2^{ου} ορόσημου

Κατά την εκτέλεση της διαδικασίας της εκτίμησης της αξιοπιστίας των συσκευών, έπρεπε να υπολογιστεί η αξιοπιστία τόσο των γνωστών όσο και των άγνωστων συνδεδεμένων συσκευών. Όσον αφορά τις συνδεδεμένες γνωστές συσκευές, επειδή αυτές υπήρχαν ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών, τα επίπεδα της αξιοπιστίας τους ήταν ήδη υπολογισμένα, αφού για να ήταν αποθηκευμένες στην εν λόγω ΒΔ είχαν ήδη θεωρηθεί ως αξιόπιστες συσκευές. Επομένως, δεν έπρεπε να γίνει περαιτέρω εκτίμηση της αξιοπιστίας τους. Ωστόσο, όσον αφορά τις συνδεδεμένες άγνωστες συσκευές που είχαν μόλις αποθηκευτεί στη ΒΔ γνωστών συσκευών, η αξιοπιστία τους δεν είχε ακόμη εκτιμηθεί, κάτι το οποίο έπρεπε να γίνει προκειμένου να αποφασιστεί αν οι εν λόγω συσκευές θα παρέμεναν στη ΒΔ γνωστών συσκευών θεωρούμενες πλέον ως αξιόπιστες, είτε θα διαγράφονταν από αυτήν, όντας μη

αξιόπιστες. Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 2.4, η αξιοπιστία των συσκευών μπορεί να υπολογιστεί με διαφορετικές μετρήσεις (δηλαδή είτε μετρήσεις αξιοπιστίας λογισμικού είτε δεδομένων). Ωστόσο, σε αυτό το στάδιο του μηχανισμού καταγράφηκαν μόνο οι μετρήσεις αξιοπιστίας του λογισμικού. Ειδικότερα, οι μετρήσεις που υπολογίστηκαν για την αξιοπιστία του λογισμικού ήταν αυτές του MTTR, MTTF, MTBF, και της Διαθεσιμότητας.

Πιο συγκεκριμένα, ο υπολογισμός του MTTR αναφερόταν στον αριθμό των συνολικών ωρών διακοπής μίας συσκευής (δηλαδή ο χρόνος μεταξύ της αποτυχίας που συνέβη και ο χρόνος επαναφοράς της συσκευής στην κανονική της κατάσταση) διαιρούμενο με το συνολικό αριθμό των βλαβών που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια αυτού του χρόνου διακοπής [444], [370], όπως φαίνεται στην Εξίσωση (3). Επομένως, ο εν λόγω μηχανισμός κατέγραψε το MTTR κάθε συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο, καταγράφοντας το συνολικό αριθμό βλαβών κάθε μίας από αυτές.

$$MTTR = \frac{\text{Συνολικές_ώρες_διακοπής}}{\text{Συνολικός_αριθμός_βλαβών}} \quad (3)$$

Όσον αφορά τον MTTF, αυτός εκφράστηκε μέσω της Εξίσωσης (4), όπου ο MTTF αναφερόταν στις συνολικές ώρες αποτυχιών που μπορεί να εμφανιστούν στα επιμέρους τμήματα των συσκευών διαιρούμενα με το συνολικό αριθμό των τμημάτων αυτών [445]. Συνεπώς, ο εν λόγω μηχανισμός κατέγραψε το MTTF βάσει όλων των ωρών αποτυχίας των συνδεδεμένων συσκευών σε μια συγκεκριμένη περίοδο.

$$MTTF = \frac{\text{Συνολικές_ώρες_αποτυχιών}}{\text{Συνολικός_αριθμός_τμημάτων}} \quad (4)$$

Όσον αφορά τον MTBF, αυτός αναφερόταν στο άθροισμα των MTTF και MTTR, απεικονίζοντας το χρόνο που απαιτούταν για την αποτυχία μίας συσκευής και τον αντίστοιχο χρόνο για την επιδιόρθωσή της [445], εφαρμόζοντας την Εξίσωση (5).

$$MTBF = MTTR + MTTF \quad (5)$$

Τέλος, όσον αφορά τη Διαθεσιμότητα, αυτή μπορούσε να υπολογιστεί απευθείας με τη βοήθεια των MTBF και MTTR, εφαρμόζοντας την Εξίσωση (6) [370].

$$\text{Διαθεσιμότητα} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (6)$$

Μόλις καταγράφηκαν οι μετρήσεις αυτές, πραγματοποιήθηκε η επικύρωση των υπολογισμένων αποτελεσμάτων, προκειμένου ο μηχανισμός να καταλήξει στο αν κάθε συνδεδεμένη συσκευή ήταν αξιόπιστη ή όχι. Λεπτομερέστερα, όταν υπολογίστηκαν οι μετρήσεις αξιοπιστίας των συνδεδεμένων άγνωστων (αναγνωρισμένων πλέον) συσκευών, οι μετρήσεις αυτές συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες μετρήσεις αξιοπιστίας των προϋπαρχουσών γνωστών συσκευών. Στο σημείο αυτό να σημειωθεί πως μεταξύ των τεσσάρων (4) διαφορετικών μετρήσεων λογισμικού που καταγράφηκαν, η μέτρηση της Διαθεσιμότητας ήταν η πιο αξιοσημείωτη και αντιπροσωπευτική μέτρηση που μπορούσε να ληφθεί υπόψη, αφού υπολογίστηκε βάσει των τριών (3) υπόλοιπων μετρήσεων. Για το σκοπό αυτό, καθορίστηκε ένα προκαθορισμένο κατώτατο όριο για να αποφασιστεί βάσει αυτού αν κάθε άγνωστη συσκευή θα θεωρούνταν ως αξιόπιστη ή όχι. Ειδικότερα, ο μηχανισμός χρησιμοποίησε τις μετρήσεις αξιοπιστίας δύο (2) γνωστών συσκευών, εκ των οποίων η μία ήταν η πιο αξιόπιστη συσκευή που υπήρχε στη ΒΔ γνωστών συσκευών, ενώ η άλλη ήταν η τελευταία πιο αξιόπιστη συσκευή που υπήρχε στη ΒΔ γνωστών συσκευών. Πιο συγκεκριμένα, έθεσε αυτές τις δύο (2) μετρήσεις σαν δύο (2) ξεχωριστές περιπτώσεις κατώτατων ορίων, προκειμένου να τις συγκρίνει με τις υπολογιζόμενες μετρήσεις της Διαθεσιμότητας κάθε συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής. Ως αποτέλεσμα αυτού, αξιολογήθηκαν οι αντίστοιχοι βαθμοί αξιοπιστίας όλων των συνδεδεμένων αναγνωρισμένων συσκευών, και κατηγοριοποιήθηκαν σε τρεις (3) κατηγορίες, ανάλογα με το αν ξεπερνούσαν τα προκαθορισμένα κατώτατα όρια ή όχι. Όσες συσκευές δεν ξεπερνούσαν κανένα από τα δύο (2) καθορισμένα όρια αποσυνδέονταν από το μηχανισμό και έτσι τα δεδομένα τους δεν διατηρούνταν για περαιτέρω χρήση. Όσες συσκευές ξεπερνούσαν ένα από τα δύο (2) καθορισμένα όρια δεν αποσυνδέονταν από το μηχανισμό, αλλά οι μετρήσεις της Διαθεσιμότητά τους συγκρίνονταν με το μέσο όρο των δύο (2) προκαθορισμένων κατώτατων ορίων ώστε να ληφθεί η τελική απόφαση για το αν θα θεωρούνταν ως αξιόπιστες ή όχι. Τέλος, όσες συσκευές ξεπερνούσαν και τα δύο (2) όρια, διατηρούνταν στο μηχανισμό, και τα δεδομένα τους διατηρούνταν για περαιτέρω χρήση. Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίστηκε να μη συλλέγονται όλα τα δεδομένα όλων των συνδεδεμένων συσκευών, αλλά να πραγματοποιείται η προσαρμοστική επιλογή και σύνδεση όλων αυτών των διαθέσιμων συσκευών βάσει της αξιοπιστίας τους, ώστε να διατηρούνται εν τέλει για περαιτέρω χρήση μόνο τα δεδομένα των αξιόπιστων συσκευών.

Όπως και στην πρώτη έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης, η τρέχουσα έκδοση μελέτησε το δύσκολο θέμα της συλλογής δεδομένων από ετερογενείς συσκευές για την περαιτέρω χρήση τους από τις εκάστοτε ΙοΤ πλατφόρμες, λαμβάνοντας υπόψη την αξιοπιστία αυτών των συσκευών. Εν συντομία, αυτός ο μηχανισμός αποτελούνταν από τέσσερα (4) στάδια. Στο πρώτο στάδιο, όλες οι διαθέσιμες

συσκευές εντοπίζονταν και συνδέονταν στο μηχανισμό. Ακολούθως, στο δεύτερο στάδιο, σε αρχική φάση, πραγματοποιούνταν η αναγνώριση του τύπου των συνδεδεμένων συσκευών, εκτιμώντας τη συντακτική ομοιότητα μεταξύ ορισμένων προδιαγραφών των προϋπαρχουσών γνωστών συσκευών και των προδιαγραφών των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών, ταιριάζοντας έτσι τις προδιαγραφές μεταξύ συσκευών γνωστού και άγνωστου τύπου, και ανακαλύπτοντας τον τύπο συσκευής των άγνωστων συσκευών. Ωστόσο, ενδέχεται να υπήρχαν κάποιες περιπτώσεις που οι συνδεδεμένες άγνωστες συσκευές δεν ταίριαζαν με κάποια από τις προϋπάρχουσες συσκευές. Αυτή η πιθανότητα οδήγησε στην υλοποίηση της δεύτερης φάσης του δεύτερου σταδίου του μηχανισμού, όπου πραγματοποιούνταν η ταξινόμηση των προδιαγραφών των άγνωστων συσκευών, έτσι ώστε να ταξινομηθούν όλες οι συνδεδεμένες άγνωστες συσκευές με τις προϋπάρχουσες γνωστές συσκευές, βάσει των κοινών προδιαγραφών τους, και να προβλεφθεί ο τύπος των άγνωστων συσκευών. Επόμενος στόχος του μηχανισμού ήταν η αναγνώριση της σημασίας και των επιμέρους λειτουργιών των API μεθόδων των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών που ήταν ακόμα άγνωστες, εξάγοντας εκείνες που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων των συσκευών αυτών. Για το λόγο αυτό, υλοποιήθηκε το τρίτο στάδιο του μηχανισμού για την κατανόηση της σημασίας και των επιμέρους λειτουργιών των διαφορετικών API μεθόδων που χρησιμοποιούνταν από τις συσκευές αυτές, έτσι ώστε να ξεχωρίζαν οι μέθοδοι που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων τους. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, ο μηχανισμός κατασκεύαζε και σύγκρινε σημασιολογικά τις οντολογίες των API μεθόδων των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών και προϋπαρχουσών γνωστών συσκευών, ώστε να κατανοούσε τη σημασία και τις επιμέρους λειτουργίες των API μεθόδων των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών, και να εξήγαγε εκείνες που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων τους. Μόλις ολοκληρωνόταν αυτή η διαδικασία, ο μηχανισμός χρησιμοποιούσε όλες τις αναγνωρισμένες API μεθόδους για τη συλλογή των δεδομένων και τις ενσωμάτωνε σε ένα ενιαίο δυναμικό API. Το API αυτό με τη σειρά του ήταν σε θέση να συγκεντρώνει τα δεδομένα από όλες τις συσκευές, τόσο γνωστού όσο και άγνωστου τύπου. Τέλος, λάμβανε χώρα η εκτίμηση αξιοπιστίας των συσκευών αυτών, ώστε εν τέλει να αποφασιστεί αν οι άγνωστες συσκευές θα θεωρούνταν ως αξιόπιστες ή όχι, και συνεπώς τα συλλεχθέντα δεδομένα τους θα διατηρούνταν για περαιτέρω χρήση. Αξίζει να σημειωθεί πως η τρέχουσα έκδοση της προσέγγισης αξιολογήθηκε πρακτικά μέσω ποικίλων πειραμάτων, παράγοντας αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα. Ωστόσο, παρατηρήθηκε ότι η εν λόγω προσέγγιση περιείχε κάποια κενά, τα οποία έπρεπε να αντιμετωπιστούν προκειμένου να λειτουργήσει ολοκληρωμένα η όλη προτεινόμενη προσέγγιση. Για το λόγο αυτό, υλοποιήθηκε η τελική έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης, φροντίζοντας να αντιμετωπίσει όλα τα προβλήματα που είχαν προκύψει.

3.2 Τελική Προσέγγιση Ενσωμάτωσης Αξιόπιστων Συσκευών

Με βάση όσα αναφέρθηκαν στις Ενότητες 3.1.1 και 3.1.2, υλοποιήθηκαν δύο (2) διαφορετικές εκδόσεις της τρέχουσας προσέγγισης για την ενσωμάτωση ετερογενών IoT συσκευών, τόσο γνωστού όσο και άγνωστου τύπου, ώστε να καθίσταται εφικτή η συλλογή δεδομένων μόνο από αξιόπιστες συσκευές. Ωστόσο, καθώς η έρευνα της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής προχωρούσε, εμφανίστηκαν διάφορα νέα κενά που δεν καλύπτονταν από τις δύο (2) προηγούμενες εκδόσεις της προτεινόμενης προσέγγισης - και ειδικότερα από τη δεύτερη έκδοση που ήταν μία βελτιστοποιημένη έκδοση της πρώτης έκδοσης, αναζητώντας έτσι από την τελική έκδοση της προσέγγισης να τα αντιμετωπίσει. Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκε η τελική έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης, έχοντας ξεπεράσει όλα τα υπαρκτά και πιθανά κενά που είχαν ήδη προκύψει και θα μπορούσαν να προκύψουν στο άμεσο και έμμεσο μέλλον, αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, στην τελική έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης πραγματοποιήθηκαν διάφορες αλλαγές/βελτιώσεις σε όλα τα ξεχωριστά στάδια της δεύτερης έκδοσης της προσέγγισης (δηλαδή της Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών, της Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών, της Συλλογής Δεδομένων Συσκευών, και της Εκτίμησης Αξιοπιστίας Συσκευών), εφαρμόζοντας κάποιες μικρές ή μείζονες αλλαγές όσον αφορά την τελική λειτουργικότητά τους.

Εύρεση και Σύνδεση Συσκευών: Εν συντομία, στο στάδιο της Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών του μηχανισμού, σε όλες τις προηγούμενες εκδόσεις η διασύνδεση και η επικοινωνία μεταξύ των διαθέσιμων συσκευών και του μηχανισμού θεωρούνταν πως ήταν εκτός πεδίου. Ωστόσο, κατά την πρόοδο της παρούσας έρευνας και την ανάπτυξη του μηχανισμού, παρατηρήθηκε ότι αυτή η διασύνδεση δεν μπορούσε να θεωρηθεί εκτός πεδίου εφαρμογής του μηχανισμού, καθώς βάσει των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στις προηγούμενες εκδόσεις της προτεινόμενης προσέγγισης παρατηρήθηκε ότι αυτή η διασύνδεση έπρεπε εν τέλει να υλοποιηθεί εκ νέου για την ομαλή λειτουργία ολόκληρου του μηχανισμού. Ως αποτέλεσμα αυτού, στο εν λόγω στάδιο εξετάστηκε και αναπτύχθηκε η διεπαφή της διασύνδεσης των συσκευών, καθώς η ύπαρξή της ήταν εξαιρετικά απαραίτητη για το μηχανισμό. Ειδικότερα, όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 2.2.2, για το επίπεδο της επικοινωνίας μιας IoT αρχιτεκτονικής, υπάρχουν διαθέσιμα ποικίλα πρωτόκολλα δικτύων για την πραγματοποίηση των απαιτούμενων συνδέσεων, μεταξύ των οποίων ξεχωρίζουν το WiFi για την απομακρυσμένη σύνδεση και το Bluetooth για τη σύνδεση σε κοντινή απόσταση. Ωστόσο, μετά από σχετική έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε αυτό το πεδίο, παρατηρήθηκε ότι μεταξύ των διαφόρων πρωτοκόλλων που υπάρχουν, στον τρέχοντα μηχανισμό το πρωτόκολλο Bluetooth είναι το καταλληλότερο, αφού

χρησιμοποιείται κυρίως στις εφαρμογές του IoT που πρέπει να αλληλοεπιδρούν με ποικίλες συσκευές [446]. Πιο συγκεκριμένα, οι κύριοι λόγοι για την επιλογή αυτού του πρωτοκόλλου είναι πως: (i) η τεχνολογία Bluetooth είναι διαθέσιμη σε όλες τις σύγχρονες συσκευές, (ii) είναι εύκολη στη χρήση, (iii) δεν απαιτεί πρόσθετα καλώδια ή εξοπλισμό, βελτιώνοντας έτσι σημαντικά την εμπειρία του χρήστη, και (iv) παρέχει την απαιτούμενη απόδοση και χωρητικότητα για τη διαχείριση των δεδομένων που προκύπτουν από τις συσκευές αυτές. Επιπλέον, πρέπει να αναφερθεί πως στην τελική έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης, η παρεχόμενη Bluetooth διεπαφή διασύνδεσης συλλέγει μόνο πληροφορίες σχετικά με τα ονόματα των συσκευών και τις διευθύνσεις IP, καθώς οι άλλες προδιαγραφές (δηλαδή το βάρος και το ύψος) που είχαν ληφθεί στις προηγούμενες εκδόσεις δεν χρειάζονταν πλέον στην τελική προτεινόμενη προσέγγιση. Μια άλλη αλλαγή που πραγματοποιήθηκε σε αυτό το στάδιο ήταν το γεγονός ότι οι πληροφορίες των API των συσκευών δεν αποθηκεύονταν στις ΒΔ γνωστών και άγνωστων συσκευών αντίστοιχα, καθώς παρατηρήθηκε ότι πολλές συσκευές ανήκαν στους ίδιους κατασκευαστές, έχοντας τον ίδιο τύπο συσκευής, και συνεπώς θα ήταν περιττό να αποθηκεύονται για τις συσκευές του ίδιου κατασκευαστή και του ίδιου τύπου, οι ίδιες πληροφορίες για τα API. Για το λόγο αυτό, κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου κατασκευάστηκαν οι δύο (2) νέες ΒΔ των API γνωστών και άγνωστων συσκευών, προκειμένου να αποθηκεύονται οι πληροφορίες των API των γνωστών και των άγνωστων συσκευών αντίστοιχα, και να αποφεύγεται ενδεχόμενος πλεονασμός αυτών των πληροφοριών. Τέλος, στο αντίστοιχο στάδιο των προηγούμενων εκδόσεων του μηχανισμού, όλες οι API μέθοδοι των γνωστών συσκευών αποθηκεύονταν στη ΒΔ γνωστών συσκευών (π.χ. όλες οι μέθοδοι συλλογής δεδομένων βιολογικού σήματος, όλες οι μέθοδοι για τη λήψη πληροφοριών σχετικά με τις συνδεδεμένες συσκευές, όλες οι μέθοδοι για τη λήψη πληροφοριών σχετικά με τα προφίλ των χρηστών των συσκευών κλπ.). Ωστόσο, με βάση τα ληφθέντα αποτελέσματα των προηγούμενων εκδόσεων, παρατηρήθηκε ότι πολλές τελικές αναγνωρισμένες API μέθοδοι των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών αναφέρονταν στην ανάκτηση γενικών πληροφοριών των συσκευών (π.χ. προφίλ χρήστη, φίλοι χρηστών κλπ.), καθώς αυτές οι μέθοδοι υπήρχαν επίσης από την πλευρά των γνωστών συσκευών, με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται η εν λόγω αντιστοιχισή τους. Παρόλα αυτά, ένας από τους κύριους σκοπούς του μηχανισμού είναι η ανάκτηση μόνο των ιατρικών παραγόμενων δεδομένων (π.χ. βιολογικών σημάτων) από τις συνδεδεμένες συσκευές, αγνοώντας οποιοσδήποτε μεθόδους σχετίζονται με τις γενικές πληροφορίες των συσκευών (π.χ. προφίλ χρήστη, φίλοι χρηστών κλπ.). Ως εκ τούτου, στην τελική έκδοση του μηχανισμού, σχετικά με τις API μεθόδους των γνωστών συσκευών, ο μηχανισμός ανακτούσε πληροφορίες μόνο για τις μεθόδους που σχετίζονταν με τη συλλογή των ιατρικών δεδομένων των συσκευών. Ως αποτέλεσμα αυτού, οι API μέθοδοι των άγνωστων

συσκευών θα μπορούσαν να συσχετιστούν μόνο με αυτές τις σχετικές μεθόδους των γνωστών συσκευών, καθώς οι μέθοδοι συλλογής γενικών πληροφοριών των συσκευών (π.χ. προφίλ χρήστη, φίλοι χρηστών κλπ.) δεν θα υπήρχαν καθόλου στο μηχανισμό.

Αναγνώριση Τύπου Συσκευών: Μία σημαντική αλλαγή πραγματοποιήθηκε και στο δεύτερο στάδιο της Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών του μηχανισμού. Πιο συγκεκριμένα, μετά από διάφορα πειράματα που εφαρμόστηκαν, παρατηρήθηκε πως όλες οι προηγούμενες εκδόσεις της προτεινόμενης προσέγγισης δεν είχαν υλοποιήσει το μηχανισμό έτσι ώστε να αντιμετωπίζει την πιθανότητα ότι οι συλλεχθείσες προδιαγραφές των συνδεδεμένων συσκευών ενδέχεται να μην περιείχαν την ίδια σημασιολογία όσον αφορά τις περιγραφές και τις μονάδες μέτρησης των προδιαγραφών τους. Ως αποτέλεσμα αυτού, ο μηχανισμός δεν ήταν σε θέση να τις αξιοποιεί προκειμένου να αναγνωρίσει τον τύπο συσκευής των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών. Επιπλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις, λόγω των αυστηρών δικαιωμάτων πρόσβασης του λογισμικού που περιείχαν οι συσκευές, ο μηχανισμός δεν ήταν σε θέση να ανακτήσει από αυτές τις συσκευές καμία από τις προδιαγραφές τους. Ως αποτέλεσμα, έπρεπε να εφαρμοστεί μία νέα μέθοδος αναγνώρισης του τύπου των άγνωστων συσκευών που δεν θα χρειαζόταν ως είσοδο τις προδιαγραφές τόσο του λογισμικού όσο και του υλικού των συσκευών. Μετά από μια εκτενή μελέτη που πραγματοποιήθηκε για την εξεύρεση ενός εναλλακτικού τρόπου αντιμετώπισης αυτού του κενού, παρατηρήθηκε πως πολλές μελέτες προσπαθούσαν να το αντιμετωπίσουν με τη χρήση διαφορετικών μεθόδων και τεχνικών, όπως αυτές που προτάθηκαν στις [316], [318], και [320]. Ωστόσο, καμία από αυτές τις μελέτες δεν είχε εξετάσει το πεδίο του ηλεκτρονικού οράματος (computer vision), το οποίο μπορεί εύκολα να υιοθετηθεί για να αντιμετωπίσει αυτή την πρόκληση. Πιο συγκεκριμένα, οι εφαρμογές ηλεκτρονικού οράματος επιδιώκουν να εξαγάγουν πληροφορίες για τον κόσμο και τα περιχώρα του, εξετάζοντας μεμονωμένες ψηφιακές εικόνες ή ακολουθίες από αυτές. Αυτή η ιδέα θα μπορούσε εύκολα να υιοθετηθεί στην αναγνώριση του τύπου των IoT ετερογενών συσκευών, εκμεταλλευόμενη τις εικόνες που θα μπορούσαν να ληφθούν από τις αντίστοιχες ετερογενείς συσκευές. Εξάλλου είναι πολύ κοινή και γνωστή η έκφραση πως «μια εικόνα ισούται με χίλιες λέξεις» [447]. Έτσι λοιπόν, το εν λόγω στάδιο του μηχανισμού βασίζεται πλέον στην εφαρμογή των τεχνικών της ανίχνευσης των χαρακτηριστικών (feature detection) και της ταξινόμησης των εικόνων (image classification), αντί να εφαρμόζει τεχνικές ταξινόμησης και συντακτικής ομοιότητας για τη δυναμική αναγνώριση της φύσης (δηλαδή του τύπου, του σκοπού, και της λειτουργικότητας) των ετερογενών τόσο γνωστών όσο και άγνωστων συσκευών.

Συλλογή Δεδομένων Συσκευών: Επιπλέον, όσον αφορά το στάδιο της Συλλογής Δεδομένων Συσκευών του μηχανισμού, εφαρμόστηκε μια σημαντική αλλαγή στην τελική έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης. Πιο συγκεκριμένα, μετά από ποικίλα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, παρατηρήθηκε πως παρόλο που οι οντολογίες παρέχουν ένα πλούσιο σύνολο εργαλείων για τη μοντελοποίηση δεδομένων, η χρησιμότητά τους ακολουθείται με ορισμένους περιορισμούς. Ένας τέτοιος περιορισμός είναι οι διαθέσιμες κατασκευές ιδιότητας. Για παράδειγμα, ενώ παρέχει ισχυρές κατασκευές ιδιότητας, η πιο πρόσφατη έκδοση της γλώσσας (OWL2) [448], παρέχει ένα κάπως περιορισμένο σύνολο κατασκευών ιδιότητας. Ένας άλλος περιορισμός προέρχεται από τον τρόπο με τον οποίο η OWL χρησιμοποιεί τους περιορισμούς, καθώς χρησιμεύουν για τον καθορισμό του τρόπου δομής των δεδομένων και για την πρόληψη της προσθήκης δεδομένων που είναι ασυμβίβαστα με αυτούς τους περιορισμούς. Αυτό, ωστόσο, δεν είναι πάντα επωφελές. Συχνά τα δεδομένα που εισάγονται από μία νέα πηγή μπορεί να είναι δομικά ασύμβατα με τους περιορισμούς που ορίζονται χρησιμοποιώντας την OWL. Συνεπώς, αυτά τα νέα δεδομένα θα πρέπει να τροποποιηθούν πριν ενσωματωθούν με αυτά που έχουν ήδη φορτωθεί. Σαν αποτέλεσμα αυτού, η έννοια των οντολογιών διαγράφηκε εντελώς από την τελική έκδοση της προσέγγισης. Ωστόσο, διατηρήθηκε η ιδέα της σημασιολογικής αναγνώρισης, η οποία θα συνεχιστεί να χρησιμοποιείται για την αναγνώριση των API μεθόδων των συσκευών, κατανοώντας τη σημασία και τη λειτουργικότητα των μεθόδων αυτών βάσει των περιγραφών τους, εξάγοντας εν τέλει τις μεθόδους που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων τους. Επιπλέον, μία αξιοσημείωτη αλλαγή που πραγματοποιήθηκε στο εν λόγω στάδιο του μηχανισμού ήταν το γεγονός πως οι API μέθοδοι των άγνωστων συσκευών που αναγνωρίζονταν πως ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων των συσκευών, μπορεί να είχαν διαφορετικές λειτουργικότητες. Συνεπώς, μπορεί να συλλέγαν διαφορετικά δεδομένα μίας συσκευής (π.χ. μία αναγνωρισμένη μέθοδος μίας ζυγαριάς μπορεί να συλλέγε τα κιλά ενός χρήστη, και μία άλλη αναγνωρισμένη μέθοδος της ίδιας ζυγαριάς μπορεί να συλλέγε το λίπος του ίδιου χρήστη), τα οποία όμως ο εκάστοτε χρήστης/πλατφόρμα του μηχανισμού δεν επιθυμούσε να συλλέξει. Βάσει των προηγούμενων εκδόσεων της προτεινόμενης προσέγγισης, στο εν λόγω στάδιο, ο μηχανισμός χρησιμοποιούσε όλες τις αναγνωρισμένες μεθόδους και συλλέγε όλα τα δεδομένα της εκάστοτε συσκευής, χωρίς αυτά να είναι χρήσιμα για τον εκάστοτε χρήστη/πλατφόρμα τη δεδομένη στιγμή της συλλογής τους. Για το λόγο αυτό, αυτό το μέρος του μηχανισμού ανανεώθηκε, προκειμένου να δίνει τη δυνατότητα στον εκάστοτε χρήστη/πλατφόρμα να επιλέγει ποια δεδομένα επιθυμεί να συλλεχθούν από την εκάστοτε συσκευή. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, εφόσον ολοκληρώνεται επιτυχώς η αναγνώριση των μεθόδων, ο μηχανισμός ενημερώνει το χρήστη/πλατφόρμα σχετικά με όλες τις διαθέσιμες μεθόδους που μπορούν να

χρησιμοποιηθούν, προκειμένου ο ίδιος εν τέλει να αποφασίζει ποιες από αυτές επιθυμεί να χρησιμοποιήσει για να ανακτήσει τα σχετικά δεδομένα του. Τέλος, κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων της προηγούμενης έκδοσης της προτεινόμενης προσέγγισης, παρατηρήθηκε πως παρόλο που οι μέθοδοι που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων αναγνωρίζονταν επιτυχώς, αυτές πολλές φορές δεν μπορούσαν να συλλέξουν τα δεδομένα από τις αντίστοιχες συσκευές. Αυτό συνέβαινε διότι απαιτούνταν η συναίνεση του χρήστη προκειμένου τα προσωπικά του δεδομένα να μπορούν να εξαχθούν και να σταλούν σε εξωτερικές πηγές, όπως ο μηχανισμός και οι εκάστοτε πλατφόρμες που τον χρησιμοποιούν. Για το λόγο αυτό, στο εν λόγω στάδιο του μηχανισμού υλοποιήθηκε η αντίστοιχη διεπαφή συγκατάθεσης του χρήστη, ώστε ο ίδιος να είναι σε θέση να συμπληρώνει τα προσωπικά του στοιχεία, και να επιτρέπει την περαιτέρω μεταφορά των δεδομένων του. Ειδικότερα, μέσω της διεπαφής αυτής, πραγματοποιείται η συμπλήρωση και ο έλεγχος εγκυρότητας των προσωπικών στοιχείων του χρήστη, τα οποία αναφέρονται στον προσωπικό του λογαριασμό στον αντίστοιχο κατασκευαστή της συσκευής από την οποία επιθυμεί να αποστείλει τα δεδομένα του. Με αυτόν τον τρόπο, εφόσον τα προσωπικά στοιχεία που συμπληρώνει ο χρήστης συμπίπτουν με αυτά του αντίστοιχου προσωπικού του λογαριασμού, του παρέχεται εν τέλει η δυνατότητα μεταφοράς τους.

Εκτίμηση Αξιοπιστίας Συσκευών: Τέλος, ένα άλλο αξιοσημείωτο κενό που υπήρχε στη δεύτερη έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης ήταν το γεγονός πως δεν ήταν αρκετό να μετρηθεί μόνο η αξιοπιστία των συνδεδεμένων συσκευών, αλλά θα ήταν πιο αποτελεσματικό να μετριέται η αξιοπιστία των συνδεδεμένων συσκευών σε συνδυασμό με την αξιοπιστία των παραγόμενων δεδομένων τους. Αυτή η αλλαγή ήταν πολύ σημαντική, καθώς δεν είναι ορθό να διατηρούνται όλα τα συλλεχθέντα δεδομένα και να χρησιμοποιούνται για περαιτέρω χρήση, καθώς πολλά από αυτά μπορεί να προέρχονται είτε από αναξιόπιστες συσκευές είτε από αξιόπιστες συσκευές που παράγουν ελλιπή και ελαττωματικά δεδομένα. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητο να μετρηθεί και να αξιολογηθεί τόσο η αξιοπιστία των συνδεδεμένων συσκευών όσο και των παραγόμενων δεδομένων τους, έτσι ώστε να διατηρούνται τελικά μόνο τα αξιόπιστα δεδομένα που προέρχονται μόνο από αξιόπιστες συσκευές. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι η αξιοπιστία μπορεί να μετρηθεί με διάφορους τρόπους, ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση [372], [373] ενώ μπορεί να εκτιμηθεί είτε με ποιοτικές είτε με ποσοτικές μεθόδους. Στην παρούσα έκδοση της προσέγγισης χρησιμοποιήθηκαν κυρίως ποσοτικές μέθοδοι για την εκτίμηση της αξιοπιστίας των συσκευών. Παρόλο που στην προηγούμενη έκδοση του μηχανισμού σε αυτό το στάδιο υπολογίστηκαν οι μετρήσεις των MTTR, MTTF, MTBF και Διαθεσιμότητας, μετά από ποικίλα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, προέκυψε πως η μέτρηση της

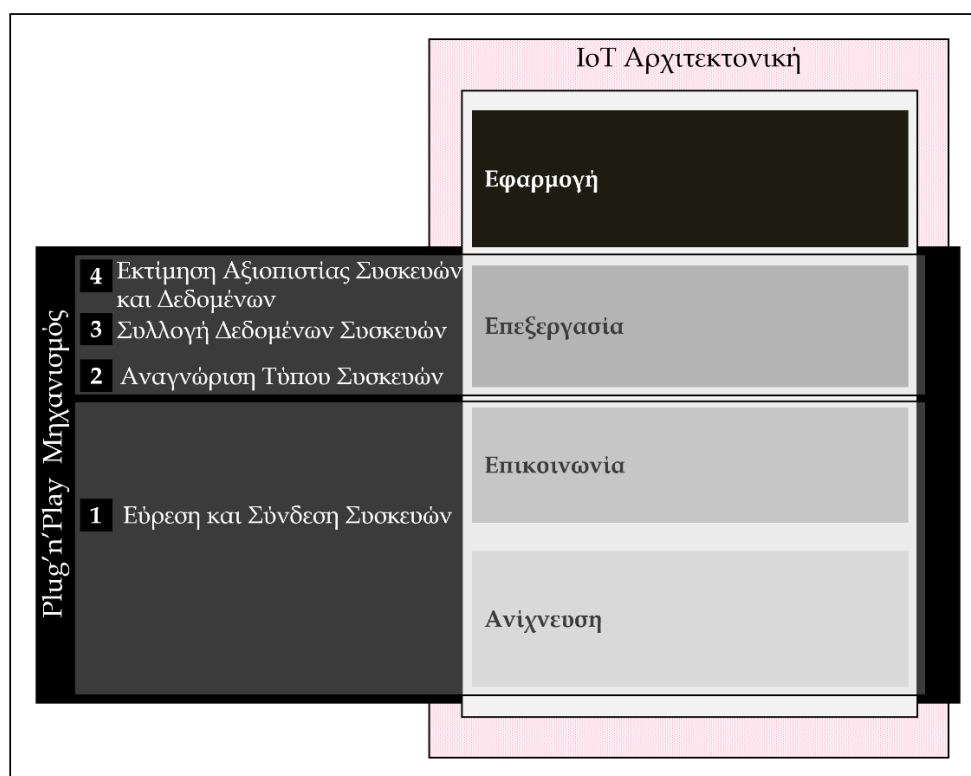
Διαθεσιμότητας, είναι η πιο αντιπροσωπευτική. Έτσι, η τελική έκδοση του μηχανισμού επικεντρώθηκε κυρίως στη μέτρηση της διαθεσιμότητας των συσκευών, ένα σημαντικό μέτρο για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας των συσκευών [374]. Πέρα από όλα αυτά, πρέπει να σημειωθεί ότι η τελική έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης δεν κατέληγε στο συμπέρασμα αν μία συνδεδεμένη συσκευή ήταν αξιόπιστη ή όχι αν και μόνο αν το ποσοστό αξιοπιστίας της ξεπέρανε τα δύο (2) προκαθορισμένα όρια αξιοπιστίας που βασιζόνταν σε γνωστές συσκευές. Η απόφαση αυτή λήφθηκε λόγω του γεγονότος ότι οι τιμές των ορίων αυτών αποκτώνταν από τις μετρήσεις αξιοπιστίας των γνωστών συσκευών που υπήρχαν ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών και είχαν καταγραφεί στο παρελθόν υπό διαφορετικές συνθήκες από εκείνες στις οποίες καταγράφονταν τα επίπεδα αξιοπιστίας των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών. Ως αποτέλεσμα αυτού, τα όρια αυτά δεν ήταν αντιπροσωπευτικά για τη λήψη της τελικής απόφασης. Προκειμένου να επλυθεί αυτή η πρόκληση, η τελική έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης καθόρισε ένα συγκεκριμένο όριο προκειμένου να θεωρεί τα τελικά αποτελέσματα αξιοπιστίας των συσκευών ως ακριβή και ποιοτικά. Ωστόσο, όπως και στη δεύτερη έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης, η τελική έκδοση του μηχανισμού αφαιρεί από το μηχανισμό όλες τις συσκευές που δεν υπερβαίνουν αυτό το όριο, μη διατηρώντας τα δεδομένα τους για περαιτέρω χρήση.

Η τελική έκδοση της προσέγγισης που προτάθηκε στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή προσπάθησε να αντιμετωπίσει όλα τα προαναφερθέντα κενά. Αναλυτικότερα, σε αυτή την προσέγγιση προτάθηκε ένας διαλειτουργικός μηχανισμός ενσωμάτωσης συσκευών, για την εύκολη, αυτόματη και ταχεία ενσωμάτωση ετερογενών IoT συσκευών τόσο γνωστού όσο και άγνωστου τύπου και υπολογισμό των επιπέδων αξιοπιστίας τους, προκειμένου να συγκεντρώνονται τελικά μόνο τα αξιόπιστα δεδομένα που προέρχονται από μόνο αξιόπιστες συσκευές. Ειδικότερα, ο μηχανισμός αυτός αποτελείται από τέσσερα (4) διακριτά στάδια. Στο πρώτο στάδιο, πραγματοποιείται η εύρεση καθώς και η σύνδεση των διαθέσιμων ετερογενών τόσο γνωστών όσο και άγνωστων (από την άποψη γνωστού και άγνωστου τύπου συσκευής) συσκευών, ακολουθούμενη από τη συλλογή των προδιαγραφών και των API τους μέσω της παρεχόμενης Bluetooth διεπαφής διασύνδεσης. Ακολούθως, πραγματοποιείται η αυτόματη διαδικτυακή εύρεση των εικόνων των άγνωστων συσκευών βάσει των συλλεχθέντων προδιαγραφών τους, ακολουθούμενη από την ταξινόμηση των εικόνων όλων των συνδεδεμένων γνωστών και άγνωστων συσκευών, ώστε να ταξινομηθούν οι εικόνες των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών στον τύπο συσκευής των γνωστών, ανάλογα με την ομοιότητα που θα έχουν μεταξύ τους οι εικόνες τους. Από τη στιγμή που ολοκληρώνεται με επιτυχία ο προσδιορισμός του τύπου των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών, ακολουθεί το τρίτο στάδιο του μηχανισμού,

προκειμένου να αναγνωριστεί η σημασία και η λειτουργικότητα των API μεθόδων των συνδεδεμένων άγνωστων (αναγνωρισμένων πλέον) συσκευών που ήταν ακόμα άγνωστες, να βρεθούν οι μέθοδοι που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων των συσκευών, και εν τέλει να συλλέξουν τα δεδομένα τους. Συνεπώς, σε αυτό το στάδιο ο μηχανισμός ήταν σε θέση να κατανοήσει τη φύση και τη σημασία των διαφορετικών API μεθόδων που χρησιμοποιούνταν από τις συνδεδεμένες άγνωστες συσκευές προκειμένου να συλλέγουν τα δεδομένα τους. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιούνται οι περιγραφές των API μεθόδων των προϋπαρχουσών γνωστών συσκευών, οι οποίες εν συνεχεία συγκρίνονται σημασιολογικά μεταξύ τους έτσι ώστε να αναγνωριστεί η σημασία και η λειτουργικότητα των API μεθόδων των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών, και να χρησιμοποιηθούν εκείνες που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων τους. Μόλις ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία, ο μηχανισμός χρησιμοποιεί όλες τις API μεθόδους που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων των συσκευών και τις ενσωματώνει σε ένα ενιαίο δυναμικό API που συγκεντρώνει τα δεδομένα από όλες τις συσκευές, και υπολογίζει την αξιοπιστία τους. Για το σκοπό αυτό, εφαρμόζεται το τέταρτο στάδιο του μηχανισμού, όπου υπολογίζεται η αξιοπιστία των συλλεχθέντων δεδομένων σε συνδυασμό με τη διαθεσιμότητα των εκάστοτε συσκευών που τα παρήγαγαν, ώστε εν τέλει ο μηχανισμός να καταλήξει αν η εκάστοτε συσκευή θα χαρακτηριστεί ως αξιόπιστη ή όχι, και συνεπώς τα δεδομένα της θα διατηρηθούν για περαιτέρω χρήση.

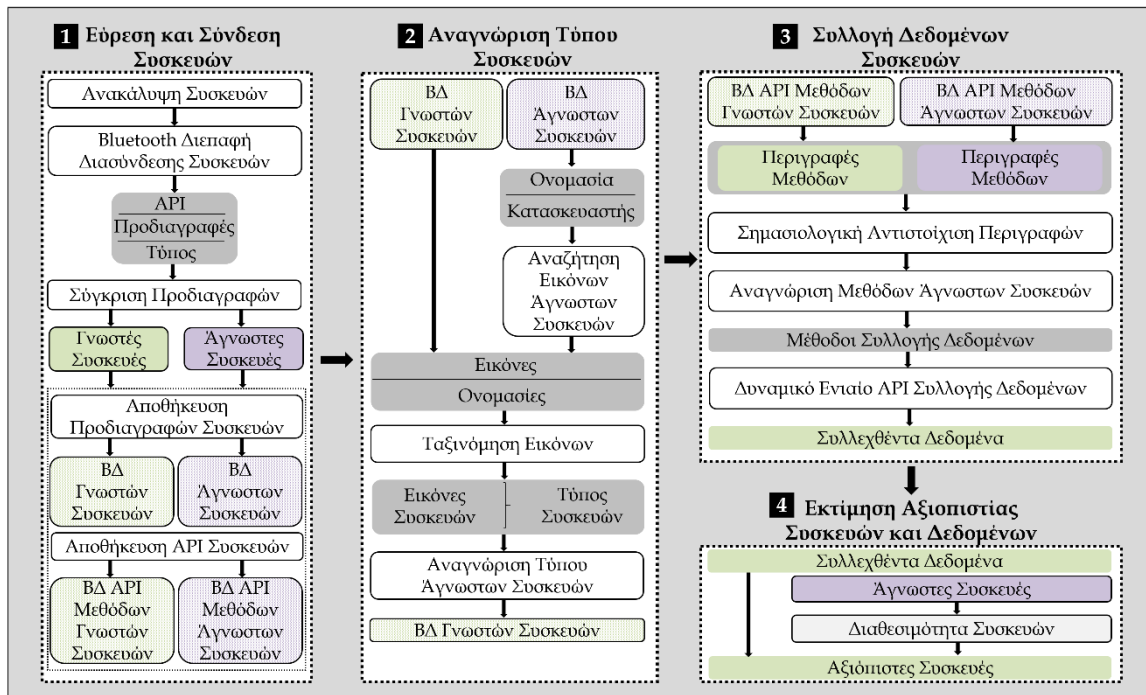
Με βάση τις προαναφερθείσες αλλαγές, η ενημερωμένη αρχιτεκτονική του μηχανισμού απεικονίζεται στην Εικόνα 21, αποτελούμενη από τέσσερα (4) στάδια: (i) Εύρεση και Σύνδεση των Συσκευών, (ii) Αναγνώριση Τύπου Συσκευών, (iii) Συλλογή Δεδομένων Συσκευών, και (iv) Εκτίμηση Αξιοπιστίας Συσκευών και Δεδομένων. Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 3.1, στην ουσία η προτεινόμενη προσέγγιση βασίστηκε πάνω στα βασικά τέσσερα (4) επίπεδα της γενικής IoT αρχιτεκτονικής, τα οποία είναι η Ανίχνευση, η Επικοινωνία, η Επεξεργασία και η Εφαρμογή. Πιο συγκεκριμένα, η προτεινόμενη προσέγγιση καλύπτει μόνο τα τρία (3) από τα τέσσερα (4) αυτά επίπεδα, όπου τα επίπεδα της Ανίχνευσης και της Επικοινωνίας αντιστοιχούν στο πρώτο στάδιο της προτεινόμενης προσέγγισης (Εύρεση και Σύνδεση Συσκευών), το επίπεδο της Επεξεργασίας αντιστοιχεί στα υπόλοιπα στάδια της προσέγγισης (Αναγνώριση Τύπου Συσκευών, Συλλογή Δεδομένων Συσκευών, και Εκτίμηση Αξιοπιστίας Συσκευών και Δεδομένων), ενώ το επίπεδο της Εφαρμογής δεν καλύπτεται, δεδομένου ότι δεν εμπίπτει στο πεδίο εφαρμογής του μηχανισμού. Ωστόσο, όλα τα άλλα στάδια της προσέγγισης κατασκευάστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε τα συνολικά εξαγόμενα αποτελέσματά της να μπορούν να αξιοποιηθούν από τις διάφορες υπάρχουσες IoT εφαρμογές. Ειδικότερα, όσον αφορά την τεχνική της Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών, αυτή

αντιπροσωπεύει αρχικά το επίπεδο της Ανίχνευσης της γενικής ΙοΤ αρχιτεκτονικής, καθώς τόσο οι άγνωστες όσο και οι γνωστές διαθέσιμες συσκευές που εντοπίζονται κατά την Εύρεση και Σύνδεση Συσκευών αναφέρονται στα αντίστοιχα έξυπινα αντικείμενα που εντοπίζονται κατά το επίπεδο της Ανίχνευσης. Επιπλέον, η τεχνική της Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών αντιπροσωπεύει το επίπεδο της Επικοινωνίας της γενικής ΙοΤ αρχιτεκτονικής, καθώς η υλοποιημένη Bluetooth διεπαφή διασύνδεσης που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση των διαθέσιμων συσκευών, αναφέρεται στην αντίστοιχη σύνδεση που πραγματοποιείται στα διαθέσιμα έξυπινα αντικείμενα κατά το επίπεδο της Επικοινωνίας. Τέλος, όσον αφορά τις τεχνικές της Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών, της Συλλογής Δεδομένων Συσκευών, και της Εκτίμησης Αξιοπιστίας Συσκευών και Δεδομένων, αυτές αντιπροσωπεύουν το επίπεδο της Επεξεργασίας, καθώς πραγματοποιούν όλες τις ενέργειες επεξεργασίας των συλλεχθέντων πληροφοριών, όπως αντίστοιχα αυτές παρέχονται από το αντίστοιχο ενδιάμεσο λογισμικό του επιπέδου της Επεξεργασίας, το οποίο είναι υπεύθυνο για την αποθήκευση, και την επεξεργασία των δεδομένων που προέρχονται από το επίπεδο της Επικοινωνίας. Η αντιστοιχία αυτή απεικονίζεται στην Εικόνα 20.

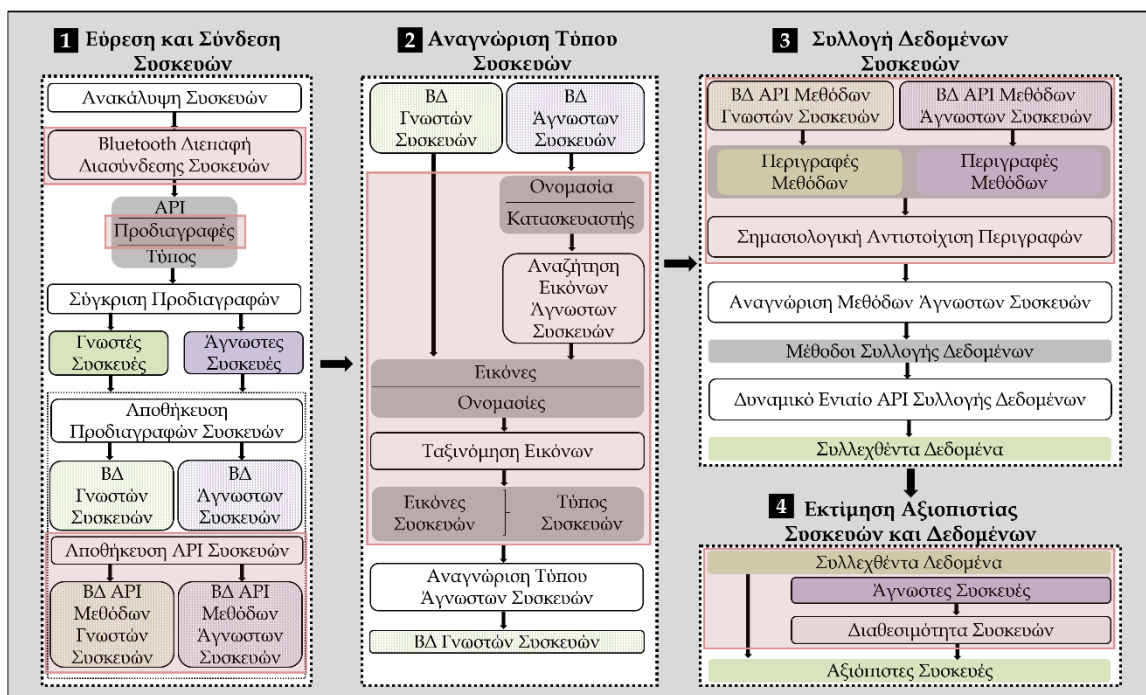


Εικόνα 20. Αντιστοιχία αρχιτεκτονικής τελικής προσέγγισης με ΙοΤ αρχιτεκτονική

Επιπλέον, η Εικόνα 22 απεικονίζει την αρχιτεκτονική της τελικής προσέγγισης, καταγράφοντας όλες τις αλλαγές που έχουν πραγματοποιηθεί σε σχέση με την προηγούμενη έκδοση της αρχιτεκτονικής (ροζ πλαίσια).



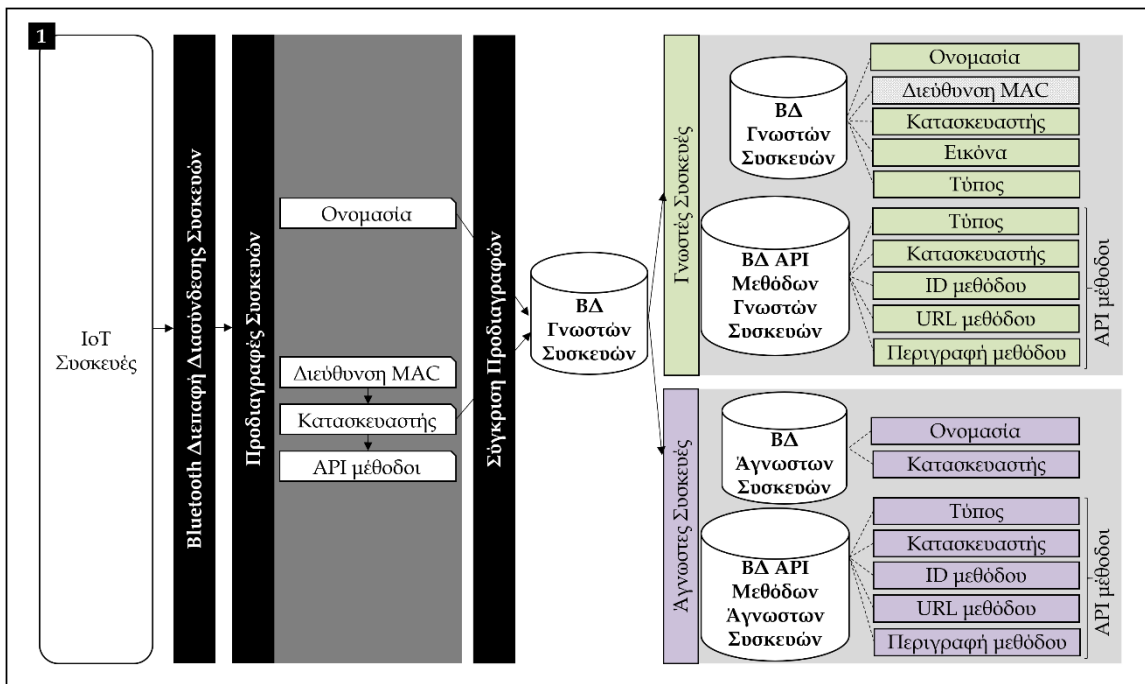
Εικόνα 21. Αρχιτεκτονική τελικής προσέγγισης



Εικόνα 22. Αλλαγές μεταξύ αρχιτεκτονικών τελικής και 2^ο ορόσημου προτεινόμενης προσέγγισης

3.2.1 Τεχνική Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών

Στο πρώτο στάδιο του μηχανισμού, πραγματοποιείται η εύρεση καθώς και η σύνδεση των διαθέσιμων τόσο γνωστών όσο και άγνωστων (από άποψη γνωστού και άγνωστου τύπου συσκευών) συσκευών, ακολουθούμενη από τη συλλογή των προδιαγραφών και των API τους, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 23.



Εικόνα 23. Διαδικασία εύρεσης και σύνδεσης συσκευών τελικής προσέγγισης

Πιο συγκεκριμένα, οι διαθέσιμες συσκευές ανακαλύπτονται και συνδέονται στο μηχανισμό μέσω της παρεχόμενης Bluetooth διεπαφής διασύνδεσης, η οποία είναι υπεύθυνη για τη συλλογή διαφόρων πληροφοριών σχετικά με τις προδιαγραφές των συσκευών. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αυτή η διεπαφή βασίζεται στο πρωτόκολλο Bluetooth. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η διεπαφή σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε ώστε να επιτρέπει την επικοινωνία με πολλαπλές ετερογενείς συσκευές και να υποστηρίζει πρόσθετες συσκευές με τις ελάχιστες αλλαγές. Στην περίπτωση αυτή, έχουν δημιουργηθεί οι κατάλληλοι οδηγοί που εκτελούν τις διάφορες λειτουργίες επικοινωνίας με τις υποκείμενες συσκευές. Ως εκ τούτου, μέσω αυτής της διασύνδεσης ο μηχανισμός είναι σε θέση να επικοινωνεί με όλες τις διαθέσιμες συσκευές μέσω Bluetooth, συγκεντρώνοντας διάφορες χρήσιμες πληροφορίες για αυτές. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι, όπως και στη δεύτερη έκδοση της προτεινόμενης προσέγγισης, στην τελική έκδοση ο μηχανισμός είναι σε θέση να συνδεθεί μόνο με συσκευές που έχουν ανοιχτά API για να παρέχουν πρόσβαση στις μεθόδους τους, καθώς τα ιδιωτικά API δεν δημοσιοποιούν πληροφορίες σχετικά με τις μεθόδους τους.

Όταν όλες οι διαθέσιμες συσκευές συνδεθούν επιτυχώς στο μηχανισμό, αυτός συγκεντρώνει πληροφορίες σχετικά με τις διευθύνσεις MAC των συσκευών αυτών. Οι διευθύνσεις MAC στην ουσία αποτελούν ένα μοναδικό αναγνωριστικό των εκάστοτε συσκευών, αποκαλύπτοντας το OUI τους που επιτρέπει τη συσχέτιση των διευθύνσεων MAC με τον αντίστοιχο συγκεκριμένο τους κατασκευαστή. Όπως αναφέρθηκε και στην Ενότητα 3.1.2.1, αυτό το OUI μπορεί να βρεθεί αυτόματα μέσω του μηχανισμού από τις πρώτες τρεις (3) οκτάδες κάθε διεύθυνσης MAC, το οποίο στη συνέχεια δίνεται ως είσοδος στο MAC Vendors API, μέσω του οποίου καθίσταται εφικτό να βρεθεί ο αντίστοιχος κατασκευαστής κάθε διαφορετικού OUI των διαφορετικών διευθύνσεων MAC. Ωστόσο, αυτές οι πληροφορίες θεωρούνται ανεπαρκείς για το μηχανισμό, καθώς αποκαλύπτουν μόνο το όνομα του κατασκευαστή, ενώ μερικές φορές κανένας οργανισμός δε συσχετίζεται με τη ληφθείσα διεύθυνση MAC. Επιπλέον, ενδέχεται να υπάρχουν κάποιες άλλες περιπτώσεις που ένας κατασκευαστής μπορεί να παράγει πολλές διαφορετικές συσκευές που έχουν το ίδιο OUI, εμποδίζοντας έτσι τη χρήση αυτής της προδιαγραφής για την μετέπειτα αναγνώριση του τύπου των συσκευών. Για το λόγο αυτό, εκτός από το όνομα του κατασκευαστή, ο μηχανισμός συγκεντρώνει πληροφορίες σχετικά με την ονομασία της κάθε συσκευής, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να συνδυαστούν με τον κατασκευαστή των αντίστοιχων συσκευών στα επόμενα βήματα του μηχανισμού.

Μόλις λοιπόν συνδέονται όλες οι διαθέσιμες συσκευές και συλλέγονται όλες οι απαιτούμενες προδιαγραφές τους (δηλαδή όνομα, και κατασκευαστής), οι προδιαγραφές τους συγκρίνονται αυτόματα με τις αντίστοιχες προδιαγραφές (δηλαδή όνομα, και κατασκευαστή) των συσκευών που υπάρχουν ήδη σε μία δημιουργημένη ΒΔ που περιέχει γνωστές συσκευές (ΒΔ γνωστών συσκευών). Με αυτόν τον τρόπο, ο μηχανισμός είναι σε θέση να διαπιστώσει εάν οι συνδεδεμένες συσκευές υπάρχουν ήδη σε αυτή τη ΒΔ ή όχι, και έτσι θα χαρακτηριστούν ως γνωστές ή άγνωστες αντιστοίχως. Ειδικότερα, στην περίπτωση που οι προδιαγραφές των συνδεδεμένων συσκευών ταιριάζουν ακριβώς με τις προδιαγραφές της ΒΔ γνωστών συσκευών, τότε οι συνδεδεμένες συσκευές θεωρούνται αυτόματα ως γνωστές (δηλαδή συσκευές γνωστού τύπου). Από την άλλη πλευρά, αν η σύγκριση καταλήξει πως δεν υπάρχει ομοιότητα ή υπάρχει μερική ομοιότητα μεταξύ των προδιαγραφών των συνδεδεμένων συσκευών και της ΒΔ γνωστών συσκευών, τότε οι συνδεδεμένες συσκευές θεωρούνται άγνωστες (δηλαδή συσκευές άγνωστου τύπου), κρύβοντας οποιαδήποτε πληροφορία σχετίζεται με τον τύπο των συσκευών τους. Επομένως, με αυτόν τον τρόπο, όλες οι συνδεδεμένες συσκευές χαρακτηρίζονται τελικά ως γνωστών ή άγνωστων τύπων συσκευών. Μετά την καταγραφή των προδιαγραφών των διαφόρων συσκευών και την κατηγοριοποίησή τους, πραγματοποιείται η αποθήκευση των πληροφοριών

τους. Ειδικότερα, οι προδιαγραφές των άγνωστων συσκευών αποθηκεύονται σε μία νέα ΒΔ, τη ΒΔ άγνωστων συσκευών, ενώ οι προδιαγραφές των γνωστών συσκευών δεν χρειάζεται να αποθηκευτούν, δεδομένου ότι υπάρχουν ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών.

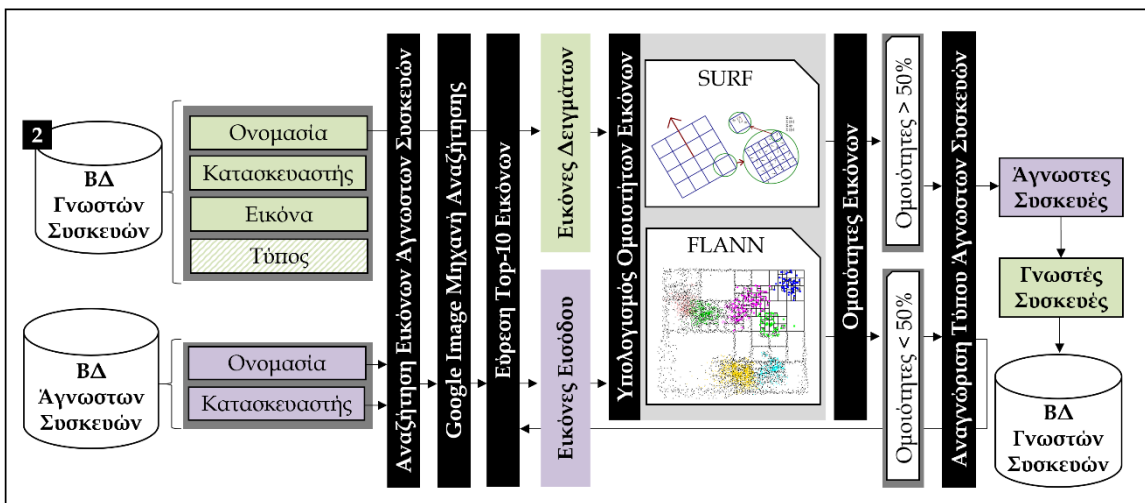
Ωστόσο, εκτός από αυτές τις πληροφορίες, ο μηχανισμός χρειάζεται γνώση σχετικά με τα API των συσκευών. Επομένως, δεδομένου ότι ο μηχανισμός έχει γνώση για όλους τους κατασκευαστές των συσκευών και τη φύση των συσκευών αυτών (δηλαδή είτε γνωστές είτε άγνωστες συσκευές), σε αυτό το στάδιο είναι σε θέση να ανακτήσει από τον ιστότοπο κάθε κατασκευαστή τα αντίστοιχα API διαδικτυακά εγχειρίδια χρήσης που περιέχουν πληροφορίες για τα προσφερόμενα API τους. Ως αποτέλεσμα αυτού, ο μηχανισμός συγκεντρώνει πληροφορίες σχετικά με (i) τα URL των API, παρέχοντας έτσι πρόσβαση στις διαφορετικές μεθόδους που συμπεριλαμβάνονται στα API και χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση των διαφορετικών ενεργειών τους, και (ii) τις περιγραφές των μεθόδων των API. Ωστόσο, για το σκοπό αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι, δεδομένου πως ένας κατασκευαστής μπορεί να παράγει περισσότερους από έναν διαφορετικούς τύπους συσκευών, το διαδικτυακό εγχειρίδιο χρήσης των API του μπορεί να περιέχει πληροφορίες των API σχετικά με όλους τους διαφορετικούς τύπους των συσκευών αυτών. Έτσι λοιπόν, για τις προϋπάρχουσες γνωστές συσκευές ο μηχανισμός αποθηκεύει σε μία ξεχωριστή ΒΔ, τη ΒΔ των API μεθόδων γνωστών συσκευών, για κάθε διαφορετική γνωστή συσκευή, τις αντίστοιχες API μεθόδους για το συγκεκριμένο τύπο συσκευής κάθε συσκευής. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι, καθώς πολλές συσκευές μπορεί να είναι του ίδιου κατασκευαστή, έχοντας τον ίδιο τύπο συσκευής, οι αντίστοιχες πληροφορίες του API αποθηκεύονται μόνο μία φορά στη ΒΔ των API μεθόδων γνωστών συσκευών, δεδομένου ότι θα ήταν περιττό να αποθηκευτούν για τις συσκευές του ίδιου κατασκευαστή και του ίδιου τύπου οι ίδιες πληροφορίες API. Αντίθετα, για τις άγνωστες συσκευές, ο μηχανισμός αποθηκεύει σε μία νέα ΒΔ, τη ΒΔ των API μεθόδων άγνωστων συσκευών, για κάθε διαφορετική άγνωστη συσκευή, όλες τις πληροφορίες των μεθόδων του API, αφού ο τύπος των συσκευών δεν είναι ακόμη γνωστός ώστε να αποθηκευτούν μόνο οι αντίστοιχες μέθοδοι.

Συνεπώς, βάσει των προαναφερθέντων, η ΒΔ άγνωστων συσκευών αποτελείται από τα πεδία του ονόματος και του κατασκευαστή κάθε άγνωστης συσκευής, ενώ η ΒΔ γνωστών συσκευών αποτελείται από τα πεδία του ονόματος, της διεύθυνσης MAC, του κατασκευαστή, καθώς και του τύπου συσκευής κάθε γνωστής συσκευής. Ωστόσο, στο σημείο αυτό να σημειωθεί πως στα επόμενα στάδια του μηχανισμού το πεδίο της διεύθυνσης MAC δεν θα χρησιμοποιηθεί περαιτέρω, επομένως κατά την ολοκλήρωση αυτού του σταδίου διαγραφόταν από τη ΒΔ γνωστών συσκευών,

δεδομένου ότι χρειαζόταν μόνο για το τρέχον στάδιο του μηχανισμού. Επιπλέον, όσον αφορά τη ΒΔ των API μεθόδων άγνωστων συσκευών, αυτή αποτελείται από τα πεδία του κατασκευαστή της συσκευής, τον τύπο της συσκευής, τα URL των μεθόδων της, καθώς και την περιγραφή κάθε αντίστοιχης μεθόδου, έχοντας μόνο γνώση για τη σύνταξη των περιγραφών. Όσον αφορά τη ΒΔ των API μεθόδων άγνωστων συσκευών, αυτή αποτελείται από τα πεδία του κατασκευαστή της συσκευής, τον τύπο της συσκευής, τα URL των μεθόδων της, καθώς και την περιγραφή κάθε αντίστοιχης μεθόδου, έχοντας όμως γνώση τόσο για τη σύνταξη όσο και για τη σημασιολογία των περιγραφών αυτών. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί πως δεδομένου ότι σε αυτό το στάδιο όλες οι συνδεδεμένες συσκευές χαρακτηρίστηκαν ως γνωστές ή άγνωστες, τα ακόλουθα στάδια του μηχανισμού (Τεχνική Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών, Τεχνική Συλλογής Δεδομένων Συσκευών, και Τεχνική Εκτίμησης Αξιοπιστίας Συσκευών και Δεδομένων) εφαρμόζονται μόνο για τις συνδεδεμένες συσκευές που είναι άγνωστου τύπου συσκευής. Οι συνδεδεμένες γνωστές συσκευές δεν χρειάζεται να εξετασθούν περαιτέρω εφόσον υπάρχουν ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών, οπότε ο τύπος συσκευής τους και τα επίπεδα αξιοπιστίας τους είναι γνωστά εκ των προτέρων, και ως εκ τούτου οι API μέθοδοί τους για τη συλλογή των δεδομένων τους έχουν ήδη αναγνωριστεί και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συλλέξουν εν τέλει τα αξιόπιστα δεδομένων των συσκευών αυτών.

3.2.2 Τεχνική Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών

Εφόσον αποθηκεύτηκαν με επιτυχία όλες οι πληροφορίες των συσκευών, εφαρμόζεται το δεύτερο στάδιο του μηχανισμού. Αρχικά, σε αυτό το στάδιο πραγματοποιείται η διαδικτυακή αναζήτηση των εικόνων των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών, με βάση τις καταγεγραμμένες προδιαγραφές (δηλαδή το όνομα και τον κατασκευαστή) τους. Εν συνεχεία, πραγματοποιείται η ταξινόμηση των ευρεθέντων εικόνων των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών με βάση τα παρόμοια χαρακτηριστικά που έχουν οι εικόνες τους με τις εικόνες των γνωστών συσκευών, ώστε εν τέλει να προβλεφθεί ο τύπος των συνδεδεμένων αυτών άγνωστων συσκευών. Αναλυτικότερα, αυτό το στάδιο αποτελείται από δύο (2) διαφορετικά υπο-στάδια, την Αναζήτηση Εικόνων Συσκευών και την Ταξινόμηση Εικόνων Συσκευών, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 24. Αξίζει να σημειωθεί πως αυτό το στάδιο λαμβάνει χώρα μόνο για τις συνδεδεμένες συσκευές που είναι άγνωστου τύπου συσκευής, καθώς οι γνωστές υπάρχουν ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών και ο τύπος συσκευής τους είναι γνωστός εκ των προτέρων.



Εικόνα 24. Διαδικασία αναγνώρισης τύπου συσκευών τελικής προσέγγισης

Αναζήτηση Εικόνων Συσκευών

Στο πρώτο υπο-στάδιο, η κατασκευασμένη μηχανή αναζήτησης εικόνων του μηχανισμού χρησιμοποιεί ως είσοδο τόσο το όνομα όσο και τον κατασκευαστή κάθε συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής που συγκεντρώθηκαν από το πρώτο στάδιο του μηχανισμού (Εύρεση και Σύνδεση Συσκευών). Με βάση τις λέξεις που περιέχουν αυτές οι δύο (2) προδιαγραφές, τις ενσωματώνει σε ένα ερώτημα, κατασκευάζοντας το αντίστοιχο ερώτημα αναζήτησης για να το χρησιμοποιήσει ως είσοδο για τη διαδικτυακή αναζήτησή του. Στην περίπτωση του συγκεκριμένου μηχανισμού, επειδή αυτός εκμεταλλεύεται τις εικόνες των συνδεδεμένων

συσκευών, χρησιμοποιείται η ευρέως χρησιμοποιούμενη μηχανή αναζήτησης εικόνων της Google [449] για την εύρεση των αντίστοιχων εικόνων κάθε άγνωστης συσκευής. Συνεπώς, η κατασκευασμένη μηχανή αναζήτησης εικόνων αναζητά και βρίσκει διαδικτυακά στη βιβλιοθήκη των εικόνων της Google κάθε εικόνα της άγνωστης συσκευής.

Μόλις ολοκληρωθεί αυτή η αναζήτηση, η μηχανή αναζήτησης εικόνων επιστρέφει τη λίστα αποτελεσμάτων που περιέχει τις πρώτες δέκα (10) πιο συχνά εμφανιζόμενες εικόνες της συσκευής. Επομένως, όλες οι ευρεθείσες εικόνες των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών αποθηκεύονται στο πεδίο της εικόνας κάθε αντίστοιχης συσκευής που υπάρχει στη ΒΔ άγνωστων συσκευών. Στο σημείο αυτό να σημειωθεί πως η κατασκευασμένη μηχανή αναζήτησης εικόνων επιστρέφει πάντα μια λίστα αποτελεσμάτων, καθώς οι σημερινές μηχανές αναζήτησης έχουν εξαπλωθεί στο διαδίκτυο και είναι ικανές να βρίσκουν όλου του τύπου έγγραφα και πληροφορίες. Επιπλέον, διατηρούν το ιστορικό ενός προϊόντος ακόμα και αν αυτό δεν υπάρχει πλέον και δεν έχει συσχετίσεις με καμία από τις υπάρχουσες ιστοσελίδες. Ως αποτέλεσμα αυτών, τουλάχιστον μια εικόνα μιας συσκευής θα είναι πάντα διαθέσιμη στο διαδίκτυο.

Ταξινόμηση Εικόνων Συσκευών

Μόλις εντοπιστεί και αποθηκευτεί η εικόνα κάθε συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής στη ΒΔ άγνωστων συσκευών, εφαρμόζεται το δεύτερο υπο-στάδιο, πραγματοποιώντας την ταξινόμηση των εικόνων των γνωστών και των άγνωστων συσκευών, ώστε να αναγνωριστεί τελικά ο τύπος της συσκευής των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών. Για να επιτευχθεί αυτό, ο προτεινόμενος μηχανισμός χρησιμοποιεί τη βιβλιοθήκη λογισμικού ανοιχτού κώδικα του Open Computer Vision (OpenCV) [450] έτσι ώστε να εντοπίσει τις ομοιότητες μεταξύ των διαφόρων υφιστάμενων εικόνων των συσκευών (τόσο των γνωστών όσο και των άγνωστων). Πιο συγκεκριμένα, το OpenCV περιέχει περισσότερες από 3000 μεθόδους για την αντιμετώπιση των διαφόρων υφιστάμενων πτυχών του ηλεκτρονικού οράματος. Ο προτεινόμενος μηχανισμός εκμεταλλεύεται τη μέθοδο SURF [451] προκειμένου να πραγματοποιήσει την ανίχνευση των χαρακτηριστικών της εικόνας εισόδου (δηλαδή της εικόνας της άγνωστης συσκευής) και των εικόνων δειγμάτων που υπάρχουν (δηλαδή των εικόνων των γνωστών συσκευών), έτσι ώστε να εξαχθούν τα διαφορετικά υπάρχοντα χαρακτηριστικά (δηλαδή σημεία ενδιαφέροντος) κάθε εικόνας σε συνδυασμό με τους αντίστοιχους περιγραφείς τους (descriptors). Έτσι, συγκρίνοντας τους περιγραφείς που λήφθηκαν από τις διαφορετικές εικόνες δείγματος και την εικόνα εισόδου, εντοπίζονται τα διαφορετικά ζεύγη ταύτισής τους. Πιο συγκεκριμένα, για να πραγματοποιηθεί αυτή η διαδικασία,

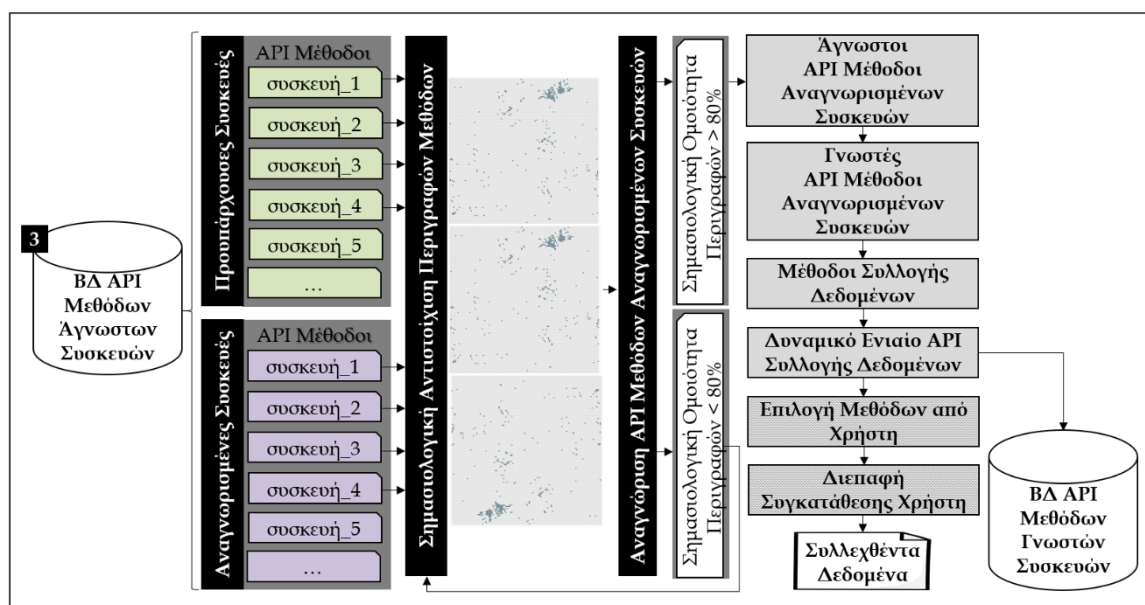
ακολουθούνται δύο (2) σειριακά βήματα. Αρχικά στο πρώτο βήμα, λαμβάνει χώρα η εύρεση των σημείων ενδιαφέροντος τόσο της εικόνας εισόδου όσο και των εικόνων δειγμάτων, όπου τα ευρεθέντα σημεία μοναδικότητας παραμένουν αμετάβλητα σε μεταβολές όπως η αλλαγή κλίμακας μεγέθους, η περιστροφή ή η αλλαγή φωτισμού. Εν συνεχεία, η γειτονιά κάθε σημείου ενδιαφέροντος αναπαρίσταται από ένα χαρακτηριστικό διάνυσμα (δηλαδή περιγραφέα), όπου κάθε χαρακτηριστικό διάνυσμα χρησιμοποιείται στη διαδικασία ταύτισης κοινών σημείων ανάμεσα σε δύο (2) διαφορετικές εικόνες. Έτσι λοιπόν, στο δεύτερο βήμα, τα χαρακτηριστικά διανύσματα μίας εικόνας συγκρίνονται με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά διανύσματα μίας άλλης εικόνας, προκειμένου να βρεθούν τα κοινά σημεία ενδιαφέροντος μεταξύ των δύο (2) αυτών εικόνων. Στο σημείο αυτό να αναφερθεί πως η μέθοδος του SURF χρησιμοποιείται επειδή στην ουσία αποτελεί μία ανιχνευτική και περιγραφική μέθοδο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την εκτέλεση εργασιών όπως ανίχνευση ή ταξινόμηση αντικειμένων, οι οποίες εξετάζονται κατά κύριο λόγο στον προτεινόμενο μηχανισμό. Πιο συγκεκριμένα, η ανίχνευση αντικειμένων με SURF είναι αρκετά ευέλικτη, καθιστώντας την μία πολύ ισχυρή τεχνική σε σύγκριση με άλλες τεχνικές ανίχνευσης αντικειμένων [452]. Μετά την υλοποίηση του SURF, εφόσον έχουν ταυτιστεί τα κοινά σημεία της εικόνας εισόδου με τις εικόνες δειγμάτων, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η αναγνώριση και η ταξινόμηση των σημείων αυτών, πραγματοποιείται ένας βρόγχος επανάληψης σε όλα τα δείγματα εικόνων, ώστε να βρεθεί ο καλύτερος συνδυασμός που έχουν με την εικόνα εισόδου, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο FLANN [453]. Λεπτομερέστερα, αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται στον προτεινόμενο μηχανισμό καθώς παρέχει ένα σύνολο αλγορίθμων που βελτιστοποιούνται για την αναζήτηση πλησιέστερων γειτόνων σε μεγάλα σύνολα δεδομένων που έχουν μεγάλα διαστατικά χαρακτηριστικά, όπως οι εικόνες [454]. Επομένως, δεδομένου ότι ο προτεινόμενος μηχανισμός καλείται να αντιστοιχίσει και να ταξινομήσει τις διαφορετικές εικόνες, η χρήση του FLANN θεωρείται επαρκής για το σκοπό αυτό. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτή η ταξινόμηση, μεταξύ των διαθέσιμων αλγορίθμων του FLANN, ο μηχανισμός εκμεταλλεύεται τον αλγόριθμο αντιστοίχισης του KNN [455], ώστε να εξαγάγει τις καλύτερες αντιστοιχίες των χαρακτηριστικών της εικόνας εισόδου σε σχέση με τα χαρακτηριστικά των εικόνων δειγμάτων.

Μετά την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας, ο μηχανισμός εξάγει τα τελικά αποτελέσματα, υποδεικνύοντας εάν έχουν βρεθεί ομοιότητες με την εικόνα της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (δηλαδή την εικόνα εισόδου) και τις εικόνες των γνωστών συσκευών (δηλαδή τις εικόνες δειγμάτων). Προκειμένου να αποφασιστεί εάν το υπολογισμένο ποσοστό ομοιότητας είναι επαρκές για να θεωρηθεί ότι τα αποτελέσματα είναι αξιόπιστα, τίθεται το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του

50%. Αυτό το όριο επιλέχθηκε με βάση τα ερευνητικά αποτελέσματα που αποκτήθηκαν κατά τη διάρκεια διαφορετικών πειραμάτων της διαδικασίας ταξινόμησης εικόνων που έλαβαν χώρα σε διάφορες συσκευές στο παρελθόν. Στην περίπτωση που παρατηρούνται ομοιότητες μεταξύ αυτών των συσκευών και το υπολογισμένο ποσοστό ομοιότητας είναι μεγαλύτερο από το προκαθορισμένο όριο, τότε τα αποτελέσματα αναφέρουν το όνομα και τον τύπο της γνωστής συσκευής της οποίας η εικόνα έχει το μεγαλύτερο ποσοστό ομοιότητας με την εικόνα της άγνωστης συσκευής. Από την άλλη πλευρά, εάν ο μηχανισμός εξάγει ότι το μεγαλύτερο υπολογισμένο ποσοστό ομοιότητας είναι χαμηλότερο από το προκαθορισμένο όριο, υποδεικνύοντας πως δεν βρέθηκαν επαρκείς ομοιότητες μεταξύ των εικόνων των άγνωστων και των γνωστών συσκευών, ο βρόγχος επανάληψης επανέρχεται στο πρώτο υπο-στάδιο του μηχανισμού (Αναζήτηση Εικόνων Συσκευών), προκειμένου να ανακτήσει τη δεύτερη εικόνα της λίστας αποτελεσμάτων. Δεδομένου ότι η λίστα αποτελεσμάτων περιέχει τις δέκα (10) πιο συχνά διαδικτυακές εμφανιζόμενες εικόνες, όλη αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου η εικόνα της άγνωστης συσκευής να έχει βαθμό ομοιότητας μεγαλύτερο του προκαθορισμένου ορίου του 50%, με μία ή περισσότερες από τις εικόνες των γνωστών συσκευών. Επομένως, μόλις το υπολογισμένο ποσοστό ομοιότητας είναι μεγαλύτερο από το προκαθορισμένο όριο, δεδομένου ότι αφενός ο τύπος συσκευής όλων των γνωστών συσκευών είναι γνωστός και αφετέρου η άγνωστη συσκευή αναγνωρίζεται ότι είναι πανομοιότυπη ή σχεδόν πανομοιότυπη με την αντίστοιχη γνωστή συσκευή, ο τύπος συσκευής της άγνωστης συσκευής γίνεται επίσης γνωστός. Κατά συνέπεια, κάθε συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή θεωρείται γνωστή, παρέχοντας λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με το όνομα, τον κατασκευαστή, την εικόνα, και τον τύπο της συσκευής. Σαν αποτέλεσμα αυτού, κάθε μία από τις συνδεδεμένες αναγνωρισμένες συσκευές σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες προδιαγραφές και εικόνες τους αποθηκεύονται τελικά στη ΒΔ γνωστών συσκευών, προκειμένου να θεωρούνται ως γνωστές συσκευές για μελλοντική χρήση. Πέρα από αυτό, δεδομένου πως ένας από τους επιμέρους στόχους του μηχανισμού είναι να προσδιορίσει αν κάθε συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή σχετίζεται με κάθε συγκεκριμένη πλατφόρμα που επιθυμεί να συνδεθεί και ως εκ τούτου, εάν τα δεδομένα της σχετίζονται με την πλατφόρμα και πρέπει να συλλεχθούν, βάσει των αποτελεσμάτων ο μηχανισμός μπορεί να συμπεράνει αν αυτά τα δεδομένα θα διατηρηθούν, ανάλογα με τον αναγνωρισμένο τύπο συσκευής κάθε συνδεδεμένης συσκευής.

3.2.3 Τεχνική Συλλογής Δεδομένων Συσκευών

Μέχρι στιγμής ο μηχανισμός έχει επιτύχει να εντοπίσει και να αναγνωρίσει αυτόματα συσκευές άγνωστου τύπου. Παρόλα αυτά, παρόλο που οι συσκευές άγνωστου τύπου έχουν αναγνωριστεί ως γνωστές, οι σημασίες και οι επιμέρους λειτουργίες των API μεθόδων τους παραμένουν ακόμα άγνωστες. Έτσι, ένας από τους πρωταρχικούς στόχους του εν λόγω μηχανισμού είναι να αναγνωρίσει τις API μεθόδους που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων των συσκευών. Επομένως, εάν ο μηχανισμός δεν έχει προηγούμενες πληροφορίες σχετικά με το τι είναι υπεύθυνη να κάνει κάθε μέθοδος του API, δεν μπορεί να είναι σε θέση να συλλέξει τα δεδομένα της εκάστοτε συσκευής. Για το λόγο αυτό, αναπτύσσεται το τρίτο στάδιο του μηχανισμού. Σε αυτό το στάδιο, πραγματοποιείται η αντιστοίχιση των API μεθόδων των διαφορετικών συσκευών (δηλαδή των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών και προϋπαρχουσών γνωστών συσκευών), συγκρίνοντας όλες τις API μεθόδους των συσκευών του ίδιου τύπου (π.χ. όλες τις συσκευές παρακολούθησης της αρτηριακής πίεσης). Σαν αποτέλεσμα αυτού, ο μηχανισμός κατανοεί τη φύση και τη σημασία των διαφορετικών API μεθόδων που χρησιμοποιούνται από τις διαφορετικές συσκευές, να εξάγει εκείνες που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων των συσκευών αυτών, και τελικά να αναγνωρίσει τις API μεθόδους για τη συλλογή των δεδομένων των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών. Για να επιτευχθεί αυτό, ο μηχανισμός εντοπίζει τις σημασιολογικές ομοιότητες που υπάρχουν μεταξύ των διαφορετικών περιγραφών των API μεθόδων των συσκευών. Η συνολική διαδικασία που ακολουθείται απεικονίζεται στην Εικόνα 25.



Εικόνα 25. Διαδικασία συλλογής δεδομένων συσκευών τελικής προσέγγισης

Όπως περιεγράφηκε στο στάδιο της Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών (Ενότητα 3.2.1), μέσω του διαδικτυακού API εγχειριδίου χρήσης του κατασκευαστή κάθε συσκευής, ο μηχανισμός σύλλεξε πληροφορίες σχετικά με (i) τις ονομασίες των URL των API, παρέχοντας έτσι πρόσβαση στις διαφορετικές μεθόδους που συμπεριλαμβάνονταν στα API και χρησιμοποιούνταν για την εκτέλεση των διαφορετικών ενεργειών τους, και (ii) τις περιγραφές των μεθόδων των API. Ωστόσο, τα URL των API δεν παρέχουν εσωτερικές πληροφορίες για κάθε διαφορετική μέθοδο που περιέχουν, από την άποψη του πηγαίου κώδικα και του σκοπού τους ως προς τη λειτουργικότητά τους, αλλά παρέχουν μόνο περιγραφές για το τι πρέπει να κάνει η κάθε μέθοδος, πότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί και πώς ονομάζεται. Συνεπώς, μέσω αυτού του σταδίου, καθίσταται εφικτή η ταυτοποίηση των API μεθόδων των συνδεδεμένων άγνωστων (αναγνωρισμένων πλέον) συσκευών, βάσει των πληροφοριών των API μεθόδων των γνωστών (προϋπαρχουσών) συσκευών.

Για να επιτευχθεί αυτό, ο μηχανισμός πραγματοποιεί τη σημασιολογική αντιστοίχιση των API μεθόδων των γνωστών συσκευών με εκείνες των άγνωστων συσκευών. Πιο συγκεκριμένα, δεδομένου ότι οι API μέθοδοι παρέχουν μόνο περιγραφές για το τι κάνει η κάθε μέθοδος, πότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πώς ονομάζεται, αυτά τα τρία (3) κριτήρια χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των σημασιολογικών ομοιοτήτων μεταξύ των περιγραφών των μεθόδων των API. Για το σκοπό αυτό, αρχικά προσδιορίζεται η ομοιότητα που υπάρχει μεταξύ των περιγραφών των μεθόδων και σχετίζεται με τα προαναφερθέντα κριτήρια κάθε μεθόδου, χρησιμοποιώντας σημασιολογικές προσεγγίσεις που στοχεύουν στον εντοπισμό της ομοιότητας μεταξύ της σημασιολογικής κατανόησης των μεθόδων αυτών. Στην περίπτωση του προτεινόμενου μηχανισμού, εφαρμόζεται η τεχνική της Σημασιολογικής Ανάλυσης Φυσικής Γλώσσας (Natural Language Process, NLP) [456] προκειμένου να γίνει κατανοητή η σημασιολογική έννοια της περιγραφής των μεθόδων των API. Σε αυτή την περίπτωση, κατασκευάστηκε ένα Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (Artificial Neural Network, ANN) [457], βασισμένο στον αλγόριθμο MLFFN [458]. Ειδικότερα, αυτός ο αλγόριθμος υλοποιείται υπό τη μορφή ενός κατανεμημένου σημασιολογικού χώρου, ο οποίος βασίζεται στην υπόθεση ότι η γλώσσα αποθηκεύεται στον ανθρώπινο εγκέφαλο με τη μορφή κατανεμημένης μνήμης. Σε αυτό το πλαίσιο, οι λέξεις δεν αποθηκεύονται ως μία ενιαία συμβολική μονάδα, αλλά η αντιπροσώπευση λέξεων αποτελείται από μοτίβα ενεργοποίησης των νευρώνων, τα οποία τελικά εκπροσωπούνται με τη μορφή ενός σημασιολογικού δακτυλικού αποτυπώματος. Έτσι λοιπόν, στον προτεινόμενο μηχανισμό, κάθε περίπτωση των περιγραφών των API μεθόδων μεταφράζεται σε σημασιολογικά δακτυλικά αποτυπώματα, ως μια κατανεμημένη αναπαράσταση. Για το σκοπό

αυτό, πραγματοποιείται πρόσβαση στο Retina API [459], ώστε να μετατραπούν οι περιγραφές των διαφορετικών API μεθόδων (τόσο για τις συσκευές που ο μηχανισμός είχε προηγουμένως γνώση για τη φύση των API μεθόδων τους – γνωστές συσκευές, όσο και για τις προηγούμενες άγνωστες συσκευές που ο μηχανισμός δεν είχε προηγούμενη γνώση για τη φύση των API μεθόδων τους – άγνωστες συσκευές) σε σημασιολογικά δακτυλικά αποτυπώματα, προκειμένου να συγκριθούν οι έννοιές τους με την επικάλυψη των σημασιολογικών αποτυπωμάτων τους και τον υπολογισμό της απόστασης, όπως γίνεται και στην περίπτωση του Retina API. Σαν αποτέλεσμα αυτού, πραγματοποιείται ο προσδιορισμός της σημασιολογικής ομοιότητας μεταξύ των περιγραφών των API μεθόδων όλων των διαθέσιμων συσκευών, υπολογίζοντας τις περιπτώσεις που αυτές έχουν κοινά μέλη ή σχέσεις μεταξύ τους, και έτσι παρέχοντας διαφορετικές πιθανότητες της αντιστοιχίας μεταξύ των πολλαπλών περιγραφών των μεθόδων. Μόλις ολοκληρωθεί η αντιστοιχισή μεταξύ των σημασιολογικών εννοιών των διαφορετικών περιγραφών των μεθόδων, υπολογίζονται οι μετρήσεις της ακρίβειας (precision) και της ανάκλησης (recall) των τελικών αποτελεσμάτων μέσω των Εξισώσεων (7) και (8) αντίστοιχα. Στη συνέχεια, υπολογίζεται η μέση αρμονική (F_{measure}) αυτών των μέτρων (Εξίσωση (9)) σε σχέση με την ευθυγράμμιση αναφοράς του UMLS [460], παρέχοντας τελικά τον αριθμό που υποδεικνύει πόσο μια συγκεκριμένη περιγραφή είναι σημασιολογικά η ίδια με μια άλλη περιγραφή. Με περισσότερες λεπτομέρειες, αρχικά υπολογίζεται η μέτρηση της ακρίβειας μέσω της Εξίσωσης (7), υποδεικνύοντας το κλάσμα των ανακτηθέντων δεδομένων που σχετίζονται με το σημασιολογικό ερώτημα, εμφανίζοντας τον αριθμό των σωστών αποτελεσμάτων διαιρούμενο με τον αριθμό όλων των αποτελεσμάτων που επιστράφηκαν.

$$\text{Ακρίβεια} = \frac{(\text{Σχετικά_δεδομένα} \cap \text{Συλλεχθέντα_δεδομένα})}{\text{Συλλεχθέντα_δεδομένα}} \quad (7)$$

Ακολούθως, υπολογίζεται η μέτρηση της ανάκλησης με την Εξίσωση (8), αναφερόμενη στο κλάσμα των σχετικών δεδομένων που ανακτώνται, παρουσιάζοντας έτσι τον αριθμό των σωστών αποτελεσμάτων διαιρούμενο με τον αριθμό των αποτελεσμάτων που θα έπρεπε να έχουν επιστραφεί.

$$\text{Ανάκληση} = \frac{(\text{Σχετικά_δεδομένα} \cap \text{Συλλεχθέντα_δεδομένα})}{\text{Σχετικά_δεδομένα}} \quad (8)$$

Τέλος, υπολογίζεται η μέτρηση του F_{measure} μέσω της Εξίσωσης (9), η οποία αναφέρεται στο μέσο όρο της υπολογισμένης ακρίβειας και ανάκλησης, και στην ουσία αντιπροσωπεύει τη σημασιολογική ομοιότητα των δεδομένων αυτών.

$$\text{Σημασιολογική_ομοιότητα} = F_{\text{measure}} = \frac{2 * (\text{Ακρίβεια} * \text{Ανάκληση})}{(\text{Ακρίβεια} + \text{Ανάκληση})} \quad (9)$$

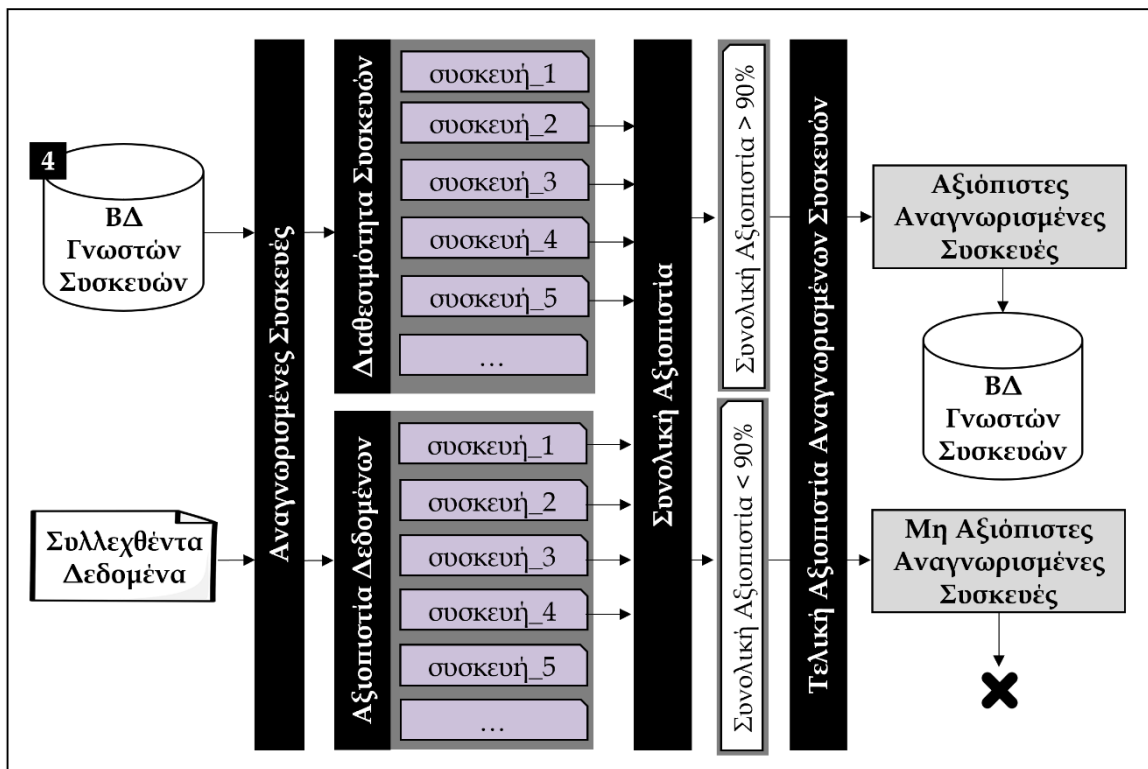
Η προαναφερθείσα διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις υπάρχουσες περιγραφές, έτσι ώστε να αντιστοιχηθούν τελικά όλες οι γνωστές μέθοδοι των API των γνωστών συσκευών με τις API μεθόδους των άγνωστων συσκευών, προσδιορίζοντας έτσι όλες τις API μεθόδους άγνωστης φύσης των άγνωστων συσκευών και εξάγοντας εκείνες που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων των συσκευών αυτών. Για το σκοπό αυτό, καθώς για τις API μεθόδους των γνωστών συσκευών ο μηχανισμός έχει γνώση μόνο για τις API μεθόδους για τη συλλογή των παραγόμενων δεδομένων των συσκευών, προκειμένου να συμπεράνει ότι μία API μέθοδος μίας συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής χρησιμοποιείται για τη συλλογή των παραγόμενων δεδομένων της συσκευής αυτής, το τελικό ποσοστό ομοιότητας πρέπει να υπερβαίνει το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 80%. Αυτό το όριο επιλέχθηκε με βάση τα ερευνητικά αποτελέσματα που αποκτήθηκαν κατά τη διάρκεια διαφορετικών πειραμάτων της διαδικασίας σημασιολογικής ομοιότητας που έλαβαν χώρα σε διάφορες συσκευές στο παρελθόν. Στις περιπτώσεις που δεν ξεπερνάται αυτό το όριο, ο μηχανισμός μειώνει κατά 5% την τιμή του, ώστε να βρει τις επόμενες γνωστές API μεθόδους που είναι πιο σημασιολογικά ίδιες με τις API μεθόδους της εκάστοτε συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής.

Τέλος, μόλις εντοπιστούν όλες οι API μέθοδοι για τη συλλογή των δεδομένων των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών, λαμβάνει χώρα η κατασκευή ενός ενιαίου δυναμικού API. Πιο συγκεκριμένα, το API αυτό αποτελεί ένα ενοποιημένο API που συγχωνεύει όλες τις API μεθόδους των διαφορετικών συσκευών που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων, συγχωνεύοντάς τες βάσει του κατασκευαστή στον οποίο ανήκουν. Συνεπώς, αυτό το ενιαίο δυναμικό API είναι υπεύθυνο για την τελική συλλογή των δεδομένων από όλες τις συνδεδεμένες συσκευές. Σε αυτό το σημείο να αναφερθεί πως μετά από κάθε επανάληψη του μηχανισμού αυτού του σταδίου, προκειμένου να αναγνωρίζονται μία προς μία οι μέθοδοι των άγνωστων συσκευών, το ενιαίο δυναμικό API ενημερώνεται δυναμικά με βάση όλες τις υπάρχουσες μεθόδους API, καλύπτοντας ένα ευρύτερο φάσμα μεθόδων και συσκευών. Βέβαια, εάν κατά τη διάρκεια της δοκιμής διαπιστωθεί ότι το ενιαίο δυναμικό API δεν πληροί τα αναμενόμενα αποτελέσματα - όσον αφορά την αδυναμία ανάκτησης των δεδομένων (βάσει των αναγνωρισμένων μεθόδων) είτε από όλες τις συσκευές είτε από έναν συγκεκριμένο αριθμό αυτών των συσκευών είτε ακόμα και από καμία από αυτές, δημιουργείται ένας βρόγχος επανάληψης στη σημασιολογική αντιστοίχιση των περιγραφών των μεθόδων των API, έτσι ώστε να αντιμετωπιστούν πιθανά μη αποτελεσματικά και

ανακριβή αποτελέσματα που μπορεί να εξήχθησαν κατά την αρχική σημασιολογική αντιστοίχιση των περιγραφών των API μεθόδων των συσκευών, και σαν αποτέλεσμα αυτού να οδήγησαν στην εσφαλμένη αντιστοίχιση των μεθόδων τους. Επιπλέον, στο σημείο αυτό να αναφερθεί πως η δοκιμή του εν λόγω API πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του Runscope. Επομένως, μέσω αυτού του μηχανισμού πραγματοποιείται η συγχώνευση όλων των API μεθόδων των συσκευών που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων τους, επιτρέποντας τελικά τη συλλογή τους από το μηχανισμό. Επιπροσθέτως, πρέπει να σημειωθεί πως δεδομένου ότι όλα τα δεδομένα ανακτώνται από το διαδίκτυο μέσω των RESTful API που παρέχονται από κάθε κατασκευαστή, αυτά στέλνονται συνηθώς σε μορφή JSON. Ωστόσο ο μηχανισμός μετατρέπει πάντα τα συλλεχθέντα δεδομένα σε μορφή XML, αποθηκεύοντάς τα στα αντίστοιχα αρχεία κειμένων. Τέλος, δεδομένου πως (i) οι API μέθοδοι των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών που αναγνωρίστηκαν πως ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων των συσκευών μπορεί να είχαν διαφορετικές λειτουργικότητες, συλλέγοντας έτσι διαφορετικά δεδομένα μίας συσκευής (π.χ. μία αναγνωρισμένη μέθοδος μίας ζυγαριάς μπορεί να συλλέγει τα κιλά ενός χρήστη, και μία άλλη αναγνωρισμένη μέθοδος της ίδιας ζυγαριάς μπορεί να συλλέγει το λίπος του χρήστη), και (ii) ο χρήστης/πλατφόρμα που χρησιμοποιεί το μηχανισμό μπορεί να μην επιθυμεί να ανακτήσει όλα αυτά τα δεδομένα από τη συσκευή, κατά την ολοκλήρωση του εν λόγω σταδίου, ο μηχανισμός ενημερώνει τον χρήστη/πλατφόρμα σχετικά με όλες τις διαθέσιμες μεθόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, προκειμένου ο ίδιος/ίδια να αποφασίσει ποιες από αυτές επιθυμεί να χρησιμοποιήσει για να συλλέξει εν τέλει τα σχετικά δεδομένα. Επίσης να αναφερθεί, πως προκειμένου τα προσωπικά δεδομένα του χρήστη να μπορούν να εξαχθούν και να σταλούν στο μηχανισμό, ο χρήστης πρέπει μέσω της παρεχόμενης διεπαφής συγκατάθεσης, να συμπληρώνει τα προσωπικά του στοιχεία, ώστε να πραγματοποιείται ο έλεγχος εγκυρότητας των στοιχείων αυτών του χρήστη, τα οποία αναφέρονται στον προσωπικό του λογαριασμό στον αντίστοιχο κατασκευαστή της συσκευής από την οποία επιθυμεί να αποστείλει τα δεδομένα του. Με αυτόν τον τρόπο, εφόσον τα προσωπικά στοιχεία που συμπληρώνει συμπίπτουν με αυτά του προσωπικού του λογαριασμού, του παρέχεται εν τέλει η δυνατότητα μεταφοράς των δεδομένων του. Τέλος, να αναφερθεί πως εφόσον οι API μέθοδοι των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών αναγνωρίστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν επιτυχώς ώστε να συλλέξουν τα δεδομένα της εκάστοτε συσκευής, αυτές αποθηκεύονται στη ΒΔ των API μεθόδων γνωστών συσκευών, ώστε να θεωρούνται μελλοντικά ως γνωστές μέθοδοι, και η λειτουργικότητά τους να είναι εκ των προτέρων γνωστή από το μηχανισμό.

3.2.4 Τεχνική Εκτίμησης Αξιοπιστίας Συσκευών και Δεδομένων

Στο τέταρτο και τελικό στάδιο του μηχανισμού, λαμβάνει χώρα η εκτίμηση της αξιοπιστίας των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών σε συνδυασμό με την εκτίμηση της αξιοπιστίας των δεδομένων τους. Όπως αναφέρθηκε και στην Ενότητα 3.2.1.4, αυτό το στάδιο έχει μεγάλη σημασία, καθώς δεν επαρκεί η διατήρηση όλων των συλλεχθέντων δεδομένων και η χρήση τους για περαιτέρω χρήση, εφόσον πολλά από αυτά μπορεί να προέρχονται είτε από αναξιόπιστες συσκευές είτε από αξιόπιστες συσκευές που είναι ελαττωματικές και επιρρεπείς σε σφάλματα. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητο να μετρηθεί και να αξιολογηθεί η αξιοπιστία όλων των παραγόμενων δεδομένων των συσκευών, έτσι ώστε να διατηρούνται τελικά μόνο τα αξιόπιστα δεδομένα που προέρχονται μόνο από αξιόπιστες συσκευές. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, είναι πιο αποτελεσματική η εκτίμηση τόσο της αξιοπιστίας των συσκευών όσο και της αξιοπιστίας των παραγόμενων δεδομένων τους. Συνεπώς, για να εκτιμηθούν οι παραπάνω αξιοπιστίες, σε αυτό το στάδιο ακολουθούνται τρία (3) διαφορετικά υπο-στάδια, η Διαθεσιμότητα Συσκευών, η Αξιοπιστία Δεδομένων, και η Συνολική Αξιοπιστία, όπως αυτά απεικονίζονται στην Εικόνα 26. Όπως και τα προηγούμενα στάδια του μηχανισμού, αυτό το στάδιο λαμβάνει χώρα μόνο για τις συνδεδεμένες άγνωστες (αναγνωρισμένες πλέον) συσκευές, καθώς οι γνωστές υπάρχουν ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών και τα επίπεδα αξιοπιστίας τους έχουν ήδη εκτιμηθεί.



Εικόνα 26. Διαδικασία εκτίμησης αξιοπιστίας συσκευών τελικής προσέγγισης

Διαθεσιμότητα Συσκευών

Στο πρώτο υπο-στάδιο, πραγματοποιείται η εκτίμηση της διαθεσιμότητας των συσκευών, όπου ο μηχανισμός υπολογίζει τα επίπεδα αξιοπιστίας των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών. Παρόλο που η έρευνα στο [370] υπογραμμίζει ότι υπάρχει ένα ευρύ φάσμα μετρήσεων για την καταγραφή της αξιοπιστίας των συσκευών, ο προτεινόμενος μηχανισμός, για να υπολογίσει την αξιοπιστία κάθε διαφορετικής συνδεδεμένης συσκευής, υπολογίζει μόνο τη μέτρηση της διαθεσιμότητας των συσκευών αυτών, καθώς είναι η πιο αντιπροσωπευτική μέτρηση [461]. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως υπάρχει ένα ευρύ φάσμα διαβαθμίσεων και ορισμών της διαθεσιμότητας [462], ωστόσο στον προτεινόμενο μηχανισμό η πιο κατάλληλη που πρόκειται να μετρηθεί είναι η λειτουργική διαθεσιμότητα. Η λειτουργική διαθεσιμότητα (δηλαδή Διαθεσιμότητα) αντιπροσωπεύει το λόγο του χρόνου διαθεσιμότητας της συσκευής προς το συνολικό χρόνο λειτουργίας της, και μπορεί να υπολογιστεί από την Εξίσωση (10).

$$\text{Διαθεσιμότητα} = \frac{\text{Χρόνος_διαθεσιμότητας}}{\text{Χρόνος_λειτουργίας}} \quad (10)$$

Επομένως, ο μηχανισμός υπολογίζει τη διαθεσιμότητα κάθε συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής, υπολογίζοντας τις αντίστοιχες τιμές, θέτοντας ένα χρονόμετρο για να καταγράψει πόσο συχνά κάθε συσκευή επικοινωνεί με το μηχανισμό και παρέχει τα δεδομένα της.

Αξιοπιστία Δεδομένων

Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, δεν είναι αρκετό να υπολογίζεται μόνο η διαθεσιμότητα των συσκευών για να αποφασίζεται εάν αυτές θα θεωρούνται ως αξιόπιστες ή όχι, αλλά είναι πιο αποτελεσματικό να υπολογίζεται επίσης η αξιοπιστία των δεδομένων αυτών των συσκευών. Για το λόγο αυτό, ο μηχανισμός εφαρμόζει το δεύτερο υπο-στάδιο, όπου καταγράφει τις μετρήσεις της αξιοπιστίας [463] κάθε διαφορετικού συλλεχθέντου συνόλου δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, μεταξύ των διαφόρων τύπων που υπάρχουν για τη μέτρηση της αξιοπιστίας των δεδομένων [464], στον προτεινόμενο μηχανισμό χρησιμοποιείται το μέτρο του TRR, καθώς είναι το καταλληλότερο. Συνεπώς, με βάση τα βασικά χαρακτηριστικά του TRR [464], οι μετρήσεις πρέπει να λαμβάνονται από ένα μόνο άτομο στο ίδιο αντικείμενο (δηλαδή στην ίδια συσκευή), υπό τις ίδιες συνθήκες, και σε σύντομο χρονικό διάστημα, αξιολογώντας την αξιοπιστία του αντικειμένου (δηλαδή της συσκευής) σε όλη αυτή την περίοδο. Για να υπολογιστεί το TRR των δεδομένων των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών, χρησιμοποιείται το εργαλείο SPSS [465],

υπολογίζοντας την αντίστοιχη μέτρηση του ICC, δεδομένου ότι τα δεδομένα ενδέχεται να περιέχουν δεδομένα διαστήματος (interval) ή αναλογίας (ratio) [466]. Ειδικότερα, εφαρμόζεται η μέθοδος των αμφίδρομων τυχαίων αποτελεσμάτων, της απόλυτης συμφωνίας και του ενιαίου κριτή/μέτρησης (two-way random effects, absolute agreement, and single rater/measurement, ICC(2,1)), υπακούοντας στις αντίστοιχες συνθήκες [464].

Συνολική Αξιοπιστία

Ως αποτέλεσμα όλων των παραπάνω, στο τελικό υπο-στάδιο, υπολογίζεται η συνολική αξιοπιστία των συλλεχθέντων δεδομένων, όπου μόλις υπολογιστεί η αξιοπιστία κάθε διαφορετικού συνόλου δεδομένων, τα αποτελέσματά της συνδυάζονται με τα αποτελέσματα της διαθεσιμότητας που προέκυψαν από την αντίστοιχη συσκευή, ώστε τελικά να αποφασιστεί εάν κάθε συσκευή και ως αποτέλεσμα τα δεδομένα που προέρχονται από αυτήν θεωρούνται ως αξιόπιστα ή όχι. Στο σημείο αυτό να σημειωθεί πως για να θεωρηθούν τα τελικά αποτελέσματα (δηλαδή η συνολική αξιοπιστία των δεδομένων) ως αξιόπιστα, αυτά πρέπει να υπερβαίνουν το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 90%. Λεπτομερέστερα, η συνολική αξιοπιστία (Συνολική_αξιοπιστία) υπολογίζεται μαθηματικά από την Εξίσωση (11), όπου ισούται με το άθροισμα της διαθεσιμότητας της συσκευής (Διαθεσιμότητα) πολλαπλασιασμένο με βάρος 0,5, και της αντίστοιχης αξιοπιστίας των συλλεχθέντων δεδομένων αυτής της συσκευής (Αξιοπιστία) πολλαπλασιασμένο επίσης με βάρος 0,5. Όσον αφορά τα καθορισμένα βάρη, αυτά επιλέχθηκαν με βάση τα ερευνητικά αποτελέσματα που αποκτήθηκαν κατά τη διάρκεια σχετικών πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν. Αυτά τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι τόσο η διαθεσιμότητα των συσκευών όσο και η αξιοπιστία των δεδομένων τους πρέπει να έχουν τα ίδια βάρη, δεδομένου ότι θεωρούνται ότι είναι το ίδιο χαρακτηριστικά και καθοριστικά για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων της συνολικής αξιοπιστίας των δεδομένων.

$$\text{Συνολική_αξιοπιστία} = (\text{Διαθεσιμότητα} * 0.5) + (\text{Αξιοπιστία} * 0.5) \quad (11)$$

Συνεπώς, βάσει των υπολογισμένων αποτελεσμάτων της συνολικής αξιοπιστίας, όλα τα δεδομένα των οποίων η αξιοπιστία υπερβαίνει το προκαθορισμένο κατώτατο όριο διατηρούνται στο μηχανισμό για περαιτέρω αξιοποίηση και χρήση. Αντιθέτως, τα δεδομένα των οποίων η αξιοπιστία δεν υπερβαίνει το προκαθορισμένο κατώτατο όριο απορρίπτονται από το μηχανισμό, ενώ οι αντίστοιχες συσκευές που παρήγαγαν αυτά τα δεδομένα διαγράφονται από τη ΒΔ γνωστών συσκευών, καθώς θεωρούνται ως μη αξιόπιστες συσκευές.

Όπως και στις προηγούμενες εκδόσεις της προτεινόμενης προσέγγισης, η τρέχουσα έκδοση μελέτησε το δύσκολο θέμα της αποδοτικής συλλογής δεδομένων από ετερογενείς συσκευές και την ενσωμάτωσή τους σε διαφορετικά IoT περιβάλλοντα, λαμβάνοντας υπόψη την αξιοπιστία τόσο αυτών των συσκευών όσο και των δεδομένων που παράγουν. Στα πλαίσια αυτής της πρόκλησης, η εν λόγω προσέγγιση πρότεινε έναν ολοκληρωμένο μηχανισμό για τη διαχείριση και την αξιολόγηση της αξιοπιστίας διαφόρων ετερογενών συσκευών σε συνδυασμό με την αξιοπιστία των δεδομένων που συλλέχθηκαν από αυτές. Ειδικότερα, μέσω αυτού του μηχανισμού εφαρμόστηκε μια προσέγγιση τεσσάρων (4) βημάτων για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης. Με βάση αυτή την προσέγγιση, μόλις εντοπιστούν όλες οι διαθέσιμες συσκευές και συνδεθούν στο μηχανισμό, τα δεδομένα τους συλλέγονται μέσω ενός υλοποιημένου ενιαίου δυναμικού API για τη συλλογή των δεδομένων των συνδεδεμένων αυτών συσκευών. Επομένως, μόλις συγκεντρωθούν τα δεδομένα, αρχικά εκτιμάται η αξιοπιστία τους, η οποία στη συνέχεια συνδυάζεται με τα αποτελέσματα των μετρήσεων διαθεσιμότητας που καταγράφηκαν για κάθε συσκευή που παρήγαγε τα αντίστοιχα δεδομένα, έτσι ώστε να αποφασιστεί εάν η εκάστοτε συνδεδεμένη συσκευή θα θεωρηθεί τελικά ως αξιόπιστη ή όχι, και συνεπώς τα δεδομένα της θα διατηρηθούν για περαιτέρω χρήση. Η τρέχουσα έκδοση της προσέγγισης αξιολογήθηκε ουσιαστικά μέσω διαφόρων πειραμάτων, υποδεικνύοντας τη σκοπιμότητα και την εφαρμογή του συνολικού μηχανισμού. Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα, η προτεινόμενη προσέγγιση παρήγαγε αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα, αφού δοκιμάστηκε κάτω από διαφορετικά σενάρια και τομείς. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ότι ο μηχανισμός ταιριάζει απόλυτα στον τομέα της υγείας, προσφέροντας τη λειτουργικότητά του στις διάφορες περιπτώσεις χρήσης που θα μπορούσαν να προκύψουν.

3.3 Εφαρμογή Τελικής Προσέγγισης Ενσωμάτωσης Αξιόπιστων Συσκευών στον τομέα της Υγείας

Με τη δημιουργία και την υλοποίηση της προτεινόμενης προσέγγισης της Ενότητας 3.2, επιτεύχθηκε η ανάπτυξη μιας καινοτόμου προσέγγισης που μπορεί να είναι διαλειτουργική, έχοντας τη δυνατότητα να συνδέεται και να χρησιμοποιείται από διαφορετικές IoT πλατφόρμες, ανεξάρτητα από τη φύση και τη μορφή των δεδομένων που αυτές μπορούν να χειριστούν. Ειδικότερα, η εν λόγω προσέγγιση είχε τρεις (3) επιμέρους βασικούς στόχους: (i) την αναγνώριση της φύσης των διαφορετικών συσκευών που είναι κάθε φορά διαθέσιμες για τη σύνδεσή τους στην εκάστοτε πλατφόρμα, καταφέροντας έτσι να συνδέει στις πλατφόρμες αυτές μόνο τις συσκευές που σχετίζονται με αυτές, με την έννοια ότι τα δεδομένα τους είναι σχετικά και χρήσιμα προς τις πλατφόρμες αυτές, (ii) την αυτόματη συλλογή των δεδομένων των συνδεδεμένων συσκευών, καταφέροντας έτσι να παρέχει τη δυνατότητα της διαλειτουργικότητας στην εκάστοτε πλατφόρμα, χωρίς αυτή να χρειάζεται να έχει περαιτέρω γνώση για τα API των συσκευών αυτών και χωρίς να χρειάζεται να παραμετροποιηθεί προκειμένου να είναι σε θέση να συλλέξει τα δεδομένα των συσκευών αυτών, και (iii) την αυτόματη εκτίμηση της αξιοπιστίας τόσο των συνδεδεμένων συσκευών όσο και των παραγόμενων δεδομένων τους, καταφέροντας έτσι η εκάστοτε πλατφόρμα να χρησιμοποιεί και να εκμεταλλεύεται μόνο τα αξιόπιστα και ποιοτικά δεδομένα που προέρχονται από αποκλειστικά αξιόπιστες συσκευές. Βάσει αυτού ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος εξαγωγής εσφαλμένων αποτελεσμάτων, και η διεκπεραίωση εσφαλμένων ενεργειών λόγω λανθασμένων και ελλιπών δεδομένων. Αν κάποιος αναλογιστεί αυτές τις προσφορές της προτεινόμενης προσέγγισης, καθίσταται ξεκάθαρο πως η προσέγγιση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως σε όλους τους τομείς, αλλά ιδίως στον τομέα της υγείας.

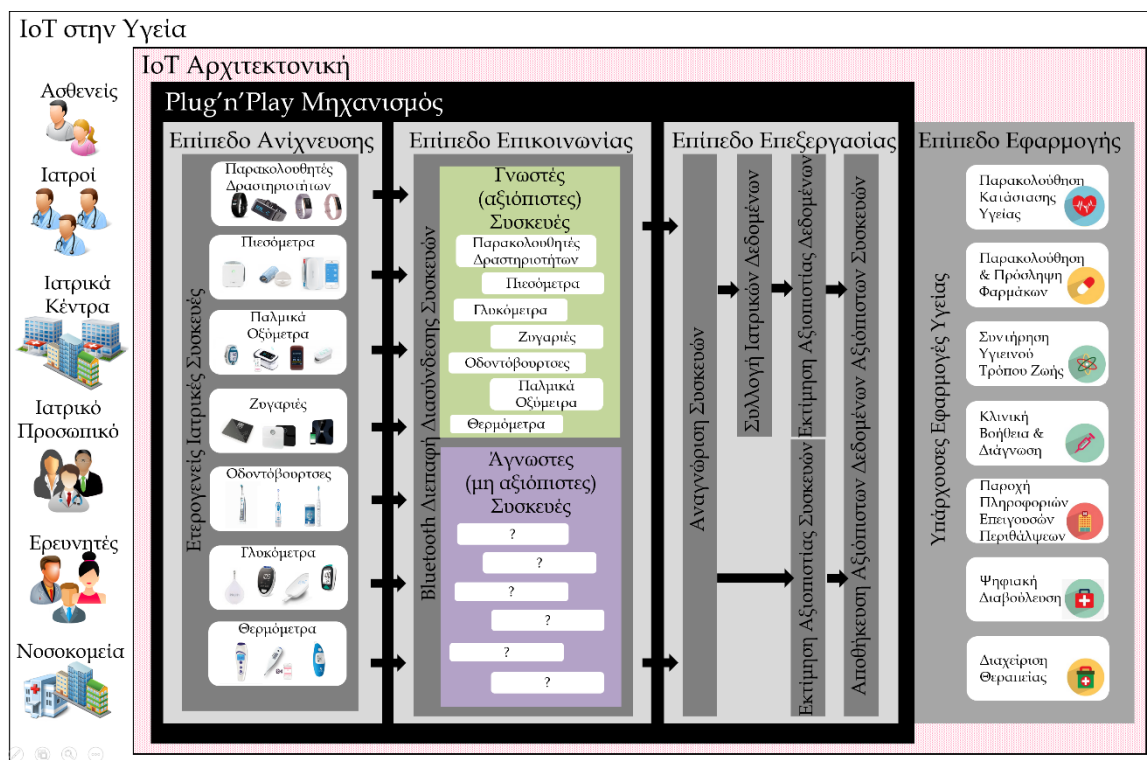
Πιο συγκεκριμένα, ο τομέας της υγείας θεωρείται πως αντιπροσωπεύεται από μία πολύπλοκη βιομηχανία που περιλαμβάνει πολλούς εμπλεκόμενους παράγοντες, όπως τους ασθενείς, τους φροντιστές, τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης, τα νοσοκομεία και τις φαρμακευτικές εταιρείες μεταξύ πολλών. Όλοι αυτοί οι εμπλεκόμενοι περιέχουν αρκετούς περιορισμούς και κανόνες που πολλές φορές οδηγούν σε ελλιπή και μη επαρκή περίθαλψη που παρέχεται στους ασθενείς. Οι περισσότεροι από αυτούς τους εμπλεκόμενους επηρεάζονται επί του παρόντος από τις υποσχέσεις και την ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών που υποστηρίζουν τον τομέα της υγείας, οι οποίες επηρεάζονται με τη σειρά τους από την εισαγωγή των συνεχώς αναπτυσσόμενων τεχνολογιών. Ως αποτέλεσμα αυτών, ο τομέας της υγείας της σημερινής εποχής έχει οδηγηθεί στη δημιουργία της Υγειονομικής Περίθαλψης 4.0 (Healthcare 4.0). Ειδικότερα, η Υγειονομική Περίθαλψη 4.0

προβλέπει τη δημιουργία ενός συστήματος όπου όλοι και όλα θα συνδέονται μέσω φορητών συσκευών, ενώ κάθε σημείο δεδομένων των ασθενών θα καταγράφεται χωρίς να επηρεάζεται από την τρέχουσα τοποθεσία αυτών. Αυτό αποτελεί και τον κύριο λόγο για τον οποίο εκτιμάται πως η αγορά της υγειονομικής περίθαλψης θα αυξηθεί από 521,2 δισεκατομμύρια δολάρια το 2017 σε 674,5 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2022 [31], οδηγώντας τις εταιρείες να κατευθυνθούν προς νέες αγορές και καινοτόμα προϊόντα προκειμένου να παραμείνουν ανταγωνιστικές. Μεταξύ των μεγαλύτερων προκλήσεων που αντιμετωπίζει η έγκαιρη υιοθέτηση της Υγειονομικής Περίθαλψης 4.0, έχει να κάνει σχέση με την έλλειψη συνοχής και ομοιογένειας στην ψηφιακή ενεργοποίηση μεταξύ διαφορετικών συστημάτων, πλατφόρμων και συσκευών που υπάρχουν και χρησιμοποιούνται στα πλαίσια αυτής. Επιπλέον, ο αυξανόμενος αριθμός των ιατρικών συσκευών με εκατομμύρια παραλλαγές προϊόντων αποτελεί μία πρόσθετη πρόκληση για τον τομέα της υγείας, και ειδικά την Υγειονομική Περίθαλψη 4.0. Παρόλο που έχουν σημειωθεί αμέτρητες πρόοδοι στην ιατρική τεχνολογία, μία από τις πιο αξιοσημείωτες είναι η πρόοδος των φορητών ιατρικών συσκευών. Αυτές οι συσκευές μπορούν να βοηθήσουν σε διάφορες υγειονομικές συνθήκες και να προσφέρουν 24ωρη παρακολούθηση των ασθενών χωρίς να επηρεάζουν την καθημερινή τους ζωή. Μετά την άνοδο των χρόνιων ασθενειών, οι άνθρωποι επιλέγουν την οικιακή υγειονομική περίθαλψη για τις νοσοκομειακές υπηρεσίες, καθώς είναι μια αποτελεσματική και οικονομικά αποδοτική θεραπεία. Ως εκ τούτου, οι φορητές ιατρικές συσκευές βοηθούν στη διαχείριση χρόνιων παθήσεων όπως είναι οι καρδιακές παθήσεις, ο διαβήτης, και το άσθμα, παρακολουθώντας τα ζωτικά συμπτώματα όπως το σωματικό λίπος, το επίπεδο οξυγόνου στο αίμα, τον καρδιακό ρυθμό, και την αναπνοή. Ωστόσο, όλες αυτές οι συσκευές τυπικά χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό ετερογένειας, όσον αφορά την ύπαρξη διαφορετικών δυνατοτήτων, λειτουργιών και πρωτοκόλλων δικτύου. Σε ένα τέτοιο σενάριο, είναι απαραίτητο να παρέχονται γενικευμένες τεχνολογίες διαχείρισης αυτών των συσκευών για χάρη των κορυφαίων εφαρμογών και τελικών χρηστών, καθώς και μέσα για τη διαχείριση της διαλειτουργικότητας μεταξύ αυτών των ετερογενών στοιχείων [167]. Με πάνω από 6 εκατομμύρια συνδεδεμένες ιατρικές συσκευές στην αγορά, οι πληροφορίες σχετικά με αυτές είναι συχνά δύσκολο να αντιμετωπιστούν, καθώς απαιτούν τη χειροκίνητη είσοδό τους, οδηγώντας σε υψηλό κίνδυνο ελαττωματικών, ασυνεπών και ελλιπών δεδομένων. Καθίσταται λοιπόν ξεκάθαρο, πως ειδικά στον κόσμο της υγείας, η ανάγκη για επικοινωνία και αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών συσκευών είναι ένα ζήτημα ζωτικής σημασίας. Αν και ένα πλήρως τυποποιημένο σύστημα είναι μια ιδανική λύση, οι περισσότερες εμπορικά διαθέσιμες ιατρικές συσκευές περιλαμβάνουν το δικό τους λογισμικό και πρωτόκολλα επικοινωνίας, προκαλώντας σοβαρά προβλήματα ετερογένειας. Έτσι, δημιουργείται το αδιαμφισβήτητο γεγονός πως κάθε συσκευή

λειτουργεί απομονωμένα, μη διαθέτοντας δυνατότητες επικοινωνίας με άλλες συσκευές. Σαν αποτέλεσμα αυτού, η βιομηχανία υγειονομικής περίθαλψης δεν απαιτεί μόνο ένα υψηλό επίπεδο τεχνολογικού μετασχηματισμού, αλλά απαιτεί και αποτελεσματικά, αξιόπιστα και γρήγορα αποτελέσματα ώστε να είναι σε θέση παράγει πλήρως αξιόπιστες αποφάσεις που στοχεύουν στη βελτίωση της εξατομικευμένης υγείας. Σε αυτό το πλαίσιο, το IoT υπόσχεται να αντιμετωπίσει αυτήν την πρόκληση διευκολύνοντας την αυτόματη αλληλεπίδραση και πρόσβαση σε όλον αυτό το μεγάλο αριθμό υφιστάμενων ετερογενών ιατρικών συσκευών [363]. Έτσι, θα αναπτυχθούν συστήματα και εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης που θα μπορούν να διερευνήσουν και να διαχειριστούν την ποικιλία των συσκευών αυτών. Ωστόσο, οι υπάρχουσες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την ενσωμάτωση των συσκευών είναι τόσο στατικές όσο και ευαίσθητες σε νέες ή μεταβαλλόμενες εφαρμογές και απαιτήσεις συσκευών. Συνεπώς, η ενσωμάτωση των συσκευών αποτελεί ένα ανοικτό και αρκετά δύσκολο αντιμετωπίσιμο ερευνητικό θέμα ακόμα και στην περιοχή της Υγειονομικής Περιθαλψής 4.0.

Η πρόκληση αυτή δημιουργεί μεγάλους κινδύνους για την υγεία, ειδικά στην εποχή της Υγειονομικής Περιθαλψής 4.0 [31], καθώς οι σημερινές πηγές δεδομένων των διαδικτυακών τμημάτων θεωρούνται ισχυρό μέρος της [32] ενώ τα παραγόμενα δεδομένα τους είναι μεγάλης σημασίας δεδομένου ότι οδηγούν την ιατρική λήψη αποφάσεων. Παράλληλα, λόγω του μεγάλου αριθμού των ιατρικών φορητών συσκευών που κυκλοφορούν και χρησιμοποιούνται, η αξιοπιστία των παραγόμενων δεδομένων των συσκευών αυτών έχει κεντρίσει ιδιαίτερα το ενδιαφέρον της ερευνητικής κοινότητας. Η αποτυχία των ιατρικών συστημάτων και σαν αποτέλεσμα η παραγωγή εσφαλμένων δεδομένων, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα πολύ αρνητικές επιπτώσεις που θα μπορούσαν να ήταν ένας απλός τραυματισμός ή ακόμα και ο θάνατος ενός ασθενούς. Συνεπώς, προκύπτει η πρόκληση της αλληλεπίδρασης με αξιόπιστες ιατρικές συσκευές που απαιτούνται πέρα από κάθε άλλη φορά για να παρέχουν δεδομένα υψηλής αξιοπιστίας.

Η προτεινόμενη προσέγγιση της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής έρχεται να αντιμετωπίσει όλα τα προαναφερθέντα υπάρχοντα κενά, αφού είναι σε θέση να ενσωματώνει δυναμικά τις ετερογενείς ιατρικές συσκευές στις διάφορες ιατρικές IoT πλατφόρμες και συστήματα, να συλλέγει αυτόματα τα δεδομένα των συσκευών αυτών, ενώ παράλληλα να αξιολογεί τα επίπεδα αξιοπιστίας των συσκευών και των δεδομένων αυτών, συλλέγοντας με αυτόν τον τρόπο αξιόπιστα ιατρικά δεδομένα που έχουν μεγάλη σημασία για την καθημερινή ζωή των ασθενών. Μία γενική ιδέα για τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να εφαρμοστεί η προτεινόμενη προσέγγιση στον τομέα της υγείας απεικονίζεται στην Εικόνα 27.



Εικόνα 27. Εφαρμογή τελικής προσέγγισης στον τομέα της υγείας

Όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 27, ο προτεινόμενος μηχανισμός μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς στον τομέα της υγείας, όντας εναρμονισμένος με τα βασικά τέσσερα (4) επίπεδα της γενικής αρχιτεκτονικής IoT που αναλύθηκε στην Ενότητα 2.2.2 (Ανίχνευση, Επικοινωνία, Επεξεργασία, και Εφαρμογή). Ειδικότερα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 27, ο προτεινόμενος μηχανισμός καλύπτει μόνο τα τρία (3) από τα τέσσερα (4) επίπεδα μιας τυπικής αρχιτεκτονικής IoT. Λεπτομερέστερα, τα επίπεδα της Ανίχνευση και της Επικοινωνίας αντιστοιχούν στο στάδιο της Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών, το επίπεδο της Επεξεργασίας αντιστοιχεί στα στάδια της Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών, της Συλλογής Δεδομένων Συσκευών και της Εκτίμησης Αξιοπιστίας Συσκευών και Δεδομένων, ενώ το επίπεδο της Εφαρμογής είναι εκτός του πεδίου εφαρμογής του μηχανισμού. Ωστόσο, όλα τα υπόλοιπα στάδια του μηχανισμού έχουν κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε τα συνολικά τους αποτελέσματα να μπορούν να αξιοποιηθούν από τις διάφορες υπάρχουσες IoT πλατφόρμες και εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης.

Πιο συγκεκριμένα, στο επίπεδο της Ανίχνευσης, ο μηχανισμός είναι σε θέση να εντοπίσει όλες τις υποκείμενες ιατρικές συσκευές, έχοντας τη δυνατότητα να ανιχνεύσει όλους τους διαφορετικούς υπάρχοντες τύπους ιατρικών συσκευών (π.χ. παρακολυθητές δραστηριοτήτων, πιεσόμετρα, παλμικά οξύμετρα, ζυγαριές, οδοντόβουρτσες, γλυκόμετρα, θερμόμετρα, κλπ.) που χρησιμοποιούνται από τους διάφορους φορείς του οικοσυστήματος της υγειονομικής περίθαλψης, όπως οι

ασθενείς, οι γιατροί, τα ιατρικά κέντρα, οι επαγγελματίες υγείας, οι ερευνητές, τα νοσοκομεία, κλπ. Αυτό που αξίζει να αναφερθεί είναι το γεγονός ότι οι ιατρικές IoT συσκευές διαχωρίζονται είτε σε ιατρικές συσκευές (medical grade) είτε σε συσκευές για τους καταναλωτές (consumer grade) [467], και αυτό το επίπεδο του μηχανισμού είναι σε θέση να ανιχνεύσει και να χρησιμοποιήσει και τις δύο (2) αυτές κατηγορίες. Από τη στιγμή που εντοπίζονται οι υποκείμενες ιατρικές συσκευές που επιθυμούν να συνδεθούν με το μηχανισμό, ο τελευταίος μέσω της παρεχόμενης Bluetooth διεπαφής διασύνδεσης είναι σε θέση να συνδεθεί με όλες αυτές τις συσκευές, ενώ στο ίδιο επίπεδο, ο μηχανισμός είναι σε θέση να προσδιορίσει τη φύση αυτών των συσκευών, κατηγοριοποιώντας τις είτε σε γνωστές είτε σε άγνωστες συσκευές, ανάλογα με το αν έχουν συνδεθεί ξανά στο μηχανισμό στο παρελθόν ή όχι. Από τη στιγμή που η διαδικασία αυτή ολοκληρώνεται επιτυχώς, στο επίπεδο Επεξεργασίας οι ιατρικές συσκευές που κατηγοριοποιήθηκαν ως άγνωστες αναγνωρίζονται ως γνωστές μέσω μιας συγκεκριμένης διαδικασίας, και ως αποτέλεσμα ο μηχανισμός είναι σε θέση να συλλέξει από όλες τις συνδεδεμένες συσκευές τα παραγόμενα ιατρικά δεδομένα τους. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε και στην Ενότητα 3.2.4, δεν κρίνεται ορθό να συλλέγονται δεδομένα από όλες αυτές τις συσκευές, καθώς πολλά από αυτά μπορεί να προέρχονται είτε από μη αξιόπιστες συσκευές είτε από αξιόπιστες συσκευές που είναι ελαττωματικές και επιρρεπείς σε σφάλματα. Η πρόκληση αυτή δημιουργεί ακραίες επικινδυνότητες στην υγεία, καθώς οι σημερινές IoT συσκευές θεωρούνται ισχυρό μέρος της, ενώ τα παραγόμενα δεδομένα τους χρήζουν μεγάλης σημασίας δεδομένου ότι οδηγούν την λήψη ιατρικών αποφάσεων. Έτσι, στο επίπεδο Επεξεργασίας, η εκτίμηση της αξιοπιστίας των συνδεδεμένων συσκευών λαμβάνει χώρα σε συνδυασμό με την εκτίμηση της αξιοπιστίας των συλλεχθέντων δεδομένων τους, ώστε να διατηρούνται τελικά μόνο τα αξιόπιστα δεδομένα που προέρχονται από αξιόπιστες συσκευές. Συνεπώς, ο μηχανισμός επιτυγχάνει τον κύριο σκοπό του να συλλέγει αξιόπιστα δεδομένα από ετερογενείς ιατρικές συσκευές τόσο γνωστού όσο και άγνωστου τύπου, προσφέροντας τα δεδομένα τους για περαιτέρω χρήση στο επίπεδο Εφαρμογής. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 27, σε αυτό το επίπεδο μπορούν να βρεθούν ποικίλοι τύποι εφαρμογών υγειονομικής περίθαλψης που μπορούν να εκμεταλλευτούν τα αξιόπιστα ιατρικά δεδομένα που συλλέχθηκαν από το μηχανισμό (π.χ. εφαρμογές παρακολούθησης κατάστασης υγείας, πρόσληψης και παρακολούθησης φαρμάκων, συντήρησης υγιεινού τρόπου ζωής, κλινικής βοήθειας και διάγνωσης, παροχής πληροφοριών επειγουσών περιθάλψεων, ψηφιακής διαβούλευσης, και διαχείρισης θεραπείας). Έτσι, καθίσταται σαφές πως υπάρχει πληθώρα εφαρμογών όπου ο προτεινόμενος μηχανισμός μπορεί να συνδεθεί, ενώ οι διάφοροι παράγοντες του οικοσυστήματος της υγειονομικής περίθαλψης μπορούν να επωφεληθούν από αυτό, όπως οι ασθενείς, οι γιατροί, τα ιατρικά κέντρα, οι ιατροί, οι ερευνητές, τα νοσοκομεία κλπ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Αξιολόγηση Τελικής Προσέγγισης

Περιεχόμενα

4.1. Περιβάλλον Δοκιμών

4.2. Αξιολόγηση Προσέγγισης Ενσωμάτωσης Αξιόπιστων Συσκευών στον κόσμο του Διαδικτύου των Αντικειμένων

Περίληψη

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**, λαμβάνει χώρα η αξιολόγηση της προτεινόμενης προσέγγισης της ενσωμάτωσης αξιόπιστων συσκευών στον κόσμο του IoT, μέσω τριών (3) διαφορετικών πειραμάτων. Το 1^ο πείραμα πραγματοποιείται βάσει μίας συσκευής η οποία είναι ήδη γνωστή (τόσο ως προς τον τύπο της, όσο και ως προς την αξιοπιστία της), αποδεικνύοντας την εφαρμογή της προσέγγισης σε τέτοιου είδους περιπτώσεις. Το 2^ο πείραμα πραγματοποιείται βάσει μίας συσκευής η οποία δεν είναι εκ των προτέρων γνωστή στην προσέγγιση, μη παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τον τύπο και τα επίπεδα της αξιοπιστίας της. Βάσει των αποτελεσμάτων του εν λόγω πειράματος, αποδεικνύεται πως η προτεινόμενη προσέγγιση μπορεί επιτυχώς να αναγνωρίσει τον τύπο και τα επίπεδα αξιοπιστίας μιας άγνωστης συσκευής, αναγνωρίζοντας στην προκειμένη περίπτωση πως η συσκευή ήταν ένας παρακολουθητής δραστηριοτήτων υψηλής αξιοπιστίας, παρέχοντας εν τέλει τα δεδομένα του για περαιτέρω χρήση. Όπως και το 2^ο πείραμα, έτσι και το 3^ο πείραμα πραγματοποιείται βάσει μίας συσκευής η οποία δεν είναι από πριν γνωστή στην προσέγγιση, μη παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με τον τύπο και τα επίπεδα της αξιοπιστίας της. Βάσει των αποτελεσμάτων του εν λόγω πειράματος, αποδεικνύεται πως και πάλι η προτεινόμενη προσέγγιση μπορεί επιτυχώς να αναγνωρίσει τον τύπο και τα επίπεδα αξιοπιστίας μιας άγνωστης συσκευής, καθώς στην προκειμένη περίπτωση η προσέγγιση αναγνώρισε πως η συσκευή ήταν ένας παρακολουθητής δραστηριοτήτων, χαμηλής αξιοπιστίας, με αποτέλεσμα να μη ληφθούν τα δεδομένα του για περαιτέρω χρήση. Στο τέλος του Κεφαλαίου, πραγματοποιείται σχετική συζήτηση και ανάλυση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων όλων των πειραμάτων, παραθέτοντας σχετικά συμπεράσματα για την ολική επίδοση και απόδοση του μηχανισμού.

4.1 Περιβάλλον Δοκιμών

Η προτεινόμενη προσέγγιση αναπτύχθηκε σε Java SE χρησιμοποιώντας το εργαλείο NetBeans IDE v8.0.2 [468], σε περιβάλλον επεξεργασίας με 16 GB μνήμη, επεξεργαστή Intel i7-4790 @ 3.60 GHz x 8 CPU Cores, χώρο αποθήκευσης 2 TB και Windows 10 λειτουργικό σύστημα.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα του μηχανισμού της προτεινόμενης προσέγγισης, αυτά απεικονίζονται στην Ενότητα 4.2, ακολουθώντας τα τέσσερα (4) στάδια που περιεγράφηκαν λεπτομερώς στην Ενότητα 3.2. Επιπλέον, προκειμένου να αποθηκευτούν όλα τα δεδομένα που παράγονται από το μηχανισμό, καθώς και να αποθηκευτούν όλα τα δεδομένα και οι πληροφορίες που συλλέγονται από τις συνδεδεμένες συσκευές, ο μηχανισμός χρησιμοποίησε τη βάση δεδομένων Derby [469].

4.2 Αξιολόγηση Προσέγγισης Ενσωμάτωσης Αξιόπιστων Συσκευών στον κόσμο του Διαδικτύου των Αντικειμένων

Η προσέγγιση που προτάθηκε μπορεί να εφαρμοστεί σε διαφορετικούς τομείς του ΙοΤ, ωστόσο όπως αναφέρθηκε και στην Ενότητα 3.3, ο πιο αξιοσημείωτος είναι αυτός του τομέα της υγείας. Για το λόγο αυτό, τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν και παρατίθενται στον εν λόγω Κεφάλαιο επικεντρώθηκαν στο συγκεκριμένο τομέα. Ειδικότερα, κατά τη διάρκεια της τρέχουσας έρευνας, πραγματοποιήθηκαν ποικίλες δοκιμές της προτεινόμενης προσέγγισης, λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές περιπτώσεις συστημάτων σε διαφορετικούς τομείς (κυρίως όμως στον τομέα της υγείας), μελετώντας την εκάστοτε συμπεριφορά τους σε δεδομένα που προέρχονται από διαφορετικές ΙοΤ συσκευές. Βάσει των αποτελεσμάτων των δοκιμών αυτών, λάμβαναν χώρα κάθε φορά οι απαιτούμενες παραμετροποιήσεις ώστε να βελτιστοποιείται η προτεινόμενη προσέγγιση προκειμένου να παράγει πιο γρήγορα και αποδοτικά αποτελέσματα. Σαν αποτέλεσμα αυτού, η προτεινόμενη προσέγγιση εφαρμόστηκε επιτυχώς σε ποικίλες περιπτώσεις χρήσης, ώστε να αξιολογηθεί η εφαρμογή και η αποτελεσματικότητά της. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν εκατοντάδες διαφορετικά πειράματα συνδέοντας στο μηχανισμό της προσέγγισης διαφορετικές συσκευές, παράγοντας αντίστοιχα ποικίλα αποτελέσματα. Βέβαια, αξίζει να αναφερθεί πως στο 90% των περιπτώσεων, ο μηχανισμός παρήγαγε αξιόπιστα αποτελέσματα. Ωστόσο, στο συγκεκριμένο Κεφάλαιο παρατίθενται μόνο τρία (3) από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν. Στο 1^ο πείραμα παρατίθεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να ενσωματωθεί μία γνωστή συσκευή στο μηχανισμό, αποδεικνύοντας πως αν ο μηχανισμός γνωρίζει εκ των προτέρων μία συσκευή μπορεί πολύ εύκολα να συλλέξει τα δεδομένα της (Ενότητα 4.2.2). Στο 2^ο πείραμα παρατίθεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να ενσωματωθεί μία άγνωστη συσκευή στο μηχανισμό, αποδεικνύοντας πως αν ο μηχανισμός δεν γνωρίζει εκ των προτέρων μία συσκευή μπορεί εύκολα να την αναγνωρίσει, να εκτιμήσει τα επίπεδα της αξιοπιστίας της, και εν τέλει να συλλέξει τα αξιόπιστα δεδομένα της συσκευής αυτής, θεωρώντας την ως μία αξιόπιστη συσκευή (Ενότητα 4.2.3). Τέλος, στο 3^ο πείραμα παρατίθεται το αντιπαράδειγμα του 2^{ου} πειράματος, όπου είχε συνδεθεί στο μηχανισμό μία άγνωστη συσκευή που εκτιμήθηκε πως εν τέλει ήταν μία μη αξιόπιστη συσκευή (Ενότητα 4.2.4). Να σημειωθεί πως και στις τρεις (3) περιπτώσεις ο μηχανισμός δεχόταν σαν είσοδο τον ίδιο αριθμό γνωστών συσκευών (Ενότητα 4.2.1), ενώ σε κάθε περίπτωση υπήρχε μία νέα διαφορετική συνδεδεμένη συσκευή. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως όλα τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν στο ίδιο περιβάλλον δοκιμών, ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί η αντικειμενική αξιολόγησή τους (Ενότητα 4.2), τα συνολικά αποτελέσματα της οποίας παρατίθενται στο τέλος του Κεφαλαίου (Ενότητα 4.2.5).

















4.2.1 Περιγραφή Συνόλου Δεδομένων Πειραμάτων

























Όπως ήδη αναφέρθηκε, στο 1^ο πείραμα παρατίθεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να ενσωματωθεί μία γνωστή συσκευή στο μηχανισμό (Ενότητα 4.2.2), στο 2^ο πείραμα παρατίθεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να ενσωματωθεί μία αξιόπιστη άγνωστη συσκευή στο μηχανισμό (Ενότητα 4.2.3), ενώ στο 3^ο πείραμα παρατίθεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να ενσωματωθεί μία μη αξιόπιστη άγνωστη συσκευή στο μηχανισμό (Ενότητα 4.2.4), όπου και στις τρεις (3) περιπτώσεις ο μηχανισμός δεχόταν σαν είσοδο τον ίδιο αριθμό γνωστών συσκευών (Ενότητα 4.2.1), ενώ σε κάθε περίπτωση υπήρχε μία νέα διαφορετική συνδεδεμένη συσκευή. Πιο συγκεκριμένα, για τους σκοπούς των πειραμάτων του προτεινόμενου μηχανισμού, σε κάθε πείραμα επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί μόνο μία άγνωστη εισερχόμενη συσκευή, καθώς ο αριθμός των εισερχόμενων άγνωστων συσκευών δεν επηρεάζει καθόλου τα αποτελέσματα της συνολικής προσέγγισης. Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκε μία εισερχόμενη άγνωστη συσκευή για να αποδειχθεί η εφαρμογή της προτεινόμενης προσέγγισης. Επομένως, θα ήταν εφικτό να χρησιμοποιηθούν παράλληλα και άλλες εισερχόμενες συσκευές για τους σκοπούς των τρεχόντων πειραμάτων. Στην περίπτωση βέβαια που θα επεκτεινότουσαν τα πειραματικά αποτελέσματα με επιπλέον συσκευές, δεν θα παρέχονταν περαιτέρω πληροφορίες όσον αφορά τη συνολική αξιολόγηση του μηχανισμού, δεδομένου πως για όλες τις συσκευές θα ακολουθούταν ακριβώς η ίδια διαδικασία. Σαν αποτέλεσμα αυτού, τα πειραματικά αποτελέσματα απλά θα επαναλαμβάνοντουσαν. Επιπλέον, στα πλαίσια των πειραμάτων που παρατίθενται, λήφθηκε υπόψη ένας μικρός αριθμός γνωστών ιατρικών συσκευών, παρόλο που τα συνολικά πειράματα που πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιούσαν πολύ μεγαλύτερο αριθμό γνωστών συσκευών. Ωστόσο, αυτός ο περιορισμός στον αριθμό των χρησιμοποιούμενων συσκευών των πειραμάτων δεν επηρέασε καθόλου τα τελικά αποτελέσματα, καθώς ο μηχανισμός συμπεριφερόταν ακριβώς με τον ίδιο τρόπο είτε χρησιμοποιούσε λίγες είτε πολλές γνωστές συσκευές.

Ειδικότερα, προκειμένου να διεξαχθεί η πλήρης δοκιμή και αξιολόγηση του προτεινόμενου μηχανισμού, επιλέχθηκαν 40 ιατρικές IoT συσκευές, οι οποίες ήταν σε θέση να επικοινωνούν μέσω Bluetooth με το μηχανισμό. Αυτές οι συσκευές είχαν επιλεγεί επειδή αντιπροσώπευαν διαφορετικούς τύπους ιατρικών συσκευών, προσφέροντας ανοικτά API για την πρόσβαση στα δεδομένα τους. Ορισμένες από αυτές τις συσκευές ήταν του ίδιου τύπου, ενώ παράγονταν είτε από τον ίδιο είτε από διαφορετικούς κατασκευαστές. Λεπτομερέστερα, 40 από αυτές τις συσκευές ήταν γνωστού τύπου συσκευής δεδομένου ότι υπήρχαν ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών, ενώ μία από αυτές τις συσκευές ήταν αρχικά άγνωστου τύπου συσκευής, και προσπαθούσε να συνδεθεί με το μηχανισμό. Ως εκ τούτου, για τις 40 γνωστές

συσκευές, ο μηχανισμός είχε ήδη γνώση για πέντε (5) από τις προδιαγραφές τους (δηλαδή όνομα, διεύθυνση MAC, κατασκευαστής, εικόνα, και τύπος), περιγράφοντας τον τύπο της συσκευής στην οποία ανήκαν (δηλαδή παρακολουθητής δραστηριοτήτων (ΠΑ), πιεσόμετρο (ΠΠΕ), παλμικό οξύμετρο (ΠΟ), ζυγαριά (ΖΥ), γλυκόμετρο (ΓΛ), και θερμόμετρο (ΘΕ)). Ειδικότερα, 21 από αυτές τις συσκευές ήταν παρακολουθητές δραστηριοτήτων, 7 ήταν πιεσόμετρα, 1 ήταν παλμικό οξύμετρο, 7 ήταν ζυγαριές, 2 ήταν γλυκόμετρα, και 2 ήταν θερμόμετρα. Όλες αυτές οι πληροφορίες περιλαμβάνονταν στη ΒΔ γνωστών συσκευών (Πίνακας 1). Όσον αφορά τη 1 συνδεδεμένη συσκευή, ο μηχανισμός είχε μόνο προηγούμενη γνώση για δύο (2) από τις προδιαγραφές (δηλαδή όνομα και διεύθυνση MAC), ενώ ο κατασκευαστής, η εικόνα και ο τύπος της ήταν αρχικά άγνωστοι (ΑΓ). Οι πληροφορίες αυτές απεικονίζονται στις Ενότητες 4.2.2.1, 4.2.3.1 και 4.2.4.1 των αντίστοιχων πειραμάτων, καθώς σε κάθε πείραμα χρησιμοποιούταν μια διαφορετική συνδεδεμένη συσκευή.

Πίνακας 1. Περιεχόμενα ΒΔ γνωστών συσκευών

#	Όνομα	Διεύθυνση MAC	Κατασκευαστής	Εικόνα	Τύπος
1	Fitbit Flex	1800DB6C572B	Fitbit		ΠΑ
2	Withings BPM	0024E46C58B4	Withings		ΠΠΕ
3	iHealth Ease	00070D6E97A2	iHealth		ΠΠΕ
4	iHealth Air	00070D6E9B12	iHealth		ΠΟ
5	Withings Body Cardio	0024E46C12A3	Withings		ΖΥ
6	Garmin Vivomove HR	00054F6C6192	Garmin		ΠΑ
7	iHealth Lite	00070D6E58A3	iHealth		ΖΥ
8	iHealth Smart	00070D6E56B4	iHealth		ΓΛ
9	Garmin Vivosport	00054F6BD535	Garmin		ΠΑ
10	Fitbit Charge 3	1800DB6BE0BD	Fitbit		ΠΑ
11	Mi Band 2	D832E36BE105	Xiaomi		ΠΑ
12	iHealth Wave	00070D6E24C2	iHealth		ΠΑ
13	Withings Body	0024E42A5AB2	Withings		ΖΥ
14	iHealth Thermometer	00070D6A5AD3	iHealth		ΘΕ
15	Garmin Vivosmart 4	00054F6A2AD2	Garmin		ΠΑ
16	Withings Steel	0024E42C4D2B	Withings		ΠΑ

17	Fitbit Zip	1800DB6C6713	Fitbit		ΠΑ
18	Withings Thermo	0024E4DA52A2	Withings		ΘΕ
19	Fitbit Aria	1800DB6C572C	Fitbit		ZY
20	iHealth Sense	00070D6E27B5	iHealth		ΠΙΕ
21	Withings Pulse O2	0024E46C4D4A	Withings		ΠΑ
22	iHealth Track	00070D6E26A1	iHealth		ΠΙΕ
23	Garmin Quatix 5	00054F6A2C31	Garmin		ΠΑ
24	iHealth View	00070D6E97B1	iHealth		ΠΙΕ
25	Garmin Vivofit 4	00054F6BD3AB	Garmin		ΠΑ
26	Mi Body Composition Scale	0026DF6BE307	Xiaomi		ZY
27	Fitbit Alta HR	1800DB6C2C1A	Fitbit		ΠΑ
28	Withings Steel HR	0024E42C4D4C	Withings		ΠΑ
29	iHealth Core	00070D6E25C2	iHealth		ZY
30	Garmin Forerunner 935	00054F6BD52B	Garmin		ΠΑ
31	iHealth Clear	00070D6E43A2	iHealth		ΠΙΕ
32	Fitbit Versa	1800DB6C45AC	Fitbit		ΠΑ
33	Fitbit Alta	1800DB6C53A5	Fitbit		ΠΑ
34	iHealth Align	00070D6A45B1	iHealth		ΓΛ
35	Fitbit Ace	1800DB6A272A	Fitbit		ΠΑ
36	Garmin Fenix 5S Plus	00054F6BA43A	Garmin		ΠΑ
37	Withings Body+	0024E42A5CB	Withings		ZY
38	Garmin Fenix Chronos	00054F6A23A1	Garmin		ΠΑ
39	Fitbit Ionic	1800DB6C12A0	Fitbit		ΠΑ
40	iHealth Feel	00070D621C4B	iHealth		ΠΙΕ

Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 3.2.1, εκτός από τις προδιαγραφές των επιλεγμένων ιατρικών IoT συσκευών, για το σύνολο δεδομένων αξιολόγησης ο μηχανισμός χρειαζόταν πληροφορίες για τις API μεθόδους αυτών των συσκευών. Ως εκ τούτου, για τις 40 γνωστές συσκευές, καθώς ο μηχανισμός γνώριζε τους κατασκευαστές τους και τους τύπους συσκευών τους, μπορούσε να ανακτήσει από κάθε διαφορετικό ιστότοπο του κατασκευαστή, για κάθε διαφορετικό τύπο συσκευής, τα αντίστοιχα εγχειρίδια χρήσης των API, συλλέγοντας πληροφορίες σχετικά με (i) τα URL των μεθόδων των API, παρέχοντας έτσι πρόσβαση στις διαφορετικές μεθόδους που συμπεριλαμβάνονταν στα API και χρησιμοποιούνταν για την εκτέλεση των διαφορετικών ενεργειών των συσκευών, και (ii) τις περιγραφές των μεθόδων αυτών. Σαν αποτέλεσμα αυτού, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1, αφού οι επιλεγμένες γνωστές συσκευές ανήκαν στους κατασκευαστές των Fitbit, Garmin, iHealth, και Xiaomi, ο μηχανισμός συγκέντρωσε τις πληροφορίες των API για κάθε τύπο συσκευής από το διαδικτυακό εγχειρίδιο χρήσης των API του Fitbit [470], ενώ ακολούθησε την ίδια διαδικασία για τους κατασκευαστές του Garmin [471], του iHealth [472] και του Xiaomi [473].

Πιο συγκεκριμένα, ο μηχανισμός ανέκτησε 29 μεθόδους από το διαδικτυακό εγχειρίδιο χρήσης των API του Fitbit, όλες χρησιμοποιώντας ως URL αίτησης το GET <https://api.fitbit.com/1/user/>. Βέβαια στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί πως το εγχειρίδιο χρήσης των API του Fitbit είχε πολύ περισσότερες διαθέσιμες μεθόδους δεδομένων, ωστόσο ο εν λόγω μηχανισμός εκμεταλλεύτηκε μόνο εκείνες που μπορούσαν να ανακτήσουν τα παραγόμενα δεδομένα από τις αντίστοιχες συσκευές (δηλαδή παρακολουθητές δραστηριοτήτων και ζυγαριές), χωρίς να απαιτείται η παρέμβαση του χρήστη (π.χ. μετρήσεις τροφίμων, φίλοι, κλπ.). Όλες οι μέθοδοι που αξιοποιήθηκαν από το μηχανισμό καταγράφονται στον Πίνακα 2, υποδεικνύοντας το URL πρόσβασης της κάθε μεθόδου, την περιγραφή της κάθε μεθόδου, καθώς και τον τύπο της συσκευής που αναφέρεται η κάθε μέθοδος.

Πίνακας 2. Περιεχόμενα ΒΔ API μεθόδων γνωστών συσκευών με Fitbit πληροφορίες

#	Τύπος	URL Μεθόδου	Περιγραφή Μεθόδου
1	ΠΔ	[user-id]/activities/date/[date].json	Get Daily Activity Summary
2	ΠΔ	[user-id]/[resource-path]/date/[date]/[period].json	Get Activity Time Series
3	ΠΔ	[user-id]/[resource-path]/date/[base-date]/[end-date].json	Get Activity Time Series
4	ΠΔ	-/[resource-path]/date/[date]/[date]/[detail-level].json	Get Activity Intraday Time Series
5	ΠΔ	-/[resource-path]/date/[date]/[date]/[detail-level]/time/[start-time]/[end-time].json	Get Activity Intraday Time Series
6	ΠΔ	-/activities/list.json	Get Activity List
7	ΠΔ	activities/[activity-id].json	Get Activity Type
8	ΠΔ	-/activities/frequent.json	Get Frequent Activities
9	ΠΔ	-/activities/recent.json	Get Activity Types
10	ΠΔ	[user-id]/activities/favorite.json	Get Favorite Activities
11	ΠΔ	[user-id]/activities/goals/[period].json	Get Activity Goals
12	ZY	[user-id]/activities.json	Get Lifetime Stats
13	ZY	[user-id]/body/log/fat/date/[date].json	Get Body Fat Logs
14	ZY	[user-id]/body/log/fat/date/[date]/[period].json	Get Body Fat Logs
15	ZY	[user-id]/body/log/fat/date/[base-date]/[end-date].json	Get Body Fat Logs
16	ZY	body/[resource-path]/date/[date]/[period].json	Get Body Time Series
17	ZY	body/[resource-path]/date/[base-date]/[end-date].json	Get Body Time Series
18	ZY	[user-id]/body/log/[goal-type]/goal.json	Get Body Goals
19	ZY	[user-id]/body/log/weight/date/[date].json	Get Weight Logs
20	ZY	[user-id]/body/log/weight/date/[base-date]/[period].json	Get Weight Logs
21	ZY	[user-id]/body/log/weight/date/[base-date]/[end-date].json	Get Weight Logs
22	ΠΔ	[user-id]/activities/heart/date/[date]/[period].json	Get Heart Rate Time Series
23	ΠΔ	[user-id]/activities/heart/date/[base-date]/[end-date].json	Get Heart Rate Time Series
24	ΠΔ	-/activities/heart/date/[date]/[end-date]/[detail-level].json	Get Heart Rate Intraday Time Series
25	ΠΔ	-/activities/heart/date/[date]/[end-date]/[detail-level]/time/[start-time]/[end-time].json	Get Heart Rate Intraday Time Series
26	ΠΔ	[user-id]/sleep/date/[date].json	Get Sleep Logs
27	ΠΔ	[user-id]/sleep/date/[startDate]/[endDate].json	Get Sleep Logs
28	ΠΔ	-/sleep/list.json	Get Sleep Logs List
29	ΠΔ	-/sleep/goal.json	Get Sleep Goal

Σχετικά με τον κατασκευαστή Garmin, ο μηχανισμός ανέκτησε 6 μεθόδους από το διαδικτυακό εγχειρίδιο χρήσης των API του Garmin, όλες χρησιμοποιώντας ως URL αίτησης το GET <https://developer.garmin.com/api/>. Στο σημείο αυτό να σημειωθεί πως το εγχειρίδιο χρήσης των API του Garmin είχε περισσότερες διαθέσιμες μεθόδους δεδομένων, ωστόσο ο μηχανισμός εκμεταλλεύτηκε μόνο εκείνες που μπορούσαν να ανακτήσουν τα παραγόμενα δεδομένα από τις αντίστοιχες συσκευές (δηλαδή παρακολουθητές δραστηριοτήτων), χωρίς και πάλι να απαιτείται η παρέμβαση του χρήστη. Όλες οι μέθοδοι που αξιοποιήθηκαν από το μηχανισμό καταγράφονται στον Πίνακας 3, αναφέροντας το URL πρόσβασης και την περιγραφή κάθε μεθόδου, καθώς και τον τύπο συσκευής που αναφέρεται.

Πίνακας 3. Περιεχόμενα ΒΔ API μεθόδων γνωστών συσκευών με Garmin πληροφορίες

#	Τύπος	URL Μεθόδου	Περιγραφή Μεθόδου
1	ΠΔ	getActivityInfo()	Get current activity info
2	ΠΔ	getActiveMinutes()	Get recorded active minutes
3	ΠΔ	getHeartRateIterator()	Get heartrate for a time period
4	ΠΔ	getHeartRateSample()	Get heartrate at a given time
5	ΠΔ	getHistory()	Get user's activity history
6	ΠΔ	getInfo()	Get user's activity status

Σχετικά με τον κατασκευαστή Withings, ο μηχανισμός ανέκτησε 6 μεθόδους από το διαδικτυακό εγχειρίδιο χρήσης των API του Withings, όλες χρησιμοποιώντας ως URL αίτησης το GET <https://api.health.nokia.com/v2/>. Στο σημείο αυτό να σημειωθεί πως το εγχειρίδιο χρήσης των API του Withings είχε περισσότερες διαθέσιμες μεθόδους δεδομένων, ωστόσο ο μηχανισμός εκμεταλλεύτηκε μόνο εκείνες που μπορούσαν να ανακτήσουν τα παραγόμενα δεδομένα από τις αντίστοιχες συσκευές (δηλαδή παρακολουθητές δραστηριοτήτων, πιεσόμετρα, ζυγαριές, θερμόμετρα, και παλμικά οξυόμετρα), χωρίς και πάλι να απαιτείται η παρέμβαση του χρήστη. Όλες οι μέθοδοι που αξιοποιήθηκαν από το μηχανισμό καταγράφονται στον Πίνακας 4, υποδεικνύοντας το URL πρόσβασης και την περιγραφή κάθε μεθόδου, καθώς και τον τύπο της συσκευής που αυτή αναφέρεται.

Πίνακας 4. Περιεχόμενα ΒΔ API μεθόδων γνωστών συσκευών με Withings πληροφορίες

#	Τύπος	URL Μεθόδου	Περιγραφή Μεθόδου
1	ΠΔ	measure?action=getactivity	Get activity measures log
2	ΠΔ/ΠΙΕ ΖΥ/ΘΕ/ΠΟ	measure?action=getmeas	Get Body Measures
3	ΑΤ	measure?action=getintradayactivity	Get intraday activity
4	ΑΤ	sleep?action=get	Get Sleep Measures
5	ΑΤ	sleep?action=getsummary	Get Sleep Summary
6	ΑΤ	measure?action=getworkouts	Get workout sessions

Σχετικά με τον κατασκευαστή iHealth, ο μηχανισμός ανέκτησε 14 μεθόδους από το διαδικτυακό εγχειρίδιο χρήσης των API του iHealth, όλες χρησιμοποιώντας ως URL αίτησης το GET <https://api.ihealthlabs.com/openapi/2/>. Στο σημείο αυτό να σημειωθεί πως το εγχειρίδιο χρήσης των API του iHealth είχε περισσότερες διαθέσιμες μεθόδους δεδομένων, ωστόσο ο μηχανισμός εκμεταλλεύτηκε μόνο εκείνες που μπορούσαν να ανακτήσουν τα παραγόμενα δεδομένα από τις αντίστοιχες συσκευές (δηλαδή παρακολουθητές δραστηριοτήτων, πιεσόμετρα, ζυγαριές, θερμόμετρα, και παλμικά οξυμέτρα), χωρίς και πάλι να απαιτείται η παρέμβαση του χρήστη. Όλες οι μέθοδοι που αξιοποιήθηκαν από το μηχανισμό καταγράφονται στον Πίνακα 5, υποδεικνύοντας το URL πρόσβασης και την περιγραφή κάθε μεθόδου, καθώς και τον τύπο της συσκευής που αυτή αναφέρεται.

Πίνακας 5. Περιεχόμενα ΒΔ API μεθόδων γνωστών συσκευών με iHealth πληροφορίες

#	Τύπος	URL Μέθόδου	Περιγραφή Μεθόδου
1	ΠΙΕ	user/user-id/bp/	Get data of Blood Pressure
2	ΠΙΕ	application/bp/	Get all Blood Pressure data
3	ΖΥ	user/user-id/weight/	Get data of Weight
4	ΖΥ	application/weight/	Get all Weight data
5	ΓΛ	user/user-id/glucose/	Get data of glucose value
6	ΓΛ	application/glucose/	Get All glucose data
7	ΠΟ	user/user-id/spo2/	Get data of Blood Oxygen
8	ΠΟ	application/spo2/	Get All Blood Oxygen data
9	ΠΔ	user/user-id/activity/	Get data of Activity Report
10	ΠΔ	application/activity/	Get All Activity Report data
11	ΠΔ	user/user-id/sleep/	Get data of Sleep Report
12	ΠΔ	application/sleep/	Get All Sleep Report data
13	ΘΕ	user/user-id/temperature/	Get data of Temperature
14	ΘΕ	application/temperature/	Get All Temperature data

Τέλος, σχετικά με τον κατασκευαστή Xiaomi, ο μηχανισμός ανέκτησε 6 μεθόδους από το διαδικτυακό το εγχειρίδιο χρήσης των API του Xiaomi, όλες χρησιμοποιώντας ως URL αίτησης το GET <https://account.xiaomi.com/>. Βέβαια στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί πως το εγχειρίδιο χρήσης των API του Xiaomi είχε περισσότερες διαθέσιμες μεθόδους δεδομένων, ωστόσο ο μηχανισμός εκμεταλλεύτηκε μόνο εκείνες που μπορούσαν να ανακτήσουν τα παραγόμενα δεδομένα από τις αντίστοιχες συσκευές (δηλαδή παρακολουθητές δραστηριοτήτων, και ζυγαριές), χωρίς και πάλι να απαιτείται η παρέμβαση του χρήστη. Όλες οι μέθοδοι που αξιοποιήθηκαν από το μηχανισμό καταγράφονται στον Πίνακα 6, υποδεικνύοντας το URL πρόσβασης και την περιγραφή κάθε μεθόδου, καθώς και τον τύπο της συσκευής που αυτή αναφέρεται.

Πίνακας 6. Περιεχόμενα ΒΔ API μεθόδων γνωστών συσκευών με Χiaomi πληροφορίες

#	Τύπος	URL Μεθόδου	Περιγραφή Μεθόδου
1	ΠΔ	user/user-id/activity/	Get data of Activity Report
2	ΠΔ	user/user-id/activity/all	Get All Activity Report data
3	ΠΔ	user/user-id/activity/date	Get Activity Report of Date
4	ZY	user/user-id/weight/	Get data of Weight
5	ZY	user/user-id/weight/ all	Get all Weight data
6	ZY	user/user-id/ weight /date	Get Weight Report of given Date

Τέλος, όσον αφορά τη 1 συνδεδεμένη συσκευή, αφού αρχικά ο μηχανισμός δεν είχε προηγούμενη γνώση ούτε για τον κατασκευαστή ούτε για τον τύπο της συσκευής της, δεν είχε πληροφορίες σχετικά με τις μεθόδους του API της συσκευής αυτής. Επομένως οι αντίστοιχες πληροφορίες θα ανακτηθούν στο στάδιο της Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών στις αντίστοιχες Ενότητες 4.2.2.1, 4.2.3.1, και 4.2.4.1 των αντίστοιχων τριών (3) πειραμάτων.

4.2.2 1^ο Πείραμα: Ενσωμάτωση Γνωστής Συσκευής

Στο 1^ο πείραμα παρατίθεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να ενσωματωθεί μία γνωστή συσκευή στο μηχανισμό, καταγράφοντας αναλυτικά όλα τα επιμέρους στάδια της προτεινόμενης προσέγγισης και τα αντίστοιχα εξαγόμενα αποτελέσματα των σταδίων αυτών. Ωστόσο, σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως τα στάδια της Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών και της Αξιολόγησης Αξιοπιστίας Συσκευών και Δεδομένων παρακάμφθηκαν πλήρως, καθώς ο τύπος της συγκεκριμένης συσκευής ανακαλύφθηκε πως ήταν ήδη γνωστός στο μηχανισμό, γνωρίζοντας πως επρόκειτο για μία αξιόπιστη συσκευή. Ωστόσο, το στάδιο της Συλλογής Δεδομένων Συσκευών, παρακάμφθηκε μερικώς, καθώς σε αυτό το στάδιο ο μηχανισμός δεν χρειαζόταν να αναγνωρίσει και να κατανοήσει τις API μεθόδους της συσκευής, αλλά μπορούσε απευθείας να χρησιμοποιήσει τις μεθόδους που ήταν ήδη γνωστές πως είναι υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων της συσκευής, προκειμένου εν τέλει να ανακτήσει τα δεδομένα από τη συνδεδεμένη συσκευή και να τα διατηρήσει για περαιτέρω χρήση.

4.2.2.1 Τεχνική Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών

Για να ξεκινήσει το 1^ο πείραμα, στο πρώτο στάδιο του μηχανισμού (Εύρεση και Σύνδεση Συσκευών) χρησιμοποιήθηκαν οι επιλεγμένες γνωστές συσκευές που περιεγράφηκαν στην Ενότητα 4.2.1, καθώς και μία νέα συσκευή. Ειδικότερα, η μία νέα συσκευή ήθελε να συνδεθεί στο μηχανισμό, ενώ οι άλλες 40 γνωστές συσκευές (Πίνακας 1) δεν έπρεπε να συνδεθούν με το μηχανισμό, καθώς υπήρχαν ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών του μηχανισμού, θεωρούμενες ως αξιόπιστες συσκευές. Έτσι, καθώς η μία συνδεδεμένη συσκευή υποστήριζε την επικοινωνία με Bluetooth, συνδέθηκε με το μηχανισμό μέσω της παρεχόμενης Bluetooth διεπαφής διασύνδεσης, η οποία φρόντισε να συλλέξει το όνομα της συσκευής, καθώς και τη διεύθυνση MAC της. Μόλις συλλέχθηκε η διεύθυνση MAC της συσκευής, ο μηχανισμός εξήγαγε από τη διεύθυνση MAC τις πρώτες τρεις (3) οκτάδες, έτσι ώστε να αποκαλύψει το OUI της συσκευής και να συσχετίσει την αντίστοιχη διεύθυνση MAC με το συγκεκριμένο κατασκευαστή της. Για να επιτευχθεί αυτό, ο μηχανισμός χρησιμοποίησε το MAC Vendors API έτσι ώστε να βρει τον αντίστοιχο κατασκευαστή του OUI της διεύθυνσης MAC της συσκευής. Ως αποτέλεσμα αυτού, με βάση τη διεύθυνση MAC της συσκευής, το MAC Vendors API αποκάλυψε ότι ο κατασκευαστής της συνδεδεμένης συσκευής ήταν ο Fitbit, ενώ το όνομα της συσκευής ήταν το Fitbit Aria, όπως απεικονίζονται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7. Προδιαγραφές συνδεδεμένης συσκευής

#	Όνομα	Διεύθυνση MAC	Κατασκευαστής
1	Fitbit Aria	1800DB6C572C	Fitbit

Με το που συνδέθηκε η συσκευή και καταγράφηκαν οι χρήσιμες προδιαγραφές (δηλαδή το όνομα και ο κατασκευαστής) της, οι προδιαγραφές της συγκρίθηκαν αυτόματα με τις αντίστοιχες προδιαγραφές (δηλαδή όνομα και κατασκευαστή) των 40 επιλεγμένων γνωστών συσκευών που υπήρχαν ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών του μηχανισμού. Με αυτόν τον τρόπο, ο μηχανισμός διαπίστωσε ότι η συνδεδεμένη συσκευή υπήρχε ήδη σε αυτή τη ΒΔ, καθώς οι προδιαγραφές της είχαν ακριβή αντιστοιχία με μία από τις συσκευές της ΒΔ, δηλαδή της Fitbit Aria, όπως φαίνεται από τη συσκευή που αντιστοιχεί στη γραμμή 19 του Πίνακα 1. Κατά συνέπεια, η συνδεδεμένη συσκευή χαρακτηρίστηκε ως συσκευή γνωστού τύπου (δηλαδή γνωστή συσκευή), και ειδικότερα χαρακτηρίστηκε ως μία ζυγαριά. Επίσης, να αναφερθεί πως οι σχετικές πληροφορίες της συσκευής αυτής δεν χρειαζόντουσαν να αποθηκευτούν στη ΒΔ γνωστών συσκευών, καθώς υπήρχαν ήδη σε αυτήν.

Ως αποτέλεσμα των προαναφερθέντων, η συνολική διαδικασία της αναγνώρισης και της κατανόησης των API μεθόδων της συνδεδεμένης συσκευής, καθώς και η εκτίμηση των επιπέδων της αξιοπιστίας της παρακάμπτονται, δεδομένου ότι αυτές οι πληροφορίες υπήρχαν ήδη στη ΒΔ των γνωστών συσκευών και στην αντίστοιχη ΒΔ των API μεθόδων γνωστών συσκευών. Ως αποτέλεσμα αυτού, τα στάδια της Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών και της Αξιολόγησης Αξιοπιστίας Συσκευών και Δεδομένων παρακάμφθηκαν πλήρως, μειώνοντας τη συνολική πολυπλοκότητα του μηχανισμού. Ωστόσο, το στάδιο της Συλλογής Δεδομένων Συσκευών, παρακάμφθηκε μερικώς, αφού σε αυτό το στάδιο ο μηχανισμός δεν χρειαζόταν να αναγνωρίσει και να κατανοήσει τις API μεθόδους της συσκευής, αλλά μπορούσε απευθείας να χρησιμοποιήσει τις μεθόδους που ήταν ήδη γνωστές πως ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων της συσκευής, προκειμένου εν τέλει να ανακτήσει τα δεδομένα από τη συνδεδεμένη συσκευή της Fitbit Aria. Η διαδικασία που εκτελέστηκε για την εφαρμογή του σταδίου της Συλλογής Δεδομένων Συσκευών για τη Fitbit Aria συσκευή περιγράφεται στην ακόλουθη Ενότητα (Ενότητα 4.2.2.2).

4.2.2.2 Τεχνική Συλλογής Δεδομένων Συσκευών

Εφόσον η συνδεδεμένη συσκευή ήταν γνωστή εκ των προτέρων και ο τύπος της συσκευής ήταν γνωστός ότι ήταν μια Fitbit ζυγαριά, ο μηχανισμός σε αυτό το στάδιο ήταν σε θέση να συλλέξει και να χρησιμοποιήσει από τη ΒΔ των API μεθόδων γνωστών συσκευών τις API μεθόδους του Fitbit κατασκευαστή, οι οποίες ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή δεδομένων από τις Fitbit ζυγαριές, όπως αυτές καταγράφηκαν από το μηχανισμό (Πίνακας 2). Ειδικότερα, αυτές οι μέθοδοι ήταν 9, όπως καταγράφονται στον Πίνακας 8, όπου φαίνονται τα αναγνωριστικά (Identifiers, ID) της κάθε μεθόδου σε συνδυασμό με το URL πρόσβασης και την περιγραφή της.

Πίνακας 8. Περιεχόμενα ΒΔ API μεθόδων γνωστών συσκευών του Fitbit για συλλογή δεδομένων από ζυγαριές

ID Μεθόδου	URL Μεθόδου	Περιγραφή Μεθόδου
Fitbit		
<i>Fit1</i>	[user-id]/body/log/fat/date/[date].json	Get Body Fat Logs
<i>Fit2</i>	[user-id]/body/log/fat/date/[date]/ [period].json	Get Body Fat Logs
<i>Fit3</i>	[user-id]/body/log/fat/date/[base-date]/ [end-date].json	Get Body Fat Logs
<i>Fit4</i>	body/[resource-path]/date/[date]/ [period].json	Get Body Time Series
<i>Fit5</i>	body/[resource-path]/date/[base-date]/ [end-date].json	Get Body Time Series
<i>Fit6</i>	[user-id]/body/log/[goal-type]/goal.json	Get Body Goals
<i>Fit7</i>	[user-id]/body/log/weight/date/[date].json	Get Weight Logs
<i>Fit8</i>	[user-id]/body/log/weight/date/ [base-date]/[period].json	Get Weight Logs
<i>Fit9</i>	[user-id]/body/log/weight/date/ [base-date]/[end-date].json	Get Weight Logs

Συνεπώς, δεδομένου πως ο μηχανισμός γνώριζε ήδη τις API μεθόδους της συνδεδεμένης συσκευής για τη συλλογή των δεδομένων της, τις χρησιμοποίησε για να ανακτήσει τα δεδομένα της. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεδομένου πως (i) ο κατασκευαστής Fitbit προσέφερε 9 διαφορετικές μεθόδους για την ανάκτηση δεδομένων από μία ζυγαριά, και (ii) ο χρήστης της συσκευής μπορεί να μην επιθυμούσε να ανακτήσει όλα αυτά τα δεδομένα από τη συσκευή του, ο μηχανισμός ενημέρωνε το χρήστη σχετικά με όλες τις διαθέσιμες μεθόδους που

μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, προκειμένου ο ίδιος να αποφασίσει ποιες από αυτές επιθυμεί να χρησιμοποιήσει για να ανακτήσει τα σχετικά δεδομένα του. Σε αυτό το πείραμα, ο χρήστης του μηχανισμού αποφάσισε να ανακτήσει τα δεδομένα των μετρήσεων του σωματικού λίπους του τον τελευταίο μήνα από την Fitbit Aria συσκευή του (μέθοδος Fit5), τα οποία αποθηκεύτηκαν στα αντίστοιχα αρχεία κειμένων. Ένα δείγμα των συλλεχθέντων δεδομένων της συσκευής απεικονίζεται στην Εικόνα 28 σε μορφή JSON - όπως ανακτήθηκε. Ωστόσο, δεδομένου πως το επόμενο στάδιο του μηχανισμού δεν θα εφαρμοστεί, καθώς η συσκευή ήταν γνωστό πως ήταν ήδη αξιόπιστη, τα δεδομένα αυτά δεν μετατράπηκαν από JSON μορφή σε XML μορφή. Στο σημείο αυτό επίσης να αναφερθεί, πως προκειμένου τα προσωπικά δεδομένα του χρήστη να μπορούσαν να εξαχθούν και να σταλούν στο μηχανισμό, μετά την επιλογή των δεδομένων που επιθυμούσε να ανακτήσει, ο χρήστης μέσω της παρεχόμενης διεπαφής συγκατάθεσης, συμπλήρωσε τα προσωπικά του στοιχεία, όπου πραγματοποιήθηκε ο σχετικός έλεγχος εγκυρότητας των στοιχείων αυτών του χρήστη, τα οποία αναφέρονταν στον προσωπικό του λογαριασμό στον Fitbit κατασκευαστή, από τον οποίο επιθυμούσε να αποστείλει τα δεδομένα του. Με αυτόν τον τρόπο, εφόσον τα προσωπικά του στοιχεία συνέπιπταν με αυτά του αντίστοιχου προσωπικού του λογαριασμού, του δόθηκε εν τέλει η δυνατότητα μεταφοράς των δεδομένων του.

```
"fat": [
  {
    "date": "2019-03-21",
    "fat": 12,
    "logId": 1330991999000,
    "time": "21:10:59",
    "source": "Aria"
  },
  {
    "date": "2019-03-22",
    "fat": 12.5,
    "logId": 1330991999000,
    "time": "19:20:50",
    "source": "Aria"
  }
]
```

Εικόνα 28. Στιγμιότυπο συλλεχθέντων δεδομένων Fitbit Aria συσκευής

4.2.3 2^ο Πείραμα: Ενσωμάτωση Αξιόπιστης Άγνωστης Συσκευής

Στο 2^ο πείραμα παρατίθεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να ενσωματωθεί μία άγνωστη συσκευή στο μηχανισμό, καταγράφοντας αναλυτικά όλα τα επιμέρους στάδια της προτεινόμενης προσέγγισης και τα αντίστοιχα εξαγόμενα αποτελέσματα των σταδίων αυτών, αποδεικνύοντας πως η συσκευή ήταν μία αξιόπιστη συσκευή, και τα δεδομένα της θα διατηρούνταν για περαιτέρω χρήση.

4.2.3.1 Τεχνική Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών

Για να ξεκινήσει το 2^ο πείραμα, στο πρώτο στάδιο του μηχανισμού (Εύρεση και Σύνδεση Συσκευών) χρησιμοποιήθηκαν οι επλεγμένες γνωστές συσκευές που περιεγράφηκαν στην Ενότητα 4.2.1, καθώς και μία νέα συσκευή. Ειδικότερα, η μία νέα συσκευή ήθελε να συνδεθεί στο μηχανισμό, ενώ οι άλλες 40 γνωστές συσκευές (Πίνακας 1) δεν έπρεπε να συνδεθούν με το μηχανισμό, καθώς υπήρχαν ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών του μηχανισμού, θεωρούμενες ως αξιόπιστες συσκευές. Έτσι, καθώς η μία συνδεδεμένη συσκευή υποστήριζε την επικοινωνία με Bluetooth, συνδέθηκε με το μηχανισμό μέσω της παρεχόμενης Bluetooth διεπαφής διασύνδεσης, η οποία φρόντισε να συλλέξει το όνομα και τη διεύθυνση MAC της συσκευής. Μόλις συλλέχθηκε η διεύθυνση MAC της συσκευής, ο μηχανισμός εξήγαγε από τη διεύθυνση MAC τις πρώτες τρεις (3) οκτάδες, έτσι ώστε να αποκαλύψει το OUI της συσκευής και να συσχετίσει την αντίστοιχη διεύθυνση MAC με το συγκεκριμένο κατασκευαστή της. Για να επιτευχθεί αυτό, ο μηχανισμός χρησιμοποίησε το MAC Vendors API ώστε να βρει τον αντίστοιχο κατασκευαστή του OUI της διεύθυνσης MAC της συσκευής. Συνεπώς, το MAC Vendors API αποκάλυψε ότι ο κατασκευαστής της συνδεδεμένης συσκευής ήταν ο Misfit, ενώ το όνομά της ήταν το Misfit Path (Πίνακας 9).

Πίνακας 9. Προδιαγραφές συνδεδεμένης συσκευής

#	Όνομα	Διεύθυνση MAC	Κατασκευαστή
1	Misfit Path	27B4AD17AC1A	Misfit

Με το που συνδέθηκε η συσκευή και καταγράφηκαν οι χρήσιμες προδιαγραφές (δηλαδή το όνομα και ο κατασκευαστής) της, οι προδιαγραφές της συγκρίθηκαν αυτόματα με τις αντίστοιχες προδιαγραφές των 40 επιλεγμένων γνωστών συσκευών που υπήρχαν ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών. Με αυτόν τον τρόπο, ο μηχανισμός διαπίστωσε ότι η συνδεδεμένη συσκευή δεν υπήρχε ήδη σε αυτή τη ΒΔ, καθώς οι προδιαγραφές της δεν ταυτίζονταν με τις προδιαγραφές καμίας συσκευής από αυτές που ήταν ήδη στη ΒΔ. Κατά συνέπεια, η συνδεδεμένη συσκευή χαρακτηρίστηκε ως άγνωστη συσκευή.

Δεδομένου ότι η συνδεδεμένη συσκευή αναγνωρίστηκε ως μια άγνωστη συσκευή για το μηχανισμό, όπως αναφέρθηκε και στην Ενότητα 3.2.1, ο μηχανισμός χρειαζόταν πληροφορίες σχετικά με το API της συσκευής, καθώς αυτές οι πληροφορίες δεν υπήρχαν στη ΒΔ των API μεθόδων γνωστών συσκευών. Επομένως, καθώς ο μηχανισμός γνώριζε πλέον τον κατασκευαστή της συνδεδεμένης συσκευής (δηλαδή Misfit), ήταν σε θέση να ανακτήσει από την ιστοσελίδα του Misfit το API εγχειρίδιο χρήσης, συγκεντρώνοντας πληροφορίες σχετικά με (i) τα URL πρόσβασης των διαφορετικών μεθόδων του API, και (ii) τις περιγραφές των μεθόδων αυτών. Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι πληροφορίες αυτές θα απεικονιστούν στο τρίτο στάδιο (Συλλογή Δεδομένων Συσκευών) του μηχανισμού. Συνεπώς, εφόσον ο μηχανισμός είχε αποκτήσει γνώσεις για τις προδιαγραφές της συνδεδεμένης συσκευής και για τις API μεθόδους της, οι προδιαγραφές αυτές αποθηκεύτηκαν σε μία νέα ΒΔ, τη ΒΔ άγνωστων συσκευών, ενώ οι πληροφορίες του API της αποθηκεύτηκαν σε μία άλλη ΒΔ, τη ΒΔ των API μεθόδων άγνωστων συσκευών. Έτσι, η ΒΔ άγνωστων συσκευών αποτελούνταν από τα γεμισμένα πεδία του ονόματος και του κατασκευαστή, ενώ τα πεδία της εικόνας και του τύπου της συσκευής ήταν κενά προς το παρόν – όντας άγνωστα (ΑΓ) (Πίνακας 10).

Πίνακας 10. Περιεχόμενα ΒΔ άγνωστων συσκευών

#	Όνομα	Κατασκευαστής	Εικόνα	Τύπος
1	Misfit Path	Misfit	ΑΓ	ΑΓ

Όσον αφορά τη ΒΔ των API μεθόδων άγνωστων συσκευών, αυτή περιλάμβανε τα πεδία του κατασκευαστή, του τύπου της συσκευής, της διεύθυνσης URL πρόσβασης και της περιγραφή κάθε μεθόδου, έχοντας μόνο γνώση για τη σύνταξη των περιγραφών αυτών. Ωστόσο, επειδή ο μηχανισμός δεν γνώριζε ακόμα τον τύπο της συνδεδεμένης συσκευής, αποθήκευσε όλες τις μεθόδους όλων των διαθέσιμων τύπων συσκευών του Misfit κατασκευαστή (Πίνακας 11). Συνεπώς, ο μηχανισμός ανέκτησε 6 μεθόδους από το Misfit API εγχειρίδιο χρήσης, όλες χρησιμοποιώντας ως URL αίτησης το GET <https://api.misfitwearables.com/move/resource/v1/>.

Πίνακας 11. Περιεχόμενα ΒΔ API μεθόδων άγνωστων συσκευών με Misfit πληροφορίες

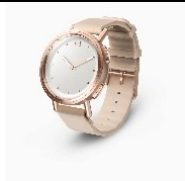









#	Τύπος	URL Μεθόδου	Περιγραφή Μεθόδου
1	ΑΓ	user/:userId/profile	Return profile of a user
2	ΑΓ	user/:userId/device	Return information of current device
3	ΑΓ	user/:userId/devices	Return information of linked devices
4	ΑΓ	user/:userId/activity/goals	Return goals of a user in the period
5	ΑΓ	user/:userId/activity/summary? start_date=X&end_date=Y	Returns summary of a user's activity in the period
6	ΑΓ	user/:userId/activity/sleeps? start_date=X&end_date=Y	Return sleep sessions of a user in the time range

4.2.3.2 Τεχνική Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών

Εν συνεχεία, στο δεύτερο στάδιο του μηχανισμού, πραγματοποιήθηκε η διαδικτυακή αναζήτηση των εικόνων της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής, όπου η κατασκευασμένη μηχανή αναζήτησης εικόνων χρησιμοποίησε ως είσοδο τόσο το όνομα όσο και τον κατασκευαστή της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής. Ειδικότερα, με βάση τις λέξεις που περιείχαν αυτές οι δύο (2) προδιαγραφές (δηλαδή όνομα: Misfit Path, και κατασκευαστής: Misfit), τις ενσωμάτωσε σε ένα ερώτημα, κατασκευάζοντας το αντίστοιχο ερώτημα αναζήτησης για να το χρησιμοποιήσει ως είσοδο για τη διαδικτυακή αναζήτησή του μέσω της Google βιβλιοθήκης εικόνων. Ειδικότερα, το κατασκευασμένο ερώτημα αναζήτησης για την αναζήτηση της εικόνας της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής διαμορφώθηκε ως «search engine/search?hl=en&q=%Misfit+Path&Misfit&btnG=Search», όπου το (q) υποδήλωνε την αρχή του ερωτήματος, το σύμβολο (?) υποδήλωνε το τέλος της διεύθυνσης URL, το σύμβολο (&) διαχώριζε μεταξύ τους τις επιμέρους λέξεις, το σύμβολο (+) παρίστανε το κενό, ενώ το btnG=Search υποδήλωνε ότι το κουμπί αναζήτησης ήταν πατημένο στη διεπαφή ιστού.

Μόλις ολοκληρώθηκε αυτή η αναζήτηση, η μηχανή αναζήτησης εικόνων επέστρεψε τη λίστα αποτελεσμάτων που περιείχε τις πρώτες δέκα (top 10) πιο συχνά εμφανιζόμενες εικόνες της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (δηλαδή της Misfit Path). Επομένως, όλες οι ευρεθείσες εικόνες της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής αποθηκεύτηκαν στο πεδίο της εικόνας κάθε αντίστοιχης συσκευής που υπήρχε στη ΒΔ άγνωστων συσκευών (Πίνακας 12).

Πίνακας 12. Ανανεωμένα περιεχόμενα ΒΔ άγνωστων συσκευών

#	Όνομα	Κατασκευαστής	Εικόνα	Τύπος
1	Misfit Path	Misfit		ΑΓ
2	Misfit Path	Misfit		ΑΓ
3	Misfit Path	Misfit		ΑΓ
4	Misfit Path	Misfit		ΑΓ
5	Misfit Path	Misfit		ΑΓ
6	Misfit Path	Misfit		ΑΓ
7	Misfit Path	Misfit		ΑΓ
8	Misfit Path	Misfit		ΑΓ
9	Misfit Path	Misfit		ΑΓ
10	Misfit Path	Misfit		ΑΓ

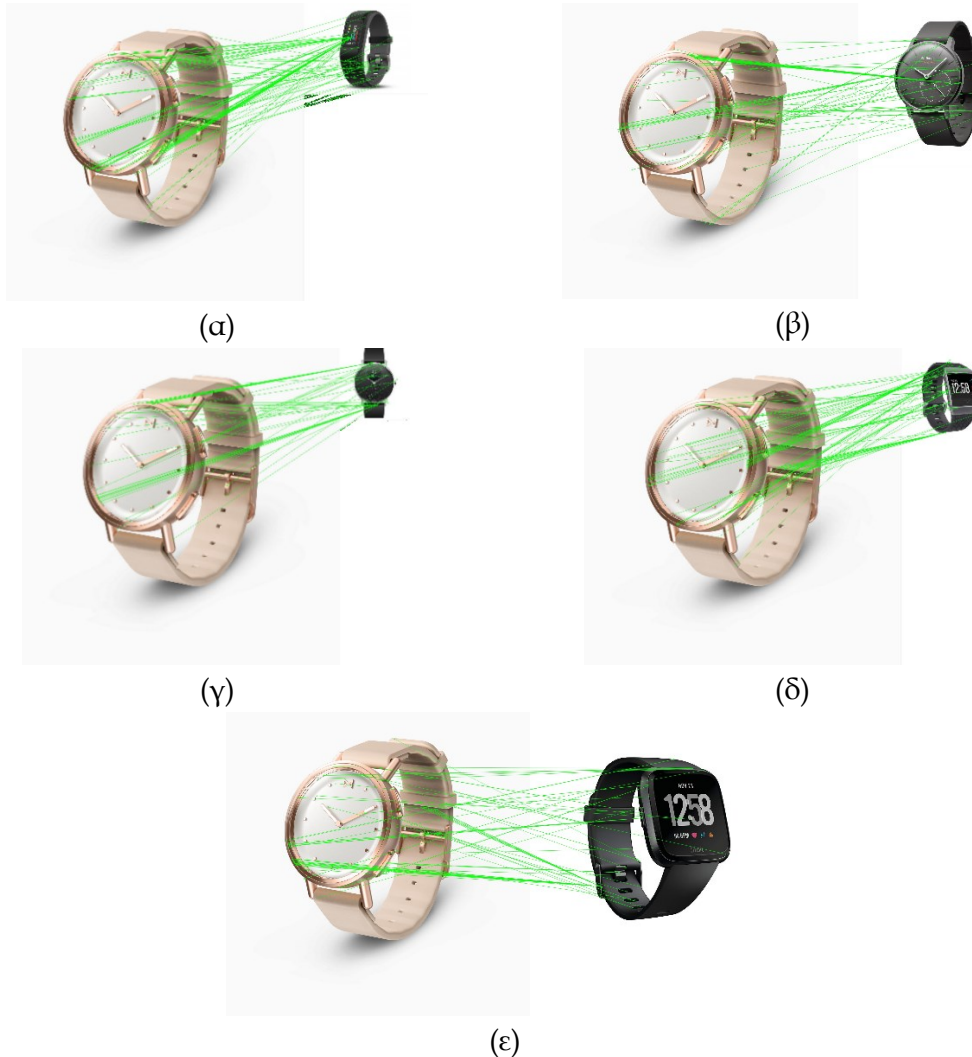
Εφόσον οι εικόνες της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής αποθηκεύτηκαν επιτυχώς στη ΒΔ άγνωστων συσκευών, εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση των εικόνων των 40 γνωστών (προϋπαρχουσών) συσκευών και της μίας συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής, έτσι ώστε να καταγραφούν τα κοινά χαρακτηριστικά των εικόνων αυτών, και να προσδιοριστεί τελικά ο τύπος της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη του OpenCV, όπου αρχικά εφαρμόστηκε η μέθοδος του SURF για την εκτέλεση της ανίχνευσης των χαρακτηριστικών της εικόνας εισόδου (δηλαδή της εικόνας της μίας συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής) και των εικόνων δειγμάτων (δηλαδή των εικόνων των 40 γνωστών συσκευών). Έτσι, ο SURF εξήγαγε από όλες αυτές τις εικόνες τα κοινά χαρακτηριστικά τους (δηλαδή τα σημεία ενδιαφέροντος) σε συνδυασμό με τους περιγραφείς τους, προκειμένου να συγκριθούν οι περιγραφείς που εξήχθησαν από κάθε διαφορετική εικόνα δειγματος και την εικόνα εισόδου, και να βρεθούν τα διαφορετικά ζεύγη ταύτισης μεταξύ τους. Επομένως, πραγματοποιήθηκε ένας βρόγχος επανάληψης για όλες τις εικόνες δειγμάτων των 40 γνωστών συσκευών, προκειμένου να βρεθούν τα διαφορετικά ζεύγη ταύτισης. Η 1^η ανακτηθείσα εικόνα από τη διαδικτυακή αναζήτηση των εικόνων της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (δηλαδή της Misfit Path) και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά της που βρέθηκαν, απεικονίζονται στην Εικόνα 29.



Εικόνα 29. Χαρακτηριστικά Misfit Path συσκευής

Μετά την υλοποίηση του SURF και την εξαγωγή όλων των πιθανών ζευγών ταύτισης, προκειμένου να βρεθεί η καλύτερη αντιστοιχία μεταξύ όλων των υπολογισμένων ζευγών ταύτισης, εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος FLANN. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος αντιστοίχισης KNN για την εύρεση των καλύτερων αντιστοιχιών των χαρακτηριστικών της εικόνας εισόδου με τα χαρακτηριστικά των εικόνων δειγμάτων. Μόλις ολοκληρώθηκε αυτή η διαδικασία, ο μηχανισμός εξήγαγε τα τελικά αποτελέσματα, υποδεικνύοντας τα ποσοστά ομοιότητας μεταξύ των εικόνων των 40 γνωστών συσκευών και της εικόνας της μίας συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (Misfit Path).

Με βάση τα παραγόμενα αποτελέσματα, η εικόνα της γνωστής συσκευής που ταίριαζε περισσότερο με την εικόνα της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής ήταν αυτή της συσκευής Garmin Fenix Chronos, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 30 (ε). Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί πως στην Εικόνα 30 απεικονίζονται οι top 5 γνωστές συσκευές των οποίων οι εικόνες είχαν το μεγαλύτερο βαθμό ομοιότητας με την εικόνα της συνδεδεμένης συσκευής Misfit Path.



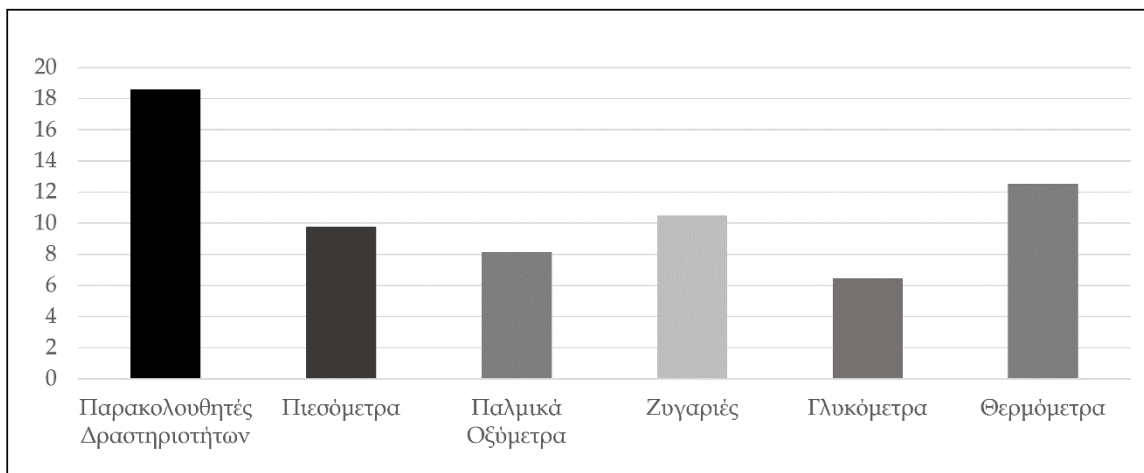
Εικόνα 30. Top 5 αποτελέσματα ομοιότητας Misfit Path συσκευής με γνωστές συσκευές

Όλα τα εξαχθέντα αποτελέσματα απεικονίζονται στον Πίνακα 13, υποδεικνύοντας τον ακριβή αριθμό των κοινών χαρακτηριστικών, και συνεπώς το συνολικό ποσοστό ομοιότητας που είχε η εικόνα κάθε γνωστής συσκευής με την εικόνα της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής. Ειδικότερα, κατά την υλοποίηση του SURF αναγνωρίστηκε ότι η εικόνα της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής περιείχε 526 διακριτά χαρακτηριστικά, επισημαίνοντας ότι η εικόνα μιας γνωστής συσκευής θα είχε συνολική ομοιότητα 100% με την άγνωστη συσκευή (Misfit Path), στην περίπτωση που θα είχε 526 χαρακτηριστικά κοινά με την άγνωστη συσκευή.

Πίνακας 13. Αποτελέσματα ομοιότητας εικόνων Misfit Path συσκευής και γνωστών συσκευών

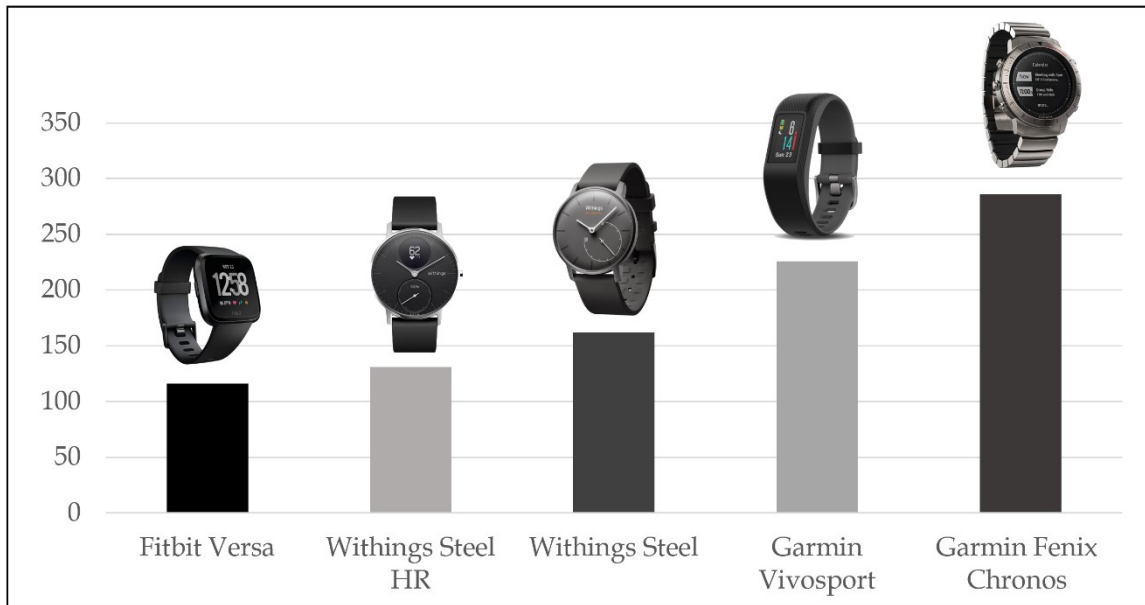
#	Όνομα	Τύπος	Κοινά Χαρακτηριστικά	Συνολική Ομοιότητα (%)
1	Fitbit Flex	ΠΔ	100	19,02
2	Withings BPM	ΠΠΕ	89	16,92
3	iHealth Ease	ΠΠΕ	63	11,96
4	iHealth Air	ΠΟ	43	8,16
5	Withings Body Cardio	ΖΥ	72	13,68
6	Garmin Vivomove HR	ΠΔ	48	9,12
7	iHealth Lite	ΖΥ	68	12,92
8	iHealth Smart	ΓΛ	45	8,54
9	Garmin Vivosport	ΠΔ	226	42,96
10	Fitbit Charge 3	ΠΔ	95	18,06
11	Mi Band 2	ΠΔ	33	6,26
12	iHealth Wave	ΠΔ	85	16,14
13	Withings Body	ΖΥ	50	9,50
14	iHealth Thermometer	ΘΕ	77	14,62
15	Garmin Vivosmart 4	ΠΔ	78	14,82
16	Withings Steel	ΠΔ	162	30,78
17	Fitbit Zip	ΠΔ	63	11,96
18	Withings Thermo	ΘΕ	55	10,44
19	Fitbit Aria	ΖΥ	44	8,36
20	iHealth Sense	ΠΠΕ	68	12,92
21	Withings Pulse O2	ΠΔ	34	6,46
22	iHealth Track	ΠΠΕ	36	6,84
23	Garmin Quatix 5	ΠΔ	93	17,68
24	iHealth View	ΠΠΕ	75	14,24
25	Garmin Vivofit 4	ΠΔ	108	20,52
26	Mi Body Composition Scale	ΖΥ	25	4,74
27	Fitbit Alta HR	ΠΔ	3	0,56
28	Withings Steel HR	ΠΔ	131	24,90
29	iHealth Core	ΖΥ	51	9,68
30	Garmin Forerunner 935	ΠΔ	71	13,48
31	iHealth Clear	ΠΠΕ	29	5,50
32	Fitbit Versa	ΠΔ	116	22,04
33	Fitbit Alta	ΠΔ	67	12,72
34	iHealth Align	ΓΛ	23	4,36
35	Fitbit Ace	ΠΔ	71	13,48
36	Garmin Fenix 5S Plus	ΠΔ	95	18,06
37	Withings Body+	ΖΥ	76	14,44
38	Garmin Fenix Chronos	ΠΔ	286	54,37
39	Fitbit Ionic	ΠΔ	90	17,10
40	iHealth Feel	ΠΠΕ	56	10,64

Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 13, παρατηρήθηκε πως υπολογίστηκαν διαφορετικά ποσοστά ομοιότητας μεταξύ της εικόνας κάθε γνωστής συσκευής και της εικόνας της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (Misfit Path). Πιο συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε πως υπολογίστηκαν διαφορετικά ποσοστά μεταξύ της Misfit Path που ήταν άγνωστου τύπου συσκευής και των γνωστών συσκευών που είχαν διαφορετικούς τύπους συσκευών (π.χ. παρακολουθητές δραστηριοτήτων (ΠΔ), πιεσόμετρα (ΠΠΕ), παλμικά οξυμετρικά (ΠΟ), ζυγαριές (ΖΥ), γλυκόμετρα (ΓΛ), και θερμόμετρα (ΘΕ)). Βάσει των αποτελεσμάτων του Πίνακα 13, στην Εικόνα 31 απεικονίζονται οι μέσοι όροι των διαφορετικών ποσοστών ομοιότητας των εικόνων κάθε διαφορετικού τύπου των γνωστών συσκευών με τη συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή (Misfit Path).



Εικόνα 31. Μέσοι όροι συνολικών ομοιοτήτων διαφορετικών τύπων συσκευών με Misfit Path συσκευή

Με βάση την Εικόνα 31, μπορεί κάποιος να παρατηρήσει πως οι εικόνες των συσκευών των παρακολουθητών δραστηριοτήτων είχαν το μεγαλύτερο μέσο όρο ομοιότητας (δηλαδή 18,6%) με τη συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή (Misfit Path). Πράγματι, το γεγονός αυτό μπορεί να επαληθευτεί αν κάποιος παρατηρήσει και τα αποτελέσματα του Πίνακα 13, όπου οι εικόνες των γνωστών παρακολουθητών δραστηριοτήτων των Garmin Vivosport, Withings Steel, Withings Steel HR, Fitbit Versa και Garmin Fenix Chronos (υπογραμμισμένα με γκρι) είχαν το μεγαλύτερο συνολικό ποσοστό ομοιότητας με τη συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή της Misfit Path. Αξίζει να σημειωθεί πως ορισμένα από αυτά τα ποσοστά δεν υπερέβαιναν το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 50%, ενώ μόνο ένα από αυτά υπερέβαινε το όριο αυτό. Τα top 5 καλύτερα αποτελέσματα (δηλαδή ποσοστά ομοιότητας) μεταξύ της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (Misfit Path) και των 40 προϋπαρχουσών γνωστών συσκευών απεικονίζονται στην Εικόνα 32.



Εικόνα 32. Top 5 γνωστές συσκευές με κοινά χαρακτηριστικά με Misfit Path συσκευή

Επομένως, δεδομένου ότι αφενός το υπολογισμένο ποσοστό ομοιότητας μεταξύ των εικόνων των συσκευών της Garmin Fenix Chronos και της Misfit Path ήταν υψηλότερο από το προκαθορισμένο κατώτατο όριο (δηλαδή 54,37%), και αφετέρου ο τύπος συσκευής του Garmin Fenix Chronos ήταν γνωστός ως παρακολουθητής δραστηριοτήτων, ο τύπος της άγνωστης συσκευής της Misfit Path αναγνωρίστηκε επίσης ως παρακολουθητής δραστηριοτήτων. Σαν αποτέλεσμα αυτού, οι προδιαγραφές και η εικόνα της Misfit Path συσκευής ανανεώθηκαν στη ΒΔ άγνωστων συσκευών (Πίνακας 14), ενώ παράλληλα όλες οι πληροφορίες της Misfit Path συσκευής αποθηκεύτηκαν τελικά στη ΒΔ γνωστών συσκευών, έτσι ώστε να θεωρείται πλέον ως μία γνωστή συσκευή για μελλοντική χρήση. Για το σκοπό αυτό, πρέπει να αναφερθεί πως δεδομένου ότι το υπολογισμένο ποσοστό συνολικής ομοιότητας μεταξύ της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (Misfit Path) και μίας από τις γνωστές συσκευές (Garmin Fenix Chronos) υπερέβαινε το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 50%, δεν χρειαζόταν να πραγματοποιηθεί ένας βρόγχος στην αρχή αυτού του σταδίου του μηχανισμού προκειμένου να αποκτήσει τη δεύτερη εικόνα από τη λίστα αποτελεσμάτων της διαδικτυακής αναζήτησης της εικόνας της άγνωστης συσκευής, και ούτω καθεξής.

Πίνακας 14. Ανανεωμένα περιεχόμενα ΒΔ άγνωστων συσκευών

#	Όνομα	Κατασκευαστής	Εικόνα	Τύπος
1	Misfit Path	Misfit		ΠΔ

4.2.3.3 Τεχνική Συλλογής Δεδομένων Συσκευών

Στη συνέχεια, έχοντας αναγνωρίσει τον τύπο της συνδεδεμένης συσκευής, τέθηκε σε εφαρμογή το τρίτο στάδιο του μηχανισμού, προκειμένου να προσδιοριστεί η φύση των API μεθόδων της συνδεδεμένης άγνωστης (αναγνωρισμένης πλέον) συσκευής, διαχωρίζοντας εκείνες τις μεθόδους που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων από τη συσκευή αυτή. Για να το επιτύχει αυτό, ο μηχανισμός χρησιμοποίησε τις συσκευές των 20 παρακολουθητών δραστηριοτήτων που προϋπήρχαν στη ΒΔ γνωστών συσκευών, καθώς και τη μία συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή (δηλαδή τη Misfit Path) που αναγνωρίστηκε ως ένας παρακολουθητής δραστηριοτήτων. Λεπτομερέστερα, όσον αφορά τους 20 προϋπάρχοντες παρακολουθητές δραστηριοτήτων, όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο στάδιο του εν λόγω πειράματος του μηχανισμού (Ενότητα 4.2.3.1), ο μηχανισμός σύλλεξε από τον ιστότοπο κάθε διαφορετικού κατασκευαστή τα αντίστοιχα εγχειρίδια χρήσης των API για κάθε διαφορετικό τύπο συσκευής. Ως αποτέλεσμα αυτού, ο μηχανισμός συγκέντρωσε πληροφορίες για τις API μεθόδους κάθε συσκευής, σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο καλούνται (δηλαδή το URL πρόσβασης των μεθόδων), και τι προσφέρουν ως λειτουργικότητα (δηλαδή την περιγραφή των μεθόδων). Ωστόσο, δεδομένου πως ο τύπος της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής είχε πλέον αναγνωριστεί (δηλαδή παρακολουθητής δραστηριοτήτων) και δεδομένου ότι 7 από τους παρακολουθητές δραστηριοτήτων ανήκαν στον Fitbit κατασκευαστή, 8 ανήκαν στον Garmin, 3 στον Withings, 1 στον iHealth, και 1 στον Χίαομι, ο μηχανισμός σε αυτό το στάδιο ανέκτησε από τη ΒΔ των API μεθόδων γνωστών συσκευών, τις αντίστοιχες μεθόδους των Fitbit, Garmin, Withings, iHealth και Χίαομι που χρησιμοποιούνταν για να συλλέγουν δεδομένα από τους παρακολουθητές δραστηριοτήτων. Πιο συγκεκριμένα, βάσει του Πίνακα 15, μεταξύ των 29 μεθόδων του Fitbit ο μηχανισμός ανέκτησε πληροφορίες σχετικά με τις 20 μεθόδους που σχετίζονταν με την ανάκτηση δεδομένων από τους Fitbit παρακολουθητές δραστηριοτήτων, μεταξύ των 6 μεθόδων του Garmin ανέκτησε πληροφορίες για όλες τις 6 μεθόδους, μεταξύ των 6 μεθόδων του Withings ανέκτησε πληροφορίες για όλες τις 6 μεθόδους, μεταξύ των 14 μεθόδων του iHealth ανέκτησε πληροφορίες σχετικά με τις 4 μεθόδους, ενώ μεταξύ των 6 μεθόδων του Χίαομι ανέκτησε πληροφορίες σχετικά με 3 μεθόδους. Όλες αυτές οι συγκεντρωμένες πληροφορίες απεικονίζονται στον Πίνακα 15, υποδεικνύοντας τα ID της κάθε μεθόδου σε συνδυασμό με τον τρόπο με τον οποίο καλείται η κάθε μέθοδος (δηλαδή URL μεθόδου), και τις λειτουργικότητες της κάθε μεθόδου (δηλαδή περιγραφή μεθόδου), έχοντας γνώση τόσο για τη συντακτική όσο και για τη σημασιολογική έννοια αυτών των περιγραφών.

Πίνακας 15. Περιεχόμενα ΒΔ των API μεθόδων γνωστών συσκευών για συλλογή δεδομένων από γνωστούς παρακολουθητές δραστηριοτήτων

ID Μεθόδου	URL Μεθόδου	Περιγραφή Μεθόδου
Fitbit		
<i>Fit1</i>	[user-id]/activities/date/[date].json	Get Daily Activity Summary
<i>Fit2</i>	[user-id]/[resource-path]/date/[date]/ [period].json	Get Activity Time Series
<i>Fit3</i>	[user-id]/[resource-path]/date/ [base-date]/[end-date].json	Get Activity Time Series
<i>Fit4</i>	-/[resource-path]/date/[date]/[date]/ [detail-level].json	Get Activity Intraday Time Series
<i>Fit5</i>	-/[resource-path]/date/[date]/[date]/[detail- level]/time/[start-time]/[end-time].json	Get Activity Intraday Time Series
<i>Fit6</i>	-/activities/list.json	Get Activity Logs List
<i>Fit7</i>	activities/[activity-id].json	Get Activity Type
<i>Fit8</i>	-/activities/frequent.json	Get Frequent Activities
<i>Fit9</i>	-/activities/recent.json	Get Recent Activity Types
<i>Fit10</i>	[user-id]/activities/favorite.json	Get Favorite Activities
<i>Fit11</i>	[user-id]/activities/goals/[period].json	Get Activity Goals
<i>Fit12</i>	[user-id]/activities.json	Get Lifetime Stats
<i>Fit13</i>	[user-id]/activities/heart/date/[date]/ [period].json	Get Heart Rate Time Series
<i>Fit14</i>	[user-id]/activities/heart/date/[base-date]/ [end-date].json	Get Heart Rate Time Series
<i>Fit15</i>	-/activities/heart/date/[date]/[end-date]/ [detail-level].json	Get Heart Rate Intraday Time Series
<i>Fit16</i>	-/activities/heart/date/[date]/[end-date]/ [detail-level]/time/[start-time]/[end-time].json	Get Heart Rate Intraday Time Series
<i>Fit17</i>	[user-id]/sleep/date/[date].json	Get Sleep Logs
<i>Fit18</i>	[user-id]/sleep/date/[startDate]/[endDate].json	Get Sleep Logs
<i>Fit19</i>	-/sleep/list.json	Get Sleep Logs List
<i>Fit20</i>	-/sleep/goal.json	Get Sleep Goal
Garmin		
<i>Garmin1</i>	getActivityInfo()	Get current activity info
<i>Garmin2</i>	getActiveMinutes()	Get recorded active minutes
<i>Garmin3</i>	getHeartRateIterator()	Get heartrate for a time period
<i>Garmin4</i>	getHeartRateSample()	Get heartrate at a given time
<i>Garmin5</i>	getHistory()	Get user's activity history
<i>Garmin6</i>	getInfo()	Get user's activity status
Withings		
<i>Withings1</i>	measure?action=getactivity	Get user's activity measures log
<i>Withings2</i>	measure?action=getmeas	Get Body Measures
<i>Withings3</i>	measure?action=getintradayactivity	Get intraday activity
<i>Withings4</i>	sleep?action=get	Get Sleep Measures
<i>Withings5</i>	sleep?action=getsummary	Get Sleep Summary
<i>Withings6</i>	measure?action=getworkouts	Get data of workout sessions

iHealth		
<i>iHealth1</i>	user/user-id/activity/	Get data of Activity Report
<i>iHealth2</i>	application/activity/	Get All Activity Report data
<i>iHealth3</i>	user/user-id/sleep/	Get data of Sleep Report
<i>iHealth4</i>	application/sleep/	Get All Sleep Report data
Xiaomi		
<i>Xiaomi1</i>	user/user-id/activity/	Get data of Activity Report
<i>Xiaomi2</i>	user/user-id/activity/all	Get All Activity Report data
<i>Xiaomi3</i>	user/user-id/activity/date	Get Activity Report of Date

Όσον αφορά τη μία συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή (Misfit Path), όπως αναφέρθηκε στο πρώτο στάδιο του μηχανισμού (Ενότητα 4.2.3.1), αφού ο μηχανισμός δεν είχε καμία γνώση σχετικά με τον τύπο της συσκευής, είχε ανακτήσει από το διαδικτυακό εγχειρίδιο χρήσης των API του Misfit κατασκευαστή όλες τις υπάρχουσες API μεθόδους του. Ωστόσο, ακόμη και αν σε αυτό το στάδιο ήταν πλέον γνωστός ο τύπος της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής της Misfit Path (δηλαδή παρακολουθητής δραστηριοτήτων), ο μηχανισμός δεν είχε ακόμα γνώση σχετικά με τις API μεθόδους που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων της συσκευής. Για το σκοπό αυτό σε αυτό το στάδιο, ο μηχανισμός χρησιμοποίησε όλες τις 6 μεθόδους που είχε ανακτήσει από το εγχειρίδιο χρήσης των API του Misfit στο πρώτο στάδιο του πειράματος. Αυτές οι πληροφορίες απεικονίζονται στον Πίνακα 16, υποδεικνύοντας τα ID της κάθε μεθόδου σε συνδυασμό με τον τρόπο με τον οποίο καλείται η κάθε μέθοδος (URL μεθόδου), και τις λειτουργικότητες της κάθε μεθόδου (περιγραφή μεθόδου), έχοντας ωστόσο γνώση μόνο για τη συντακτική έννοια των περιγραφών αυτών.

Πίνακας 16. Πληροφορίες API μεθόδων Misfit Path συσκευής

ID Μεθόδου	URL Μεθόδου	Περιγραφή Μεθόδου
Misfit		
<i>Unknown1</i>	user/:userId/profile	Return profile of a user
<i>Unknown2</i>	user/:userId/device	Return information of current device
<i>Unknown3</i>	user/:userId/devices	Return information of all linked devices
<i>Unknown4</i>	user/:userId/activity/goals	Return goals of a user in the period
<i>Unknown5</i>	user/:userId/activity/summary? start_date=X&end_date=Y	Returns summary of a user's activity in the period
<i>Unknown6</i>	user/:userId/activity/sleeps? start_date=X&end_date=Y	Return sleep sessions of a user in the time range

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για τις περιγραφές των API μεθόδων της μίας συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (Misfit Path), παρόλο που ο μηχανισμός είχε τη συντακτική περιγραφή τους, δεν γνώριζε την ακριβή σημασιολογική έννοιά τους, σε αντίθεση με τις περιγραφές των API μεθόδων των 20 γνωστών παρακολουθητών δραστηριοτήτων, των οποίων τόσο οι συντακτικές όσο και οι σημασιολογικές έννοιες ήταν γνωστές εκ των προτέρων. Ως εκ τούτου, ο κύριος στόχος αυτού του σταδίου ήταν να αναγνωριστούν οι API μέθοδοι που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής, συγκρίνοντας όλες τις μεθόδους της με τις API μεθόδους των άλλων 20 γνωστών παρακολουθητών δραστηριοτήτων. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, ο μηχανισμός χρησιμοποίησε το Retina API για τον υπολογισμό της σημασιολογικής ομοιότητας μεταξύ όλων των περιγραφών των API μεθόδων των γνωστών παρακολουθητών δραστηριοτήτων και της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής, προκειμένου να αναγνωρίσει τις μεθόδους της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής που ήταν υπεύθυνες για να συλλέξουν τα δεδομένα της. Σαν αποτέλεσμα αυτού, προέκυψαν τα αποτελέσματα του Πίνακα 17. Πιο συγκεκριμένα, ο Πίνακας 17 απεικονίζει τις top 1 API μεθόδους (υπογραμμισμένες με γκρι) του κάθε κατασκευαστή των διαφορετικών γνωστών παρακολουθητών δραστηριοτήτων (δηλαδή Fitbit, Garmin, Withings, iHealth και Xiaomi) που είχαν τις μεγαλύτερες τιμές σημασιολογικής ομοιότητας με τις API μεθόδους της Misfit Path συσκευής, όπως αυτές υπολογίστηκαν βάσει της Εξίσωσης (9) της Ενότητας 3.2.3.

Πίνακας 17. Αποτελέσματα σημασιολογικής σύγκρισης API μεθόδων γνωστών παρακολουθητών δραστηριοτήτων και Misfit Path συσκευής

ID	Fitbit	Garmin	Withings	iHealth	Xiaomi
Μεθόδου	Ομοιότητα	Ομοιότητα	Ομοιότητα	Ομοιότητα	Ομοιότητα
Unknown1	Fit1 3%	Garmin1 18%	Withings1 21%	iHealth2 5%	Xiaomi1 2%
Unknown2	Fit10 10%	Garmin6 25%	Withings1 32%	iHealth1 12%	Xiaomi2 22%
Unknown3	Fit10 8%	Garmin6 21%	Withings1 5%	iHealth1 9%	Xiaomi2 6%
Unknown4	Fit11 33%	Garmin5 21%	Withings1 21%	iHealth2 5%	Xiaomi1 2%
Unknown5	Fit1 93%	Garmin5 86%	Withings1 82%	iHealth2 85%	Xiaomi2 85%
Unknown6	Fit20 89%	Garmin5 25%	Withings5 93%	iHealth4 87%	Xiaomi3 15%

Επομένως, μέσω του υπολογισμού της σημασιολογικής ομοιότητας μεταξύ της περιγραφής των API μεθόδων των γνωστών συσκευών και της περιγραφής των API μεθόδων της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής, ο μηχανισμός απέκτησε γνώση σχετικά με τις API μεθόδους του συνδεδεμένου αναγνωρισμένου παρακολουθητή δραστηριοτήτων (δηλαδή του Misfit Path), δεδομένων των υπολογισμένων υψηλότερων πιθανοτήτων ομοιότητας βάσει των API μεθόδων των υπολοίπων γνωστών παρακολουθητών δραστηριοτήτων, των οποίων η

σημασιολογία και λειτουργικότητα ήταν εκ των προτέρων γνωστές. Ωστόσο, για να λάβει ο μηχανισμός υπόψη του τα αποτελέσματα της ομοιότητας, αυτά έπρεπε να υπερβαίνουν το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 80%. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 17, κάποια top 1 ποσοστά ομοιότητας ξεπερνούσαν αυτό το ποσοστό (δηλαδή αυτά των μεθόδων Unkown5, και Unkown6), ενώ κάποια άλλα όχι (δηλαδή αυτά των μεθόδων Unkown1, Unkown2, Unkown3, και Unkown4). Ως αποτέλεσμα αυτού, ο μηχανισμός ήταν σε θέση να κατανοήσει και να προσδιορίσει μόνο τη σημασιολογική έννοια των περιγραφών των API μεθόδων της Misfit Path συσκευής των οποίων τα top 1 ποσοστά ομοιότητας ξεπερνούσαν το όριο του 80%. Με αυτόν τον τρόπο, ο μηχανισμός εντόπισε τελικά τις API μεθόδους που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή των παραγόμενων δεδομένων του Misfit Path, και ως εκ τούτου θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να συλλεχθούν τελικά τα δεδομένα του. Συνεπώς, σύμφωνα με τον Πίνακα 17:

- Η Unkown1 μέθοδος είχε ακόμα άγνωστο σκοπό λειτουργικότητας.
- Η Unkown2 μέθοδος είχε ακόμα άγνωστο σκοπό λειτουργικότητας.
- Η Unkown3 μέθοδος είχε ακόμα άγνωστο σκοπό λειτουργικότητας.
- Η Unkown4 μέθοδος είχε ακόμα άγνωστο σκοπό λειτουργικότητας.
- Η Unkown5 μέθοδος χρησιμοποιούνταν για να συλλέγει την περίληψη δραστηριότητας ενός χρήστη για μία συγκεκριμένη περίοδο.
- Η Unkown6 μέθοδος χρησιμοποιούνταν για να συλλέγει τις περιόδους ύπνου ενός χρήστη για μία συγκεκριμένη περίοδο.

Μέσω των προαναφερθέντων αποτελεσμάτων, ο μηχανισμός κατάφερε να αναγνωρίσει ότι οι API μέθοδοι του Misfit Path που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των παραγόμενων δεδομένων του, ήταν η Unkown5 και η Unkown6, καθώς αναγνωρίστηκαν να είναι σχεδόν σημασιολογικά πανομοιότυπες με τις μεθόδους των Fit1 και Withings5, αντίστοιχα. Για τις υπολειπόμενες API μεθόδους του Misfit Path (δηλαδή την Unkown1, Unkown2, Unkown3, και Unkown4), καθώς τα υπολογισμένα top 1 ποσοστά ομοιότητάς τους ήταν πολύ χαμηλά, δεν μπορούσαν να συσχετιστούν με καμία από τις άλλες υπάρχουσες API μεθόδους των γνωστών συσκευών. Συνεπώς, έχοντας αναγνωρίσει όλες τις προαναφερθείσες API μεθόδους του Misfit Path που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή δεδομένων του, δημιουργήθηκε το αντίστοιχο ενιαίο δυναμικό API βάσει των μεθόδων Unkown5 και Unkown6 που μπορούσαν τελικά να συλλέξουν τα δεδομένα από τον Misfit Path παρακολουθητή δραστηριοτήτων. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί πως δεδομένου ότι δεν υπήρχε συσκευή στη ΒΔ γνωστών συσκευών που ανήκε στον Misfit κατασκευαστή, δημιουργήθηκε η νέα αντίστοιχη ενοποιημένη μέθοδος για την αποθήκευση των προαναφερόμενων μεθόδων. Ωστόσο, αν υπήρχε έστω και μία συσκευή στη ΒΔ γνωστών συσκευών που ανήκε στον Misfit κατασκευαστή, η

αντίστοιχη ενοποιημένη μέθοδος για την αποθήκευση των παραπάνω μεθόδων απλά θα ενημερωνόταν βάσει των νέων αναγνωρισμένων μεθόδων. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι δεδομένου πως (i) ο μηχανισμός αναγνώρισε δύο (2) διαφορετικές μεθόδους με διαφορετικές λειτουργικότητες για τη συλλογή των δεδομένων από το Misfit Path, και (ii) ο χρήστης της συσκευής μπορεί να μην επιθυμούσε να ανακτήσει όλα αυτά τα δεδομένα από τη συσκευή του, ο μηχανισμός ενημέρωνε το χρήστη σχετικά με τις δύο (2) διαθέσιμες μεθόδους που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, προκειμένου ο ίδιος να αποφασίσει ποιες από αυτές επιθυμούσε να χρησιμοποιήσει για να ανακτήσει τα σχετικά δεδομένα του. Σε αυτό το πείραμα, ο χρήστης αποφάσισε να ανακτήσει τη συνοπτική παρουσίαση της δραστηριότητάς του κατά την περίοδο 04-05-2019 και 05-05-2019 από την Misfit Path συσκευή του (δηλαδή επέλεξε τη μέθοδο Unknown5), τα οποία αποθηκεύτηκαν στα αντίστοιχα αρχεία κειμένων. Ένα δείγμα των συλλεχθέντων δεδομένων της συσκευής απεικονίζεται στην Εικόνα 33 (α) σε JSON μορφή - όπως ανακτήθηκε, ενώ για τους σκοπούς του υλοποιημένου μηχανισμού μετατράπηκε σε XML μορφή, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 33 (β). Στο σημείο αυτό επίσης να αναφερθεί, πως προκειμένου τα προσωπικά δεδομένα του χρήστη να μπορούσαν να εξαχθούν και να σταλούν στο μηχανισμό, μετά την επιλογή των δεδομένων που επιθυμούσε να ανακτήσει, ο χρήστης μέσω της παρεχόμενης διεπαφής συγκατάθεσης, συμπλήρωσε τα προσωπικά του στοιχεία, όπου πραγματοποιήθηκε ο σχετικός έλεγχος εγκυρότητας των στοιχείων αυτών του χρήστη, τα οποία αναφέρονταν στον προσωπικό του λογαριασμό στον Misfit κατασκευαστή από τον οποίο επιθυμούσε να αποστείλει τα δεδομένα του. Με αυτόν τον τρόπο, εφόσον τα προσωπικά στοιχεία που συμπλήρωσε συνέπιπταν με αυτά του αντίστοιχου προσωπικού του λογαριασμού, του δόθηκε εν τέλει η δυνατότητα μεταφοράς των δεδομένων του στο μηχανισμό.

```
"summary": [
  {
    "date": "2019-05-05",
    "points": 345.4,
    "steps": 5590,
    "calories": 2000.2187,
    "activityCalories": 500.2150,
    "distance": 2.28
  },
  {
    "date": "2019-05-04",
    "points": 459.6,
    "steps": 4850,
    "calories": 1952.1210,
    "activityCalories": 500.2150,
    "distance": 1.90
  }
]
```

(α)

```
<summary>
  <date>2019-05-05</date>
  <points>345.4</points>
  <steps>5590</steps>
  <calories>2000.2187</calories>
  <activityCalories>500.2150</activityCalories>
  <distance>2.28</distance>

  <date>2019-05-04</date>
  <points>459.6</points>
  <steps>4850</steps>
  <calories>1952.1210</calories>
  <activityCalories>500.2150</activityCalories>
  <distance>1.90</distance>
</summary>
```

(β)

Εικόνα 33. (α) Στιγμιότυπο συλλεχθέντων δεδομένων Misfit Path συσκευής σε JSON μορφή, (β) Στιγμιότυπο συλλεχθέντων δεδομένων Misfit Path συσκευής σε XML μορφή

4.2.3.4 Τεχνική Εκτίμησης Αξιοπιστίας Συσκευών και Δεδομένων

Στη συνέχεια, εφόσον συλλέχθηκαν επιτυχώς όλα τα δεδομένα της συνδεδεμένης άγνωστης (αναγνωρισμένης πλέον) συσκευής, εφαρμόστηκε το τέταρτο στάδιο του μηχανισμού. Στο συγκεκριμένο στάδιο έλαβε χώρα ο υπολογισμός της συνολικής αξιοπιστίας των συλλεχθέντων δεδομένων της συσκευής αυτής, συνδυάζοντας τις μετρήσεις της διαθεσιμότητάς της με τις μετρήσεις της αξιοπιστίας των συλλεχθέντων δεδομένων της, εφαρμόζοντας τη διαδικασία που περιεγράφηκε στην Ενότητα 3.2.4. Συνεπώς, ο μηχανισμός κατέγραψε τη συνολική αξιοπιστία της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (Misfit Path), υπολογίζοντας όλες τις προαναφερθείσες μετρήσεις. Ειδικότερα, όσον αφορά τις μετρήσεις της διαθεσιμότητας, ο μηχανισμός κατέγραψε το χρόνο λειτουργίας της συσκευής μέσω της συχνότητας μετάδοσης των δεδομένων της στο μηχανισμό σε συνολική περίοδο λειτουργίας 30 ημερών. Επομένως, κατά τη διάρκεια των 30 ημερών του πειράματος ο μηχανισμός κατέγραψε τη διαθεσιμότητα της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής, χρησιμοποιώντας την Εξίσωση (10) της Ενότητας 3.2.4, υποθέτοντας ότι η συσκευή ήταν πλήρως διαθέσιμη (δηλαδή είχε Διαθεσιμότητα 100%) όταν έστελνε 288 μετρήσεις ανά 24 ώρες. Αυτή η υπόθεση βασίστηκε στο γεγονός ότι μία συσκευή που αποστέλλει μία μέτρηση ανά λεπτό για μία ολόκληρη ημέρα (δηλαδή 60 μετρήσεις ανά ώρα, για 24 ώρες) θεωρείται ως υψηλής αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας, σύμφωνα με τον μέσο όρο των συνολικών μετρήσεων που υπολογίστηκαν κατά τη διάρκεια της προαναφερθείσας περιόδου λειτουργίας των 30 ημερών, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα άλλων σχετικών πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 3.2.4, μαζί με τη διαθεσιμότητα της συσκευής, καταγράφηκε επίσης και η αξιοπιστία των συλλεχθέντων δεδομένων της συσκευής, μέσω του υπολογισμού του ICC των δεδομένων αυτών με τη χρήση της βιβλιοθήκης του SPSS, ώστε εν τέλει να υπολογιστεί ο τελικός βαθμός αξιοπιστίας της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής, και σαν αποτέλεσμα αυτού ο βαθμός αξιοπιστίας των παραγόμενων δεδομένων της. Μετά την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας, ο μηχανισμός παρήγαγε τα αποτελέσματα του Πίνακα 18, ο οποίος απεικονίζει τα αποτελέσματα που συλλέχθηκαν μετά την εκτέλεση του ίδιου πειράματος για 30 συνεχόμενες ημέρες. Λεπτομερέστερα, ο Πίνακας 18 συνοψίζει τα αποτελέσματα του μηχανισμού αναφορικά με: (i) τη συχνότητα μετάδοσης των δεδομένων από τη συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή προς το μηχανισμό, σχετικά με τον αριθμό των μετρήσεων που συλλέγονται ανά ημέρα, (ii) το ποσοστό της διαθεσιμότητας αυτής της συσκευής, (iii) το ποσοστό της αξιοπιστίας των συλλεχθέντων δεδομένων της συσκευής, και (iv) το ποσοστό της συνολικής αξιοπιστίας που υπολογίστηκε βάσει των αποτελεσμάτων της διαθεσιμότητας της συσκευής και της αξιοπιστίας των δεδομένων της, εφαρμόζοντας την Εξίσωση (11) της Ενότητας 3.2.4.

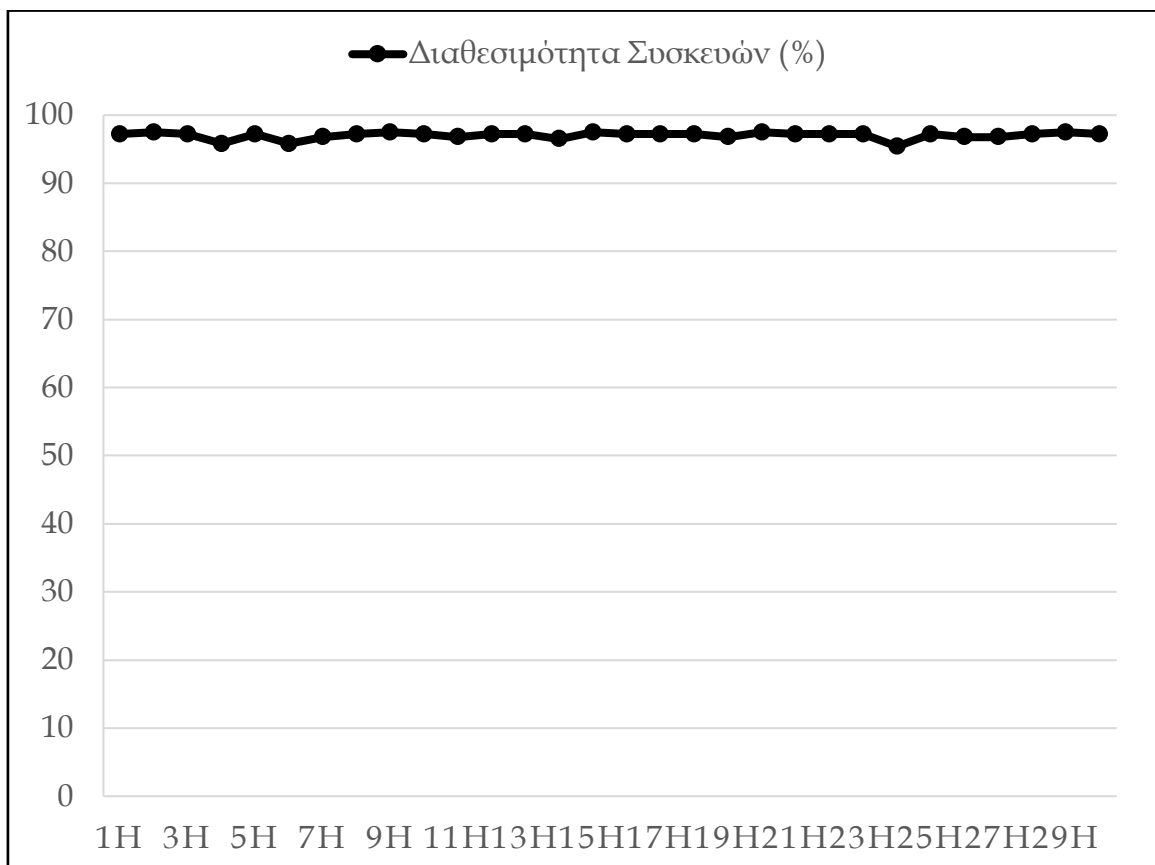
Πίνακας 18. Αποτελέσματα υπολογισμένων ποσοστών αξιοπιστίας Misfit Path συσκευής

Ημέρα	Συχνότητα Μετάδοσης Δεδομένων	Διαθεσιμότητα Συσκευών (%)	Αξιοπιστία Δεδομένων (%)	Συνολική Αξιοπιστία (%)
1 ^η	280	97,2	95,2	96,2
2 ^η	281	97,5	93,1	95,3
3 ^η	280	97,2	96,0	96,6
4 ^η	276	95,8	94,2	95,0
5 ^η	280	97,2	96,3	96,7
6 ^η	276	95,8	89,2	97,0
7 ^η	279	96,8	85,6	91,2
8 ^η	280	97,2	96,3	96,9
9 ^η	281	97,5	98,1	97,8
10 ^η	280	97,2	87,2	92,2
11 ^η	279	96,8	88,5	92,6
12 ^η	280	97,2	95,7	96,4
13 ^η	280	97,2	96,3	96,7
14 ^η	278	96,5	90,5	93,5
15 ^η	281	97,5	98,1	97,8
16 ^η	280	97,2	87,2	92,2
17 ^η	280	97,2	96,3	96,7
18 ^η	280	97,2	95,7	96,4
19 ^η	279	96,8	94,0	95,4
20 ^η	281	97,5	98,1	97,8
21 ^η	280	97,2	95,7	96,4
22 ^η	280	97,2	96,3	96,7
23 ^η	280	97,2	95,4	96,3
24 ^η	275	95,4	95,1	95,2
25 ^η	280	97,2	87,2	92,2
26 ^η	279	96,8	89,5	93,1
27 ^η	279	96,8	90,2	93,5
28 ^η	280	97,2	87,2	92,2
29 ^η	281	97,5	93,9	95,7
30 ^η	280	97,2	95,5	96,3

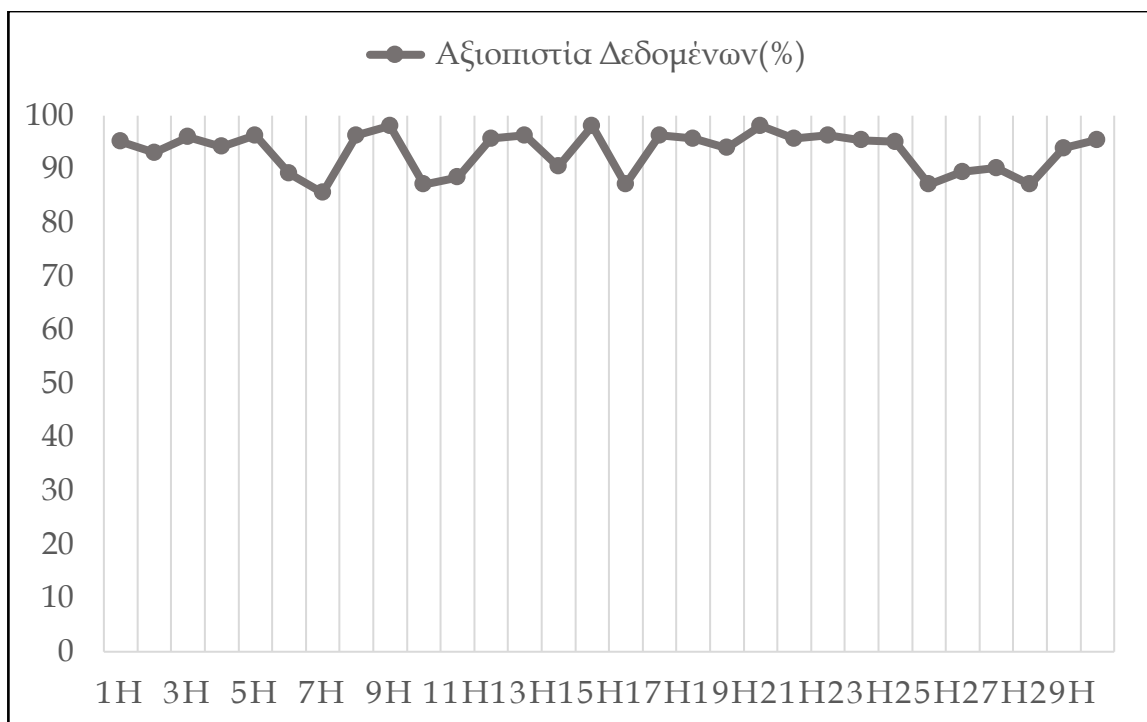
Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 3.2.4, προκειμένου να ληφθούν υπόψη τα τελικά αποτελέσματα (δηλαδή συνολική αξιοπιστία) των δεδομένων της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (Misfit Path) ως αξιόπιστα, και συνεπώς να διατηρηθούν για περαιτέρω χρήση, τα συνολικά ποσοστά αξιοπιστίας των συσκευών που παρήγαγαν αυτά τα δεδομένα πρέπει να υπερβαίνουν το προκαθορισμένο

κατώτατο όριο του 90%. Συνεπώς, με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακας 18, μπορεί να παρατηρηθεί ότι η Misfit Path συσκευή είχε υψηλά επίπεδα διαθεσιμότητας, ενώ ταυτόχρονα τα δεδομένα που συλλέχθηκαν καθημερινά από αυτήν τη συσκευή ήταν υψηλής αξιοπιστίας, καθώς όλα ξεπερνούσαν το προκαθορισμένο κατώτατο όριο. Ως αποτέλεσμα αυτού, η συσκευή Misfit Path θεωρήθηκε ως συσκευή υψηλών επιπέδων αξιοπιστίας, παραμένοντας έτσι στη ΒΔ γνωστών συσκευών. Παράλληλα, τα δεδομένα της συσκευής αυτής διατηρήθηκαν στο μηχανισμό ώστε να αξιοποιηθούν και να χρησιμοποιηθούν από τις αντίστοιχες πλατφόρμες/εφαρμογές στις οποίες είχε εφαρμοστεί ο μηχανισμός, προκειμένου εν τέλει αυτές να επωφεληθούν από αυτόν, και να χρησιμοποιήσουν τα αξιόπιστα (σχετικά προς αυτές) δεδομένα που κατάφερε να συλλέξει.

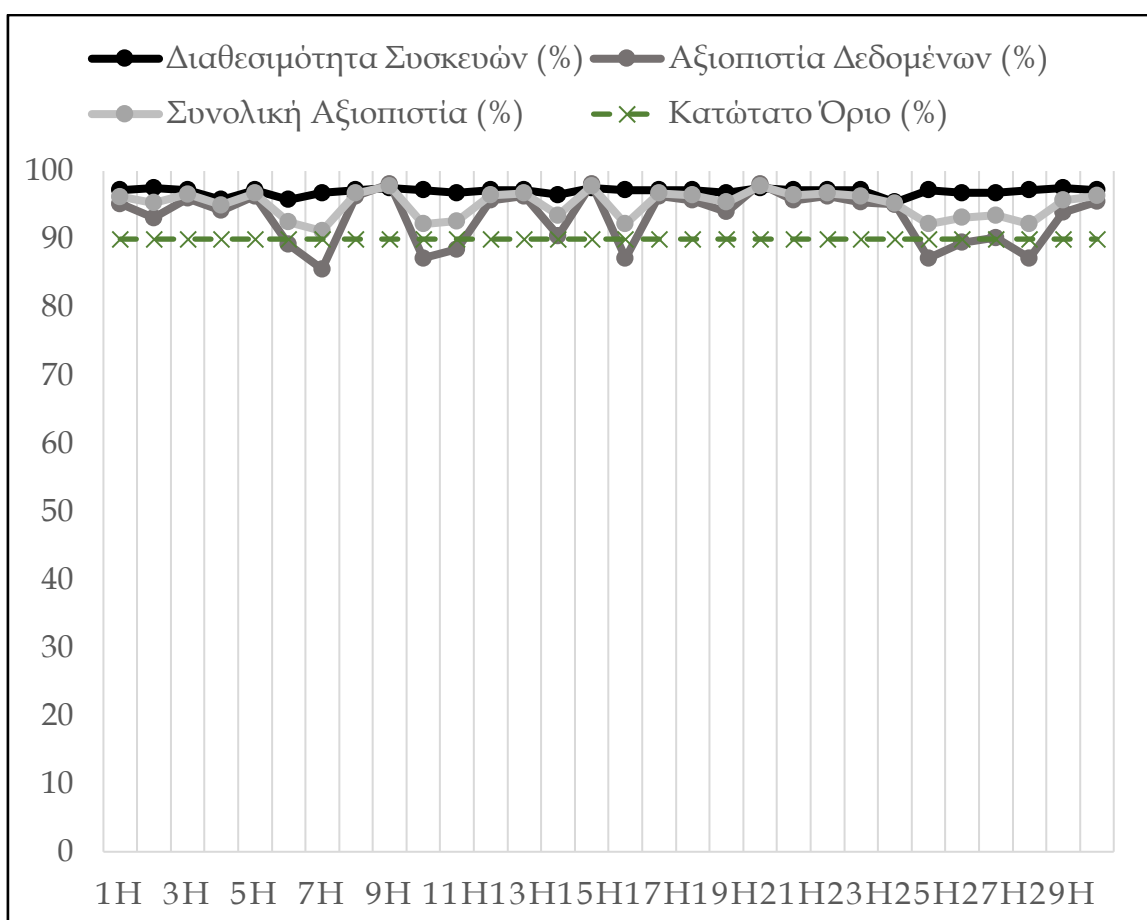
Η Εικόνα 34, η Εικόνα 35, και η Εικόνα 36, απεικονίζουν τα αποτελέσματα του Πίνακας 18, όπου καταγράφονται τα ποσοστά της συνολικής διαθεσιμότητας της Misfit Path συσκευής, της αξιοπιστίας των παραγόμενων δεδομένων της Misfit Path συσκευής, και της συνολικής αξιοπιστίας της συσκευής αυτής, αντιστοίχως, για κάθε μία από τις 30 ημέρες εκτέλεσης του πειράματος.



Εικόνα 34. Γραφική παράσταση συνολικών αποτελεσμάτων διαθεσιμότητας Misfit Path συσκευής



Εικόνα 35. Γραφική παράσταση συνολικών αποτελεσμάτων συνολικής αξιοπιστίας παραγόμενων δεδομένων Misfit Path συσκευής



Εικόνα 36. Γραφική παράσταση συνολικών αποτελεσμάτων συνολικής αξιοπιστίας Misfit Path συσκευής

4.2.4 3^ο Πείραμα: Ενσωμάτωση Μη Αξιόπιστης Άγνωστης Συσκευής

Στο 3^ο πείραμα παρατίθεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να ενσωματωθεί μία άγνωστη συσκευή στο μηχανισμό, καταγράφοντας αναλυτικά όλα τα επιμέρους στάδια της προτεινόμενης προσέγγισης και τα αντίστοιχα εξαγόμενα αποτελέσματα των σταδίων αυτών, αποδεικνύοντας πως η συσκευή αυτή δεν ήταν εν τέλει μία αξιόπιστη συσκευή, και τα δεδομένα της δεν μπορούσαν να διατηρηθούν στο μηχανισμό για περαιτέρω χρήση.

4.2.4.1 Τεχνική Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών

Για να ξεκινήσει το 3^ο πείραμα, στο πρώτο στάδιο του μηχανισμού (Εύρεση και Σύνδεση Συσκευών) χρησιμοποιήθηκαν οι επιλεγμένες γνωστές συσκευές που περιεγράφηκαν στην Ενότητα 4.2.1, καθώς και μία νέα συσκευή. Ειδικότερα, η μία νέα συσκευή ήθελε να συνδεθεί στο μηχανισμό, ενώ οι άλλες 40 γνωστές συσκευές (Πίνακας 1) δεν έπρεπε να συνδεθούν με το μηχανισμό, καθώς υπήρχαν ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών του μηχανισμού, θεωρούμενες ως αξιόπιστες συσκευές. Έτσι, καθώς η μία συνδεδεμένη συσκευή υποστήριζε την επικοινωνία με Bluetooth, συνδέθηκε με το μηχανισμό μέσω της παρεχόμενης Bluetooth διεπαφής διασύνδεσης, η οποία σύλλεξε το όνομα και τη διεύθυνση MAC της συσκευής. Μόλις συλλέχθηκε η διεύθυνση MAC της συσκευής, ο μηχανισμός εξήγαγε από τη διεύθυνση MAC τις πρώτες τρεις (3) οκτάδες, έτσι ώστε να αποκαλύψει το OUI της συσκευής και να συσχετίσει την αντίστοιχη διεύθυνση MAC με τον κατασκευαστή της. Για το σκοπό αυτό, ο μηχανισμός χρησιμοποίησε το MAC Vendors API, αποκαλύπτοντας ότι ο κατασκευαστής της συνδεδεμένης συσκευής ήταν ο Polar, ενώ το όνομά της ήταν το Polar A370 (Πίνακας 19).

Πίνακας 19. Προδιαγραφές συνδεδεμένης συσκευής

#	Όνομα	Διεύθυνση MAC	Κατασκευαστή
1	Polar A370	A09E1A281A4B	Polar

Με το που συνδέθηκε η συσκευή και καταγράφηκαν οι προδιαγραφές (δηλαδή το όνομα και ο κατασκευαστής) της, αυτές συγκρίθηκαν αυτόματα με τις αντίστοιχες προδιαγραφές των 40 επιλεγμένων γνωστών συσκευών που υπήρχαν ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών. Με αυτόν τον τρόπο, ο μηχανισμός διαπίστωσε ότι η συνδεδεμένη συσκευή δεν υπήρχε ήδη σε αυτή τη ΒΔ, καθώς οι προδιαγραφές της δεν ταυτίζονταν με τις προδιαγραφές καμίας συσκευής από αυτές που ήταν ήδη στη ΒΔ. Κατά συνέπεια, η συνδεδεμένη συσκευή χαρακτηρίστηκε ως άγνωστη συσκευή. Δεδομένου ότι η συνδεδεμένη συσκευή αναγνωρίστηκε ως μία άγνωστη συσκευή για το μηχανισμό, όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 3.2.1, ο μηχανισμός

χρειαζόταν πληροφορίες σχετικά με το API της συσκευής, καθώς αυτές οι πληροφορίες δεν υπήρχαν στη ΒΔ των API μεθόδων γνωστών συσκευών. Επομένως, αφού ο μηχανισμός γνώριζε πλέον το κατασκευαστή της συνδεδεμένης συσκευής (δηλαδή Polar), ήταν σε θέση να ανακτήσει από την ιστοσελίδα του Polar το εγχειρίδιο χρήσης των API του, συγκεντρώνοντας πληροφορίες σχετικά με (i) τα URL πρόσβασης των διαφορετικών μεθόδων του API, και (ii) τις περιγραφές των μεθόδων αυτών. Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι πληροφορίες αυτές θα απεικονιστούν στο τρίτο στάδιο του μηχανισμού. Συνεπώς, εφόσον ο μηχανισμός γνώριζε πλέον τις προδιαγραφές και τις API μεθόδους της συνδεδεμένης συσκευής, οι προδιαγραφές αυτές αποθηκεύτηκαν στη ΒΔ άγνωστων συσκευών, ενώ οι πληροφορίες του API αποθηκεύτηκαν στη ΒΔ των API μεθόδων άγνωστων συσκευών. Έτσι, η ΒΔ άγνωστων συσκευών αποτελούνταν από τα γεμισμένα πεδία του ονόματος και του κατασκευαστή, ενώ τα πεδία της εικόνας και του τύπου της συσκευής ήταν κενά προς το παρόν – όντας άγνωστα (ΑΓ) (Πίνακας 20).

Πίνακας 20. Περιεχόμενα ΒΔ άγνωστων συσκευών

#	Όνομα	Κατασκευαστής	Εικόνα	Τύπος
1	Polar A370	Polar	ΑΓ	ΑΓ

Όσον αφορά τη ΒΔ των API μεθόδων άγνωστων συσκευών, αυτή περιλάμβανε τα πεδία του κατασκευαστή, του τύπου της συσκευής, της διεύθυνσης URL πρόσβασης και της περιγραφής κάθε μεθόδου, έχοντας μόνο γνώση για τη σύνταξη των περιγραφών αυτών. Ωστόσο, επειδή ο μηχανισμός δεν γνώριζε ακόμα τον τύπο της συνδεδεμένης συσκευής, αποθήκευσε όλες τις μεθόδους όλων των διαθέσιμων τύπων συσκευών του Polar κατασκευαστή (Πίνακας 21), ανακτώντας 7 μεθόδους που χρησιμοποιούσαν το URL αίτησης <https://www.polaraccesslink.com/v3/>.

Πίνακας 21. Περιεχόμενα ΒΔ API μεθόδων άγνωστων συσκευών με Polar πληροφορίες

#	Τύπος	URL Μεθόδου	Περιγραφή Μεθόδου
1	ΑΓ	users/{user-id}/activity-transactions/{transaction-id}	List new activity data
2	ΑΓ	users/{user-id}/activity-transactions/{transaction-id}/activities/{activity-id}	Get activity summary
3	ΑΓ	users/{user-id}/exercise-transactions/{transaction-id}	List exercises
4	ΑΓ	users/{user-id}/exercise-transactions/{transaction-id}/exercises/{exercise-id}	Get exercise summary
5	ΑΓ	users/{user-id}/exercise-transactions/{transaction-id}/exercises/{exercise-id}/heart-rate-zones	Get heart rate zones
6	ΑΓ	users/{user-id}/physical-information-transactions/transaction-id}/physical-informations/{physical-info-id}	Get physical info
7	ΑΓ	exercises/{exerciseId}	Get exercise

4.2.4.2 Τεχνική Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών

Εν συνεχεία, στο δεύτερο στάδιο του μηχανισμού πραγματοποιήθηκε η διαδικτυακή αναζήτηση των εικόνων της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής, όπου η κατασκευασμένη μηχανή αναζήτησης εικόνων χρησιμοποίησε ως είσοδο τόσο το όνομα όσο και τον κατασκευαστή της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής. Ειδικότερα, με βάση τις λέξεις που περιείχαν αυτές οι δύο (2) προδιαγραφές (δηλαδή όνομα: Polar A370, και κατασκευαστής: Polar), τις ενσωμάτωσε σε ένα ερώτημα, κατασκευάζοντας το αντίστοιχο ερώτημα αναζήτησης για να το χρησιμοποιήσει ως είσοδο για τη διαδικτυακή αναζήτησή του μέσω της Google βιβλιοθήκης εικόνων. Ειδικότερα, το κατασκευασμένο ερώτημα αναζήτησης για την αναζήτηση της εικόνας της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής διαμορφώθηκε ως «search engine/search?hl=en&q=%Polar+A370&Polar&btnG=Search», όπου το (q) υποδήλωνε την αρχή του ερωτήματος, το σύμβολο (?) υποδήλωνε το τέλος της διεύθυνσης URL, το σύμβολο (&) διαχώριζε μεταξύ τους τις επιμέρους λέξεις, το σύμβολο (+) παρίστανε το κενό, ενώ το btnG=Search υποδήλωνε ότι το κουμπί αναζήτησης ήταν πατημένο στη διεπαφή ιστού.

Μόλις ολοκληρώθηκε αυτή η αναζήτηση, η μηχανή αναζήτησης εικόνων επέστρεψε τη λίστα αποτελεσμάτων που περιείχε τις πρώτες δέκα (top 10) πιο συχνά εμφανιζόμενες εικόνες της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (δηλαδή της Polar A370). Επομένως, όλες οι ευρεθείσες εικόνες της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής αποθηκεύτηκαν στο πεδίο της εικόνας κάθε αντίστοιχης συσκευής που υπήρχε στη ΒΔ άγνωστων συσκευών (Πίνακας 22).

Πίνακας 22. Ανανεωμένα περιεχόμενα ΒΔ άγνωστων συσκευών

#	Όνομα	Κατασκευαστής	Εικόνα	Τύπος
1	Polar A370	Polar		ΑΓ
2	Polar A370	Polar		ΑΓ
3	Polar A370	Polar		ΑΓ
4	Polar A370	Polar		ΑΓ
5	Polar A370	Polar		ΑΓ
6	Polar A370	Polar		ΑΓ
7	Polar A370	Polar		ΑΓ
8	Polar A370	Polar		ΑΓ
9	Polar A370	Polar		ΑΓ
10	Polar A370	Polar		ΑΓ

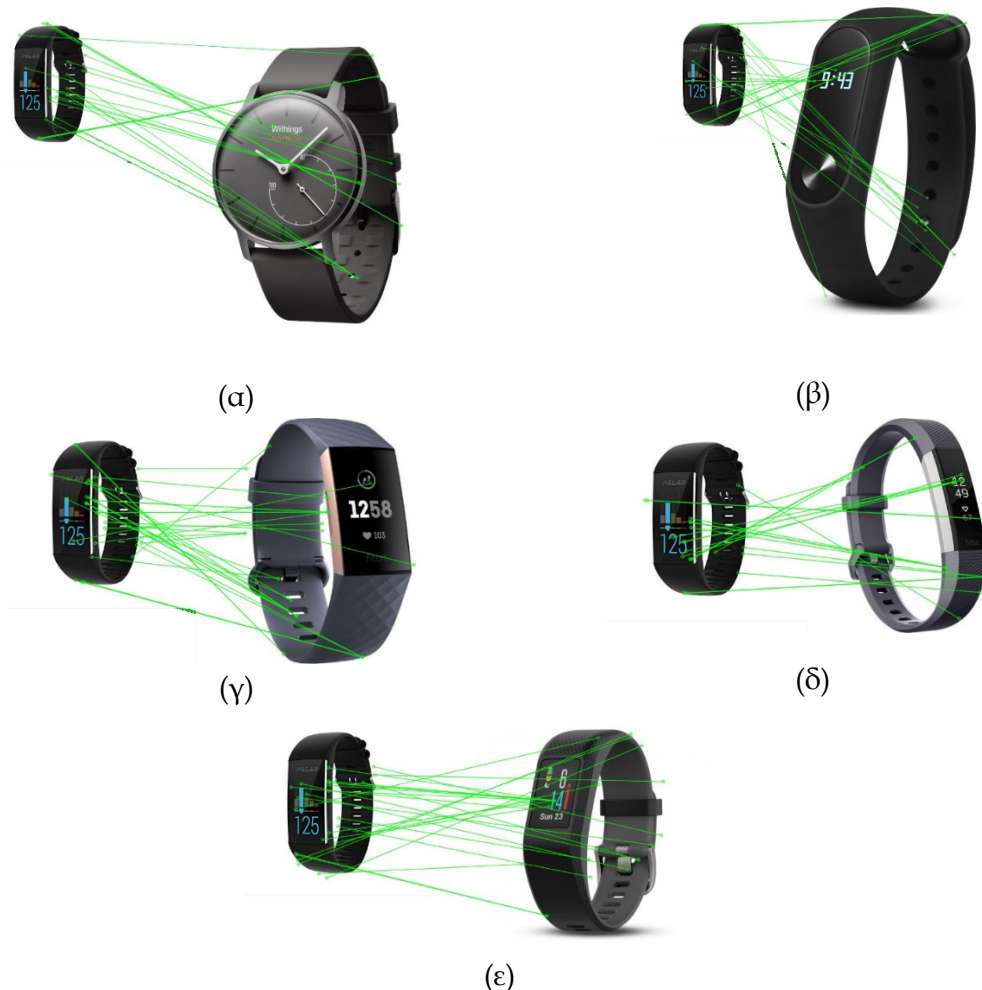
Εφόσον οι εικόνες της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής αποθηκεύτηκαν επιτυχώς στη ΒΔ άγνωστων συσκευών, εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση των εικόνων των 40 γνωστών και της μίας συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής, έτσι ώστε να καταγραφούν τα κοινά χαρακτηριστικά των εικόνων αυτών, και να προσδιοριστεί τελικά ο τύπος της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη του OpenCV, όπου αρχικά εφαρμόστηκε η μέθοδος του SURF για την εκτέλεση της ανίχνευσης των χαρακτηριστικών της εικόνας εισόδου (δηλαδή της εικόνας της μίας συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής) και των εικόνων δειγμάτων (δηλαδή των εικόνων των 40 προυπαρχουσών γνωστών συσκευών). Έτσι, ο SURF εξήγαγε από όλες αυτές τις εικόνες τα διαφορετικά χαρακτηριστικά τους (δηλαδή τα σημεία ενδιαφέροντος) σε συνδυασμό με τους περιγραφείς τους, προκειμένου να συγκριθούν οι περιγραφείς που εξήχθησαν από κάθε διαφορετική εικόνα δείγματος και την εικόνα εισόδου, και να βρεθούν τα διαφορετικά ζεύγη ταύτισης μεταξύ τους. Επομένως, πραγματοποιήθηκε ένας βρόγχος επανάληψης για όλες τις εικόνες δειγμάτων των 40 γνωστών συσκευών, προκειμένου να βρεθούν τα διαφορετικά ζεύγη ταύτισης. Η 1^η ανακτηθείσα εικόνα από τη διαδικτυακή αναζήτηση των εικόνων της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (δηλαδή της Polar A370) και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά της που βρέθηκαν, απεικονίζονται στην Εικόνα 37.



Εικόνα 37. Χαρακτηριστικά Polar A370 συσκευής (1^η επανάληψη)

Μετά την υλοποίηση του SURF και την εξαγωγή όλων των πιθανών ζευγών ταύτισης, προκειμένου να βρεθεί η καλύτερη αντιστοιχία μεταξύ όλων των υπολογισμένων ζευγών ταύτισης, εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος FLANN. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος αντιστοίχισης KNN για την εύρεση των καλύτερων αντιστοιχιών των χαρακτηριστικών της εικόνας εισόδου με τα χαρακτηριστικά των εικόνων δειγμάτων. Μόλις ολοκληρώθηκε αυτή η διαδικασία, ο μηχανισμός εξήγαγε τα τελικά αποτελέσματα, υποδεικνύοντας τα ποσοστά ομοιότητας μεταξύ των εικόνων των 40 γνωστών συσκευών και της εικόνας της μίας συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (Polar A370).

Με βάση τα παραγόμενα αποτελέσματα, η εικόνα της γνωστής συσκευής που ταίριαζε περισσότερο με την εικόνα της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής ήταν αυτή της συσκευής Garmin Vivosport, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 38 (ε). Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί πως στην Εικόνα 38 απεικονίζονται οι top 5 γνωστές συσκευές των οποίων οι εικόνες είχαν το μεγαλύτερο βαθμό ομοιότητας με την εικόνα της συνδεδεμένης συσκευής Polar A370.



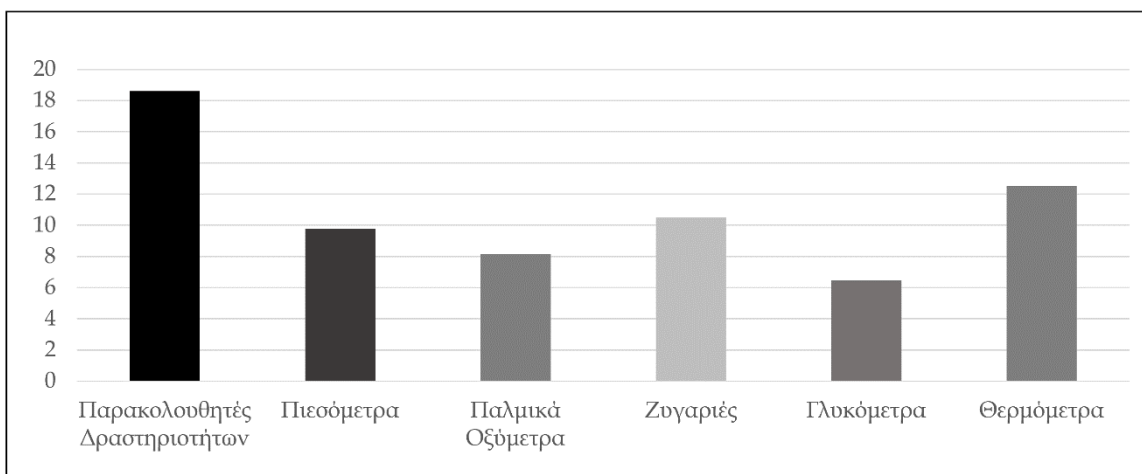
Εικόνα 38. Top 5 αποτελέσματα ομοιότητας Polar A370 συσκευής με γνωστές συσκευές (1^η επανάληψη)

Όλα τα εξαχθέντα αποτελέσματα απεικονίζονται στον Πίνακα 23, υποδεικνύοντας τον ακριβή αριθμό των κοινών χαρακτηριστικών, και συνεπώς το συνολικό ποσοστό ομοιότητας που είχε η εικόνα κάθε γνωστής συσκευής με την εικόνα της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής. Ειδικότερα, κατά την υλοποίηση του SURF αναγνωρίστηκε ότι η εικόνα της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής περιείχε 312 διακριτά χαρακτηριστικά, επισημαίνοντας ότι η εικόνα μιας γνωστής συσκευής θα είχε συνολική ομοιότητα 100% με την άγνωστη συσκευή (Polar A370), στην περίπτωση που θα είχε 312 χαρακτηριστικά κοινά με την άγνωστη συσκευή.

Πίνακας 23. Αποτελέσματα ομοιότητας εικόνων Polar A370 συσκευής και γνωστών συσκευών (1^η επανάληψη)

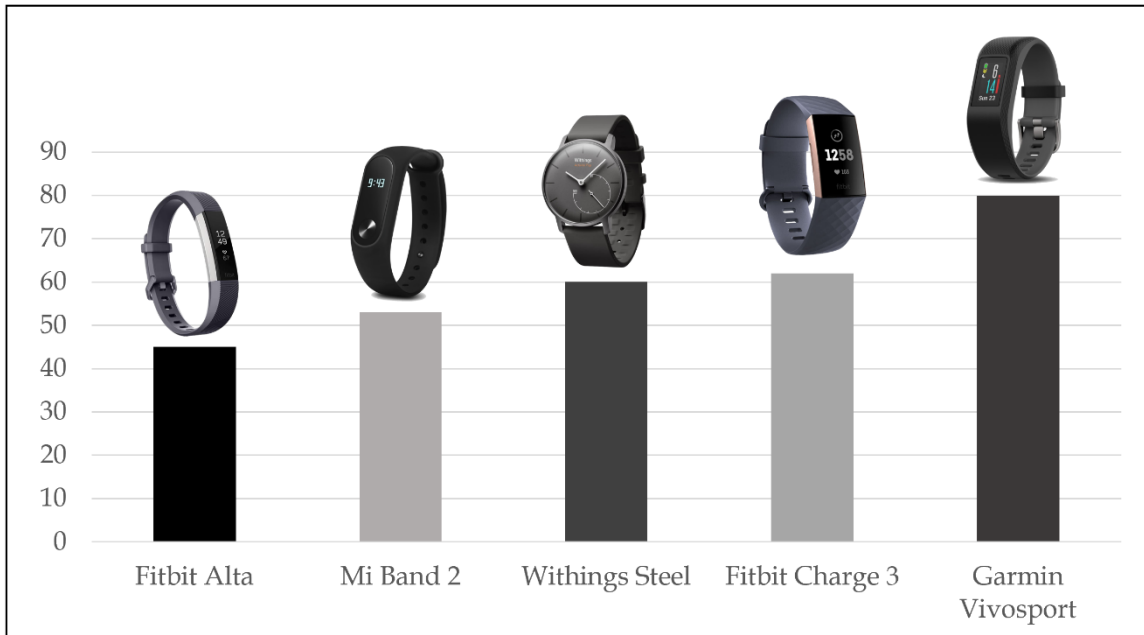
#	Όνομα	Τύπος	Κοινά Χαρακτηριστικά	Συνολική Ομοιότητα (%)
1	Fitbit Flex	ΠΔ	15	4,80
2	Withings BPM	ΠΠΕ	26	7,37
3	iHealth Ease	ΠΠΕ	44	14,10
4	iHealth Air	ΠΟ	4	1,28
5	Withings Body Cardio	ΖΥ	6	1,92
6	Garmin Vivomove HR	ΠΔ	13	4,16
7	iHealth Lite	ΖΥ	9	2,88
8	iHealth Smart	ΓΛ	24	7,69
9	Garmin Vivosport	ΠΔ	80	25,64
10	Fitbit Charge 3	ΠΔ	62	19,87
11	Mi Band 2	ΠΔ	53	16,98
12	iHealth Wave	ΠΔ	22	7,05
13	Withings Body	ΖΥ	19	6,08
14	iHealth Thermometer	ΘΕ	2	0,64
15	Garmin Vivosmart 4	ΠΔ	11	3,52
16	Withings Steel	ΠΔ	60	19,23
17	Fitbit Zip	ΠΔ	15	4,80
18	Withings Thermo	ΘΕ	13	4,16
19	Fitbit Aria	ΖΥ	41	13,14
20	iHealth Sense	ΠΠΕ	29	9,29
21	Withings Pulse O2	ΠΔ	7	2,24
22	iHealth Track	ΠΠΕ	7	2,24
23	Garmin Quatix 5	ΠΔ	28	8,97
24	iHealth View	ΠΠΕ	38	12,17
25	Garmin Vivofit 4	ΠΔ	16	5,12
26	Mi Body Composition Scale	ΖΥ	11	3,52
27	Fitbit Alta HR	ΠΔ	13	4,16
28	Withings Steel HR	ΠΔ	10	3,20
29	iHealth Core	ΖΥ	4	1,28
30	Garmin Forerunner 935	ΠΔ	17	5,44
31	iHealth Clear	ΠΠΕ	37	11,85
32	Fitbit Versa	ΠΔ	16	5,12
33	Fitbit Alta	ΠΔ	45	14,42
34	iHealth Align	ΓΛ	12	3,84
35	Fitbit Ace	ΠΔ	27	8,65
36	Garmin Fenix 5S Plus	ΠΔ	7	2,24
37	Withings Body+	ΖΥ	12	3,84
38	Garmin Fenix Chronos	ΠΔ	23	7,37
39	Fitbit Ionic	ΠΔ	31	9,93
40	iHealth Feel	ΠΠΕ	38	12,17

Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 23, παρατηρήθηκε πως βρέθηκαν διαφορετικά ποσοστά ομοιότητας μεταξύ της εικόνας κάθε γνωστής συσκευής και της εικόνας της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (Polar A370). Πιο συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε πως υπολογίστηκαν διαφορετικά ποσοστά μεταξύ της Polar A370 συσκευής που ήταν άγνωστου τύπου συσκευής, και των γνωστών συσκευών που είχαν διαφορετικούς τύπους συσκευών (π.χ. παρακολουθητές δραστηριοτήτων (ΠΔ), πιεσόμετρα (ΠΕ), παλμικά οξυμετρικά (ΠΟ), ζυγαριές (ΖΥ), γλυκόμετρα (ΓΛ), και θερμομέτρα (ΘΕ)). Βάσει των αποτελεσμάτων του Πίνακα 23, στην Εικόνα 39 απεικονίζονται οι μέσοι όροι των διαφορετικών ποσοστών ομοιότητας των εικόνων κάθε διαφορετικού τύπου των γνωστών συσκευών με τη συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή (Polar A370).



Εικόνα 39. Μέσοι όροι συνολικών ομοιοτήτων διαφορετικών τύπων συσκευών με Polar A370 συσκευή (1^η επανάληψη)

Με βάση την Εικόνα 39, μπορεί κάποιος να παρατηρήσει πως οι εικόνες των συσκευών των παρακολουθητών δραστηριοτήτων είχαν το μεγαλύτερο μέσο όρο ομοιότητας (δηλαδή 18,7%) με τη συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή (Polar A370). Πράγματι, το γεγονός αυτό μπορεί να επαληθευτεί αν κάποιος παρατηρήσει και τα αποτελέσματα του Πίνακα 23, όπου οι εικόνες των γνωστών παρακολουθητών δραστηριοτήτων των Garmin Vivosport, Fitbit Charge 3, Mi Band 2, Withings Steel και Fitbit Alta (υπογραμμισμένα με γκρι) είχαν το μεγαλύτερο συνολικό ποσοστό ομοιότητας με τη συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή της Polar A370. Τα top 5 καλύτερα αποτελέσματα (δηλαδή ποσοστά ομοιότητας) μεταξύ της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (Polar A370) και των 40 γνωστών συσκευών απεικονίζονται στην Εικόνα 40.

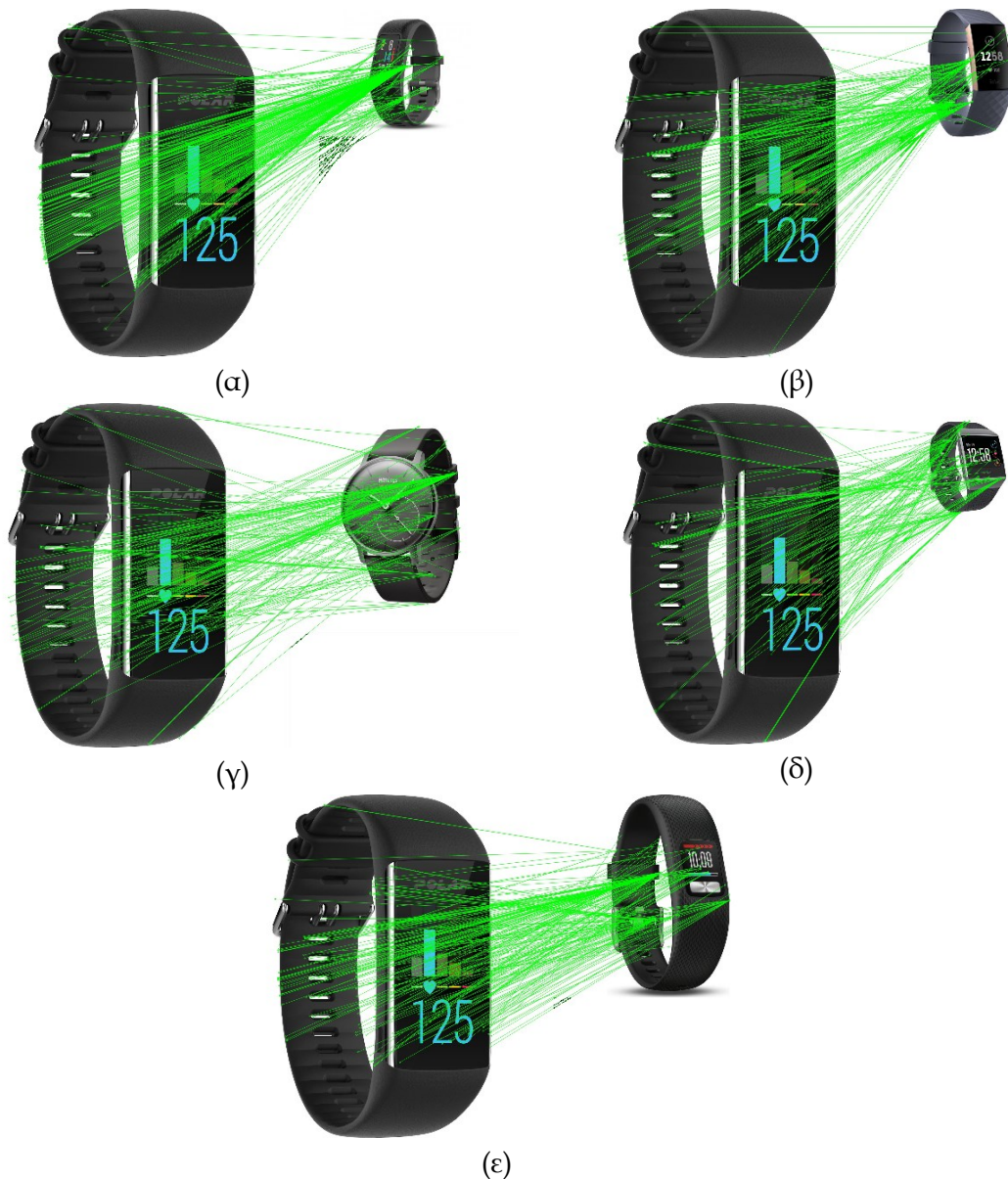


Εικόνα 40. Top 5 γνωστές συσκευές με κοινά χαρακτηριστικά με Polar A370 συσκευή

Παρόλα αυτά, κανένα από αυτά τα ποσοστά δεν υπερέβαινε, ούτε καν έφτανε κοντά, το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 50%. Συνεπώς, δεδομένου ότι το υψηλότερο υπολογισμένο ποσοστό ομοιότητας ήταν αυτό της συσκευής Garmin Vivosport (25,64%), το οποίο και πάλι δεν υπερέβαινε το όριο του 50%, όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 3.2.2, έπρεπε να πραγματοποιηθεί ένας βρόγχος επανάληψης στην αρχή αυτού του σταδίου, προκειμένου να αποκτηθεί η δεύτερη εικόνα της λίστας αποτελεσμάτων της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής. Επομένως, ο μηχανισμός ανέκτησε τη δεύτερη εικόνα της Polar A370 συσκευής από τη ΒΔ άγνωστων συσκευών, ώστε να τη συγκρίνει με τις εικόνες των γνωστών συσκευών, και πιθανώς αυτή τη φορά να καταλήξει σε ένα αποτέλεσμα. Για το λόγο αυτό, ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία που εφαρμόστηκε για την πρώτη εικόνα της συσκευής. Η δεύτερη εικόνα της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (Polar A370) και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά της απεικονίζονται στην Εικόνα 41, ενώ οι top 5 γνωστές συσκευές των οποίων οι εικόνες είχαν το μεγαλύτερο βαθμό ομοιότητας με την εικόνα της Polar A370 απεικονίζονται στην Εικόνα 42.



Εικόνα 41. Χαρακτηριστικά Polar A370 συσκευής (2^η επανάληψη)



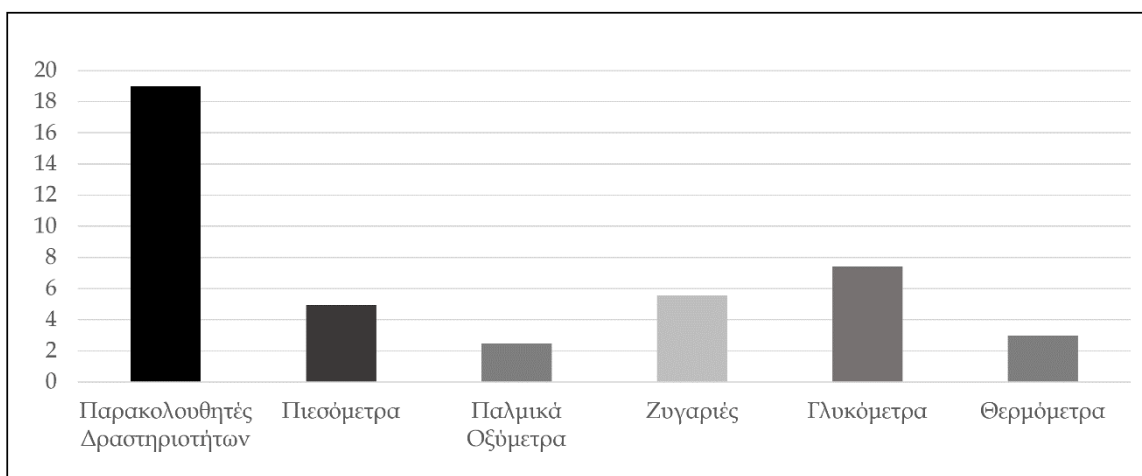
Εικόνα 42. Top 5 αποτελέσματα ομοιότητας Polar A370 συσκευής με γνωστές συσκευές (2^η επανάληψη)

Όλα τα εξαχθέντα αποτελέσματα απεικονίζονται στον Πίνακα 24, υποδεικνύοντας τον ακριβή αριθμό των κοινών χαρακτηριστικών, και ως αποτέλεσμα το συνολικό ποσοστό ομοιότητας, που είχε η εικόνα κάθε γνωστής συσκευής με την εικόνα της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής. Ειδικότερα, κατά την υλοποίηση του SURF αναγνωρίστηκε ότι η εικόνα της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής περιείχε 1531 διακριτά χαρακτηριστικά, επισημαίνοντας ότι η εικόνα μιας γνωστής συσκευής θα είχε συνολική ομοιότητα 100% με την άγνωστη συσκευή (Polar A370), στην περίπτωση που θα είχε 1531 χαρακτηριστικά κοινά με την άγνωστη συσκευή.

Πίνακας 24. Αποτελέσματα ομοιότητας εικόνων Polar A370 συσκευής και γνωστών συσκευών (2^η επανάληψη)

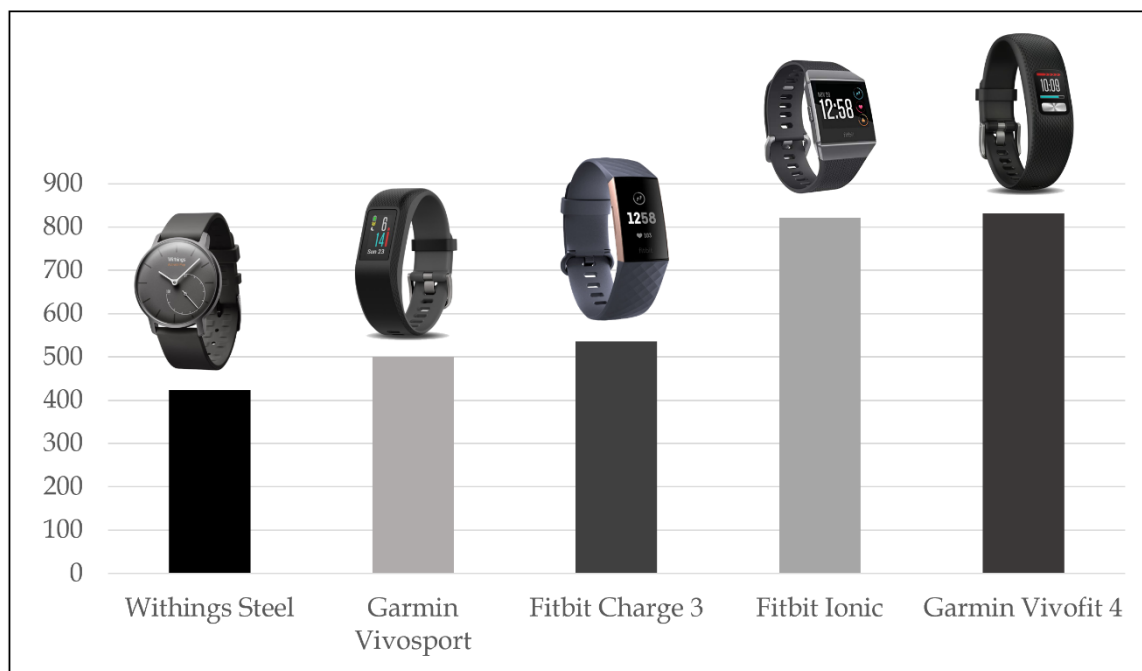
#	Όνομα	Τύπος	Κοινά Χαρακτηριστικά	Συνολική Ομοιότητα (%)
1	Fitbit Flex	ΠΔ	295	19,02
2	Withings BPM	ΠΠΕ	32	2,09
3	iHealth Ease	ΠΠΕ	43	2,80
4	iHealth Air	ΠΟ	38	2,48
5	Withings Body Cardio	ΖΥ	68	4,44
6	Garmin Vivomove HR	ΠΔ	197	12,86
7	iHealth Lite	ΖΥ	88	5,74
8	iHealth Smart	ΓΛ	205	13,38
9	Garmin Vivosport	ΠΔ	501	32,72
10	Fitbit Charge 3	ΠΔ	536	35,00
11	Mi Band 2	ΠΔ	201	13,12
12	iHealth Wave	ΠΔ	395	25,80
13	Withings Body	ΖΥ	68	4,44
14	iHealth Thermometer	ΘΕ	30	1,95
15	Garmin Vivosmart 4	ΠΔ	81	5,29
16	Withings Steel	ΠΔ	423	27,62
17	Fitbit Zip	ΠΔ	155	10,12
18	Withings Thermo	ΘΕ	62	4,04
19	Fitbit Aria	ΖΥ	103	6,72
20	iHealth Sense	ΠΠΕ	100	6,53
21	Withings Pulse O2	ΠΔ	119	7,77
22	iHealth Track	ΠΠΕ	73	4,70
23	Garmin Quatix 5	ΠΔ	256	16,72
24	iHealth View	ΠΠΕ	167	10,90
25	Garmin Vivofit 4	ΠΔ	831	54,27
26	Mi Body Composition Scale	ΖΥ	35	2,28
27	Fitbit Alta HR	ΠΔ	84	5,48
28	Withings Steel HR	ΠΔ	155	10,12
29	iHealth Core	ΖΥ	88	5,74
30	Garmin Forerunner 935	ΠΔ	203	13,25
31	iHealth Clear	ΠΠΕ	118	7,70
32	Fitbit Versa	ΠΔ	183	11,95
33	Fitbit Alta	ΠΔ	103	6,72
34	iHealth Align	ΓΛ	22	1,43
35	Fitbit Ace	ΠΔ	146	9,53
36	Garmin Fenix 5S Plus	ΑΤ	19	1,24
37	Withings Body+	ΖΥ	146	9,53
38	Garmin Fenix Chronos	ΠΔ	411	26,84
39	Fitbit Ionic	ΠΔ	821	53,62
40	iHealth Feel	ΠΠΕ	320	20,90

Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 24, παρατηρήθηκε πως βρέθηκαν διαφορετικά ποσοστά ομοιότητας μεταξύ της εικόνας κάθε γνωστής συσκευής και της εικόνας της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (Polar A370). Πιο συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε πως υπολογίστηκαν διαφορετικά ποσοστά μεταξύ της Polar A370 συσκευής που ήταν άγνωστου τύπου συσκευής, και των γνωστών συσκευών είχαν διαφορετικούς τύπους συσκευών (π.χ. παρακολουθητές δραστηριοτήτων (ΠΔ), πιεσόμετρα (ΠΕ), παλμικά οξυμετρικά (ΠΟ), ζυγαριές (ΖΥ), γλυκόμετρα (ΓΛ), και θερμομέτρα (ΘΕ)). Βάσει των αποτελεσμάτων του Πίνακα 24, στην Εικόνα 43 απεικονίζονται οι μέσοι όροι των διαφορετικών ποσοστών ομοιότητας των εικόνων κάθε διαφορετικού τύπου των γνωστών συσκευών με τη συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή (Polar A370).



Εικόνα 43. Μέσοι όροι συνολικών ομοιοτήτων διαφορετικών τύπων συσκευών με Polar A370 συσκευή (2^η επανάληψη)


Με βάση την Εικόνα 43, μπορεί κάποιος να παρατηρήσει πως, όπως και στην 1^η επανάληψη, οι εικόνες των συσκευών των παρακολουθητών δραστηριοτήτων είχαν το μεγαλύτερο μέσο όρο ομοιότητας (δηλαδή 18,7%) με τη συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή (Polar A370). Πράγματι, το γεγονός αυτό μπορεί να επαληθευτεί αν κάποιος παρατηρήσει και τα αποτελέσματα του Πίνακα 24, όπου οι εικόνες των γνωστών παρακολουθητών δραστηριοτήτων των Garmin Vivosport, Fitbit Charge 3, Withings Steel, Garmin Vivofit 4 και Fitbit Ionic (υπογραμμισμένα με γκρι) είχαν το μεγαλύτερο συνολικό ποσοστό ομοιότητας με τη συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή της Polar A370. Αξίζει να σημειωθεί πως ορισμένα από αυτά τα ποσοστά δεν υπερέβαιναν το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 50%, ενώ δύο (2) από αυτά υπερέβαιναν το όριο αυτό. Τα top 5 καλύτερα αποτελέσματα (δηλαδή ποσοστά ομοιότητας) μεταξύ της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (Polar A370) και των 40 γνωστών συσκευών απεικονίζονται στην Εικόνα 44.



Εικόνα 44. Top 5 γνωστές συσκευές με κοινά χαρακτηριστικά με Polar A370 συσκευή

Επομένως, δεδομένου ότι αφενός το υπολογισμένο ποσοστό ομοιότητας μεταξύ των εικόνων των συσκευών της Garmin Vivofit 4 και της Polar A370 ήταν υψηλότερο από το προκαθορισμένο κατώτατο όριο (54,27%), και αφετέρου ο τύπος συσκευής της Garmin Vivofit 4 ήταν γνωστή ως παρακολουθητής δραστηριοτήτων, ο τύπος της άγνωστης συσκευής της Polar A370 αναγνωρίστηκε επίσης ως παρακολουθητής δραστηριοτήτων. Σαν αποτέλεσμα αυτού, οι προδιαγραφές και η εικόνα της Polar A370 ανανεώθηκαν στη ΒΔ άγνωστων συσκευών (Πίνακας 25), ενώ παράλληλα όλες οι πληροφορίες της Polar A370 αποθηκεύτηκαν και στη ΒΔ γνωστών συσκευών, έτσι ώστε η συσκευή Polar A370 να θεωρείται πλέον ως μία γνωστή συσκευή για μελλοντική χρήση. Για το σκοπό αυτό, πρέπει να αναφερθεί πως δεδομένου ότι το υπολογισμένο ποσοστό συνολικής ομοιότητας μεταξύ της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (Polar A370) και μιας από τις γνωστές συσκευές (Garmin Vivofit 4) υπερέβαινε το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 50%, δεν χρειαζόταν να πραγματοποιηθεί ξανά ένας βρόγχος επανάληψης στην αρχή αυτού του σταδίου, προκειμένου να αποκτηθεί η τρίτη εικόνα από τη λίστα αποτελεσμάτων της διαδικτυακής αναζήτησης της εικόνας της άγνωστης συσκευής, και ούτω καθεξής.

Πίνακας 25. Ανανεωμένα περιεχόμενα ΒΔ άγνωστων συσκευών

#	Όνομα	Κατασκευαστής	Εικόνα	Τύπος
1	Polar A370	Polar		ΠΔ

4.2.4.3 Τεχνική Συλλογής Δεδομένων Συσκευών

Στη συνέχεια, έχοντας αναγνωρίσει τον τύπο της συνδεδεμένης συσκευής, τέθηκε σε εφαρμογή το τρίτο στάδιο του μηχανισμού, προκειμένου να προσδιοριστεί η φύση των API μεθόδων της συνδεδεμένης άγνωστης (αναγνωρισμένης πλέον) συσκευής, διαχωρίζοντας εκείνες τις μεθόδους που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων της συσκευής αυτής. Για να το επιτύχει αυτό, ο μηχανισμός χρησιμοποίησε τις συσκευές των 20 παρακολουθητών δραστηριοτήτων που προϋπήρχαν στη ΒΔ γνωστών συσκευών, καθώς και τη μία συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή (δηλαδή τη Polar A370) που αναγνωρίστηκε ως ένας παρακολουθητής δραστηριοτήτων. Λεπτομερέστερα, όσον αφορά τους 20 προϋπάρχοντες παρακολουθητές δραστηριοτήτων, όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο στάδιο του εν λόγω πειράματος του μηχανισμού (Ενότητα 4.2.4.1), ο μηχανισμός σύλλεξε από τον ιστότοπο κάθε διαφορετικού κατασκευαστή τα αντίστοιχα εγχειρίδια χρήσης των API για κάθε διαφορετικό τύπο συσκευής. Ως αποτέλεσμα αυτού, ο μηχανισμός συγκέντρωσε πληροφορίες σχετικά με τις API μεθόδους κάθε συσκευής, σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο καλούνται (δηλαδή το URL πρόσβασης των μεθόδων), και τι προσφέρουν ως λειτουργικότητα (δηλαδή την περιγραφή των μεθόδων). Ωστόσο, δεδομένου πως ο τύπος της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής είχε πλέον αναγνωριστεί (δηλαδή παρακολουθητής δραστηριοτήτων) και δεδομένου ότι 7 από τους παρακολουθητές δραστηριοτήτων ανήκαν στον Fitbit κατασκευαστή, 8 ανήκαν στον Garmin, 3 στον Withings, 1 στον iHealth, και 1 στον Xiaomi, ο μηχανισμός σε αυτό το στάδιο ανέκτησε από τη ΒΔ των API μεθόδων γνωστών συσκευών, τις αντίστοιχες μεθόδους των Fitbit, Garmin, Withings, iHealth και Xiaomi που χρησιμοποιούνταν για να συλλέγουν δεδομένα από τους παρακολουθητές δραστηριοτήτων. Πιο συγκεκριμένα, βάσει του Πίνακας 26, μεταξύ των 29 μεθόδων του Fitbit ο μηχανισμός ανέκτησε πληροφορίες σχετικά με τις 20 μεθόδους που σχετίζονταν με την ανάκτηση δεδομένων από τους Fitbit παρακολουθητές δραστηριοτήτων, μεταξύ των 6 μεθόδων του Garmin ανέκτησε πληροφορίες για όλες τις 6 μεθόδους, μεταξύ των 6 μεθόδων του Withings ανέκτησε πληροφορίες για όλες τις 6 μεθόδους, μεταξύ των 14 μεθόδων του iHealth ανέκτησε πληροφορίες σχετικά με τις 4 μεθόδους, ενώ μεταξύ των 6 μεθόδων του Xiaomi ανέκτησε πληροφορίες σχετικά με τις 3 μεθόδους. Όλες αυτές οι συγκεντρωμένες πληροφορίες απεικονίζονται στον Πίνακα 26, υποδεικνύοντας τα ID της κάθε μεθόδου σε συνδυασμό με τον τρόπο με τον οποίο καλείται η κάθε μέθοδος (δηλαδή URL μεθόδου), και τις λειτουργικότητες της κάθε μεθόδου (δηλαδή περιγραφή μεθόδου), έχοντας γνώση τόσο για τη συντακτική όσο και για τη σημασιολογική έννοια αυτών των περιγραφών.

Πίνακας 26. Περιεχόμενα ΒΔ API μεθόδων γνωστών συσκευών για συλλογή δεδομένων από γνωστούς παρακολουθητές δραστηριοτήτων

ID Μεθόδου	URL Μεθόδου	Περιγραφή Μεθόδου
Fitbit		
<i>Fit1</i>	[user-id]/activities/date/[date].json	Get Daily Activity Summary
<i>Fit2</i>	[user-id]/[resource-path]/date/[date]/ [period].json	Get Activity Time Series
<i>Fit3</i>	[user-id]/[resource-path]/date/ [base-date]/[end-date].json	Get Activity Time Series
<i>Fit4</i>	-/[resource-path]/date/[date]/[date]/ [detail-level].json	Get Activity Intraday Time Series
<i>Fit5</i>	-/[resource-path]/date/[date]/[date]/[detail- level]/time/[start-time]/[end-time].json	Get Activity Intraday Time Series
<i>Fit6</i>	-/activities/list.json	Get Activity Logs List
<i>Fit7</i>	activities/[activity-id].json	Get Activity Type
<i>Fit8</i>	-/activities/frequent.json	Get Frequent Activities
<i>Fit9</i>	-/activities/recent.json	Get Recent Activity Types
<i>Fit10</i>	[user-id]/activities/favorite.json	Get Favorite Activities
<i>Fit11</i>	[user-id]/activities/goals/[period].json	Get Activity Goals
<i>Fit12</i>	[user-id]/activities.json	Get Lifetime Stats
<i>Fit13</i>	[user-id]/activities/heart/date/[date]/ [period].json	Get Heart Rate Time Series
<i>Fit14</i>	[user-id]/activities/heart/date/[base-date]/ [end-date].json	Get Heart Rate Time Series
<i>Fit15</i>	-/activities/heart/date/[date]/[end-date]/ [detail-level].json	Get Heart Rate Intraday Time Series
<i>Fit16</i>	-/activities/heart/date/[date]/[end-date]/ [detail-level]/time/[start-time]/[end-time].json	Get Heart Rate Intraday Time Series
<i>Fit17</i>	[user-id]/sleep/date/[date].json	Get Sleep Logs
<i>Fit18</i>	[user-id]/sleep/date/[startDate]/[endDate].json	Get Sleep Logs
<i>Fit19</i>	-/sleep/list.json	Get Sleep Logs List
<i>Fit20</i>	-/sleep/goal.json	Get Sleep Goal
Garmin		
<i>Garmin1</i>	getActivityInfo()	Get current activity info
<i>Garmin2</i>	getActiveMinutes()	Get recorded active minutes
<i>Garmin3</i>	getHeartRateIterator()	Get heartrate for a time period
<i>Garmin4</i>	getHeartRateSample()	Get heartrate at a given time
<i>Garmin5</i>	getHistory()	Get user's activity history
<i>Garmin6</i>	getInfo()	Get user's activity status
Withings		
<i>Withings1</i>	measure?action=getactivity	Get user's activity measures log
<i>Withings2</i>	measure?action=getmeas	Get Body Measures
<i>Withings3</i>	measure?action=getintradayactivity	Get intraday activity
<i>Withings4</i>	sleep?action=get	Get Sleep Measures
<i>Withings5</i>	sleep?action=getsummary	Get Sleep Summary
<i>Withings6</i>	measure?action=getworkouts	Get data of workout sessions

iHealth		
<i>iHealth1</i>	user/user-id/activity/	Get data of Activity Report
<i>iHealth2</i>	application/activity/	Get All Activity Report data
<i>iHealth3</i>	user/user-id/sleep/	Get data of Sleep Report
<i>iHealth4</i>	application/sleep/	Get All Sleep Report data
Xiaomi		
<i>Xiaomi1</i>	user/user-id/activity/	Get data of Activity Report
<i>Xiaomi2</i>	user/user-id/activity/all	Get All Activity Report data
<i>Xiaomi3</i>	user/user-id/activity/date	Get Activity Report of Date

Όσον αφορά τη μία συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή (Polar A370), όπως αναφέρθηκε στο πρώτο στάδιο του μηχανισμού (Ενότητα 4.2.4.1), αφού ο μηχανισμός δεν είχε καμία γνώση σχετικά με τον τύπο της συσκευής, είχε ανακτήσει από το διαδικτυακό εγχειρίδιο χρήσης των API του Polar κατασκευαστή όλες τις υπάρχουσες API μεθόδους του. Ωστόσο, ακόμη και αν σε αυτό το στάδιο ήταν πλέον γνωστός ο τύπος της συνδεδεμένης συσκευής της Polar A37 (δηλαδή παρακολουθητής δραστηριοτήτων), ο μηχανισμός δεν είχε ακόμα γνώση σχετικά με τις API μεθόδους του που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων της συσκευής. Έτσι, σε αυτό το στάδιο, ο μηχανισμός χρησιμοποίησε όλες τις 7 μεθόδους που είχε ανακτήσει από το εγχειρίδιο χρήσης του Polar στο πρώτο στάδιο του πειράματος. Αυτές οι πληροφορίες απεικονίζονται στον Πίνακας 27, υποδεικνύοντας τα ID της κάθε μεθόδου σε συνδυασμό με τον τρόπο με τον οποίο καλείται η κάθε μέθοδος (δηλαδή URL μεθόδου), και τις λειτουργικότητες της κάθε μεθόδου (δηλαδή περιγραφή μεθόδου), έχοντας ωστόσο γνώση μόνο για τη συντακτική έννοια των περιγραφών αυτών.

Πίνακας 27. Πληροφορίες API μεθόδων Polar A370 συσκευής

ID Μεθόδου	URL Μεθόδου	Περιγραφή Μεθόδου
Polar		
<i>Unknown1</i>	users/{user-id}/activity-transactions/ {transaction-id}	List new activity data
<i>Unknown2</i>	users/{user-id}/activity-transactions/ {transaction-id}/activities/{activity-id}	Get activity summary
<i>Unknown3</i>	users/{user-id}/exercise-transactions/ {transaction-id}	List exercises
<i>Unknown4</i>	users/{user-id}/exercise-transactions/ {transaction-id}/exercises/{exercise-id}	Get exercise summary
<i>Unknown5</i>	users/{user-id}/exercise-transactions/ {transaction-id}/exercises/ {exercise-id}/heart-rate-zones	Get heart rate zones

<i>Unknown6</i>	users/{user-id}/physical-information- transactions/{transaction-id}/physical- informations/{physical-info-id}	Get physical info
<i>Unknown7</i>	exercises/{exerciseld}	Get exercise

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για τις περιγραφές των API μεθόδων της μίας συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (Polar A370), παρόλο που ο μηχανισμός είχε τη συντακτική περιγραφή τους, δεν γνώριζε την ακριβή σημασιολογική έννοιά τους, σε αντίθεση με τις περιγραφές των API μεθόδων των 20 προϋπαρχουσών γνωστών παρακολουθητών δραστηριοτήτων, των οποίων τόσο οι συντακτικές όσο και οι σημασιολογικές έννοιες ήταν γνωστές εκ των προτέρων. Ως εκ τούτου, ο κύριος στόχος αυτού του σταδίου ήταν να αναγνωριστούν οι API μέθοδοι που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής, συγκρίνοντας όλες τις μεθόδους τις με τις API μεθόδους των άλλων 20 παρακολουθητών δραστηριοτήτων. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, ο μηχανισμός χρησιμοποίησε το Retina API για τον υπολογισμό της σημασιολογικής ομοιότητας μεταξύ όλων των περιγραφών των API μεθόδων των γνωστών παρακολουθητών δραστηριοτήτων και της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής, προκειμένου να αναγνωρίσει τις μεθόδους της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής που ήταν υπεύθυνες για να συλλέξουν τα δεδομένα της. Σαν αποτέλεσμα αυτού, προέκυψαν τα αποτελέσματα του Πίνακα 28. Πιο συγκεκριμένα, ο Πίνακας 28 απεικονίζει τις top 1 API μεθόδους (υπογραμμισμένες με γκρι) του κάθε κατασκευαστή των διαφορετικών γνωστών παρακολουθητών δραστηριοτήτων (δηλαδή Fitbit, Garmin, Withings, iHealth και Xiaomi) που είχαν τις μεγαλύτερες τιμές σημασιολογικής ομοιότητας με τις API μεθόδους της Polar A370 συσκευής, όπως αυτές υπολογίστηκαν βάσει της Εξίσωσης (9) της Ενότητας 3.2.3.

Πίνακας 28. Αποτελέσματα σημασιολογικής σύγκρισης API μεθόδων γνωστών παρακολουθητών δραστηριοτήτων και Polar A370 συσκευής

ID	Fitbit	Garmin	Withings	iHealth	Xiaomi
Μεθόδου	Ομοιότητα	Ομοιότητα	Ομοιότητα	Ομοιότητα	Ομοιότητα
<i>Unknown1</i>	<i>Fit1</i> 69%	<i>Garmin1</i> 63%	<i>Withings1</i> 55%	<i>iHealth1</i> 75%	<i>Xiaomi1</i> 75%
<i>Unknown2</i>	<i>Fit1</i> 93%	<i>Garmin5</i> 92%	<i>Withings1</i> 78%	<i>iHealth2</i> 90%	<i>Xiaomi2</i> 90%
<i>Unknown3</i>	<i>Fit2</i> 89%	<i>Garmin5</i> 91%	<i>Withings6</i> 82%	<i>iHealth2</i> 32%	<i>Xiaomi2</i> 32%
<i>Unknown4</i>	<i>Fit1</i> 43%	<i>Garmin5</i> 89%	<i>Withings6</i> 83%	<i>iHealth2</i> 30%	<i>Xiaomi2</i> 30%
<i>Unknown5</i>	<i>Fit13</i> 93%	<i>Garmin3</i> 92%	<i>Withings3</i> 31%	<i>iHealth1</i> 22%	<i>Xiaomi3</i> 34%
<i>Unknown6</i>	<i>Fit11</i> 45%	<i>Garmin1</i> 32%	<i>Withings1</i> 80%	<i>iHealth2</i> 35%	<i>Xiaomi2</i> 35%
<i>Unknown7</i>	<i>Fit2</i> 89%	<i>Garmin5</i> 91%	<i>Withings6</i> 82%	<i>iHealth2</i> 32%	<i>Xiaomi2</i> 32%

Επομένως, μέσω του υπολογισμού της σημασιολογικής ομοιότητας μεταξύ της περιγραφής των API μεθόδων των γνωστών συσκευών και της περιγραφής των API μεθόδων της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής, ο μηχανισμός απέκτησε γνώση σχετικά με τις API μεθόδους του συνδεδεμένου αναγνωρισμένου παρακολουθητή δραστηριοτήτων (δηλαδή του Polar A370), δεδομένων των υπολογισμένων υψηλότερων πιθανοτήτων ομοιότητας βάσει των API μεθόδων των υπολοίπων γνωστών παρακολουθητών δραστηριοτήτων, των οποίων η σημασιολογία και λειτουργικότητα ήταν εκ των προτέρων γνωστές. Ωστόσο, προκειμένου ο μηχανισμός να λάβει υπόψη του τα αποτελέσματα της ομοιότητας, αυτά έπρεπε να υπερβαίνουν το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 80%. Όπως φαίνεται στον Πίνακας 28, σχεδόν όλα τα top 1 ποσοστά ομοιότητας ξεπερνούσαν αυτό το ποσοστό (δηλαδή αυτά των μεθόδων Unkknown2, Unkknown3, Unkknown4, Unkknown5, Unkknown6, και Unkknown7), ενώ μόνο ένα δεν το ξεπερνούσε (δηλαδή αυτό της μεθόδου Unkknown1). Ως αποτέλεσμα αυτού, ο μηχανισμός ήταν σε θέση να κατανοήσει και να προσδιορίσει μόνο τη σημασιολογική έννοια των περιγραφών των API μεθόδων της Polar A370 των οποίων τα top 1 ποσοστά ομοιότητας ξεπερνούσαν το ποσοστό του 80%. Με αυτόν τον τρόπο, ο μηχανισμός εντόπισε τελικά τις API μεθόδους που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή των παραγόμενων δεδομένων του Polar A370, και ως εκ τούτου θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να συλλεχθούν τελικά τα δεδομένα του. Συνεπώς, σύμφωνα με τον Πίνακας 28:

- Η Unkknown1 μέθοδος είχε ακόμα άγνωστο σκοπό λειτουργικότητας.
- Η Unkknown2 μέθοδος σύλλεγε την περίληψη δραστηριότητας ενός χρήστη.
- Η Unkknown3 μέθοδος σύλλεγε τις συνεδρίες άσκησης ενός χρήστη.
- Η Unkknown4 μέθοδος σύλλεγε την περίληψη συνεδριών άσκησης ενός χρήστη.
- Η Unkknown5 μέθοδος σύλλεγε τον καρδιακό ρυθμό ενός χρήστη.
- Η Unkknown6 μέθοδος σύλλεγε τις φυσικές πληροφορίες ενός χρήστη.
- Η Unkknown7 μέθοδος σύλλεγε τις περιόδους άσκησης ενός χρήστη.

Μέσω των προαναφερθέντων αποτελεσμάτων, ο μηχανισμός κατάφερε να αναγνωρίσει ότι οι μέθοδοι του API του Polar A370 που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των παραγόμενων δεδομένων του ήταν η Unkknown2, η Unkknown3, η Unkknown4, η Unkknown5, η Unkknown6, και η Unkknown7, καθώς αναγνωρίστηκαν να είναι σχεδόν σημασιολογικά πανομοιότυπες με τις μεθόδους των Fit1, Garmin5, Garmin5, Fit13, Withings1, και Garmin5, αντίστοιχα. Για την Unkknown1 API μέθοδο του Polar A370, καθώς το υπολογισμένο top 1 ποσοστό ομοιότητάς της δεν υπερέβαινε το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 80%, αυτή δεν μπορούσε να συσχετιστεί με καμία από τις άλλες υπάρχουσες API μεθόδους των γνωστών συσκευών. Έτσι, έχοντας αναγνωρίσει όλες τις προαναφερθείσες API

μεθόδους του Polar A370 που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή δεδομένων του, δημιουργήθηκε το αντίστοιχο ενιαίο δυναμικό API βάσει των μεθόδων Unkknown2, Unkknown3, Unkknown4, Unkknown5, Unkknown6, και Unkknown7 που μπορούσαν τελικά να συλλέξουν τα δεδομένα από τον παρακολουθητή δραστηριοτήτων Polar A370. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί πως δεδομένου ότι δεν υπήρχε συσκευή στη ΒΔ γνωστών συσκευών που ανήκε στον Polar κατασκευαστή, όπως και στο προηγούμενο πείραμα, δημιουργήθηκε η νέα αντίστοιχη ενοποιημένη μέθοδος για την αποθήκευση των προαναφερθέντων μεθόδων. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι δεδομένου πως (i) ο μηχανισμός αναγνώρισε έξι (6) διαφορετικές μεθόδους με διαφορετικές λειτουργικότητες για τη συλλογή των δεδομένων από το Polar A370, και (ii) ο χρήστης της συσκευής μπορεί να μην επιθυμούσε να ανακτήσει όλα αυτά τα δεδομένα από τη συσκευή του, ο μηχανισμός ενημέρωνε το χρήστη σχετικά με τις έξι (6) διαθέσιμες μεθόδους που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, προκειμένου ο ίδιος να αποφασίσει ποιες από αυτές επιθυμούσε να χρησιμοποιήσει για να ανακτήσει τα σχετικά δεδομένα του. Σε αυτό το πείραμα, ο χρήστης αποφάσισε να ανακτήσει τα δεδομένα του καρδιακού ρυθμού του κατά την ημέρα 05-05-2019 από την Polar A370 συσκευή του (δηλαδή επέλεξε τη μέθοδο Unkknown5), τα οποία αποθηκεύτηκαν στα αντίστοιχα αρχεία κειμένων. Ένα δείγμα των συλλεχθέντων δεδομένων της συσκευής απεικονίζεται στην Εικόνα 45 (α) σε JSON μορφή - όπως ανακτήθηκε, ενώ για τους σκοπούς του τρέχοντος μηχανισμού μετατράπηκε σε XML μορφή, όπως απεικονίζεται στην ίδια Εικόνα 45 (β). Στο σημείο αυτό να αναφερθεί, πως προκειμένου τα προσωπικά δεδομένα του χρήστη να μπορούσαν να εξαχθούν και να σταλούν στο μηχανισμό, μετά την επιλογή των δεδομένων που επιθυμούσε να ανακτήσει, ο χρήστης μέσω της παρεχόμενης διεπαφής συγκατάθεσης, συμπλήρωσε τα προσωπικά του στοιχεία, όπου πραγματοποιήθηκε ο σχετικός έλεγχος εγκυρότητας των στοιχείων αυτών του χρήστη, τα οποία αναφέρονταν στον προσωπικό του λογαριασμό στον Polar κατασκευαστή. Με αυτόν τον τρόπο, εφόσον τα προσωπικά του στοιχεία συνέπιπταν με αυτά του προσωπικού του λογαριασμού, του δόθηκε εν τέλει η δυνατότητα μεταφοράς των δεδομένων του.

```

"zone": [
  {
    "index": 1,
    "lower-limit": 100,
    "upper-limit": 120,
    "in-zone": "PT4S"
  }
]

```

(α)

```

<zone>
  <index>1</index>
  <lower-limit>100</lower-limit>
  <upper-limit>120</upper-limit>
  <in-zone>PT4S</in-zone>
</zone>

```

(β)

Εικόνα 45. (α) Στιγμιότυπο συλλεχθέντων δεδομένων Polar A370 συσκευής σε JSON μορφή, (β) Στιγμιότυπο συλλεχθέντων δεδομένων Polar A370 συσκευής σε XML μορφή

4.2.4.4 Τεχνική Εκτίμησης Αξιοπιστίας Συσκευών και Δεδομένων

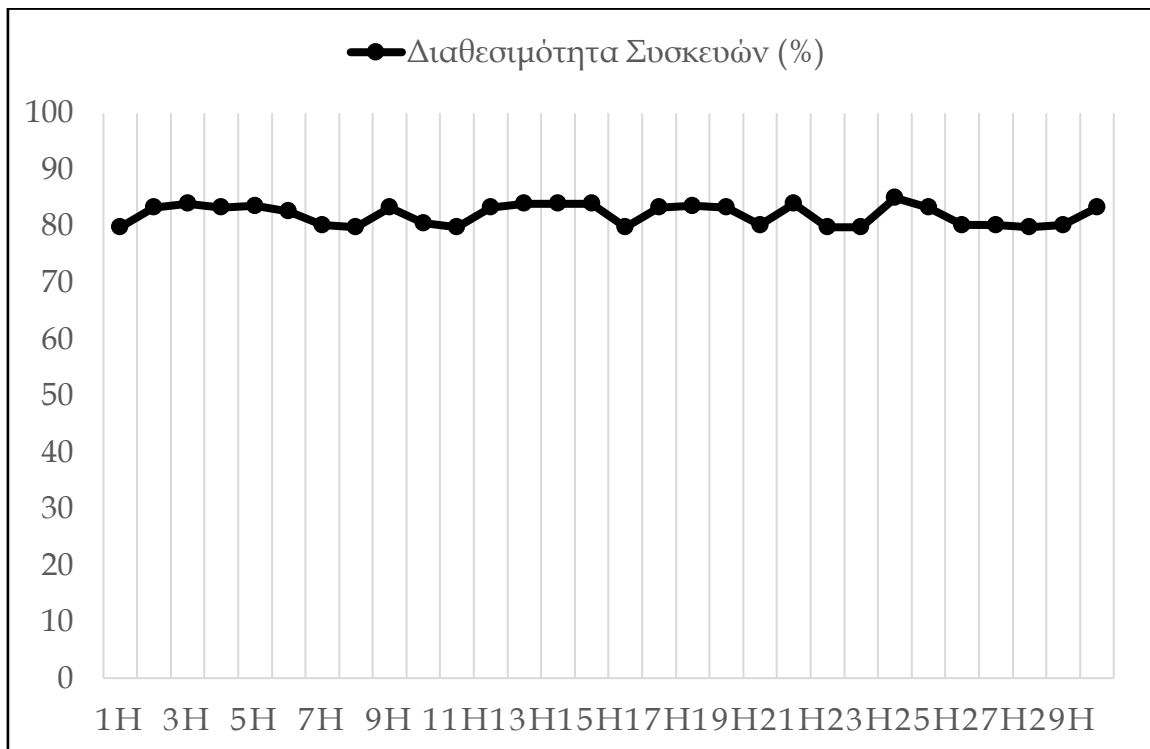
Στη συνέχεια, εφόσον συλλέχθηκαν επιτυχώς όλα τα δεδομένα της συνδεδεμένης άγνωστης (αναγνωρισμένης πλέον) συσκευής, εφαρμόστηκε το τέταρτο στάδιο του μηχανισμού. Στο συγκεκριμένο στάδιο έλαβε χώρα ο υπολογισμός της συνολικής αξιοπιστίας των συλλεχθέντων δεδομένων της συσκευής αυτής, συνδυάζοντας τις μετρήσεις της διαθεσιμότητας με τις μετρήσεις της αξιοπιστίας των δεδομένων αυτών, ακολουθώντας τη διαδικασία που περιεγράφηκε στην Ενότητα 3.2.4. Επομένως, ο μηχανισμός κατέγραψε τη συνολική αξιοπιστία της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (Polar A370), υπολογίζοντας όλες τις παραπάνω μετρήσεις. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τις μετρήσεις διαθεσιμότητας, ο μηχανισμός μέτρησε το χρόνο λειτουργίας της συσκευής μέσω της συχνότητας μετάδοσης των δεδομένων της στο μηχανισμό σε συνολική περίοδο λειτουργίας 30 ημερών. Επομένως, κατά τη διάρκεια των 30 ημερών του πειράματος ο μηχανισμός κατέγραψε τη διαθεσιμότητα της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής, χρησιμοποιώντας την Εξίσωση (10) της Ενότητας 3.2.4, υποθέτοντας ότι η συσκευή ήταν πλήρως διαθέσιμη (δηλαδή είχε Διαθεσιμότητα 100%) όταν έστειλε 288 μετρήσεις ανά 24 ώρες. Αυτή η υπόθεση βασίστηκε στο γεγονός ότι μία συσκευή που αποστέλλει μία μέτρηση ανά λεπτό για μία ολόκληρη ημέρα (δηλαδή 60 μετρήσεις ανά ώρα, για 24 ώρες) θεωρείται ως υψηλής αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας, σύμφωνα με τον μέσο όρο των συνολικών μετρήσεων που υπολογίστηκαν κατά τη διάρκεια της προαναφερθείσας περιόδου λειτουργίας των 30 ημερών, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα άλλων σχετικών πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 3.2.4, μαζί με τη διαθεσιμότητα της συσκευής, καταγράφηκε και η αξιοπιστία των συλλεχθέντων δεδομένων της συσκευής, μέσω του υπολογισμού του ICC των δεδομένων αυτών με τη χρήση της βιβλιοθήκης του SPSS, ώστε εν τέλει να υπολογιστεί ο τελικός βαθμός αξιοπιστίας της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής, και σαν αποτέλεσμα αυτού ο βαθμός αξιοπιστίας των παραγόμενων δεδομένων της. Μετά την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας, ο μηχανισμός παρήγαγε τα αποτελέσματα του Πίνακα 29, ο οποίος απεικονίζει τα αποτελέσματα που συλλέχθηκαν μετά την εκτέλεση του ίδιου πειράματος για 30 συνεχόμενες ημέρες. Λεπτομερέστερα, ο Πίνακας 29 συνοψίζει τα αποτελέσματα του μηχανισμού αναφορικά με: (i) τη συχνότητα μετάδοσης των δεδομένων από τη συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή προς το μηχανισμό, σχετικά με τον αριθμό των μετρήσεων που συλλέγονται ανά ημέρα, (ii) το ποσοστό της διαθεσιμότητας αυτής της συσκευής, (iii) το ποσοστό της αξιοπιστίας των συλλεχθέντων δεδομένων της συσκευής, και (iv) το ποσοστό της συνολικής αξιοπιστίας που υπολογίστηκε βάσει των αποτελεσμάτων της διαθεσιμότητας της συσκευής και της αξιοπιστίας των δεδομένων της, εφαρμόζοντας την Εξίσωση (11) της Ενότητας 3.2.4.

Πίνακας 29. Αποτελέσματα υπολογισμένων ποσοστών αξιοπιστίας Polar A370 συσκευής

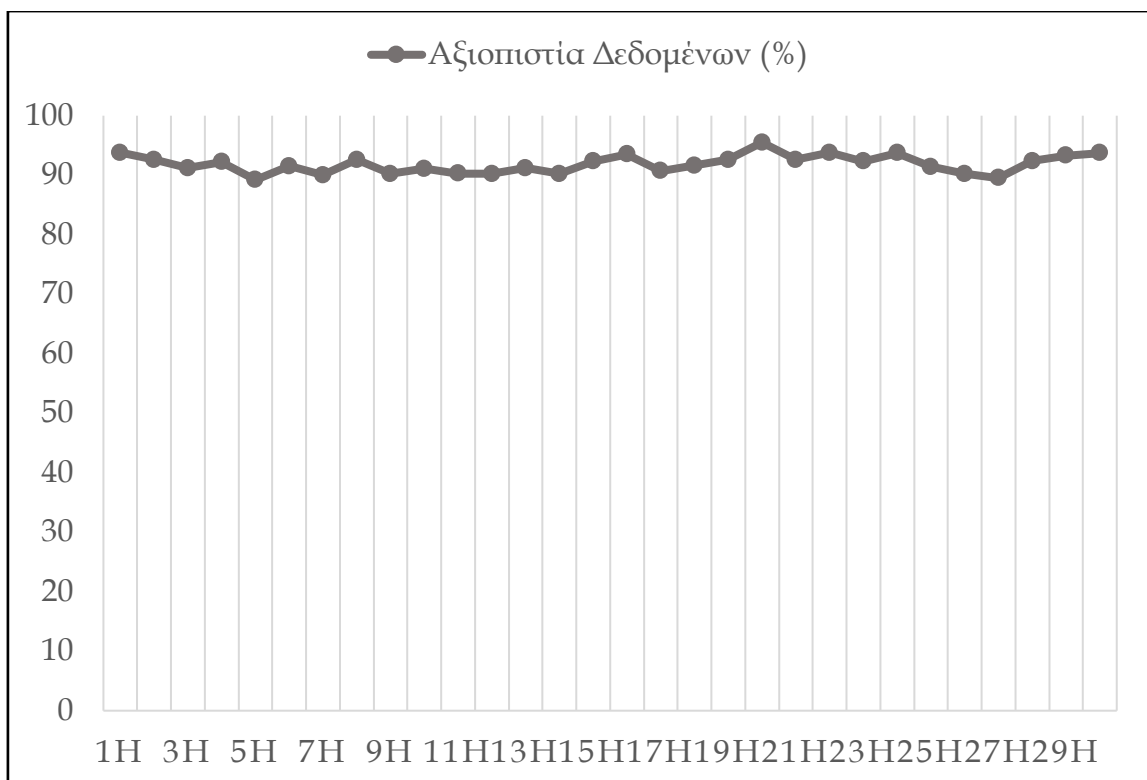
Ημέρα	Ώχνηότητα Μετάδοσης Δ	Διαθεσιμότητα Συσκευών (%)	Αξιοπιστία Δεδομένων (%)	Συνολική Αξιοπιστία (%)
1 ^η	230	79,8	93,8	86,8
2 ^η	240	83,3	92,6	87,9
3 ^η	242	84,0	91,2	87,6
4 ^η	240	83,3	92,2	87,7
5 ^η	241	83,6	89,2	86,4
6 ^η	238	82,6	91,5	87,0
7 ^η	231	80,2	90,0	85,1
8 ^η	230	79,8	92,6	86,2
9 ^η	240	83,3	90,2	86,7
10 ^η	232	80,5	91,1	85,8
11 ^η	230	79,8	90,3	85,0
12 ^η	240	83,3	90,2	86,7
13 ^η	242	84,0	91,2	87,6
14 ^η	242	84,0	90,2	87,1
15 ^η	242	84,0	92,3	88,1
16 ^η	230	79,8	93,5	86,6
17 ^η	240	83,3	90,7	87,0
18 ^η	241	83,6	91,6	87,6
19 ^η	240	83,3	92,6	87,9
20 ^η	231	80,2	95,5	87,8
21 ^η	242	84,0	92,6	88,3
22 ^η	230	79,8	93,8	86,8
23 ^η	230	79,8	92,3	86,0
24 ^η	245	85,0	93,7	89,3
25 ^η	240	83,3	91,4	87,3
26 ^η	231	80,2	90,2	85,2
27 ^η	231	80,2	89,5	84,8
28 ^η	230	79,8	92,4	86,1
29 ^η	231	80,2	93,3	86,7
30 ^η	240	83,3	93,7	88,5

Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 3.2.4, προκειμένου να ληφθούν υπόψη τα τελικά αποτελέσματα (δηλαδή συνολική αξιοπιστία) των δεδομένων της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής (Polar A370) ως αξιόπιστα, και συνεπώς να διατηρηθούν για περαιτέρω χρήση, τα συνολικά ποσοστά αξιοπιστίας των συσκευών που παρήγαγαν αυτά τα δεδομένα πρέπει να υπερβαίνουν το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 90%. Ωστόσο, με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 29, μπορεί να παρατηρηθεί ότι τα επίπεδα διαθεσιμότητας της Polar A370 δεν ήταν αρκετά υψηλά, και αν και τα περισσότερα δεδομένα που συλλέχθηκαν καθημερινά ήταν υψηλής αξιοπιστίας, το συνολικό ποσοστό της αξιοπιστίας της συσκευής δεν ξεπερνούσε το προκαθορισμένο κατώτατο όριο. Ως αποτέλεσμα αυτού, η συσκευή Polar A370 δεν θεωρήθηκε ως συσκευή υψηλών επιπέδων αξιοπιστίας. Για το λόγο αυτό, η συγκεκριμένη συσκευή αφαιρέθηκε από τη ΒΔ γνωστών συσκευών που είχε προστεθεί κατά την ολοκλήρωση του δεύτερου σταδίου του πειράματος (Ενότητα 4.2.4.2), ενώ παράλληλα τα δεδομένα της διαγράφηκαν εντελώς από το μηχανισμό.

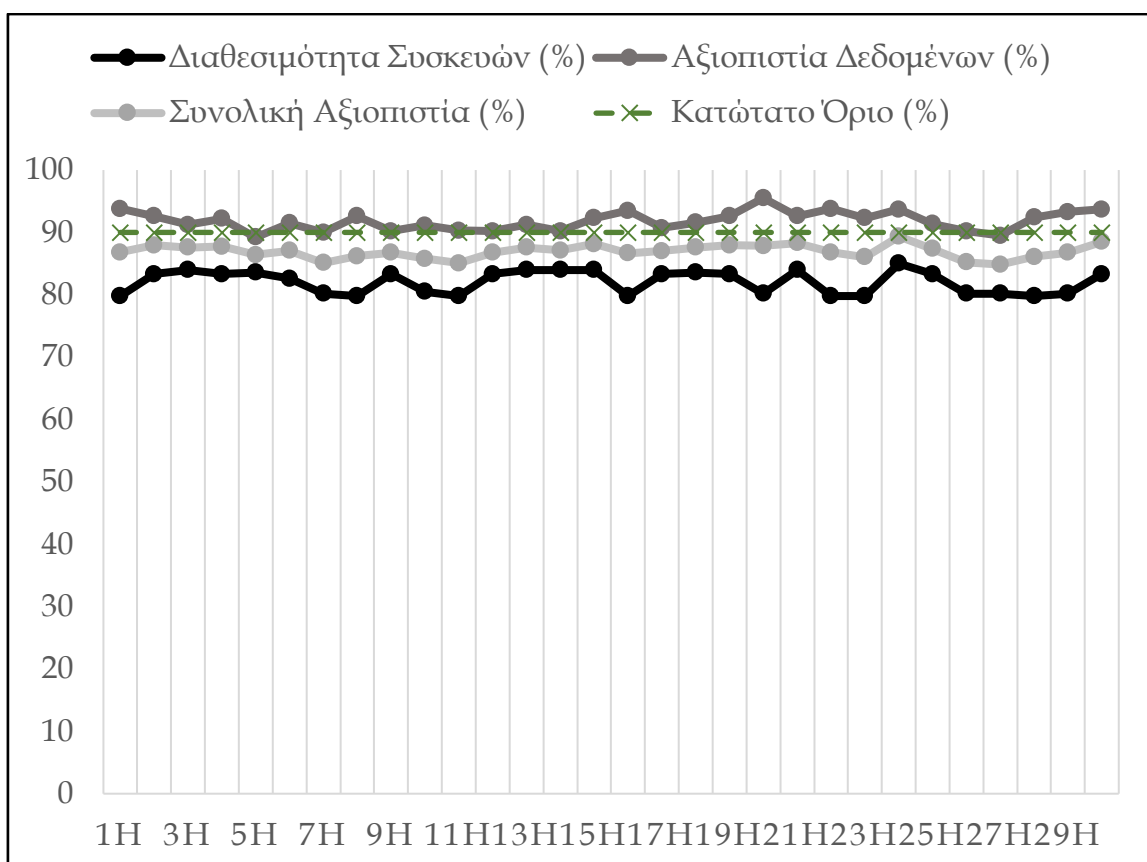
Η Εικόνα 46, η Εικόνα 47, και η Εικόνα 48, απεικονίζουν τα αποτελέσματα του Πίνακα 29, όπου καταγράφονται τα ποσοστά της συνολικής διαθεσιμότητας της Polar A370 συσκευής, της αξιοπιστίας των παραγόμενων δεδομένων της Polar A370 συσκευής, και της συνολικής αξιοπιστίας της συσκευής αυτής, αντιστοίχως, για κάθε μία από τις 30 ημέρες εκτέλεσης του πειράματος.



Εικόνα 46. Γραφική παράσταση συνολικών αποτελεσμάτων διαθεσιμότητας Polar A370 συσκευής



Εικόνα 47. Γραφική παράσταση συνολικών αποτελεσμάτων συνολικής αξιοποίησης παραγόμενων δεδομένων Polar A370 συσκευής



Εικόνα 48. Γραφική παράσταση συνολικών αποτελεσμάτων συνολικής αξιοποίησης Polar A370 συσκευής

4.2.5 Συνολική Αξιολόγηση Πειραμάτων

Η έρευνα της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής πρότεινε έναν καινοτόμο μηχανισμό για την αυτόματη σύνδεση και αναγνώριση ετερογενών IoT συσκευών τόσο γνωστού όσο και άγνωστου τύπου, την εκτίμηση της αξιοπιστίας τους, και εν τέλει τη συλλογή των δεδομένων μόνο των αξιόπιστων αυτών συσκευών, ακολουθώντας μια προσέγγιση τεσσάρων (4) βημάτων. Πιο συγκεκριμένα, μέσω του ανεπτυγμένου μηχανισμού της προσέγγισης αυτής, καθίστατο εφικτό: (i) να εντοπίζεται αποτελεσματικά μια συσκευή άγνωστου τύπου, (ii) να κατανοείται η φύση και η σημασία των διαφορετικών API μεθόδων που χρησιμοποιούνται από τη συσκευή αυτή, ώστε να εξάγονται και να χρησιμοποιούνται εκείνες που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή των παραγόμενων δεδομένων της συσκευής, και (iii) να υπολογίζονται τα επίπεδα αξιοπιστίας τόσο των συσκευών όσο και των παραγόμενων δεδομένων τους, συγκεντρώνοντας εν τέλει τα δεδομένα που προέρχονται μόνο από αξιόπιστες συσκευές. Προκειμένου να αξιολογηθεί αυτός ο μηχανισμός, πραγματοποιήθηκαν ποικίλα πειράματα, ειδικά στον τομέα της υγείας, που μπορεί να αξιοποιηθεί πλήρως ο μηχανισμός. Ωστόσο, στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή περιεγράφηκαν λεπτομερώς μόνο τα αποτελέσματα τριών (3) πειραμάτων, τα οποία ήταν όλα εστιασμένα στον τομέα της υγείας, μελετώντας την εκάστοτε συμπεριφορά διαφορετικών IoT ιατρικών συσκευών. Μέσα από αυτά τα πειράματα εξετάστηκε η αποτελεσματικότητα κάθε διαφορετικού σταδίου (Εύρεση και Σύνδεση Συσκευών, Αναγνώριση Τύπου Συσκευών, Συλλογή Δεδομένων Συσκευών, και Εκτίμηση Αξιοπιστίας Συσκευών και Δεδομένων) του προτεινόμενου μηχανισμού, αποκαλύπτοντας ότι ο μηχανισμός θα μπορούσε να προσφέρει αρκετά ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα σε κάθε ένα από αυτά τα στάδια της εφαρμογής του. Ωστόσο, τα πιο αξιοσημείωτα ερευνητικά στάδια μεταξύ αυτών ήταν η Αναγνώριση Τύπου Συσκευών, η Συλλογή Δεδομένων Συσκευών, και η Εκτίμηση Αξιοπιστίας Συσκευών και Δεδομένων, τα αποτελέσματα των οποίων θα συζητηθούν διεξοδικά στις Ενότητες 4.2.5.2, 4.2.5.3, και 4.2.5.4, αντίστοιχα, λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική συμπεριφορά του προτεινόμενου μηχανισμού και στα τρία (3) διαφορετικά πειράματα που αναλύθηκαν στις ενότητες 4.2.2, 4.2.3, και 4.2.4. Σχετικά με το στάδιο της Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών, αν και αυτό δεν εμπεριείχε κάποια κομβική ερευνητική μελέτη, τα αποτελέσματά του περιγράφονται στην Ενότητα 4.2.5.1.

4.2.5.1 Τεχνική Εύρεσης και Σύνδεσης Συσκευών

Στο αρχικό στάδιο του μηχανισμού (δηλαδή Εύρεση και Σύνδεση Συσκευών) με βάση όλα τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν, ο μηχανισμός επιβεβαίωσε το γεγονός πως μπορούσε πάντοτε να αναγνωρίζει και να συνδέει με επιτυχία όλες τις διαθέσιμες Bluetooth συσκευές μέσω της παρεχόμενης Bluetooth διεπαφής διασύνδεσης. Βέβαια, αξίζει να αναφερθεί πως υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις όπου ακόμη και αν οι συσκευές έχουν ανοικτά API και είναι διαθέσιμες προς σύνδεση με το μηχανισμό, μπορούν να αναγνωριστούν και να συνδεθούν μόνο μέσω άλλων υφιστάμενων πρωτοκόλλων (π.χ. WiFi). Συνεπώς, δεδομένου ότι αυτό το στάδιο του μηχανισμού είναι σε θέση να αναγνωρίζει και να συνδέει μόνο Bluetooth συσκευές, όλες οι άλλες συσκευές αγνοούνται, καθώς δεν μπορούν να συνδεθούν σε αυτόν μέσω της παρεχόμενης Bluetooth διεπαφής διασύνδεσης.

4.2.5.2 Τεχνική Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών

Αναφορικά με το στάδιο της Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών, με βάση τα τελικά συμπεράσματα του 1^{ου} πειράματος (Ενότητα 4.2.2.1), είναι αναμφισβήτητο το γεγονός ότι ο μηχανισμός μπορεί εύκολα να αναγνωρίσει τη φύση μιας συνδεδεμένης συσκευής που είναι ήδη γνωστή. Ειδικότερα, ο μηχανισμός πολύ εύκολα και γρήγορα, με το που συνδέθηκε η διαθέσιμη συσκευή σε αυτόν, αναγνώρισε πως υπήρχε ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών, και σαν αποτέλεσμα αυτού ήταν μία ήδη γνωστή προς αυτόν συσκευή, γνωστού τύπου (ζυγαριά). Ωστόσο, η βασική καινοτομία του μηχανισμού έγκειται στο γεγονός ότι μπορεί εξίσου εύκολα και γρήγορα να αναγνωρίσει τύπο των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών. Αυτό μπορεί να επαληθευτεί από τα αντίστοιχα στάδια της Αναγνώρισης Τύπου Συσκευών του 2^{ου} (Ενότητα 4.2.3.2) και του 3^{ου} (Ενότητα 4.2.4.2) πειράματος που πραγματοποιήθηκαν, όπου ο μηχανισμός κατέληξε πως είναι εφικτή η αναγνώριση του τύπου συσκευής μιας άγνωστης συνδεδεμένης συσκευής, καθώς μπορούσε να αντιστοιχιστεί με μία από τις γνωστές συσκευές, με βάση τις κοινές εικόνες που είχαν μεταξύ τους. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ότι ενδέχεται να υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις, όπως σε αυτή του 3^{ου} πειράματος, όπου μια άγνωστη συσκευή μπορεί να μην αναγνωριστεί απευθείας πως είναι ταυτόσημη ή σχεδόν ταυτόσημη με μία από τις άλλες προϋπάρχουσες γνωστές συσκευές. Για το λόγο αυτό, ο μηχανισμός έχει υλοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι σε θέση να αντιμετωπίζει τέτοιες καταστάσεις, απλά επαναλαμβάνοντας την όλη διαδικασία της σύγκρισης των εικόνων της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής με αυτές των γνωστών συσκευών, μέχρις ότου η συνδεδεμένη άγνωστη συσκευή να αντιστοιχιστεί με κάποια από τις γνωστές συσκευές, και τελικά να προσδιοριστεί ο τύπος συσκευής της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής. Ωστόσο,

είτε με αυτόν τον τρόπο είτε με τον άλλο, και στα δύο (2) προαναφερθέντα πειράματα αναγνωρίστηκε με επιτυχία ο τύπος συσκευής της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής, διαπιστώνοντας και στις δύο (2) περιπτώσεις πως η συνδεδεμένη συσκευή ήταν ένας παρακολουθητής δραστηριοτήτων. Ειδικότερα, αυτό επαληθεύτηκε μέσω των αποτελεσμάτων των Πινάκων 13, 23 και 24 των Ενοτήτων 4.2.3.2 και 4.2.4.2, όπου ο μηχανισμός σε όλες τις περιπτώσεις σωστά σύγκρινε τις εικόνες των συσκευών, καθώς όπως φαίνεται σε όλα τα αποτελέσματα, τα τελικά top 5 αποτελέσματα (Πίνακας 30) των γνωστών συσκευών που είχαν ομοιότητες με τις αντίστοιχες άγνωστες συσκευές ήταν του ίδιου τύπου (παρακολουθητές δραστηριοτήτων (ΠΔ)).

Πίνακας 30. Top 5 ποσοστά ομοιότητας εικόνων παρακολουθητών δραστηριοτήτων

Όνομα	Τύπος	Συνολική Ομοιότητα (%)
2 ^ο Πείραμα [<i>Misfit Path</i>]		
Garmin Vivosport	ΠΔ	42,96
Withings Steel	ΠΔ	30,78
Withings Steel HR	ΠΔ	24,90
Fitbit Versa	ΠΔ	22,04
Garmin Fenix Chronos	ΠΔ	54,37
3 ^ο Πείραμα - 1 ^η επανάληψη [<i>Polar A370</i>]		
Garmin Vivosport	ΠΔ	25,64
Fitbit Charge 3	ΠΔ	19,87
Mi Band 2	ΠΔ	16,98
Withings Steel	ΠΔ	19,23
Fitbit Alta	ΠΔ	14,42
3 ^ο Πείραμα - 2 ^η επανάληψη [<i>Polar A370</i>]		
Garmin Vivosport	ΠΔ	32,72
Fitbit Charge 3	ΠΔ	35,00
Withings Steel	ΠΔ	27,62
Garmin Vivofit 4	ΠΔ	54,27
Fitbit Ionic	ΠΔ	53,62

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά το 2^ο πείραμα, παρατηρήθηκε ότι η Garmin Vivosport συσκευή είχε ομοιότητα 42,96% με την Misfit Path, η Withings Steel είχε ομοιότητα 30,78%, η Withings Steel HR είχε ομοιότητα 24,90%, η Fitbit Versa είχε ομοιότητα 22,04%, και η Garmin Fenix Chronos είχε ομοιότητα 54,37%. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από τον Πίνακα 30, ορισμένα από αυτά τα ποσοστά δεν υπερβαίνουν ή δεν πλησιάζουν καν το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 50%, ενώ μόνο ένα από αυτά το υπερβαίνει, αυτό της Garmin Fenix Chronos συσκευής. Ακόμη και αν αυτή η συσκευή είχε τα καλύτερα συνολικά αποτελέσματα

ομοιότητας με την Misfit Path συσκευή (υπογραμμισμένα με γκρι), είναι αξιοσημείωτο ότι το ποσοστό ομοιότητάς της δεν διαφοροποιούταν πολύ σε σχέση με αυτό της επόμενης γνωστής συσκευής (Garmin Vivosport), καθώς τα ποσοστά τους είχαν μία διαφορά της τάξεως του 11,41%. Βέβαια, σε σχέση με τα υπόλοιπα υπολογισμένα ποσοστά ομοιότητας, η Garmin Fenix Chronos είχε μεγαλύτερο αριθμό διαφοράς μεταξύ του συνολικού ποσοστού της και των ποσοστών των υπολοίπων τριών (3) γνωστών συσκευών (Withings Steel, Withings Steel HR, και Fitbit Versa). Ωστόσο και πάλι, ο προβλεπόμενος τύπος της συνδεδεμένης συσκευής ήταν σωστός.

Όσον αφορά το 3^ο πείραμα, για να ολοκληρωθεί επιτυχώς το συγκεκριμένο στάδιο του μηχανισμού, η ακολουθούμενη διαδικασία χρειάστηκε να επαληθευθεί δύο (2) φορές πάνω στις εικόνες της άγνωστης συσκευής και των γνωστών συσκευών, ώστε να προβλεφθεί ο τύπος της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής. Ακόμη και αν στην 1^η επανάληψη ο μηχανισμός προέβλεψε σωστά ότι η συνδεδεμένη συσκευή ήταν ένας παρακολουθητής δραστηριοτήτων - γεγονός που επιβεβαιώνεται από το ότι τα top 5 αποτελέσματα αντιστοιχούσαν σε παρακολουθητές δραστηριοτήτων (Πίνακας 30), τα τελικά ποσοστά ομοιότητας δεν υπερέβαιναν το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 50%. Για το λόγο αυτό, έπρεπε να πραγματοποιηθεί η 2^η επανάληψη της διαδικασίας της αναγνώρισης του τύπου της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής. Βάσει των αποτελεσμάτων της 2^{ης} επανάληψης, παρατηρείται ότι η συσκευή Garmin Vivosport είχε ομοιότητα 32,72% με την Polar A370, η Fitbit Charge 3 είχε ομοιότητα 35,00%, η Withings Steel είχε ομοιότητα 27,62%, η Garmin Vivofit 4 είχε ομοιότητα 54,27%, και η Fitbit Ionic είχε ομοιότητα 53,62%. Ακόμη και αν η Garmin Vivofit 4 είχε τα καλύτερα αποτελέσματα συνολικής ομοιότητας με την Polar A370 (υπογραμμισμένα με γκρι), διαπιστώνεται ότι το ποσοστό ομοιότητάς της δεν διαφοροποιούταν πολύ σε σχέση με αυτό της επόμενης γνωστής συσκευής (Fitbit Ionic), καθώς τα ποσοστά τους είχαν την ελάχιστη διαφορά της τάξεως του 0,65%, ενώ εξίσου μικρό αριθμό διαφοράς είχαν και τα τελικά ποσοστά ομοιότητας των υπολοίπων τριών (3) γνωστών συσκευών (Garmin Vivosport, Fitbit Charge 3, Withings Steel). Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί πως μεταξύ της 1^{ης} και της 2^{ης} επανάληψης του 3^{ου} πειράματος, δύο (2) συσκευές των αποτελεσμάτων των top 5 συσκευών ήταν κοινές (Garmin Vivosport, Fitbit Charge 3 – υπογραμμισμένες με σκούρο γκρι), υποδηλώνοντας ότι από την 1^η επανάληψη ο μηχανισμός ήταν στο σωστό δρόμο για να προβλέψει σωστά τον τύπο της συνδεδεμένης άγνωστης συσκευής. Ασχέτως λοιπόν της διαδικασίας που ακολουθήθηκε σε αυτό το στάδιο, σε όλες τις περιπτώσεις ο προβλεπόμενος τύπος συσκευής ήταν εντελώς σωστός. Συνεπώς μπορεί αδιαμφισβήτητα να υποστηριχτεί ότι η χρήση των τεχνικών σύγκρισης εικόνων μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά για τον προσδιορισμό του τύπου των συσκευών άγνωστης φύσης.

4.2.5.3 Τεχνική Συλλογής Δεδομένων Συσκευών

Όσον αφορά το στάδιο Συλλογής Δεδομένων Συσκευών, με βάση τα τελικά συμπεράσματα του 1^{ου} πειράματος (Ενότητα 4.2.2.2), αποδεικνύεται ότι ο μηχανισμός μπορεί εύκολα να επαναχρησιμοποιήσει τις υπάρχουσες API μεθόδους μιας γνωστής συσκευής, συγκεντρώνοντας τα δεδομένα της με επιτυχία. Ειδικότερα, ο μηχανισμός πολύ εύκολα και γρήγορα, με το που συνδέθηκε η διαθέσιμη συσκευή σε αυτόν και αναγνώρισε πως υπήρχε ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών, μπόρεσε να συλλέξει από τη ΒΔ των API μεθόδων γνωστών συσκευών τις αντίστοιχες μεθόδους συλλογής δεδομένων ζυγαριών, προκειμένου να συλλέξει τα παραγόμενα αποτελέσματα της συνδεδεμένης ζυγαριάς. Ωστόσο, όπως και στο προηγούμενο στάδιο, η κύρια καινοτομία του μηχανισμού έγκειται στο γεγονός ότι μπορεί εξίσου εύκολα και γρήγορα να αναγνωρίσει τη φύση των API μεθόδων των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών. Αυτό το γεγονός μπορεί να επιβεβαιωθεί από τα αποτελέσματα τόσο του 2^{ου} (Ενότητα 4.2.3.3) όσο και του 3^{ου} (Ενότητα 4.2.4.3) πειράματος, όπου ο μηχανισμός αναγνώρισε επιτυχώς τη φύση των API μεθόδων κάθε συνδεδεμένης αναγνωρισμένης συσκευής, διαχωρίζοντας εκείνες που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή των παραγόμενων δεδομένων των συσκευών αυτών. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί πως συχνά υπήρχαν περιπτώσεις, όπως και στα τρία (3) πειράματα, όπου αναγνωρίστηκαν ποικίλες μέθοδοι που διέθεταν διαφορετικές λειτουργίες για τη συλλογή δεδομένων από τις συνδεδεμένες αναγνωρισμένες συσκευές. Ωστόσο, δεδομένου ότι ο χρήστης της εκάστοτε συσκευής μπορεί να μην ήθελε να ανακτήσει όλα αυτά τα δεδομένα από τη συσκευή του, ο μηχανισμός σε αυτό το στάδιο ενημέρωνε τον χρήστη για τις διαθέσιμες μεθόδους που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, ώστε ο ίδιος ο χρήστης να αποφασίσει ποιες από αυτές ήθελε εν τέλει να χρησιμοποιηθούν για να ανακτηθούν τα σχετικά δεδομένα από τη συσκευή του. Προφανώς, αυτό δεν αποτελούσε κάποια αδυναμία του μηχανισμού, απλά η εν λόγω περίπτωση λήφθηκε υπόψη ώστε να καλύπτει τις εκάστοτε ανάγκες του τελικού χρήστη/πλατφόρμας που εν τέλει θα αξιοποιούν τα συλλεχθέντα δεδομένα. Παρατηρείται λοιπόν, πως σε όλα τα πειράματα αναγνωρίστηκαν με επιτυχία οι API μέθοδοι των συνδεδεμένων άγνωστων (αναγνωρισμένων πλέον) συσκευών, ένα γεγονός που επαληθεύεται από τα αποτελέσματα των Πινάκων 17 και 28 των Εννοτήτων 4.2.3.3 και 4.2.4.3, όπου ο μηχανισμός σωστά υπολόγισε τα ποσοστά ομοιότητας μεταξύ των περιγραφών των API μεθόδων των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών και των περιγραφών των API μεθόδων των προϋπαρχουσών γνωστών συσκευών, διαχωρίζοντας εκείνες που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή των παραγόμενων δεδομένων των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών. Τα συνολικά αποτελέσματα της σημασιολογικής σύγκρισης και των δύο (2) πειραμάτων απεικονίζονται στον Πίνακα 31.

Πίνακας 31. Top 1 αποτελέσματα σημασιολογικής σύγκρισης περιγραφών API μεθόδων των παρακολουθητών δραστηριοτήτων

ID	Fitbit	Garmin	Withings	iHealth	Xiaomi
Μεθόδου	Ομοιότητα	Ομοιότητα	Ομοιότητα	Ομοιότητα	Ομοιότητα
2 ^ο Πείραμα [<i>Misfit Path</i>]					
Unknown1	Fit1 3%	Garmin1 18%	Withings1 21%	iHealth2 5%	Xiaomi1 2%
Unknown2	Fit10 10%	Garmin6 25%	Withings1 32%	iHealth1 12%	Xiaomi2 22%
Unknown3	Fit10 8%	Garmin6 21%	Withings1 5%	iHealth1 9%	Xiaomi2 6%
Unknown4	Fit11 33%	Garmin5 21%	Withings1 21%	iHealth2 5%	Xiaomi1 2%
Unknown5	Fit1 93%	Garmin5 86%	Withings1 82%	iHealth2 85%	Xiaomi2 85%
Unknown6	Fit20 89%	Garmin5 25%	Withings5 93%	iHealth4 87%	Xiaomi3 15%
3 ^ο Πείραμα [<i>Polar A370</i>]					
Unknown1	Fit1 69%	Garmin1 63%	Withings1 55%	iHealth1 75%	Xiaomi1 75%
Unknown2	Fit1 93%	Garmin5 92%	Withings1 78%	iHealth2 90%	Xiaomi2 90%
Unknown3	Fit2 89%	Garmin5 91%	Withings6 82%	iHealth2 32%	Xiaomi2 32%
Unknown4	Fit1 43%	Garmin5 89%	Withings6 83%	iHealth2 30%	Xiaomi2 30%
Unknown5	Fit13 93%	Garmin3 92%	Withings3 31%	iHealth1 22%	Xiaomi3 34%
Unknown6	Fit11 45%	Garmin1 32%	Withings1 80%	iHealth2 35%	Xiaomi2 35%
Unknown7	Fit2 89%	Garmin5 91%	Withings6 82%	iHealth2 32%	Xiaomi2 32%

Ειδικότερα, όσον αφορά το 2^ο πείραμα, όπως μπορεί να παρατηρηθεί από τα top 1 αποτελέσματα του Πίνακας 31, οι περισσότερες από τις API μεθόδους της Misfit Path συσκευής (Unknown1, Unknown2, Unknown3 και Unknown4) είχαν πολύ χαμηλά ποσοστά ομοιότητας με τις API μεθόδους των γνωστών συσκευών, απέχοντας κατά πολύ από το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 80% που έπρεπε να ξεπερνούν. Επομένως, η φύση τους δεν μπορούσε να εντοπιστεί. Αντίθετα, τόσο η Unknown5 όσο και η Unknown6 μέθοδοι αναγνωρίστηκαν ως μέθοδοι που είναι υπεύθυνες για τη συλλογή δεδομένων από τη Misfit Path συσκευή, όπου η Unknown5 είχε μεγαλύτερο ποσοστό ομοιότητας με τη μέθοδο Fit1 (93%) και η Unknown6 είχε μεγαλύτερο ποσοστό ομοιότητας με τη μέθοδο Withings5 (93%) (υπογραμμισμένες με γκρι), ενώ και τα δύο (2) ποσοστά υπερέβαιναν το όριο του 80%. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί πως το ποσοστό ομοιότητας της μεθόδου Fit1 που αντιστοιχήθηκε με τη μέθοδο Unknown5 δεν διαφοροποιούνταν κατά πολύ με το ποσοστό ομοιότητας της επόμενης γνωστής συσκευής (Garmin5), δεδομένου ότι είχαν περίπου 7% ποσοστό διαφοράς, ενώ παρόλο που είχε μεγαλύτερο ποσοστό διαφοράς με τις γνωστές συσκευές των υπόλοιπων τεσσάρων (4) κατασκευαστών, και πάλι οι προβλεπόμενες λειτουργικότητες των API μεθόδων της συνδεδεμένης Misfit Path συσκευής ήταν εντελώς σωστές. Το ίδιο ακριβώς γεγονός παρατηρήθηκε και για τη μέθοδο Withings5 που αντιστοιχίστηκε στη μέθοδο Unknown6, όπου είχε 4% ποσοστό διαφοροποίησης με την επόμενη γνωστή μέθοδο (Fit20).

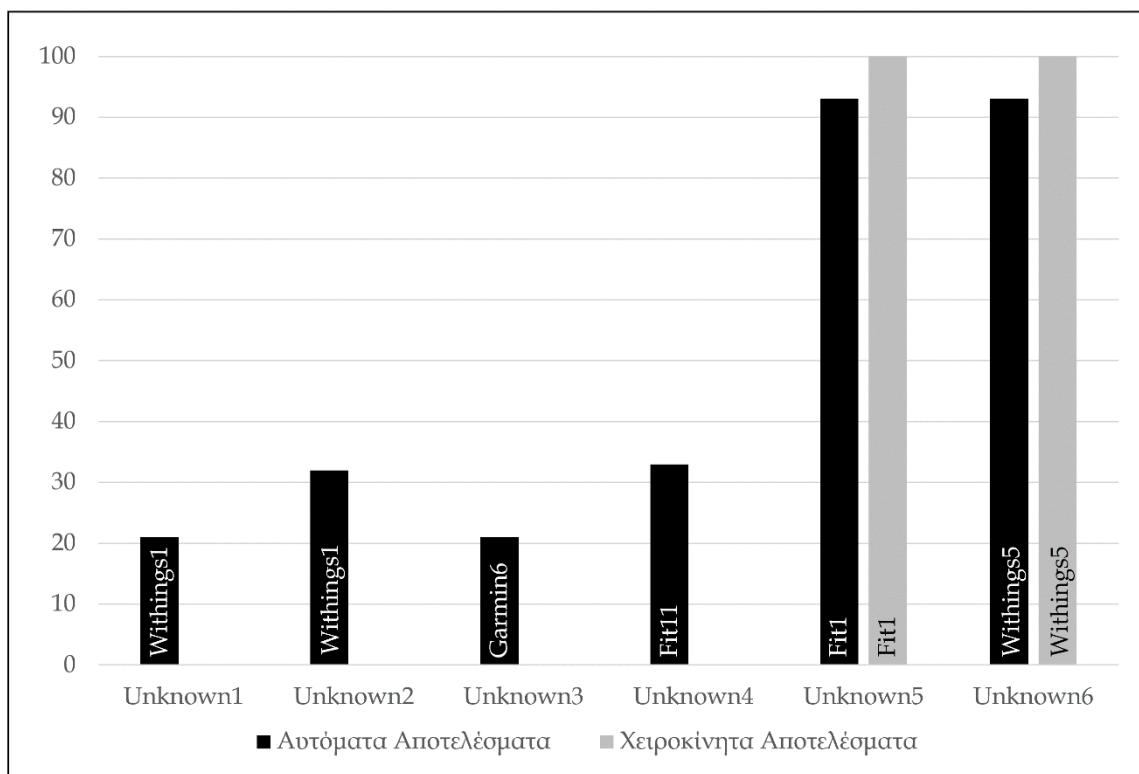
Σχετικά με το 3^ο πείραμα, μπορεί να παρατηρηθεί ότι σχεδόν όλες οι API μέθοδοι της Polar A370 συσκευής (Unkown2, Unkown3, Unkown4, Unkown5, Unkown6, και Unkown7) είχαν πολύ υψηλά ποσοστά ομοιότητας με τις API μεθόδους των γνωστών συσκευών, και συνεπώς οι λειτουργικότητες των API μεθόδων της Polar A370 συσκευής μπορούσαν να αναγνωριστούν. Αξίζει να αναφερθεί ότι ακόμη και αν η μέθοδος Unkown1 είχε υπολογιστεί να έχει εξίσου υψηλό ποσοστό ομοιότητας με τις άλλες υπάρχουσες API μεθόδους των γνωστών συσκευών, επειδή κανένα από τα υπολογισμένα ποσοστά δεν υπερέβαινε το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 80%, ο μηχανισμός δεν μπορούσε να τα λάβει υπόψη του, και συνεπώς να αντιστοιχίσει τις API μεθόδους της Polar A370 συσκευής με τις αντίστοιχες API μεθόδους των γνωστών συσκευών. Ειδικότερα, με βάση τα top 1 αποτελέσματα ομοιότητας (Πίνακας 31), η μέθοδος Unkown2 είχε μεγαλύτερη ομοιότητα με τη μέθοδο Fit1 (93%), η Unkown3 είχε μεγαλύτερη ομοιότητα με τη μέθοδο Garmin5 (91%), η Unkown4 είχε μεγαλύτερη ομοιότητα με τη μέθοδο Garmin5 (89%), η Unkown5 είχε μεγαλύτερη ομοιότητα με τη μέθοδο Fit13 (93%), η Unkown6 είχε μεγαλύτερη ομοιότητα με τη μέθοδο Withings1 (80%), και η Unkown7 είχε μεγαλύτερη ομοιότητα με τη μέθοδο Garmin5 (91%) (υπογραμμισμένες με γκρι). Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί πως το ποσοστό ομοιότητας της μεθόδου Fit1 με την μέθοδο Unkown2 δεν διαφοροποιούνταν σε μεγάλο βαθμό από το αντίστοιχο ποσοστό ομοιότητας της επόμενης γνωστής μεθόδου (Garmin5), δεδομένου ότι τα δύο (2) αυτά ποσοστά είχαν μία ελάχιστη ποσοστιαία διαφορά του 1%, ενώ και πάλι το ποσοστό της μεθόδου Fit1 δεν διέφερε κατά πολύ με τα ποσοστά των υπόλοιπων τεσσάρων (4) γνωστών συσκευών. Το ίδιο ακριβώς γεγονός παρατηρήθηκε και για (i) τη μέθοδο Garmin5 που αντιστοιχήθηκε στη μέθοδο Unkown3, της οποίας το ποσοστό ομοιότητας διέφερε μόνο κατά ένα 3% με το ποσοστό ομοιότητας της επόμενης γνωστής μεθόδου (Fit2), (ii) τη μέθοδο Garmin5 που αντιστοιχήθηκε στη μέθοδο Unkown4, της οποίας το ποσοστό ομοιότητας διέφερε μόνο κατά ένα 6% με το ποσοστό της επόμενης γνωστής μεθόδου (Garmin3), (iii) τη μέθοδο Withings1 που αντιστοιχήθηκε στη μέθοδο Unkown6, της οποίας το ποσοστό ομοιότητας διέφερε μόνο κατά 36% με το ποσοστό της επόμενης γνωστής μεθόδου (Fit11), και (iv) τη μέθοδο Fit13 που αντιστοιχήθηκε στη μέθοδο Unkown7, της οποίας το ποσοστό ομοιότητας διέφερε μόλις κατά 1% με το ποσοστό της επόμενης γνωστής μεθόδου (Garmin3). Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί ότι οι άγνωστες μέθοδοι των Unkown5 και Unkown2 του 2^{ου} και του 3^{ου} πειράματος, αντίστοιχα, αναγνωρίστηκαν να έχουν την ίδια λειτουργικότητα, καθώς αντιστοιχήθηκαν σημασιολογικά ακριβώς με την ίδια μέθοδο (Fit1). Ωστόσο, δεν μπορεί να διεξαχθεί το ίδιο συμπέρασμα για τη μέθοδο Unkown6 του 2^{ου} πειράματος, καθώς η συγκεκριμένη μέθοδος αναγνωρίστηκε πως σχετιζόταν με τη λήψη των δεδομένων του ύπνου του χρήστη της συσκευής, κάτι που δεν είχε συμπεριληφθεί στο 3^ο πείραμα.

Βάσει όλων των προαναφερθέντων, καθίσταται σαφές ότι αυτό το στάδιο του μηχανισμού παρείχε αξιόπιστα αποτελέσματα, αφού όλα τα παρεχόμενα αποτελέσματα υπολογίστηκαν επίσης με χειροκίνητο τρόπο και συγκρίθηκαν με τα προαναφερθέντα αποτελέσματα, αποδεικνύοντας το γεγονός αυτό. Πιο συγκεκριμένα, οι API μέθοδοι των επιλεγμένων συνδεδεμένων (αναγνωρισμένων πλέον) παρακολουθητών δραστηριοτήτων (δηλαδή του Misfit Path και του Polar A370) αντιστοιχίστηκαν χειροκίνητα με τις API μεθόδους των προϋπαρχουσών γνωστών παρακολουθητών δραστηριοτήτων, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η σύγκριση των αποτελεσμάτων του προτεινόμενου μηχανισμού και των χειροκίνητων αποτελεσμάτων. Ειδικότερα, για τα χειροκίνητα αποτελέσματα, υποτίθεται ότι αυτά ήταν υψηλής ακρίβειας, θεωρούμενα ως σημεία αναφοράς υψηλής αξιοπιστίας και ακρίβειας, καθώς τα αποτελέσματα αυτά, υποδεικνύουν τα αποτελέσματα που θα έπρεπε να παράγει ο προτεινόμενος μηχανισμός (υπό ιδανικές συνθήκες) βάσει της συνολικής εφαρμογής του. Ο Πίνακας 32 απεικονίζει τα αποτελέσματα του χειροκίνητου υπολογισμού (χειροκίνητα αποτελέσματα), σε σύγκριση με τα αποτελέσματα του προτεινόμενου μηχανισμού (αυτόματα αποτελέσματα).

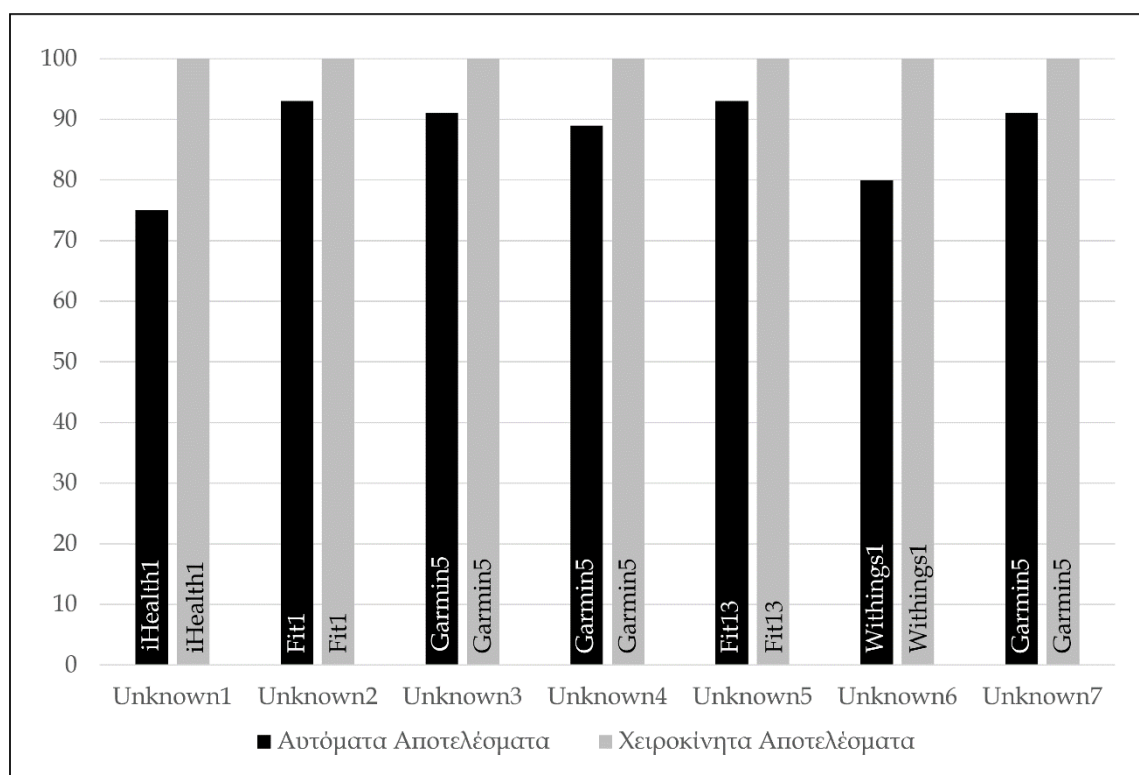
Πίνακας 32. Χειροκίνητα και αυτόματα αποτελέσματα ομοιότητας περιγραφών των API μεθόδων των συνδεδεμένων άγνωστων και γνωστών συσκευών

ID Μεθόδου	Χειροκίνητα Αποτελέσματα	Βέλτιστη Ομοιότητα	Αυτόματα Αποτελέσματα	Βέλτιστη Ομοιότητα
2 ^ο Πείραμα [<i>Misfit Path</i>]				
<i>Unknown1</i>	-	-	<i>Withings1</i>	21%
<i>Unknown2</i>	-	-	<i>Withings1</i>	32%
<i>Unknown3</i>	-	-	<i>Garmin6</i>	21%
<i>Unknown4</i>	-	-	<i>Fit11</i>	33%
<i>Unknown5</i>	<i>Fit1</i>	100%	<i>Fit1</i>	93%
<i>Unknown6</i>	<i>Withings5</i>	100%	<i>Withings5</i>	93%
3 ^ο Πείραμα [<i>Polar A370</i>]				
<i>Unknown1</i>	<i>iHealth1</i>	100%	<i>iHealth1</i>	75%
<i>Unknown2</i>	<i>Fit1</i>	100%	<i>Fit1</i>	93%
<i>Unknown3</i>	<i>Garmin5</i>	100%	<i>Garmin5</i>	91%
<i>Unknown4</i>	<i>Garmin5</i>	100%	<i>Garmin5</i>	89%
<i>Unknown5</i>	<i>Fit13</i>	100%	<i>Fit13</i>	93%
<i>Unknown6</i>	<i>Withings1</i>	100%	<i>Withings1</i>	80%
<i>Unknown7</i>	<i>Garmin5</i>	100%	<i>Garmin5</i>	91%

Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 32, καθίσταται σαφές ότι ο προτεινόμενος μηχανισμός παρείχε αποτελέσματα 100% ακρίβειας. Ωστόσο, μπορεί να παρατηρηθεί μία διαφορά μεταξύ των συνολικών ποσοστών των χειροκίνητα υπολογισμένων βέλτιστων ποσοστών ομοιοτήτων και των αυτόματα υπολογισμένων βέλτιστων ποσοστών ομοιοτήτων, η οποία όμως δεν επηρεάζει την τελική αντιστοίχιση των επιμέρους μεθόδων, και σαν αποτέλεσμα την αναγνώριση της επιμέρους λειτουργικότητας αυτών. Ωστόσο, πρέπει να αναφερθούν οι περιπτώσεις όπου τα αυτόματα αποτελέσματα δεν ήταν απολύτως σωστά, όπως στην περίπτωση της μεθόδου Unknown1 του 3^{ου} πειράματος. Πιο συγκεκριμένα, τα χειροκίνητα αποτελέσματα προέβλεψαν ότι η μέθοδος Unknown1 ήταν 100% πανομοιότυπη με τη μέθοδο iHealth1, ενώ τα αυτόματα αποτελέσματα προέβλεψαν ότι η μέθοδος Unknown1 ήταν 75% πανομοιότυπη με τη μέθοδο iHealth1, αγνοώντας όμως αυτό το αποτέλεσμα, καθώς αυτό δεν υπερέβαινε το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 80%. Εκτός από το προαναφερθέν προβληματικό αποτέλεσμα, σε όλες τις άλλες περιπτώσεις οι αναγνωρισμένες API μέθοδοι ήταν εντελώς σωστές. Ως αποτέλεσμα αυτού, μπορεί αδιαμφισβήτητα να υποστηριχτεί ότι η έννοια της σημασιολογικής ομοιότητας μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά για τον προσδιορισμό της φύσης και της λειτουργικότητας των API μεθόδων των άγνωστων συσκευών. Η Εικόνα 49 και η Εικόνα 50 οπτικοποιούν τα αποτελέσματα του Πίνακα 32, απεικονίζοντας τα ποσοστά των χειροκίνητα υπολογισμένων αποτελεσμάτων σε σύγκριση με τα αντίστοιχα ποσοστά των αυτόματα υπολογισμένων αποτελεσμάτων, αναφορικά με τα αποτελέσματα σημασιολογικής ομοιότητας των API μεθόδων των συνδεδεμένων συσκευών των Misfit Path και Polar A370 του 2^{ου} και 3^{ου} του πειράματος, αντίστοιχα.



Εικόνα 49. Γραφική παράσταση αυτόματων και χειροκίνητων αποτελεσμάτων σημασιολογικής ομοιότητας των API μεθόδων Misfit Path συσκευής



Εικόνα 50. Γραφική παράσταση αυτόματων και χειροκίνητων αποτελεσμάτων σημασιολογικής ομοιότητας των API μεθόδων Polar A370 συσκευής

4.2.5.4 Τεχνική Εκτίμησης Αξιοπιστίας Συσκευών και Δεδομένων

Όσον αφορά το στάδιο της Εκτίμησης Αξιοπιστίας Συσκευών και Δεδομένων, με βάση τα τελικά αποτελέσματα του 1^{ου} πειράματος (Ενότητα 4.2.2.1), μπορεί να υποστηριχθεί ότι ο μηχανισμός μπορεί εύκολα να αναγνωρίσει τα επίπεδα αξιοπιστίας μιας γνωστής συσκευής, αφού αυτή υπάρχει ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών του μηχανισμού, και ως αποτέλεσμα ο μηχανισμός την έχει ήδη αναγνωρίσει ως αξιόπιστη συσκευή. Ειδικότερα, ο μηχανισμός πολύ εύκολα και γρήγορα, με το που συνδέθηκε η διαθέσιμη συσκευή σε αυτόν, αναγνώρισε πως υπήρχε ήδη στη ΒΔ γνωστών συσκευών, και σαν αποτέλεσμα αυτού ήταν μία ήδη γνωστή προς αυτόν αξιόπιστη συσκευή. Ωστόσο, όπως και στα προηγούμενα στάδια του μηχανισμού, η βασική καινοτομία του μηχανισμού έγκειται στο γεγονός ότι μπορεί εύκολα να εκτιμήσει και τα επίπεδα αξιοπιστίας των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών, καταλήγοντας πως αυτές μπορεί να είναι είτε αξιόπιστες είτε μη αξιόπιστες συσκευές. Αυτό το γεγονός μπορεί να επαληθευτεί και από τα δύο (2) πειράματα που διεξήχθησαν. Ειδικότερα, αυτό μπορεί αρχικά να επαληθευτεί μέσω του 2^{ου} πειράματος (Ενότητα 4.2.3.4) που πραγματοποιήθηκε, όπου ο μηχανισμός εκτίμησε με επιτυχία τα επίπεδα αξιοπιστίας της συνδεδεμένης άγνωστης (αναγνωρισμένης πλέον) συσκευής, αναγνωρίζοντας ότι ήταν μία αξιόπιστη συσκευή, συλλέγοντας έτσι και διατηρώντας τα δεδομένα της για περαιτέρω χρήση. Επιπλέον, επαληθεύτηκε μέσω του 3^{ου} πειράματος (Ενότητα 4.3.4.4), όπου ακόμη και αν τα συλλεχθέντα δεδομένα της συνδεδεμένης άγνωστης (αναγνωρισμένης πλέον) συσκευής αποκαλύφθηκαν ότι είχαν πολύ υψηλό βαθμό αξιοπιστίας, η διαθεσιμότητα της ίδιας της συσκευής δεν ήταν πολύ υψηλή, επηρεάζοντας έτσι τη συνολική αξιοπιστία της συσκευής, καθιστώντας την ως μία μη κατάλληλη συσκευή για το μηχανισμό. Ασχέτως λοιπόν του τελικού αποτελέσματος, σε όλα τα πειράματα η εκτίμηση της αξιοπιστίας πραγματοποιήθηκε επιτυχώς, όπως φαίνεται και στα αποτελέσματα των Πινάκων 18 και 29 των Ενότητων 4.2.3.4 και 4.2.4.4, όπου ο μηχανισμός σε όλες τις περιπτώσεις επιτυχώς υπολόγισε τα συνολικά ποσοστά αξιοπιστίας των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών. Ειδικότερα, βάσει των αποτελεσμάτων που καταγράφηκαν κατά τις 30 συνεχόμενες ημέρες εφαρμογής των πειραμάτων, ο Πίνακας 33 απεικονίζει το μέσο όρο (i) των τιμών της συχνότητας μετάδοσης των δεδομένων από τις συνδεδεμένες άγνωστες συσκευές προς το μηχανισμό, (ii) του ποσοστού της διαθεσιμότητας των συσκευών αυτών, (iii) του ποσοστού της αξιοπιστίας των δεδομένων που προέκυψε από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις συσκευές αυτές, και (iv) του ποσοστού της συνολικής αξιοπιστίας που υπολογίστηκε βάσει των αποτελεσμάτων της διαθεσιμότητας της συσκευής και της αξιοπιστίας των συλλεχθέντων δεδομένων της.

Πίνακας 33. Αποτελέσματα συνολικής αξιοπιστίας συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών

Μέσος όρος Μετάδοσης Δεδομένων	Μέσος όρος Διαθεσιμότητας Συσκευών (%)	Μέσος όρος Αξιοπιστίας Δεδομένων (%)	Μέσος όρος Συνολικής Αξιοπιστίας (%)
2 ^ο Πείραμα [<i>Misfit Path</i>]			
279	97,0	93,2	95,2
3 ^ο Πείραμα [<i>Polar A370</i>]			
236	82,0	91,8	86,9

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά το 2^ο πείραμα, βάσει των αποτελεσμάτων του Πίνακας 33, παρατηρείται ότι καθημερινά κατά τη διάρκεια των 30 ημερών του πειράματος, η μέση διαθεσιμότητα της *Misfit Path* συσκευής ήταν 97%, με παραπάνω από τις μισές ημέρες σχεδόν να φθάνει το ποσοστό του 98%. Το γεγονός αυτό απέδειξε ότι η *Misfit Path* συσκευή ήταν σχεδόν πάντα διαθέσιμη, στέλνοντας όλα τα συλλεχθέντα δεδομένα της στο μηχανισμό, γεγονός που μπορεί να επαληθευτεί από τη συχνότητα των αποσταθέντων από τη συσκευή δεδομένων, όπου ο μέσος αριθμός συχνότητας δεδομένων ήταν 279 μετρήσεις ανά ημέρα, φτάνοντας σχεδόν το 100% της τέλει συχνότητας αποστολής των 288 μετρήσεων. Επιπλέον, με βάση το ποσοστό της αντίστοιχης αξιοπιστίας των δεδομένων που ανακτήθηκαν καθημερινά από τη συσκευή, παρατηρείται ότι υπήρξαν κάποιες ημέρες που το υπολογισμένο ποσοστό της αξιοπιστίας των δεδομένων της συσκευής δεν ήταν πολύ υψηλό (~ 89%), υποδηλώνοντας ότι αυτά τα δεδομένα που είχαν συλλεχθεί περιείχαν κάποιες λανθασμένες τιμές. Αντιθέτως, κάποιες άλλες ημέρες η συσκευή παρήγαγε αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα, δεδομένου ότι το ποσοστό της αξιοπιστίας των δεδομένων που συλλέχθηκαν ήταν εξαιρετικά υψηλό (~ 96%). Παρόλα αυτά, δεδομένου ότι η συνολική αξιοπιστία υπολογίστηκε βάσει τόσο της διαθεσιμότητας της *Misfit Path* συσκευής όσο και της αξιοπιστίας των συλλεχθέντων δεδομένων της, μπορεί να διαπιστωθεί ότι ο μέσος όρος της συνολικής αξιοπιστίας της συσκευής υπερβαίνει κατά πολύ το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 90%, έχοντας ως μέση συνολική αξιοπιστία το ποσοστό του 95,2% (Πίνακας 33), γεγονός που υποδηλώνει ότι η *Misfit Path* ήταν μια συσκευή υψηλών επιπέδων αξιοπιστίας.

Σχετικά με το 3^ο πείραμα, βάσει των αποτελεσμάτων του Πίνακας 33, παρατηρείται ότι καθημερινά κατά τη διάρκεια των 30 ημερών του πειράματος, η μέση διαθεσιμότητα της *Polar A370* συσκευής ήταν 82%, όπου η διαθεσιμότητα καμίας ημέρας δεν υπερέβαινε το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 90%. Το γεγονός αυτό απέδειξε ότι αυτή η συσκευή δεν ήταν πάντοτε διαθέσιμη, μη αποστέλλοντας έτσι όλο τον αποκτηθέντα αριθμό μετρήσεων της στο μηχανισμό,

καθώς η μέση συχνότητα των αποσταθέντων δεδομένων της ήταν 236 μετρήσεις, ένας αριθμός πολύ μικρότερος από το 100% της τέλει συχνότητας αποστολής των 288 μετρήσεων. Ως αποτέλεσμα αυτού, δεδομένου ότι υπό τις τέλει συνθήκες η Polar A370 συσκευή έστελνε 288 μετρήσεις και δεδομένου ότι στο τρέχον πείραμα έστελνε κατά μέσο όρο μόλις 236 μετρήσεις, ανά ημέρα σε συνολικά 30 ημέρες, αυτό υποδηλώνει πως πολλές μετρήσεις δεν στάλθηκαν στο μηχανισμό επειδή η συσκευή δεν ήταν διαθέσιμη. Παρόλα αυτά, ακόμη και αν οι καθημερινές μετρήσεις ήταν λιγότερες από τις αναμενόμενες, η εκτιμώμενη αξιοπιστία αυτών των μετρήσεων ήταν εξαιρετικά υψηλή, καθώς όλες τις μέρες υπερέβη το ποσοστό του 90%. Συνεπώς, μπορεί να παρατηρηθεί ότι όλα τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από την Polar A370 συσκευή ήταν εξαιρετικά αξιόπιστα, έχοντας μέσο όσο αξιοπιστίας 91,8% (Πίνακας 33). Παρόλα αυτά, δεδομένου ότι η συνολική αξιοπιστία υπολογίστηκε βάσει τόσο της διαθεσιμότητας της Polar A370 συσκευής όσο και της αξιοπιστίας των καθημερινών δεδομένων που συλλέγονταν από τη συσκευή αυτή, μπορεί να διαπιστωθεί ότι ακόμη και αν τα δεδομένα που συλλέχθηκαν ήταν πολύ υψηλής αξιοπιστίας, η διαθεσιμότητα της συσκευής δεν ήταν τόσο υψηλή όσο αναμενόταν, υποδεικνύοντας ότι χάθηκαν αρκετές μετρήσεις (δηλαδή ενώ οι μετρήσεις είχαν καταγραφεί από τη συσκευή, δε στάλθηκαν ποτέ στο μηχανισμό). Ως αποτέλεσμα αυτού, η συνολική αξιοπιστία δεν ήταν τόσο υψηλή όσο αναμενόταν, καθώς δεν υπερέβαινε το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 90%, έχοντας ως μέση συνολική αξιοπιστία ένα ποσοστό του 86,9% (Πίνακας 33). Αυτό το γεγονός υποδήλωνε πως η Polar A370 δεν ήταν συσκευή υψηλών επιπέδων αξιοπιστίας. Ωστόσο, κάποιος θα μπορούσε να υποθέσει πως δεδομένου ότι τα δεδομένα που συλλέχθηκαν ήταν αρκετά αξιόπιστα, το τμήμα των δεδομένων που δεν στάλθηκε λόγω της έλλειψης διαθεσιμότητας της συσκευής, θα ήταν επίσης αρκετά αξιόπιστο, οδηγώντας έτσι σε υψηλότερο ποσοστό συνολικής αξιοπιστίας, υποδεικνύοντας ότι η Polar A370 θα ήταν μια συσκευή υψηλών επιπέδων αξιοπιστίας. Παρόλα αυτά, επειδή ο μηχανισμός είναι εκείνος που τελικά αποφασίζει με βάση τα παραγόμενα αποτελέσματά του, και δεδομένου ότι αυτή η υπόθεση δεν μπορούσε να επαληθευθεί από αυτόν, ο μηχανισμός προέβλεψε σωστά με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα ότι η Polar A370 δεν ήταν μία αξιόπιστη συσκευή.

Βάσει όλων των προαναφερθέντων, καθίσταται σαφές ότι με βάση τα συλλεχθέντα δεδομένα, αυτό το στάδιο του μηχανισμού παρείχε αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα, καθώς όλα τα εξαχθέντα αποτελέσματα υπολογίστηκαν επίσης με χειροκίνητο τρόπο και συγκρίθηκαν με τα προαναφερθέντα αποτελέσματα, αποδεικνύοντας το γεγονός αυτό. Πιο συγκεκριμένα, τόσο η διαθεσιμότητα των συνδεδεμένων αναγνωρισμένων συσκευών (δηλαδή της Misfit Path και της Polar A370 συσκευής), όσο και η αξιοπιστία των συλλεχθέντων δεδομένων τους, και σαν

αποτέλεσμα η συνολική αξιοπιστία των συσκευών αυτών, υπολογίστηκαν με χειροκίνητο τρόπο σε καθημερινή βάση για 30 συνεχόμενες ημέρες, προκειμένου να συγκριθούν με τα αποτελέσματα του αναπτυσσόμενου μηχανισμού. Αυτός ήταν ο βασικός λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε ο ίδιος αριθμός ημερών για την αξιολόγηση του μηχανισμού, προκειμένου να μπορεί να πραγματοποιηθεί η αντικειμενική σύγκριση των αποτελεσμάτων. Ειδικότερα, για τα χειροκίνητα αποτελέσματα, υποτίθεται ότι αυτά ήταν υψηλής ακρίβειας, θεωρούμενα ως σημεία αναφοράς υψηλής αξιοπιστίας και ακρίβειας, καθώς τα αποτελέσματα αυτά, υποδεικνύουν τα αποτελέσματα που θα έπρεπε να παράγει ο προτεινόμενος μηχανισμός (υπό ιδανικές συνθήκες) βάσει της συνολικής εφαρμογής του. Ο Πίνακας 34 απεικονίζει τα αποτελέσματα του χειροκίνητου υπολογισμού (χειροκίνητα αποτελέσματα), σε σύγκριση με τα αποτελέσματα του προτεινόμενου μηχανισμού (αυτόματα αποτελέσματα).

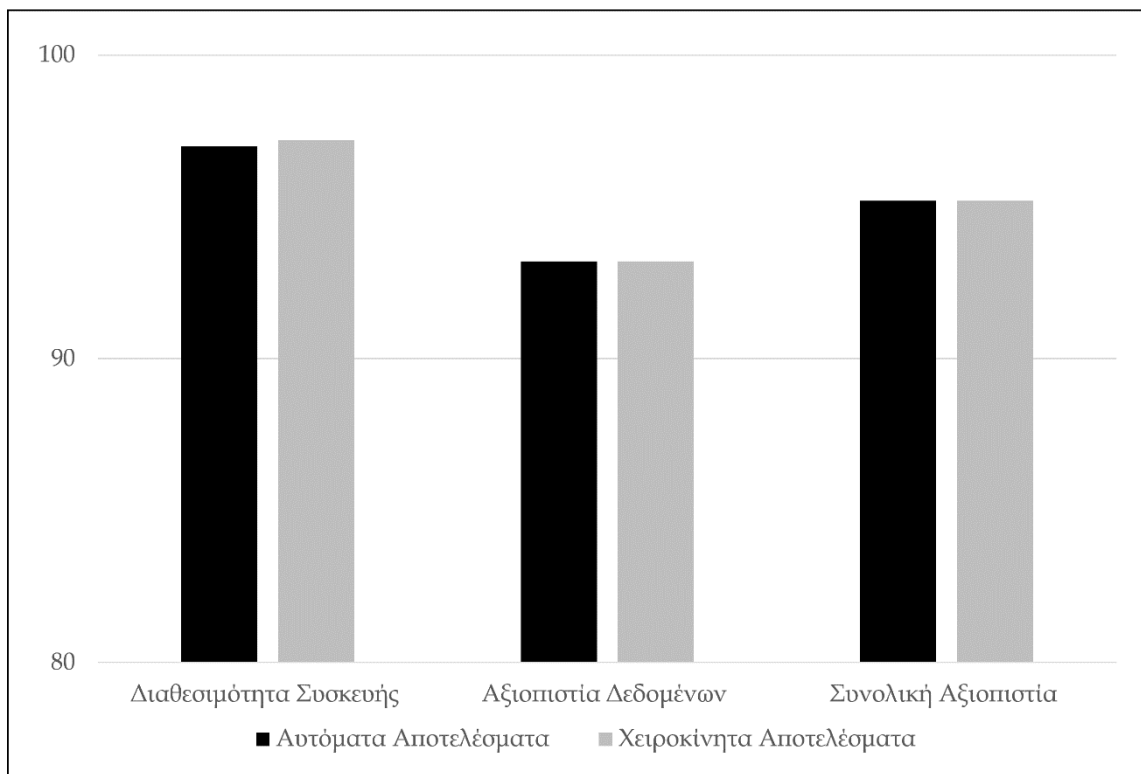
Πίνακας 34. Χειροκίνητα και αυτόματα αποτελέσματα αξιοπιστίας συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών

Μέσος όρος Μετάδοσης Δεδομένων	Μέσος όρος Διαθεσιμότητας Συσκευών (%)	Μέσος όρος Αξιοπιστίας Δεδομένων (%)	Μέσος όρος Συνολικής Αξιοπιστίας (%)
Χειροκίνητα Αποτελέσματα			
2 ^ο Πείραμα [<i>Misfit Path</i>]			
280	97,2	93,2	95,2
3 ^ο Πείραμα [<i>Polar A370</i>]			
288	100,0	97,0	97,5
Αυτόματα Αποτελέσματα			
2 ^ο Πείραμα [<i>Misfit Path</i>]			
279	97,0	93,2	95,2
3 ^ο Πείραμα [<i>Polar A370</i>]			
236	82,0	91,8	86,9

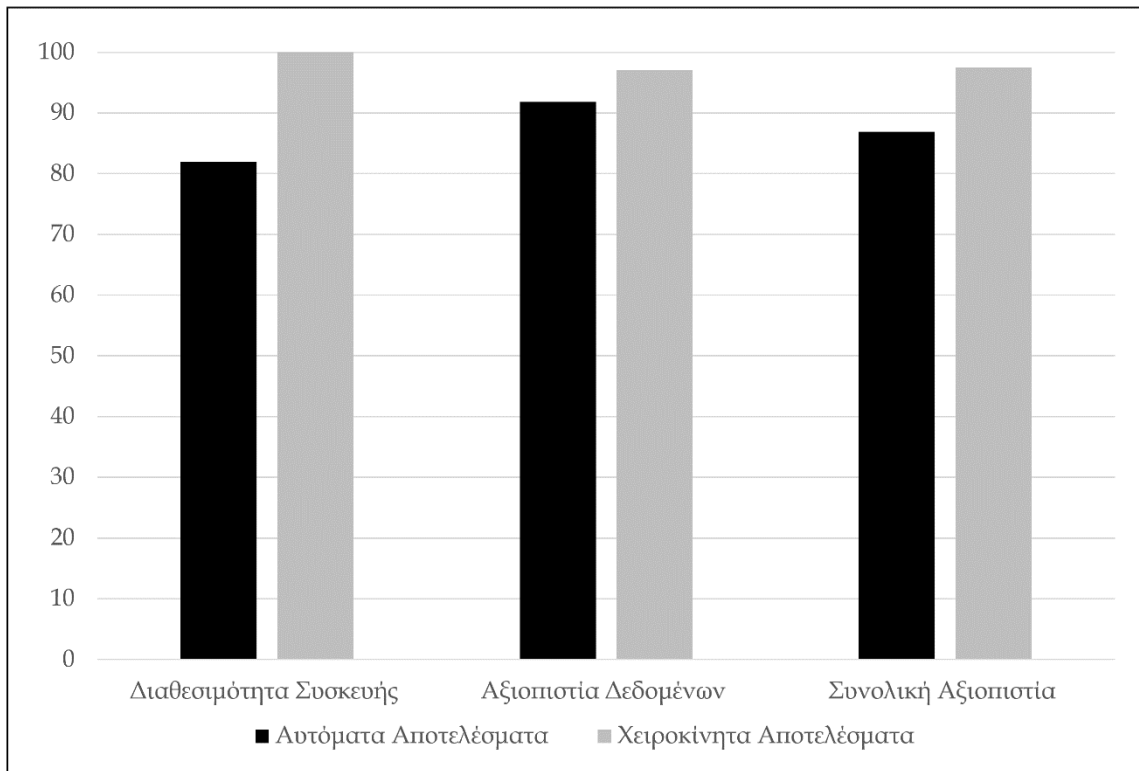
Με περισσότερες λεπτομέρειες, ο Πίνακας 34 απεικονίζει τα χειροκίνητα καταγεγραμμένα αποτελέσματα αξιοπιστίας των δύο (2) συνδεδεμένων αναγνωρισμένων συσκευών (δηλαδή της *Misfit Path* και της *Polar A370* συσκευής) σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα αυτόματα αποτελέσματα του προτεινόμενου μηχανισμού. Όσον αφορά τη *Misfit Path*, όπως φαίνεται στον Πίνακας 34, το χειροκίνητα υπολογισμένο ποσοστό διαθεσιμότητας (97,2%) παρουσιάζει μια ελάχιστη διαφορά της τάξεως του 0,2% με το αντίστοιχο αυτόματο ποσοστό του μηχανισμού (97,0%), χωρίς να επηρεάζει καθόλου τα συνολικά αποτελέσματα της αξιοπιστίας της *Misfit Path* συσκευής. Αυτή η διαφορά στα δύο (2) ποσοστά οφείλεται στο γεγονός ότι ο μηχανισμός κατά λάθος απέρριψε μία μέτρηση που

δεν έπρεπε να απορριφθεί, επηρεάζοντας έτσι το συνολικό αριθμό των μετρήσεων που καταγράφηκαν. Επιπλέον, όσον αφορά τα ποσοστά αξιοπιστίας των δεδομένων, καθώς ο μηχανισμός χρησιμοποίησε το εργαλείο SPSS για τον υπολογισμό τους, και στα χειροκίνητα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκε επίσης το ίδιο εργαλείο, τα υπολογισμένα αποτελέσματα ήταν πανομοιότυπα. Συνεπώς, καθώς ο υπολογισμός της συνολικής αξιοπιστίας εξαρτάται από όλες τις προαναφερθείσες μετρήσεις, οι χειροκίνητα υπολογισμένες τελικές τιμές δεν διαφοροποιούνταν, όπως απεικονίζεται στον Πίνακα 34, καθώς τόσο τα χειροκίνητα αποτελέσματα της συνολικής αξιοπιστίας της Misfit Path συσκευής όσο και τα αυτόματα ήταν τα ίδια (95,2%). Όσον αφορά τη Polar A370 συσκευή, όπως φαίνεται στον Πίνακα 34, το χειροκίνητα υπολογισμένο ποσοστό διαθεσιμότητας (100,0%) έχει μεγάλο ποσοστό διαφοράς (18,0%) με το αντίστοιχο ποσοστό διαθεσιμότητας που υπολόγισε ο μηχανισμός (82%). Συνεπώς, λόγω της μεγάλης αυτής απόκλισης, επηρεάζονται τα συνολικά αποτελέσματα αξιοπιστίας της Polar A370 συσκευής, καθώς στην πρώτη περίπτωση (χειροκίνητα αποτελέσματα) η Polar A370 θεωρείται ότι έχει υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας, ενώ στη δεύτερη περίπτωση (αυτόματα αποτελέσματα) θεωρείται ότι είναι μία συσκευή με χαμηλά επίπεδα αξιοπιστίας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο μηχανισμός δεν μπόρεσε να συνδεθεί πολλές φορές με τη συσκευή, ακόμα κι αν αυτή ήταν πάντα διαθέσιμη, επηρεάζοντας έτσι το συνολικό αριθμό των μετρήσεων που συλλέχθηκαν από αυτήν. Αντίθετα, στα χειροκίνητα αποτελέσματα παρατηρήθηκε πως η συσκευή είχε συλλέξει και αποστέλλει στο μηχανισμό όλες τις μετρήσεις που αναμενόταν να συλλέξει (δηλαδή 288 μετρήσεις), παρέχοντας έτσι 100% διαθεσιμότητα. Επιπλέον, όσον αφορά την αξιοπιστία των δεδομένων, παρατηρείται ότι τα χειροκίνητα αποτελέσματα (97,0%) και τα αυτόματα αποτελέσματα του μηχανισμού (91,8%) διαφέρουν, αν και αυτό το γεγονός είναι λογικό, καθώς κατά τα χειροκίνητα αποτελέσματα συλλέχθηκαν 288 μετρήσεις από τη συσκευή, ενώ κατά τα αυτόματα αποτελέσματα συλλέχθηκαν 236 μετρήσεις από την ίδια συσκευή. Ως αποτέλεσμα αυτού, η αξιοπιστία των δεδομένων κάθε περίπτωσης υπολογίστηκε βάσει του διαφορετικού αριθμού συλλεχθέντων μετρήσεων, παράγοντας και στις δύο (2) περιπτώσεις τα αντίστοιχα αναμενόμενα αποτελέσματα. Συνεπώς, δεδομένου ότι ο υπολογισμός της συνολικής αξιοπιστίας εξαρτάται από όλες τις προαναφερθείσες μετρήσεις, στα χειροκίνητα αποτελέσματα παρατηρείται ότι η Polar A370 θεωρείται μία συσκευή υψηλών επιπέδων αξιοπιστίας, παράγοντας ένα πολύ υψηλό ποσοστό συνολικής αξιοπιστίας (97,5%) που υπερβαίνει κατά πολύ το προκαθορισμένο κατώτατο όριο του 90%. Αντιθέτως, στα αυτόματα αποτελέσματα, λόγω του περιορισμένου ποσοστού διαθεσιμότητας, ο μηχανισμός είχε καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η συσκευή αυτή ήταν χαμηλών επιπέδων αξιοπιστίας. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν πρόσθετα πειράματα, προκειμένου να επιτυγχάνεται μια

ευρύτερη και σφαιρική άποψη του υπολογισμού της συνολικής αξιοπιστίας των συσκευών, εφαρμόζοντας διαφορετικούς βαθμούς βαρών μεταξύ της διαθεσιμότητας και της αξιοπιστίας των δεδομένων. Παρόλα αυτά, με βάση όλα τα εξαγόμενα αποτελέσματα, μπορεί να αποτυπωθεί το συμπέρασμα ότι μέσω της παρεχόμενης διαδικασίας αυτού του σταδίου του μηχανισμού είναι αποτελεσματικό να αποφασιστεί αν μία συνδεδεμένη συσκευή θεωρείται ως αξιόπιστη ή όχι, συνδυάζοντας (i) τα αποτελέσματα της διαθεσιμότητάς της και τον αριθμό των μετρήσεων που συλλέχθηκαν, και (ii) την αντίστοιχη αξιοπιστία των συλλεχθέντων αυτών δεδομένων. Η Εικόνα 51 και η Εικόνα 52 οπτικοποιούν τα αποτελέσματα του Πίνακα 34, αναγράφοντας τα ποσοστά των χειροκίνητα υπολογισμένων αποτελεσμάτων σε σύγκριση με τα αντίστοιχα ποσοστά των αυτόματα υπολογισμένων αποτελεσμάτων, αναφορικά με τα αποτελέσματα της διαθεσιμότητας, της αξιοπιστίας των συλλεχθέντων δεδομένων, και τα αποτελέσματα της συνολικής αξιοπιστίας των Misfit Path και Polar A370 του 2^{ου} και του 3^{ου} πειράματος αντίστοιχα.



Εικόνα 51. Γραφική παράσταση αυτόματων και χειροκίνητων αποτελεσμάτων συνολικής αξιοπιστίας Misfit Path συσκευής



Εικόνα 52. Γραφική παράσταση αυτόματων και χειροκίνητων αποτελεσμάτων συνολικής αξιοπιστίας Polar A370 συσκευής

Βάσει όλων των προαναφερθέντων αποτελεσμάτων, παρατηρείται πως ο μηχανισμός παρήγαγε συνολικά αρκετά ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα, αποδεικνύοντας το σκοπό της δημιουργίας του για την αυτόματη ενσωμάτωση ετερογενών IoT συσκευών τόσο γνωστού όσο και άγνωστου τύπου, και για τον υπολογισμό των επιπέδων αξιοπιστίας τους ώστε να συγκεντρώνονται τελικά μόνο τα αξιόπιστα δεδομένα που προέρχονται από μόνο αξιόπιστες συσκευές. Ειδικότερα, βάσει των τριών (3) διαφορετικών πειραμάτων που αναλύθηκαν, αποδείχθηκε πως ο μηχανισμός είναι ικανός να λειτουργεί εξίσου αποτελεσματικά και αποδοτικά στα τρία (3) διαφορετικά πιθανά σενάρια μίας εισερχόμενης συσκευής. Μπορεί δηλαδή πολύ εύκολα με αυτόματο τρόπο να ενσωματώνει: (i) μία γνωστή συσκευή, αποδεικνύοντας πως αν γνωρίζει εκ των προτέρων τον τύπο μίας συσκευής μπορεί πολύ εύκολα να συλλέξει τα δεδομένα της, (ii) μία άγνωστη συσκευή, αποδεικνύοντας πως παρόλο που μπορεί να μην γνωρίζει εκ των προτέρων τον τύπο μίας συσκευής μπορεί εύκολα να την αναγνωρίσει, να συλλέξει τα δεδομένα της, να εκτιμήσει τα επίπεδα της αξιοπιστίας της, και εν τέλει να συλλέξει τα δεδομένα της, εφόσον τη θεωρεί ως μία αξιόπιστη συσκευή, και (iii) μία άγνωστη συσκευή, αποδεικνύοντας πως παρόλο που μπορεί να μην γνωρίζει εκ των προτέρων τον τύπο της μπορεί εύκολα να την αναγνωρίσει, να συλλέξει τα δεδομένα της, να εκτιμήσει τα επίπεδα της αξιοπιστίας της, εκτιμώντας πως είναι μία μη αξιόπιστη συσκευή, και απορρίπτοντας εν τέλει τα δεδομένα της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Σύνοψη Διατριβής - Ανοιχτά Ερευνητικά Θέματα

Περιεχόμενα

- 5.1. Σύνοψη Διατριβής και Κυριότερων Συνεισφορών
- 5.2. Ανοιχτά Ερευνητικά Θέματα

Περίληψη

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**, πραγματοποιείται η σύνοψη της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής, καταγράφοντας τις βασικές συνεισφορές της στον κλάδο του IoT, και ειδικότερα στον τομέα της υγείας. Επιπλέον, περιγράφονται τα ανοιχτά ερευνητικά θέματα και οι μελλοντικοί στόχοι όπως αυτοί προέκυψαν από την τρέχουσα προσέγγιση της έρευνας, αναφορικά με την ένταξη και την αντιμετώπιση των υπάρχουσών προκλήσεων των CPS και των IoT τεχνολογιών σε όλους τους τομείς γενικότερα, αλλά και στον τομέα της υγείας ειδικότερα.

5.1 Σύνοψη Διατριβής και Κυριότερων Συνεισφορών

Ενώ η έννοια του συνδυασμού υπολογιστών, αισθητήρων και δικτύων για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των συσκευών έχει θεμελιωθεί εδώ και δεκαετίες, η πρόσφατη συρροή των βασικών τεχνολογιών και τάσεων της αγοράς οδηγεί σε μια νέα πραγματικότητα, το IoT. Το IoT υπόσχεται να δημιουργήσει έναν επαναστατικό, πλήρως διασυνδεδεμένο «έξυπνο» κόσμο, όπου οι σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων και του περιβάλλοντος καθώς και των αντικειμένων και των ανθρώπων θα γίνονται όλο και πιο στενά συνδεδεμένες. Η προοπτική του IoT, ως μια σειρά συσκευών που συνδέονται με το διαδίκτυο, μπορεί να αλλάξει θεμελιωδώς τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται τη σημασία της «απευθείας σύνδεσης». Αυτό το επίπεδο διασύνδεσης θα αποτελέσει ένα όφελος για το σημερινό κόσμο, όπου οι παράγοντες που επηρεάζουν τον κόσμο τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά θα μπορούν να αναλυθούν με βάση διάφορα μοντέλα διασύνδεσης. Για να καταστεί αυτό όμως εφικτό, είναι αναγκαία η χρήση και η αξιοποίηση των υπαρχουσών συνδεδεμένων συσκευών, που παράγουν την «τροφή» των μοντέλων αυτών, αναφερόμενοι στην πληθώρα των παραγόμενων δεδομένων τους.

Αυτό το γεγονός ενισχύει το όραμα για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών επικοινωνίας και την εξεύρεση νέων τρόπων συγχρονισμού όλων των συσκευών αυτών, και συνεπώς τη συλλογή των δεδομένων τους. Ωστόσο, το όραμα αυτό συνοδεύεται από διάφορες συναφείς προκλήσεις, όπως το γεγονός ότι όλα τα δεδομένα συχνά δεν ταιριάζουν στη φύση των πλατφόρμων που τα συλλέγουν, με αποτέλεσμα να μην είναι σε θέση να αναλυθούν με επιτυχία και να παράγουν χρήσιμες γνώσεις από τις πλατφόρμες αυτές. Ως αποτέλεσμα αυτού, προκύπτει η ανάγκη κατασκευής νέων λύσεων για την προσαρμοζόμενη επιλογή, διαχείριση και ανάλυση όλων αυτών των υφιστάμενων δεδομένων. Ωστόσο, προκειμένου να επιτευχθεί η αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, προϋποτίθεται πως τα δεδομένα αυτά θα έχουν συλλεχθεί με επιτυχία από τις εκάστοτε ετερογενείς συσκευές. Για το λόγο αυτό, η αντιμετώπιση της πρόκλησης της ενσωμάτωσης των δεδομένων από τις επιμέρους υπάρχουσες συσκευές πρέπει να επιλυθεί πριν αντιμετωπιστεί το δύσκολο έργο της επιτυχούς ανάλυσης και εκμετάλλευσης όλων των μεγάλων ποσοτήτων των δεδομένων που συλλέγονται. Ωστόσο, η τρέχουσα δεκαετία δεν διαθέτει προς το παρόν καινοτόμες για τη διαχείριση όλων αυτών των υφιστάμενων συσκευών, οι οποίες χαρακτηρίζονται από έναν έντονο βαθμό ετερογένειας μεταξύ τους, ώστε εν τέλει να πραγματοποιείται η επιτυχής εκμετάλλευση των δεδομένων τους. Πιο συγκεκριμένα, οι υπάρχουσες τεχνικές διαχείρισης και ανάλυσης δεν είναι σε θέση ούτε να αντιμετωπίσουν την πολυπλοκότητα των συσκευών, αλλά ούτε να αναγνωρίσουν τη φύση των

συσκευών αυτών, καθώς είναι τόσο στατικές όσο και ευαίσθητες σε νέες ή μεταβαλλόμενες αλλαγές που πραγματοποιούνται στις λειτουργίες και στις απαιτήσεις των συσκευών αυτών. Σαν αποτέλεσμα αυτού, οι εν λόγω τεχνικές δεν είναι σε θέση να ενσωματώσουν αποτελεσματικά και γρήγορα ετερογενείς συσκευές στις αντίστοιχες πλατφόρμες, προσδιορίζοντας κάθε φορά αν κάθε εισερχόμενη συσκευή είναι σχετική με την εκάστοτε πλατφόρμα που θέλει να συνδεθεί, και τελικά έχει νόημα να στείλει τα δεδομένα της. Αν και όλες οι συσκευές αυτές παρέχουν παρόμοια ή ακόμα και ίδια λειτουργικότητα, τα χαρακτηριστικά τους και οι βασικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούν διαφέρουν. Αυτό οδηγεί σε ποικίλες εφαρμογές των συσκευών αυτών, που περιπλέκουν ποια συσκευή είναι κατάλληλη για την εκάστοτε πλατφόρμα. Σαν αποτέλεσμα αυτού, καθίσταται αναγκαία η ύπαρξη ενός αυτοματοποιημένου μηχανισμού ενσωμάτωσης ετερογενών συσκευών, ώστε να παρέχει μια βάση για την ανάκτηση δεδομένων από όλες τις υποκείμενες ετερογενείς συσκευές. Εκτός από αυτό, δεδομένου ότι οι IoT συσκευές χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό ετερογένειας, αναγνωρίζονται ως αξιόπιστες σε διαφορετικές βαθμίδες, παρέχοντας δεδομένα διαφορετικών επιπέδων αξιοπιστίας. Επομένως, η πρόκληση που προκύπτει είναι αφενός η δυσκολία διαχείρισης του μεγάλου αριθμού ετερογενών συσκευών, και αφετέρου η αναγκαιότητα των ίδιων των συσκευών και των δεδομένων που προέρχονται από αυτές να είναι πλήρως αξιόπιστα. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητο όχι μόνο να βρεθεί ένας αυτοματοποιημένος τρόπος σύνδεσης και ενσωμάτωσης όλων των ετερογενών συσκευών σε διαφορετικές IoT πλατφόρμες για τη συλλογή των δεδομένων τους, αλλά και να βρεθεί ένας αυτοματοποιημένος τρόπος υπολογισμού της αξιοπιστίας αυτών των συσκευών σε συνδυασμό με την αξιοπιστία των παραγόμενων δεδομένων τους.

Συνεπώς, για να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά όλες οι προαναφερθείσες προκλήσεις, η παρούσα Διδακτορική Διατριβή επικεντρώθηκε στοχευμένα στις προκλήσεις αυτές. Ειδικότερα, η παρούσα Διδακτορική Διατριβή είχε ως πρωταρχικό σκοπό τη μελέτη, το σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός μοντέλου ανάλυσης, διαχείρισης, και αποθήκευσης δεδομένων παραγόμενων από ετερογενείς IoT συσκευές, επιτρέποντας την ενσωμάτωση του συνεχούς λαμβανόμενου όγκου πληροφοριών από διαφορετικές αυτόνομες και μη ετερογενείς πηγές δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Για το σκοπό αυτό, προτάθηκε μια γενική plug'n'play προσέγγιση για την αυτόματη διαχείριση ετερογενών IoT συσκευών τόσο γνωστού όσο και άγνωστου τύπου, εκτιμώντας τα επίπεδα αξιοπιστίας τους, και συλλέγοντας εν τέλει δεδομένα μόνο από τις αξιόπιστες και σχετικές προς κάθε πλατφόρμα συσκευές. Αυτή η προσέγγιση παρέχεται μέσω ενός καινοτόμου μηχανισμού που είναι διαλειτουργικός, έχοντας τη δυνατότητα αφενός να συνδέεται σε διαφορετικές IoT πλατφόρμες, και αφετέρου να

διευκολύνει την αυτόματη αναγνώριση, αλληλεπίδραση και πρόσβαση σε όλες τις υποκείμενες συσκευές. Πιο συγκεκριμένα, η καινοτομία αυτού του μηχανισμού έγκειται στο γεγονός πως είναι σε θέση να αναγνωρίζει τη φύση των υποκείμενων συσκευών χωρίς να έχει κάποια προηγούμενη ενημέρωση σχετικά με τα χαρακτηριστικά των συσκευών αυτών. Βάσει της εκτεταμένης έρευνας που έχει πραγματοποιηθεί, ο εν λόγω μηχανισμός φαίνεται να είναι ο πρώτος μηχανισμός που προτείνει μια τεχνική αναγνώρισης και ενσωμάτωσης μιας συσκευής χωρίς να διαθέτει καμία προηγούμενη ενημέρωση σχετικά με αυτήν τη συσκευή. Σαν αποτέλεσμα αυτού, ο μηχανισμός αξιοποιεί πλήρως τη λειτουργικότητα της ενσωμάτωσης των συσκευών, προσφέροντας τη δυνατότητα στον εκάστοτε χρήστη να μπορεί να συνδεθεί σε οποιαδήποτε συσκευή του μέσω οποιασδήποτε ΙοΤ πλατφόρμας που χρησιμοποιεί αυτό το μηχανισμό. Επιπλέον, ο μηχανισμός είναι σε θέση να προσδιορίσει αυτόματα αν κάθε εισερχόμενη συσκευή αφενός είναι υψηλής αξιοπιστίας, και αφετέρου σχετίζεται με κάθε συγκεκριμένη ΙοΤ πλατφόρμα που θέλει να συνδεθεί, και ως εκ τούτου τα δεδομένα της σχετίζονται με την πλατφόρμα και πρέπει να συλλεχθούν. Προκειμένου να επιτευχθούν όλα τα προαναφερθέντα, στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή προτάθηκε ένας μηχανισμός τεσσάρων (4) σταδίων. Βάσει αυτού του μηχανισμού, στο πρώτο στάδιο ανιχνεύθηκαν όλες οι διαθέσιμες συσκευές και συνδέθηκαν στο μηχανισμό, ενώ παράλληλα κατηγοριοποιήθηκαν είτε σε γνωστές είτε σε άγνωστες συσκευές, ανάλογα με το αν είχαν συνδεθεί παλαιότερα στο μηχανισμό ή όχι. Ακολούθως, στο δεύτερο στάδιο, πραγματοποιήθηκε η κατηγοριοποίηση και η αντιστοίχιση των εικόνων των άγνωστων συσκευών με μία ή περισσότερες εικόνες των γνωστών συσκευών, προκειμένου να εντοπιστεί ο τύπος συσκευής των άγνωστων συσκευών. Από τη στιγμή που ολοκληρωνόταν η αναγνώριση του τύπου των άγνωστων συσκευών, ο επόμενος στόχος του μηχανισμού ήταν η αναγνώριση της φύσης των API μεθόδων των συνδεδεμένων άγνωστων (αναγνωρισμένων πλέον) συσκευών και η εξαγωγή των μεθόδων εκείνων που ήταν υπεύθυνες για τη συλλογή των δεδομένων τους. Για το σκοπό αυτό, τέθηκε σε εφαρμογή το τρίτο στάδιο του μηχανισμού για την κατανόηση της φύσης και της σημασίας των διαφορετικών API μεθόδων που χρησιμοποιούνταν από τις συσκευές αυτές, έτσι ώστε να συλλέγονται τα δεδομένα τους μέσω των αντίστοιχων API μεθόδων τους. Μόλις ολοκληρωνόταν αυτή η διαδικασία, ο μηχανισμός χρησιμοποιούσε όλες τις αναγνωρισμένες μεθόδους προκειμένου να συγκεντρώνει τα δεδομένα από όλες τις συσκευές αυτές, και να υπολογίσει την αξιοπιστία τους. Για το σκοπό αυτό, εφαρμόστηκε το τέταρτο και τελευταίο στάδιο του μηχανισμού, όπου τα προαναφερθέντα αποτελέσματα σε συνδυασμό με τη διαθεσιμότητα ανά συσκευή παρέχονταν στο μηχανισμό ώστε να είναι σε θέση να καταλήξει εν τέλει στο συμπέρασμα αν κάθε συσκευή θα χαρακτηριζόταν ως αξιόπιστη ή όχι, και επομένως τα δεδομένα της θα διατηρούνταν για περαιτέρω χρήση και ανάλυση.

Συνοψίζοντας λοιπόν, η προσέγγιση που προτάθηκε στα πλαίσια της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής είχε τρεις (3) επιμέρους βασικούς στόχους: (i) την αναγνώριση της φύσης των διαφορετικών συσκευών που είναι κάθε φορά διαθέσιμες για τη σύνδεσή τους στην εκάστοτε πλατφόρμα, καταφέροντας έτσι να συνδέει στις πλατφόρμες αυτές μόνο τις συσκευές που σχετίζονται με αυτές, με την έννοια ότι τα δεδομένα τους είναι σχετικά και χρήσιμα προς τις πλατφόρμες αυτές, (ii) την αυτόματη συλλογή των δεδομένων των συνδεδεμένων συσκευών, καταφέροντας έτσι να παρέχει τη δυνατότητα της διαλειτουργικότητας στην εκάστοτε πλατφόρμα, χωρίς αυτή να χρειάζεται να έχει περαιτέρω γνώση για τα API των συσκευών αυτών και χωρίς να χρειάζεται να παραμετροποιηθεί προκειμένου να είναι σε θέση να συλλέξει τα δεδομένα των συσκευών αυτών, και (iii) την αυτόματη εκτίμηση της αξιοπιστίας τόσο των συνδεδεμένων συσκευών όσο και των παραγόμενων δεδομένων τους, καταφέροντας έτσι η εκάστοτε πλατφόρμα να χρησιμοποιεί και να εκμεταλλεύεται μόνο τα αξιόπιστα και ποιοτικά δεδομένα που προέρχονται από αποκλειστικά αξιόπιστες συσκευές, ελαχιστοποιώντας έτσι τον κίνδυνο εξαγωγής λάθος αποτελεσμάτων, και τη διεκπεραίωση λάθος ενεργειών βάσει λανθασμένων και ελλιπών δεδομένων. Αν κάποιος αναλογιστεί τις προσφορές αυτές τις προτεινόμενης προσέγγισης, καθίσταται ξεκάθαρο πως η προσέγγιση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως στους διαφορετικούς τομείς του ΙοΤ. Ωστόσο, βάσει της έρευνας και των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν, διαπιστώθηκε πως η εφαρμογή της θα είναι εξαιρετικά χρήσιμη για τον τομέα της υγείας.

Ειδικότερα η χρήση των ΙοΤ ιατρικών συσκευών όπως αυτές που παρέχουν εξ αποστάσεως διαβούλευση ή οι διαγνωστικές συσκευές χειρός, έχουν αυξηθεί έντονα σε σύγκριση με την παραδοσιακή υγειονομική περίθαλψη πρωτοβάθμιας περίθαλψης των παλαιότερων εποχών. Είναι προφανές ότι το ΙοΤ καθώς και οι πρόοδοι στην τεχνολογία της συνδεσιμότητας επιτρέπουν στις συσκευές να συλλέγουν, να καταγράφουν και να αναλύουν δεδομένα που δεν ήταν προσιτά πριν. Στην υγειονομική περίθαλψη, αυτό σημαίνει ότι καθίσταται εφικτή η συλλογή δεδομένων ασθενών με την πάροδο του χρόνου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν στην προληπτική φροντίδα, να επιτρέψουν την έγκαιρη διάγνωση οξείων επιπλοκών, να βοηθήσουν στην κατανόηση πώς μια θεραπεία βοηθά στη βελτίωση των παραμέτρων του ασθενούς, καθώς και να προσφέρουν 24ωρη παρακολούθηση των ασθενών χωρίς να επηρεάζουν τη ρουτίνα τους. Το καλύτερο χαρακτηριστικό σχετικά με αυτές τις συσκευές είναι ότι έχουν ενσωματωμένα χαρακτηριστικά αυτοπαρακολούθησης που προάγουν την υγιεινή διαβίωση, καθώς και μειώνουν το κόστος. Μετά την άνοδο των χρόνιων ασθενειών, οι άνθρωποι επιλέγουν την οικιακή υγειονομική περίθαλψη για τις νοσοκομειακές υπηρεσίες, καθώς είναι μια αποτελεσματική και οικονομικά

αποδοτική θεραπεία. Ως εκ τούτου, οι ιατρικές IoT συσκευές βοηθούν στη διαχείριση χρόνιων παθήσεων όπως είναι οι καρδιακές παθήσεις, ο διαβήτης, και το άσθμα, παρακολουθώντας τα ζωτικά συμπτώματα όπως το σωματικό λίπος, το επίπεδο οξυγόνου στο αίμα, τον καρδιακό ρυθμό, και την αναπνοή. Ωστόσο, όπως όλες οι συσκευές, έτσι και οι ιατρικές IoT συσκευές χαρακτηρίζονται από υψηλούς βαθμούς ετερογένειας, όσον αφορά την ύπαρξη διαφορετικών δυνατοτήτων, λειτουργιών και πρωτοκόλλων δικτύου. Σε ένα τέτοιο σενάριο, είναι απαραίτητο να παρέχονται αφαιρέσεις για αυτές τις συσκευές προς όφελος των πλατφόρμων/εφαρμογών και τελικών χρηστών που τις χρησιμοποιούν, καθώς και των μέσων για τη διαχείριση της διαλειτουργικότητας μεταξύ αυτών των ετερογενών στοιχείων. Με πάνω από 6 εκατομμύρια ιατρικές συσκευές στην αγορά, οι πληροφορίες σχετικά με αυτές είναι συχνά δύσκολο να αντιμετωπιστούν, καθώς απαιτούν τη χειροκίνητη εισαγωγή τους, οδηγώντας σε υψηλό κίνδυνο ελαττωματικών, ασυνεπών και ελλιπών δεδομένων. Καθίσταται λοιπόν ξεκάθαρο, πως ειδικά στον κόσμο της υγείας, η ανάγκη για επικοινωνία και αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών συσκευών είναι ένα ζήτημα ζωτικής σημασίας. Παράλληλα, λόγω του μεγάλου αριθμού ιατρικών συσκευών που κυκλοφορούν και χρησιμοποιούνται, η αξιοπιστία των παραγόμενων δεδομένων των συσκευών αυτών είναι αρκετά αμφιλεγόμενη. Η αποτυχία των ιατρικών συστημάτων και σαν αποτέλεσμα η παραγωγή εσφαλμένων δεδομένων, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα πολύ σοβαρές ιατρικές επιπτώσεις. Έτσι, προκύπτει η ανάγκη για την εκτίμηση της αξιοπιστίας των ιατρικών συσκευών που απαιτείται πέρα από κάθε άλλη φορά να είναι πολύ υψηλών επιπέδων. Η προτεινόμενη προσέγγιση της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής έρχεται να αντιμετωπίσει ακριβώς όλα τα προαναφερθέντα κενά που υφίστανται στο χώρο της υγείας, αφού είναι σε θέση να ενσωματώνει δυναμικά τις ετερογενείς ιατρικές συσκευές στις διάφορες ιατρικές πλατφόρμες και συστήματα, να συλλέγει αυτόματα τα δεδομένα των συσκευών αυτών, ενώ παράλληλα να αξιολογεί τα επίπεδα αξιοπιστίας των συσκευών και των δεδομένων τους, συλλέγοντας έτσι αξιόπιστα δεδομένα πραγματικού χρόνου που έχουν μεγάλη σημασία για την καθημερινή ζωή των ασθενών.

Συνεπώς, έχοντας μελετήσει σε βάθος το επιτακτικό θέμα της ενσωμάτωσης ετερογενών συσκευών σε πολλαπλές πλατφόρμες διαφορετικών IoT τομέων, και ειδικά του τομέα της υγείας, γίνεται σαφές πως η προτεινόμενη προσέγγιση της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής μπορεί κάλλιστα να προσφέρει και να συμβάλλει με τη συνεισφορά της σε αυτό το κομμάτι, θεωρούμενη ως μία καινοτομία και πολλά υποσχόμενη προσέγγιση. Ειδικότερα, η καινοτομία της εν λόγω προσέγγισης μπορεί να επαληθευτεί από το γεγονός πως παρόλο που έχουν προταθεί διάφορες προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση των προαναφερθέντων

προκλήσεων, καμία από αυτές δεν προτείνει μία γενική προσέγγιση που θα μπορεί να εφαρμοστεί σε διαφορετικά σενάρια και τομείς, καθώς η κάθε μία από αυτές βασίζεται σε συγκεκριμένες τεχνολογίες, χαρακτηριστικά και απαιτήσεις. Σαν αποτέλεσμα αυτού, όλες αυτές οι προσεγγίσεις δεν έχουν επαρκή ευελιξία και προσαρμοστικότητα σε ετερογενείς εισερχόμενες συσκευές, καθώς δεν υποστηρίζουν μια γενική προσέγγιση που είναι σε θέση να διαχειρίζεται διάφορες ετερογενείς συσκευές τόσο γνωστού όσο και άγνωστου τύπου για να συγκεντρώνουν τελικά τα δεδομένα τους. Καμία από αυτές τις προσεγγίσεις δεν χρησιμοποιεί μεθόδους για την αποτελεσματική και ταχεία ενσωμάτωση ετερογενών συσκευών τόσο γνωστού όσο και άγνωστου τύπου, καθώς και καμία από αυτές δεν είναι δημιουργημένη με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να εφαρμόζεται σε διαφορετικές πλατφόρμες και συστήματα που μπορούν να επωφεληθούν από τις προσφερόμενες λειτουργίες της. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει πως η προτεινόμενη προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί ως καινοτόμα, επιτυγχάνοντας το σκοπό της αναγνώρισης και ενσωμάτωσης τόσο των γνωστών όσο και των άγνωστων συσκευών, συγκεντρώνοντας έτσι τα δεδομένα τους, γεγονός που επαληθεύτηκε και από τα τελικά αποτελέσματα των πειραμάτων της. Παράλληλα, ο μηχανισμός της προτεινόμενης προσέγγισης έχει υλοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να ενσωματώνεται σε διαφορετικούς τύπους πλατφόρμων/εφαρμογών, καθώς όλες οι επιμέρους λειτουργίες της ακολουθούν μία γενική λογική. Έτσι λοιπόν, με την εφαρμογή της προτεινόμενης προσέγγισης της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής επιτυγχάνεται η ανάπτυξη μιας καινοτόμου προσέγγισης που μπορεί να είναι διαλειτουργική και να συνδεθεί με διαφορετικές IoT πλατφόρμες/εφαρμογές, ανεξάρτητα από τη φύση και τη μορφή των συσκευών που αυτές μπορούν να διαχειρίζονται. Ως αποτέλεσμα αυτού, όλες οι υπάρχουσες IoT συσκευές, ανεξάρτητα από τις περιεχόμενες προδιαγραφές και το τύπο τους, μπορούν εύκολα να ανακαλυφθούν και να διαχειριστούν από αυτές τις πλατφόρμες. Κατά συνέπεια, για το τελευταίο δεν υπάρχει ανάγκη προγραμματισμού διαφορετικών εφαρμογών για την αντιμετώπιση κάθε συγκεκριμένης νέας συσκευής που πρέπει να συνδεθεί με αυτήν, ώστε να προσφέρει τα δεδομένα της. Αντίθετα, εφόσον η υλοποιημένη προσέγγιση θεωρείται ότι είναι μια προσέγγιση που μπορεί να συνδεθεί μέσω διασταυρούμενων συσκευών (pluggable cross-device approach), μπορεί να χρησιμοποιηθεί από όλες αυτές τις πλατφόρμες, προσφέροντάς τους τη δυνατότητα να αλληλοεπιδρούν με οποιαδήποτε συσκευή επιθυμούν, οποτεδήποτε το επιθυμούν, και για όσο διάστημα επιθυμούν να διατηρήσουν την εκάστοτε αλληλεπίδραση.

5.2 Ανοιχτά Ερευνητικά Θέματα

Αν και τα CPS έχουν εφαρμοστεί σε πολλούς τομείς, έχοντας σημειώσει μεγάλη πρόοδο, βρίσκονται ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Πολλές σύγχρονες εφαρμογές στον ψηφιακό κόσμο απαιτούν εγγυημένα (εξαιρετικά υψηλή) κατανάλωση ενέργειας και/ή (εξαιρετικά) χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, καθώς και υψηλή επεκτασιμότητα, και ασφάλεια. Ως εκ τούτου, οι εφαρμογές των CPS αντιμετωπίζουν αρκετές προκλήσεις, όπως η ασφάλεια και η ιδιωτικότητα, η αποτελεσματικότητα, και η διαλειτουργικότητα. Τα CPS είναι ευάλωτα σε αποτυχίες και επιθέσεις τόσο στα μέρη του φυσικού όσο και του ψηφιακού τους κόσμου, λόγω της επεκτασιμότητας, της πολυπλοκότητας και του δυναμικού τους χαρακτήρα. Η χρήση ενός δικτύου μεγάλης κλίμακας (όπως το Διαδίκτυο), η υιοθέτηση ανασφαλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας, η βαριά χρήση των παλαιότερων συστημάτων και η ταχεία υιοθέτηση εμπορικών τεχνολογιών είναι οι βασικοί παράγοντες που καθιστούν τα CPS εκτεθειμένα στις ποικίλες απειλές ασφάλειας. Επιπλέον, πολλές από τις εφαρμογές των CPS αναφέρονται σε μεγάλης κλίμακας συστήματα. Κάθε πεδίο του CPS έχει ένα αυτοτελές σύνολο μοντέλων, γλώσσες και μεθόδους. Σαν αποτέλεσμα αυτού, καθίσταται δύσκολη η απομάκρυνση των συνηθειών και η ομαλή ενσωμάτωση μεταξύ ετερογενών συστημάτων σε ένα CPS. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το γεγονός πως τα CPS συνδέονται στενά με τις τελευταίες τεχνολογίες των Cloud, IoT και Big Data, οι οποίες αλληλοεπιδρούν κατά την εφαρμογή αυτών, και συνεπώς οι μελλοντικές έρευνες θα πρέπει να δώσουν ιδιαίτερη προσοχή στην κάθε μία από αυτές.

Σε αυτό το πλαίσιο, ιδιαίτερα οι τεχνολογίες του IoT πρέπει να μελετηθούν διεξοδικά, λαμβάνοντας υπόψη τη μαζική ψηφιοποίησή του, η οποία πρόκειται να μετασχηματίσει πολλές βιομηχανίες. Έχοντας προσδιοριστεί από το Gartner ως ένα δίκτυο φυσικών αντικειμένων που περιέχουν ενσωματωμένη τεχνολογία για να επικοινωνούν, να ανταλλάσσονται και να αλληλοεπιδρούν με τις εσωτερικές τους καταστάσεις ή το εξωτερικό περιβάλλον, οι δυνατότητες του IoT είναι ατελείωτες. Η Cisco [474] προβλέπει ότι 500 δισεκατομμύρια συσκευές αναμένεται να συνδεθούν στο διαδίκτυο έως το 2030. Αυτή η πληθώρα συνδεδεμένων συσκευών, ποικίλει από έξυπνες μηχανές και αισθητήρες έως ρομπότ και συστήματα πληροφοριών, ενώ έχει οδηγήσει στην παραγωγή μαζικών δεδομένων. Προκειμένου να αξιοποιηθούν πλήρως και με επιτυχία όλα αυτά τα δεδομένα, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε ορισμένες θεμελιώδεις απαιτήσεις, όπως ο αριθμός των αισθητήρων στα περικλείοντα περιβάλλοντα, τα διαφορετικά είδη των παραγόμενων δεδομένων που πρέπει να αντιμετωπίζονται, η τοπολογία του δικτύου, οι χρόνοι απόκρισης που απαιτούνται, τα είδη αλγορίθμων που απαιτούνται για την επεξεργασία και την ανάλυση των παραγόμενων δεδομένων,

και οι απαιτήσεις των διεπαφών χρήστη και εφαρμογών σε σύγκριση με τα κινητά και τους επιτραπέζιους υπολογιστές. Είναι αρκετά σημαντικό, και στις περισσότερες περιπτώσεις κρίσιμης σημασίας, οι ερευνητές να ρωτούν: Ποια μέτρα ασφαλείας ισχύουν σε ολόκληρο το οικοσύστημα για να αποφευχθούν οι επιθέσεις στον ψηφιακό κόσμο; Σε πολλές εφαρμογές κρίσιμης σημασίας, τα γενικά έξοδα ασφαλείας που απαιτούνται για τον μετριασμό των κινδύνων θα μπορούσαν να αντισταθμίσουν σημαντικά τα οικονομικά οφέλη των ίδιων των δεδομένων. Επομένως, πρέπει να εξεταστεί προσεκτικά ποιος, τι και πώς κατασκευάζεται το εκάστοτε σύστημα και πόσο καλά θα λειτουργήσει για να ικανοποιήσει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Παρότι αυτά τα πιθανά προβλήματα θα μπορούσαν να αποθαρρύνουν τους υπάρχοντες οργανισμούς/επιχειρήσεις από την υιοθέτηση των IoT τεχνολογιών, οι περισσότεροι από αυτούς έχουν «πιστέψει» στο όραμα του IoT, έχοντας ενσωματώσει ευρέως τις τεχνολογίες του στα συστήματά τους. Ειδικότερα, σε μία έρευνα της IDC το 2015 [476], το 58% των 2300 στελεχών που ερωτήθηκαν δήλωσαν ότι το IoT ήταν κομβικό για την επιχείρησή τους, ενώ το 48% των επιχειρήσεων έχουν ήδη αναπτύξει λύσεις IoT σήμερα. Η αυτοκινητοβιομηχανία είναι ίσως η πιο προηγμένη βιομηχανία μεταξύ όλων των υπολοίπων, όπου εκτιμάται πως το 80% των οχημάτων κατασκευάζονται σήμερα από ρομπότ. Μια νέα γενιά συνεργαζόμενων ρομπότ (Cooperating Robots, cobots) που συνεργάζονται με ανθρώπους, έχουν ήδη υλοποιηθεί με τη βοήθεια του IoT.

Γενικότερα, ο συνδυασμός αισθητήρων σε οχήματα, σε περιβάλλοντα εργοστασίων, σε περιπτώσεις παρακολούθησης της υγείας και σε πολλούς άλλους τομείς εφαρμογών έχουν δημιουργήσει τον όρο συγχώνευση αισθητήρων (sensor fusion). Αυτές οι συσκευές υπάρχουν και λειτουργούν συνήθως στην άκρη των δικτύων (edge) και οι υποδομές πληροφορικής συγκλίνουν με αυτή την τεχνολογία, δημιουργώντας έτσι πλατφόρμες υπολογιστών υψηλής απόδοσης που συνδυάζουν λειτουργική τεχνολογία και παραδοσιακά συστήματα πληροφορικής. Αυτή η πρόοδος έχει την ικανότητα να ενσωματώνει το IoT σε εξαιρετικά μεγάλη κλίμακα και δίνει τη δυνατότητα ανάπτυξης λύσεων Τεχνητής Νοημοσύνης και Μηχανικής Μάθησης όχι μόνο στο υπολογιστικό νέφος αλλά και σε έξυπνες συσκευές ή μηχανές. Αυτές οι λύσεις παρέχουν έναν τρόπο διαχείρισης του μεγάλου αριθμού παραγόμενων δεδομένων χωρίς να διακυβεύονται οι επιδόσεις και η ασφάλεια. Ένα εξαιρετικό παράδειγμα μιας συσκευής IoT είναι οι νέοι αναδυόμενοι έξυπνοι μετρητές για τα νοικοκυριά. Η πρώτη γενιά των αποκαλούμενων έξυπνων μετρητών περιλάμβανε συσκευές που δεν ήταν καθόλου έξυπνες, παρουσιάζοντας συνολική κατανάλωση ενέργειας ενός σπιτιού. Ωστόσο, οι νέοι έξυπνοι μετρητές είναι πλέον σε θέση να συλλέγουν πολύ περισσότερα δεδομένα, να τα αναλύουν σε πραγματικό χρόνο, και να παρουσιάζουν την

κατανάλωση ενέργειας ανά συνδεδεμένη συσκευή με το εκάστοτε σπίτι. Συνδυάζοντας τις τεχνικές της Τεχνητής Νοημοσύνης και της Μηχανικής Μάθησης στις συσκευές αυτές, καθίσταται πλέον εφικτή όχι μόνο η αναγνώριση του τύπου της συσκευής αλλά και της κατάστασής της, καθώς μπορούν να εντοπίζονται ελαττωματικές συσκευές ή συσκευές που έχουν παραμείνει ενεργοποιημένες. Δεν υπάρχει αμφιβολία λοιπόν πως η μαζική ψηφιοποίηση έχει μεταμορφώσει και θα μεταμορφώσει την καθημερινότητα των ανθρώπων. Συνεπώς, καθίσταται ξεκάθαρο πως μέσα σε λίγα χρόνια, το IoT είχε μια βαθιά επίδραση στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων, έχοντας συμβάλει και σκοπεύοντας να συμβάλει σημαντικά σε αυτές. Είναι αδιαμφισβήτητο πως το IoT αυξάνεται με ταχείς ρυθμούς και οι συσκευές που είχαν προηγουμένως μόνο μερικές λειτουργίες γίνονται όλο και πιο προχωρημένες. Συγκεκριμένα, μόνο το 2019, περίπου 3,6 δισεκατομμύρια συσκευές που ήταν συνδεδεμένες στο διαδίκτυο χρησιμοποιήθηκαν για καθημερινές εργασίες [476]. Οι ειδικοί των δεδομένων έχουν αναλύσει αυτό το γεγονός και έχουν καταλήξει πως το IoT πιθανότατα θα αυξηθεί και θα συνεχίσει να αυξάνεται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Πιο συγκεκριμένα, ο αριθμός των διαδικτυακά συνδεδεμένων συσκευών ξεπέρασε τον αριθμό των ανθρώπων του πλανήτη το 2011, ενώ το 2020 αναμένεται να κυμανθεί μεταξύ 26 και 50 εκατομμυρίων, ενώ σύμφωνα με την εταιρεία βιομηχανικών αναλύσεων IDC, η εγκατεστημένη βάση για το IoT θα αυξηθεί σε περίπου 212 δισεκατομμύρια συσκευές έως το 2020 [477].

5.2.1 Μελλοντικές Προκλήσεις του κόσμου του Διαδικτύου των Αντικειμένων

Καθώς ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών συνεχίζει να αυξάνεται με τις τελευταίες να συνδέονται στον IoT κόσμο έχοντας ως αποτέλεσμα περισσότερα δεδομένα να συνεχίζουν να μεταφορτώνονται και να αποθηκεύονται, το μεγάλο αυτό μέγεθος του IoT προβλέπεται να προκαλέσει πολυάριθμες προκλήσεις. Για να αξιοποιηθούν λοιπόν στο έπακρον όλες οι προσφερόμενες πτυχές του IoT, πρέπει πέρα από τη δεκτικότητα και τη θέληση της ενσωμάτωσης των τεχνολογιών αυτών από τους υφιστάμενους σημερινούς οργανισμούς/συστήματα, στην καθημερινότητα των ανθρώπων, να λαμβάνονται υπόψη από τους αντίστοιχους αυτούς οργανισμούς/συστήματα και οι ποικίλες προκλήσεις που συνοδεύονται από όλες αυτές τις προσφορές.

Σε αυτό το πλαίσιο, μία από τις βασικές ανησυχίες σχετικά με το μέλλον των συσκευών IoT, είναι η ασφάλεια. Το IoT έχει ήδη μετατραπεί σε μια σοβαρή ανησυχία για την ασφάλεια, η οποία έχει προσελκύσει την προσοχή διακεκριμένων τεχνολογικών εταιρειών και κυβερνητικών οργανισμών σε ολόκληρο τον κόσμο. Η πειρατεία των μόνιτορ, των έξυπνων ψυγείων, των θερμοστατών, των αντλιών έγχυσης φαρμάκων, ακόμα και των φωτογραφικών μηχανών υποδηλώνει έναν εφιάλητη ασφαλείας που προκαλείται από το μέλλον του διαδικτύου. Λόγω του μεγάλου αριθμού των νέων κόμβων που προστίθενται στο διαδίκτυο, παράγονται κακόβουλα λογισμικά με αμέτρητους φορείς επίθεσης και δυνατότητες για να διεκπεραιώσουν τις κακόβουλες ενέργειές τους, ειδικά επειδή ένας σημαντικός αριθμός από αυτούς υποφέρουν από κενά ασφαλείας. Αυτός ο φόβος επιβεβαιώθηκε με μια μαζική κατανεμημένη επίθεση άρνησης υπηρεσίας που κατέστρεψε τους διακομιστές υπηρεσιών όπως το Twitter, το Netflix, το NYTimes και το PayPal στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής στις 21 Οκτωβρίου του 2016 [478], ενώ ταυτόχρονα διάφορες ενδείξεις υποδήλωσαν ότι αμέτρητες IoT συσκευές που τροφοδοτούσαν την καθημερινή τεχνολογία, όπως οι κάμερες κλειστού κυκλώματος και οι έξυπνες οικιακές συσκευές, επηρεάστηκαν από το κακόβουλο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε εναντίον των διακομιστών. Έτσι, καθώς περισσότερες συσκευές διασυνδέονται, εκτός και αν είναι καλά ασφαλείς, μπορεί να προκαλέσουν έντονα προβλήματα ασφαλείας. Οι κακόβουλοι χρήστες μπορούν εύκολα να εισέλθουν σε ένα ολόκληρο δίκτυο έστω και αν μία από τις συσκευές δεν είναι επαρκώς προστατευμένη. Αυτό σημαίνει ότι οι εταιρείες θα πρέπει να δαπανήσουν πολλά χρήματα για να εξασφαλίσουν τις IoT συσκευές που χρησιμοποιούν στα επιμέρους συστήματά τους. Το πρόβλημα αυτό γίνεται ακόμη πιο έντονο όταν κάποιος λαμβάνει υπόψη ότι δεν υπάρχουν συγκεκριμένοι νόμοι που να καλύπτουν τα πολυάριθμα επίπεδα λογισμικού των

συσκευών αυτών. Όλη αυτή η κατάσταση εμπίπτει στην ευρύτερη έννοια του «Malware of Internet of Things» που μπορεί να παραβιάσει οποιαδήποτε συσκευή στο φάσμα του IoT. Ωστόσο, η πιο σημαντική μετατόπιση της ασφάλειας θα προκύψει από το γεγονός ότι η ύπαρξη των τεχνολογιών του IoT θα είναι πιο έντονη στην καθημερινότητα των ανθρώπων, με αποτέλεσμα η ζωή και η υγεία των ανθρώπων να μπορεί να γίνει ο στόχος των επιθέσεων του διαδικτύου. Συνεπώς, η αντιμετώπιση της συγκεκριμένης πρόκλησης καθίσταται πέρα από κάθε άλλη φορά αναγκαία.

Ωστόσο, εκτός από το τμήμα της ασφάλειας, μια μεγάλη πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι η αύξηση της ταχύτητας και της προσβασιμότητας όλων αυτών των συσκευών. Όσο περισσότερες συσκευές είναι συνδεδεμένες σε δίκτυο, τόσο πιο αργά θα πραγματοποιείται η σύνδεσή τους. Ειδικότερα, η σύνδεση πολλών συσκευών θα αποτελέσει μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις του μέλλοντος του διαδικτύου και θα αφηγήσει την ίδια τη δομή των σημερινών μοντέλων επικοινωνίας και των βασικών τεχνολογιών. Προς το παρόν, τα υπάρχοντα IoT συστήματα βασίζονται στο κεντρικό μοντέλο διακομιστή/πελάτη για τον έλεγχο ταυτότητας, την εξουσιοδότηση και τη σύνδεση διαφορετικών κόμβων σε ένα δίκτυο. Αυτό το μοντέλο επαρκεί για τα τρέχοντα οικοσυστήματα IoT, όπου εμπλέκονται δεκάδες, εκατοντάδες ή και χιλιάδες συσκευές. Όταν όμως τα δίκτυα μεγαλώσουν προκειμένου να είναι σε θέση να ενώνουν τα δισεκατομμύρια και εκατοντάδες δισεκατομμύρια υπάρχουσες συσκευές, τα συστήματα αυτά θα μετατραπούν σε εμπόδια. Τέτοια συστήματα απαιτούν επενδύσεις και δαπάνες για τη διατήρηση των διακομιστών των υπολογιστικών νεφών που μπορούν να χειριστούν τις τόσο μεγάλες ποσότητες ανταλλαγής πληροφοριών, ενώ ολόκληρα συστήματα μπορούν να τεθούν εκτός λειτουργίας εάν ο διακομιστής δεν είναι διαθέσιμος. Έτσι, το μέλλον του IoT θα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αποκέντρωση των δικτύων του. Αυτό μπορεί να καταστεί εν μέρει εφικτό με τη μετακίνηση της λειτουργικότητας προς την άκρη των δικτύων, χρησιμοποιώντας έτσι τα μοντέλα υπολογιστικής ομίχλης όπου έξυπνες συσκευές, όπως οι κόμβοι IoT, αναλαμβάνουν κρίσιμες λειτουργίες και οι διακομιστές των υπολογιστικών νεφών αναλαμβάνουν τη συλλογή και την ανάλυση των συλλεχθέντων δεδομένων. Άλλες λύσεις θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν τη χρήση επικοινωνιών από ομότιμους χρήστες, όπου οι συσκευές θα εντοπίζουν και θα επαληθεύουν άμεσα η μία την άλλη, ανταλλάσσοντας πληροφορίες χωρίς την ύπαρξη ενός διαμεσολαβητή. Ωστόσο, όπως είναι λογικό, αυτό το μοντέλο θα επιφέρει τις δικές του προκλήσεις, ιδίως από την άποψη της ασφάλειας. Βέβαια οι προκλήσεις αυτές θα μπορούν επιτυχώς να αντιμετωπιστούν με ορισμένες από τις αναδυόμενες τεχνολογίες του διαδικτύου, όπως το Blockchain.

Ωστόσο, και πάλι αυτό δεν αρκεί για την επιτυχή εφαρμογή των IoT τεχνολογιών. Όταν πρόκειται για την πραγματική σύνδεση συσκευών IoT, είναι επίσης πιθανό να προκύψουν προβλήματα συμβατότητας. Δεδομένου ότι το διαδίκτυο αυξάνεται σε πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις, με πολλές διαφορετικές τεχνολογίες, οι οποίες ανταγωνίζονται μεταξύ τους για να γίνουν το πρότυπο στον τομέα τους, θα προκαλέσει δυσκολίες και θα απαιτήσει την ανάπτυξη πρόσθετου υλικού και λογισμικού για τη σύνδεση των συσκευών. Ειδικότερα, όλοι αυτοί οι διαφορετικοί τύποι συνδεδεμένων συσκευών χαρακτηρίζονται συνήθως από υψηλό βαθμό ετερογένειας, όσον αφορά την ύπαρξη διαφορετικών δυνατοτήτων, λειτουργιών και πρωτοκόλλων δικτύου. Σε ένα τέτοιο σενάριο, είναι απαραίτητο να παρέχονται πιο ευρείες προσεγγίσεις για την αλληλεπίδραση με τις συσκευές αυτές, καθώς και μέσα διαχείρισης της διαλειτουργικότητας μεταξύ αυτών των ετερογενών στοιχείων. Επομένως, η πρόκληση που ανακύπτει και πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι πως όλες αυτές οι συσκευές χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό ετερογένειας, απαιτώντας την δημιουργία και ύπαρξη εξατομικευμένων εφαρμογών για να είναι ικανές να αλληλοεπιδρούν με κάθε διαφορετική συσκευή, και να εντοπίζουν και να κατανοούν τη φύση της (δηλαδή τον τύπο, τον σκοπό, και τη λειτουργικότητα) προκειμένου να χρησιμοποιούν τις ιδιότητες και τα δεδομένα της. Συνεπώς, όσες IoT εφαρμογές/πλατφόρμες χρειάζονται τα δεδομένα αυτών των συσκευών, θα πρέπει να περιέχουν μηχανισμούς που θα είναι ανεξάρτητοι από τις δυνατότητες, τις λειτουργίες και τα χαρακτηριστικά των συσκευών, και θα μπορούν να εντοπίζουν δυναμικά και ταχύτατα όλες αυτές τις ετερογενείς IoT συσκευές, των οποίων επιθυμούν να συγκεντρώνουν τα δεδομένα τους. Ειδικά αυτή η πρόκληση έχει αναγνωριστεί εδώ και πολύ καιρό, έχοντας χαρακτηριστεί ως μείζονος σημασίας, και για το λόγο αυτό η παρούσα Διδακτορική Διατριβή επικεντρώθηκε κατά κόρον στην αποτελεσματική επίλυσή της. Βέβαια, σε σχέση με τη συμβατότητα των υπαρχουσών συσκευών, υπάρχουν και άλλες πτυχές που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Άλλα προβλήματα συμβατότητας προέρχονται από τις μη ενοποιημένες υπηρεσίες υπολογιστικών νεφών, την έλλειψη τυποποιημένων M2M πρωτοκόλλων και διαφοροποιήσεις στο υλικό, στο λογισμικό, και στα λειτουργικά συστήματα μεταξύ των διαφορετικών IoT συσκευών. Ορισμένες από αυτές τις τεχνολογίες αναμένεται να καταστούν παρωχημένες τα επόμενα χρόνια, πράγμα που θα καθιστά άχρηστες τις συσκευές που τις εφαρμόζουν. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, δεδομένου ότι σε αντίθεση με τις γενικές συσκευές υπολογιστών που έχουν διάρκεια ζωής λίγων ετών, οι IoT συσκευές (όπως τα έξυπνα ψυγεία ή οι τηλεοράσεις) τείνουν να λειτουργούν για πολύ περισσότερο χρόνο, ακόμη και αν ο κατασκευαστής τους βγαίνει εκτός λειτουργίας. Έτσι, η ασυμβατότητα και η ετερογένεια των συσκευών συγκαταλέγονται στις σημαντικότερες προκλήσεις των συσκευών του διαδικτύου του μέλλοντος, οι οποίες θα πρέπει σίγουρα να αντιμετωπιστούν.

Όλα τα προαναφερθέντα, καθιστούν μόνο μερικές από τις πιθανές προκλήσεις που θα μπορούσαν να αντιμετωπίσουν οι ΙοΤ συσκευές του μέλλοντος. Ενώ τα υπάρχοντα συστήματα είναι σε θέση να χειριστούν τις σημερινές απαιτήσεις, καθώς εισάγονται και συνδέονται περισσότερες συσκευές, τα συστήματα αυτά θα ωθηθούν στα όριά τους. Όλα αυτά τα θέματα είναι εξαιρετικά σημαντικά στον τομέα της υγείας, η οποία έχει έντονα επηρεαστεί από την εισαγωγή των τεχνολογιών ΙοΤ, γεγονός που έχει οδηγήσει στη δημιουργία της Υγειονομικής Περιθαλψής 4.0. Ειδικότερα, η Υγειονομική Περιθαλψη 4.0 προβλέπει τη δημιουργία ενός συστήματος όπου όλοι και όλα θα συνδέονται μέσω φορητών συσκευών, ενώ κάθε σημείο δεδομένων των ασθενών θα καταγράφεται χωρίς να επηρεάζεται από την τρέχουσα τοποθεσία αυτών. Μια έρευνα που διεξήχθη από τη Forbes προβλέπει ότι μέχρι το τέλος του 2019, το 87% των εταιρειών υγειονομικής περίθαλψης θα ενσωματώσουν το ΙοΤ στις επιχειρηματικές τους δραστηριότητες. Για παράδειγμα τα Έξυπνα Νοσοκομεία (Smart Hospitals) θα μπορούν να χρησιμοποιήσουν το σύστημα διαχείρισης νοσοκομείων για τη βελτίωση της ευημερίας των ανθρώπων με τη βοήθεια τακτοποιημένων και παρακολουθούμενων ελέγχων υγείας, γρήγορων διαβουλεύσεων, συνταγογράφησης κατάλληλων φαρμάκων, συνεννόησης με τον ιατρό, καλύτερης και αποτελεσματικής κατανόησης των ασθενών, ιατρικό ιστορικό και πολλά άλλα τέτοια χαρακτηριστικά. Κατά τη διάρκεια του 2019, θα υπάρχει συνεχής απαίτηση για τα νοσοκομεία αυτά να συντονίζονται με τους ασθενείς και να κατανοούν τα αιτήματά τους. Επομένως καθίσταται πιο ξεκάθαρο από ποτέ, πως οι τάσεις της τεχνολογίας της υγειονομικής περίθαλψης συνεχίζουν να οδηγούν την ανάπτυξη του ιατρικού κλάδου. Μεταξύ των τάσεων του 2019, τίποτα δεν έχει τραβήξει περισσότερο το ενδιαφέρον από την ψηφιοποίηση της υγείας. Πόσο γρήγορα λοιπόν μεγαλώνει αυτή η αγορά; Το 2016, η παγκόσμια αγορά ψηφιακής υγείας εκτιμήθηκε σε 179,6 δισεκατομμύρια δολάρια. Μέχρι το 2025, η ψηφιακή αγορά υγειονομικής περίθαλψης αναμένεται να φτάσει τα 536,6 δισεκατομμύρια δολάρια. Με άλλα λόγια, πρόκειται για τη δημιουργία μίας βιομηχανίας μισού τρισεκατομμυρίου δολαρίων, η οποία ίσα που έχει αρχίσει να αναπτύσσεται. Οι νέες τάσεις ειδικά στον τομέα της τεχνολογίας της υγειονομικής περίθαλψης είναι πάντα συναρπαστικές. Από την εφεύρεση της μηχανής ακτινών Χ σε σύγχρονους σαρωτές 3D MRI, κάθε ένα από τα ευρήματα αυτά αυξάνει την ποιότητα ζωής για εκατομμύρια ανθρώπους. Ωστόσο, με περισσότερα από 6 εκατομμύρια ιατρικές συσκευές στην αγορά, οι πληροφορίες σχετικά με αυτές είναι συχνά δύσκολο να διαχειριστούν, αφού όλες αυτές απαιτούν εξατομικευμένη διαχείριση για την αποστολή των δεδομένων τους, οδηγώντας έτσι σε υψηλό κίνδυνο εσφαλμένων, ασυνεπών και ελλιπών δεδομένων.

Στο πλαίσιο αυτό, συνδυάζοντας την ανάπτυξη του IoT με τις τεχνολογίες τηλεϊατρικής, δημιουργήθηκε ένας νέος τύπος διαδικτύου, το Διαδίκτυο των Ιατρικών Αντικειμένων (Internet of Medical Things, IoMT). Αυτή η προσέγγιση περιλαμβάνει τη χρήση ενός αριθμού φορητών συσκευών, συμπεριλαμβανομένων των οθονών ECG και EKG, μέσω των οποίων μπορούν να λαμβάνονται πολλές κοινές ιατρικές μετρήσεις, όπως η θερμοκρασία του δέρματος, το επίπεδο γλυκόζης και οι μετρήσεις της πίεσης του αίματος μεταξύ άλλων. Μέχρι το 2017, σχεδόν το 60% των δραστηριοτήτων στον τομέα της υγείας είχαν υιοθετήσει συστήματα IoT ή IoMT, σύμφωνα με τους Frost και Sullivan [479]. Μεταξύ 20 και 30 δισεκατομμύρια IoMT συσκευών αναμένεται να αναπτυχθούν μέχρι το 2020, ενώ μέχρι το 2021, η αγορά IoT συσκευών στην υγειονομική περίθαλψη αναμένεται να φθάσει τα 136 δισεκατομμύρια δολάρια, σύμφωνα με την Allied Market Research [480]. Με την άφιξη νέων μεθόδων παράδοσης, όπως το πρώτο έξυπνο χάπι που εγκρίθηκε το 2017 από την FDA, οι επαγγελματίες θα έχουν πολλές ενδιαφέρουσες επιλογές για την παροχή φροντίδας με πιο αποτελεσματικό τρόπο. Η παροχή συνεπούς και αποτελεσματικής επικοινωνίας με πολλές ιατρικές IoT συσκευές είναι μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο τομέας. Οι κατασκευαστές εξακολουθούν να χρησιμοποιούν τα δικά τους πρωτόκολλα για να επικοινωνούν οι συσκευές τους με τον εξωτερικό (ψηφιακό) κόσμο, κάτι που μπορεί να παρουσιάσει προβλήματα, ειδικά όταν αυτές προσπαθούν να συλλέγουν μεγάλα ποσά δεδομένων από τους αντίστοιχους διακομιστές. Τα ζητήματα λοιπόν συνδεσιμότητας εξακολουθούν να υπάρχουν, καθώς η συλλογή δεδομένων από τους διακομιστές αυτούς μπορεί να διαταραχθεί από διάφορους παράγοντες. Σαν αποτέλεσμα αυτού, οι μέθοδοι αποθήκευσης πρέπει να γίνουν πιο ισχυρές για να αποφευχθεί η απώλεια. Επίσης, πρέπει να αντιμετωπιστούν πιθανές ανησυχίες για την ασφάλεια, όπως προκύπτει από τη μελέτη στο [481], η οποία έδειξε ότι το 89% των επιχειρήσεων υγειονομικής περίθαλψης αποτέλεσαν αντικείμενο τουλάχιστον μιας παραβίασης των δεδομένων. Ως εκ τούτου, η βιομηχανία υγειονομικής περίθαλψης απαιτεί όχι μόνο ένα υψηλό επίπεδο τεχνολογικού μετασχηματισμού αλλά και αποτελεσματικά, αξιόπιστα και γρήγορα αποτελέσματα ώστε να παράγει πλήρως αξιόπιστες αποφάσεις που στοχεύουν στη βελτίωση της εξατομικευμένης υγείας. Επί του παρόντος, οι πολλαπλοί κατακερματισμοί στον τομέα της υγείας δεν επιτρέπουν την απρόσκοπτη εμπειρία των ασθενών, αναγκάζοντάς τους να αλληλοεπιδρούν με πολλά μέρη προκειμένου να αποθηκεύουν, να αναλύουν και να ερμηνεύουν τα ιατρικά τους δεδομένα που παράγονται από τις καθημερινές προσωπικές ιατρικές IoT συσκευές. Έτσι, όλες οι προκλήσεις που εμπλέκονται στη βιομηχανία πρέπει πρώτα να αντιμετωπιστούν, προκειμένου η Υγειονομική Περίθαλψη 4.0 να γίνει πραγματικότητα.

5.2.2 Συνεισφορά Τελικής Προσέγγισης στις Μελλοντικές Προκλήσεις

Με βάση όλες τις προαναφερθείσες προκλήσεις, γίνεται σαφές ότι η προτεινόμενη προσέγγιση της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής επικεντρώθηκε στοχευμένα τόσο στις υπάρχουσες σημερινές προκλήσεις του IoT όσο και στις μελλοντικές. Για το λόγο αυτό, προτάθηκε μια γενική plug'n'play προσέγγιση για την αυτόματη διαχείριση ετερογενών IoT συσκευών τόσο γνωστού όσο και άγνωστου τύπου, εκτιμώντας τα επίπεδα αξιοπιστίας τους, και συλλέγοντας εν τέλει δεδομένα μόνο από τις αξιόπιστες και σχετικές προς κάθε πλατφόρμα συσκευές. Αυτή η προσέγγιση παρέχεται μέσω ενός καινοτόμου μηχανισμού που είναι διαλειτουργικός, έχοντας τη δυνατότητα αφενός να συνδέεται σε διαφορετικές IoT πλατφόρμες, και αφετέρου να διευκολύνει την αυτόματη αναγνώριση, αλληλεπίδραση και πρόσβαση σε όλες τις υποκείμενες συσκευές. Παρόλα αυτά, η δημιουργία ενός αυτοματοποιημένου εργαλείου που θα λειτουργούσε για όλες τις υπάρχουσες IoT συσκευές εξακολουθεί να αποτελεί δύσκολο έργο. Για το λόγο αυτό, προκειμένου να συμβαδίζει με τις συνεχώς αναπτυσσόμενες απαιτήσεις των σημερινών συσκευών/πλατφόρμων, η προτεινόμενη προσέγγιση μπορεί να επεκταθεί, προσφέροντας επιπλέον λειτουργίες.

Πιο συγκεκριμένα, πρωταρχικός άμεσος σκοπός είναι η αξιολόγηση του προτεινόμενου μηχανισμού, δοκιμάζοντάς τον με τις ολοένα και περισσότερες νέες ετερογενείς IoT συσκευές που δημιουργούνται στους διάφορους τομείς. Η μελλοντική δουλειά λοιπόν στα πλαίσια του προτεινόμενου μηχανισμού περιλαμβάνει την ενημέρωση της διαδικασίας του πρώτου σταδίου του μηχανισμού (Εύρεση και Σύνδεση Συσκευών) έτσι ώστε να μην παρέχεται μόνο μία Bluetooth διεπαφή διασύνδεσης για την αναγνώριση/σύνδεση των διαθέσιμων συσκευών, αλλά να υπάρχει μια γενική διεπαφή στην οποία όλες οι συσκευές θα μπορούσαν να συνδεθούν ανεξάρτητα από το πρωτόκολλο επικοινωνίας τους. Πιο συγκεκριμένα, ο πρωταρχικός στόχος είναι ο μηχανισμός να αναγνωρίζει και να συνδέει συσκευές που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο επικοινωνίας WiFi. Επιπλέον, βασικός στόχος είναι, στο ίδιο στάδιο, να υλοποιηθεί ένα επίπεδο ασφαλείας πάνω από την υπάρχουσα διεπαφή διασύνδεσης, ώστε να εξασφαλίζεται η γνησιότητα των συλλεχθέντων ονομάτων και των διευθύνσεων MAC των συνδεδεμένων συσκευών, αποφεύγοντας την πιθανότητα εσκεμμένης παραποίησης αυτών που θα μπορούσε να οδηγήσει σε παραπλανητικές αποφάσεις και λανθασμένα αποτελέσματα του μηχανισμού. Επιπλέον, μία άλλη μελλοντική αλλαγή μπορεί να πραγματοποιηθεί στο δεύτερο στάδιο του προτεινόμενου μηχανισμού (Αναγνώριση Τύπου Συσκευών), όσον αφορά την αξιολόγηση της διαδικασίας αναγνώρισης του τύπου των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών. Ειδικότερα, είναι εφικτό πολύ εύκολα να

παραμετροποιηθεί ο εν λόγω μηχανισμός προκειμένου να εφαρμόζονται διαφορετικές τεχνικές ανίχνευσης χαρακτηριστικών και αντιστοίχισης των χαρακτηριστικών των εικόνων των υποκείμενων συσκευών. Επιπλέον, στο ίδιο στάδιο, είναι βασικό στόχος να επεκταθεί ο μηχανισμό προκειμένου να είναι σε θέση να βρίσκει την εικόνα μίας συνδεδεμένης συσκευής, ακόμη και στις σπανιότερες περιπτώσεις, που αυτή δεν μπορεί να βρεθεί με το πρώτο ερώτημα που υποβάλλει ο μηχανισμός στον Παγκόσμιο Ιστό. Εκτός από αυτό, εξίσου βελτιώσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν και στο τρίτο στάδιο του μηχανισμού (Συλλογή Δεδομένων Συσκευών), όπου για τη βελτίωση της διαδικασίας αναγνώρισης των API μεθόδων των συνδεδεμένων άγνωστων συσκευών, ο μηχανισμός θα καταγράφει τόσο την σημασιολογική όσο και τη συντακτική ομοιότητα των περιγραφών τους. Τέλος, στην ίδια νοοτροπία, όσο αφορά το τέταρτο στάδιο του μηχανισμού (Εκτίμηση Αξιοπιστίας Συσκευών και Δεδομένων), βασικός στόχος είναι να βελτιωθεί αυτό το στάδιο ώστε να είναι σε θέση να υπολογίζει με μία περισσότερο «σφαιρική» προσέγγιση τη συνολική αξιοπιστία μίας συσκευής, λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο τη διαθεσιμότητα αυτής και την αξιοπιστία των παραγόμενων δεδομένων της, αλλά και την ποιότητα των παραγόμενων δεδομένων της. Πιο συγκεκριμένα, για να υπολογίζεται η ποιότητα των δεδομένων θα πραγματοποιείται ο καθαρισμός αυτών, ώστε να προσδιορίζει όλα τα σφάλματα που σχετίζονται με τη συμμόρφωση με συγκεκριμένους περιορισμούς, διασφαλίζοντας ότι τα δεδομένα που συλλέγονται συμμορφώνονται με ορισμένους προκαθορισμένους κανόνες ή περιορισμούς (π.χ. συμμόρφωση με συγκεκριμένους τύπους δεδομένων, συμμόρφωση με την εκπροσώπηση των τιμών, συμμόρφωση με προκαθορισμένες τιμές, συμμόρφωση με την εγκυρότητα πεδίου κλπ.), και να εξαλείφει τα σφάλματα που εντοπίστηκαν κατά την προαναφερθείσα διαδικασία, εφαρμόζοντας διορθωτικές ενέργειες στα εντοπισμένα εσφαλμένα δεδομένα. Συνδυάζοντας τα αποτελέσματα των ενεργειών που κατεγράφησαν για τον καθαρισμό των δεδομένων, με αντίστοιχα αποτελέσματα της αξιοπιστίας των δεδομένων αυτών, και της διαθεσιμότητας των αντίστοιχων συσκευών, επιτυγχάνεται η πρόβλεψη της συνολικής αξιοπιστίας των συσκευών στο μέγιστο βαθμό. Επιπλέον, στο ίδιο στάδιο, μία άμεση βελτίωση του μηχανισμού έγκειται στον τρόπο με τον οποίο ο μηχανισμός εκτίμησης αξιοπιστίας συμπεραίνει τα τελικά αποτελέσματα, με τη δυναμική αυτοπροσαρμογή της τιμής του καθορισμένου κατωφλίου. Συγκεκριμένα, σε κάθε σενάριο που θα εφαρμόζεται ο μηχανισμός, θα καταγράφεται η συνολική κλίση των μετρήσεων ποιότητας των πηγών δεδομένων (π.χ. εκθετική, γραμμική κλπ.) για τη δυναμική προσαρμογή του καθορισμένου κατωφλίου βάσει κάθε διαφορετικού σεναρίου. Τέλος, μία βασική επέκταση του προτεινόμενου μηχανισμού είναι η υλοποίηση μιας διεπαφής οπτικοποίησης που θα εφαρμόζεται πάνω από όλα τα στάδια του μηχανισμού, ώστε να παρέχει λεπτομερείς

πληροφορίες σχετικά με τις συνδεδεμένες συσκευές και τα δεδομένα που παράγονται από αυτές. Ειδικότερα, μέσω αυτής της διεπαφής, οι εκάστοτε χρήστες του μηχανισμού θα μπορούν απευθείας να παρακολουθούν και να διαχειρίζονται τις συνδεδεμένες συσκευές τους, θα είναι σε θέση να παρακολουθούν την κατάσταση και τη θέση των συσκευών τους, ενώ ταυτόχρονα θα μπορούν να οπτικοποιούν όλα τα δεδομένα που έχουν αποκτήσει, χωρίς να απαιτείται η ύπαρξη μίας ενδιάμεσης εφαρμογής/πλατφόρμας, ώστε να πραγματοποιεί αυτές τις ενέργειες.

Βιβλιογραφία

- [1] Seo, A., Jeong, J., & Kim, Y. (2017). Cyber Physical Systems for User Reliability Measurements in a Sharing Economy Environment. *Sensors*, 17(8), pp. 1868
- [2] Campbell, A. T., Gomez, J., Kim, S., Paul, B., Sawada, T., Wan, C. Y., ... & Turanyi, Z. (1999). A cellular IP testbed demonstrator. In 1999 IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications (MoMuC'99), pp. 145-148
- [3] J Wan, J., Tang, S., Shu, Z., Li, D., Wang, S., Imran, M., & Vasilakos, A. V. (2016). Software-defined industrial internet of things in the context of industry 4.0. *IEEE Sensors Journal*, 16(20), pp. 7373-7380
- [4] Cyber-Physical System Market Will hit at a CAGR of 8.7% From 2018 to 2028, <https://www.prnewswire.com/news-releases/cyber-physical-system-market-will-hit-at-a-cagr-of-87-from-2018-to-2028-679878553.html>
- [5] Lee, E. (2015). The past, present and future of cyber-physical systems: A focus on models. *Sensors*, 15(3), pp. 4837-4869
- [6] Google Trends: internet of things, <https://trends.google.com/trends/explore?date=all&q=%22internet%20of%20things%22>
- [7] Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), pp. 431-440
- [8] 4 Biggest Challenges with New IoT Designs, <https://abracon.com/news/4-biggest-challenges-with-new-iot-designs>
- [9] The Importance of IoT Data Collection, <https://buddy.com/blog/importance-iot-data-collection/>
- [10] Yi, M. Y., Fiedler, K. D., & Park, J. S. (2006). Understanding the role of individual innovativeness in the acceptance of IT-based innovations: Comparative analyses of models and measures. *Decision Sciences*, 37(3), pp. 393-426
- [11] Raghupathi, W., & Raghupathi, V. (2014). Big data analytics in healthcare: promise and potential. *Health information science and systems*, 2(1), pp. 3
- [12] Shi, J., Wan, J., Yan, H., & Suo, H. (2011). A survey of cyber-physical systems. In 2011 international conference on wireless communications and signal processing (WCSP), pp. 1-6
- [13] No Country for Old Age, <http://www.nytimes.com/2013/02/19/opinion/no-country-for-old-age.html>
- [14] Deaths from NCDs, http://www.who.int/gho/ncd/mortality_morbidity/ncd_total/en/
- [15] The worldwide rise of chronic non communicable diseases: a slow motion catastrophe, http://www.who.int/dg/speeches/2011/ministerial_conf_ncd_20110428/en/
- [16] Unlocking the Medicine Cabinet: Technology Innovation As the Key to Improving Healthcare, <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/backgrounders/healthcare-innovation-barometer-backgroundunder.pdf>
- [17] Bellavista, P., Cardone, G., Corradi, A., & Foschini, L. (2013). Convergence of MANET and WSN in IoT urban scenarios. *IEEE Sensors Journal*, 13(10), pp. 3558-3567
- [18] Fan, P. F., & Zhou, G. Z. (2011). Analysis of the business model innovation of the technology of internet of things in postal logistics. In 2011 IEEE 18th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, pp. 532-536

- [19] Mainetti, L., Patrono, L., & Vilei, A. (2011). Evolution of wireless sensor networks towards the internet of things: A survey. In *SoftCOM 2011, 19th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks*, pp. 1-6
- [20] Global M2M market, <https://machinaresearch.com/news/global-m2m-market-to-grow-to-27-billion-devices-generating-usd16-trillion-revenue-in-2024/>
- [21] How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything, <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/se/internet-of-things/at-a-glance-c45-731471.pdf>, last accessed 2018/31/10
- [22] Alam, S., Chowdhury, M. M., & Noll, J. (2010). Senaas: An event-driven sensor virtualization approach for internet of things cloud. In *2010 IEEE International Conference on Networked Embedded Systems for Enterprise Applications*, pp. 1-6
- [23] Pham, C., Lim, Y., & Tan, Y. (2016). Management architecture for heterogeneous IoT devices in home network. In *2016 IEEE 5th Global Conference on Consumer Electronics*, pp. 1-5
- [24] Pötter, H. B., & Sztajnberg, A. (2016). Adapting heterogeneous devices into an IoT context-aware infrastructure. In *2016 IEEE/ACM 11th International Symposium on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems (SEAMS)*, pp. 64-74
- [25] Gong, P. (2013). Dynamic integration of biological data sources using the data concierge. *Health information science and systems*, 1(1), pp. 7
- [26] Villasenor, J., & Tehranipoor, M. (2013). Chop shop electronics. *IEEE Spectrum*, 50(10), pp. 41-45
- [27] Kruger, C. P., & Hancke, G. P. (2014). Benchmarking Internet of things devices. In *2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, pp. 611-616
- [28] Scott, M. T., Scott, T. J., & Kelly, V. G. (2016). The validity and reliability of global positioning systems in team sport: a brief review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(5), pp. 1470-1490.
- [29] Maalel, N., Natalizio, E., Bouabdallah, A., Roux, P., & Kellil, M. (2013). Reliability for emergency applications in internet of things. In *2013 IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems*, pp. 361-366
- [30] Thomas, M. O., & Rad, B. B. (2017). Reliability evaluation metrics for internet of things, car tracking system: a review. *Int. J. Inf. Technol. Comput. Sci. (IJITCS)*, 9(2), pp. 1-10.
- [31] HEALTHCARE 4.0: THE FUTURE OF HEALTHCARE, <http://www.kmgus.com/blogs/healthit/index.php/2016/12/healthcare-4-0-the-future-of-healthcare/>
- [32] Internet of Things (IoT) in healthcare: benefits, use cases and evolutions, <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/internet-things-healthcare/>
- [33] Kekade, S., Hsieh, C. H., Islam, M. M., Atique, S., Khalfan, A. M., Li, Y. C., & Abdul, S. S. (2018). The usefulness and actual use of wearable devices among the elderly population. *Computer methods and programs in biomedicine*, 153, pp. 137-159
- [34] Rajkumar, R. (2012). A cyber-physical future. *Proceedings of the IEEE*, 100(Special Centennial Issue), pp. 1309-1312
- [35] Skorobogatjko, A., Romanovs, A., & Kunicina, N. (2014). State of the Art in the Healthcare Cyber-physical Systems. *Information Technology and Management Science*, 17(1), pp. 126-131
- [36] Wolf, W (2009). Cyber-physical systems. *Computer*, 42(3), pp. 88-89

- [37] Gill, H (2006). NSF perspective and status on cyber-physical systems. National Workshop on Cyber-physical Systems Austin, TX October 16–17, 2006: National Science Foundation
- [38] Welcome to the NIST Cyber-Physical Systems website, <https://www.nist.gov/el/cyber-physical-systems>
- [39] Rajkumar, R., Lee, I., Sha, L., & Stankovic, J. (2010). Cyber-physical systems: the next computing revolution. In Design Automation Conference, pp. 731–736
- [40] Baheti, R & H Gill (2011). Cyber-physical systems. *The Impact of Control Technology*, 12, pp. 161–166
- [41] Kim, KD & PR Kumar (2013). An overview and some challenges in cyber-physical systems. *Journal of the Indian Institute of Science*, 93(3), pp. 341–352
- [42] Beghi, A., Marcuzzi, F., Rampazzo, M., & Virgulin, M. (2014). Enhancing the simulation-centric design of cyber-physical and multi-physics systems through co-simulation. In 2014 17th Euromicro Conference on Digital System Design, pp. 687–690
- [43] Gunes, V, S Peter, T Givargis & F Vahid (2014). A survey on concepts, applications, and challenges in cyber-physical systems. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 8(12), pp. 4242–4268
- [44] Poovendran, R. A. D. H. A. (2010). Cyber-physical systems: Close encounters between two parallel worlds [point of view]. *Proceedings of the IEEE*, 98(8), pp. 1363–1366
- [45] Kim, K. H. (2010). Challenges and future directions of cyber-physical system software. In 2010 IEEE 34th Annual Computer Software and Applications Conference, pp. 10–13
- [46] Lee, E. A. (2006). Cyber-physical systems-are computing foundations adequate. In Position paper for NSF workshop on cyber-physical systems: research motivation, techniques and roadmap, Vol. 2, pp. 1–9
- [47] Wiener, N. *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*; MIT Press: Cambridge, MA, USA, 1948
- [48] Why are Cyber-Physical Systems important?, <http://www.cpse-labs.eu/whyarecpsimportant.php>
- [49] Barbosa, J., Leitão, P., Trentesaux, D., Colombo, A. W., & Karnouskos, S. (2016). Cross benefits from cyber-physical systems and intelligent products for future smart industries. In 2016 IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), pp. 504–509
- [50] Yeo, N. C. Y., Pepin, H., & Yang, S. S. (2017). Revolutionizing technology adoption for the remanufacturing industry. *Procedia CIRP*, 61, pp. 17–21
- [51] Cyber physical systems for Industry 4.0, <https://www.ericsson.com/en/blog/2018/10/cyber-physical-systems-for-industry-4.0>
- [52] Ahmadi, A., Sodhro, A. H., Cherifi, C., Cheutet, V., & Ouzrout, Y. (2018). Evolution of 3C Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0. In International Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing, pp. 448–459
- [53] Jiang, J. R. (2018). An improved cyber-physical systems architecture for Industry 4.0 smart factories. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(6), 1687814018784192
- [54] B. X. Huang (2008) “Cyber Physical Systems: A survey,” Presentation Report
- [55] Lee, E. A. (2008). Cyber physical systems: Design challenges. In 2008 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), pp. 363–369

- [56] Sha, L., Gopalakrishnan, S., Liu, X., & Wang, Q. (2008). Cyber-physical systems: A new frontier. In 2008 IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing (sutc 2008), pp. 1-9
- [57] Broy, M. (2010). Cyber-Physical Systems: technological & scientific challenges. Presentation Report
- [58] Lei, C. U., Wan, K., & Man, K. L. (2013). Developing a smart learning environment in universities via cyber-physical systems. *Procedia Computer Science*, 17, pp. 583-585
- [59] Denker, G., Dutt, N., Mehrotra, S., Stehr, M. O., Talcott, C., & Venkatasubramanian, N. (2012). Resilient dependable cyber-physical systems: a middleware perspective. *Journal of Internet Services and Applications*, 3(1), pp. 41-49
- [60] Höfig, K., Armbruster, M., & Schmidt, R. (2014). A vehicle control platform as safety element out of context
- [61] Ruiz-Arenas, S., Horváth, I., Mejía-Gutiérrez, R., & Opiyo, E. Z. (2014). Towards the Maintenance Principles of Cyber-Physical Systems. *Strojnicki Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, 60(12)
- [62] Khan, A., & Turowski, K. (2016). A survey of current challenges in manufacturing industry and preparation for industry 4.0. In *Proceedings of the First International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (IITI'16)*, pp. 15-26
- [63] Haque, S. A., Aziz, S. M., & Rahman, M. (2014). Review of cyber-physical system in healthcare. *international journal of distributed sensor networks*, 10(4), pp. 217415
- [64] Coalition, S. M. L. (2011). Implementing 21st century smart manufacturing. In *Workshop summary report*
- [65] Sztipanovits, J., Ying, S., Cohen, I., Corman, D., Davis, J., Khurana, H., ... & Stormo, L. (2013). Strategic R&D opportunities for 21st century cyber-physical systems. Steering Committee for the Foundation for Innovation in Cyber-Physical Systems, National Institute of Standards and Technology (NIST)
- [66] Hellinger, A., & Seeger, H. (2011). Cyber-Physical Systems. Driving force for innovation in mobility, health, energy and production. *Acatech Position Paper*, National Academy of Science and Engineering, 1(2)
- [67] Rungger, M., & Tabuada, P. (2015). A notion of robustness for cyber-physical systems. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 61(8), pp. 2108-2123
- [68] Leitão, P., Colombo, A. W., & Karnouskos, S. (2016). Industrial automation based on cyber-physical systems technologies: Prototype implementations and challenges. *Computers in Industry*, 81, pp. 11-25
- [69] Ackerman, M. J., Filart, R., Burgess, L. P., Lee, I., & Poropatich, R. K. (2010). Developing next-generation telehealth tools and technologies: patients, systems, and data perspectives. *Telemedicine and e-Health*, 16(1), pp. 93-95
- [70] Gunes, V., Peter, S., & Givargis, T. (2013). Modeling and mitigation of faults in cyber-physical systems with binary sensors. In *2013 IEEE 16th International Conference on Computational Science and Engineering*, pp. 515-522
- [71] Sunder, S. (2012, March). Foundations for innovation in cyber-physical systems. In *Proceedings of the NIST CPS Workshop*, Chicago, IL, USA, 13
- [72] Banerjee, A., Venkatasubramanian, K. K., Mukherjee, T., & Gupta, S. K. S. (2011). Ensuring safety, security, and sustainability of mission-critical cyber-physical systems. *Proceedings of the IEEE*, 100(1), pp. 283-299
- [73] Momoh, J. A. (2010). Fundamentals of analysis and computation for the Smart Grid. In *IEEE PES General Meeting*, pp. 1-5

- [74] Agarwal, R. K. (2012). Review of technologies to achieve sustainable (green) aviation. In *Recent advances in aircraft technology*. IntechOpen, pp. 427-464
- [75] Denker, G., Dutt, N., Mehrotra, S., Stehr, M. O., Talcott, C., & Venkatasubramanian, N. (2012). Resilient dependable cyber-physical systems: a middleware perspective. *Journal of Internet Services and Applications*, 3(1), pp. 41-49
- [76] Misra, S., & Eronu, E. (2012). Implementing reconfigurable wireless sensor networks: The embedded operating system approach. Intech, pp. 221-232
- [77] Scott, J., Bernheim Brush, A. J., Krumm, J., Meyers, B., Hazas, M., Hodges, S., & Villar, N. (2011). PreHeat: controlling home heating using occupancy prediction. In *Proceedings of the 13th international conference on Ubiquitous computing*, pp. 281-290
- [78] *Designed-In Cyber Security for Cyber-Physical Systems*. (2013) Workshop Report by the Cyber Security Research Alliance (CSRA) and Co-sponsored with NIST
- [79] Anwar, R. W., & Ali, S. (2012). Trust based secure cyber physical systems. In *Proc. of Workshop Proceedings: Trustworthy Cyber-Physical Systems*, Tech Report Series
- [80] Mo, Y., & Sinopoli, B. (2012). Integrity attacks on cyber-physical systems. In *Proceedings of the 1st international conference on High Confidence Networked Systems*, pp. 47-54
- [81] Loukas, G., Gan, D., & Vuong, T. (2013). A review of cyber threats and defence approaches in emergency management. *Future Internet*, 5(2), pp. 205-236
- [82] *NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards (2012) Release 2.0*, NIST Special Publication 1108R2
- [83] *A Roadmap for Cybersecurity Research*. (2009). The U.S. Department of Homeland Security
- [84] *High Confidence Software and Systems Coordinating Group*. (2009). High-confidence medical devices: Cyber-physical systems for 21st century health care. A Research and Development Needs Report, NCO/NITRD
- [85] Gunes, V., & Givargis, T. (2015). XGRID: A scalable many-core embedded processor. In *2015 IEEE 17th International Conference on High Performance Computing and Communications, 2015 IEEE 7th International Symposium on Cyberspace Safety and Security, and 2015 IEEE 12th International Conference on Embedded Software and Systems*, pp. 1143-1146
- [86] Allgöwer, F., de Sousa, J. B., Kapinski, J., Mosterman, P., Oehlerking, J., Panciatici, P., ... & Wenzelburger, P. (2019). Position paper on the challenges posed by modern applications to cyber-physical systems theory. *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems*, 34, pp. 147-165
- [87] *NIST, Strategic R&D Opportunities for 21st Century Cyber-Physical Systems (2012)*, Foundations for Innovation in Cyber-Physical Systems Workshop, US
- [88] Nannapaneni, S., Mahadevan, S., Pradhan, S., & Dubey, A. (2016). Towards reliability-based decision making in cyber-physical systems. In *2016 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)*, pp. 1-6
- [89] Mehdipour, F, KC Nunna & KJ Murakami (2013). A smart cyber-physical systems-based solution for pest control. In *Green Computing and Communications (GreenCom), 2013 IEEE and Internet of Things (iThings/CPSCoM), IEEE Int. Conf. and IEEE Cyber, Physical and Social Computing*, pp. 1248-1253
- [90] Mehdipour, F (2014). Smart field monitoring: An application of cyber-physical systems in agriculture. In *2014 IIAI 3rd Int. Conf. Advanced Applied Informatics (IIAIAAI)*, pp. 181-184

- [91] Caramihai, SI & I Dumitrache (2015). Agricultural enterprise as a complex system: A cyber physical systems approach. In 2015 20th Int. Conf. Control Systems and Computer Science (CSCS), pp. 659–664
- [92] Bauer, K & K Schneider (2013). Teaching cyber-physical systems: A programming approach. In 2012 WESE Proc. Workshop on Embedded and Cyber-Physical Systems Education, pp. 3
- [93] Lei, CU, HN Liang & KL Man (2013). Building a smart laboratory environment at a university via a cyber-physical system. In 2013 IEEE Int. Conf. Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE), pp. 243–247
- [94] Lei, CU, K Wan & KL Man (2013). Developing a smart learning environment in universities via cyber-physical systems. *Procedia Computer Science*, 17, pp. 583–585
- [95] Axelsson, J, A Kobetski, Z Ni, S Zhang & E Johansson (2014). MOPED: A Mobile Open Platform for Experimental Design of Cyber-Physical Systems. In 2014 40th Euromicro Conf. Software Engineering and Advanced Applications (SEAA), pp. 423–430
- [96] Peter, S, F Momtaz & T Givargis (2014). From the browser to the remote physical lab: Programming cyber-physical systems. In 2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), pp. 1–7
- [97] Lawlor, O, S Bogosyan, Y Vural, I Thompson, M Moss & M Gokasan (2015). AERO-beam: An open-architecture test-bed for research and education in cyber-physical systems. In Industrial Electronics Society, IECON 2015-41st Annual Conference of the IEEE, pp. 005080–005086
- [98] Azad, AKM and R Hashemian (2016). Cyber-Physical Systems in STEM Disciplines. In 2016 SAI Computing Conference (SAI), pp. 868–874
- [99] Van Tendeloo, Y & H Vangheluwe (2016). Teaching the fundamentals of the modelling of cyber-physical systems. In Proc. Symp. Theory of Modeling & Simulation, pp. 5.
- [100] Mourtzis, D., Vlachou, E., Dimitrakopoulos, G., & Zogopoulos, V. (2018). Cyber-Physical Systems and Education 4.0-The Teaching Factory 4.0 Concept. *Procedia Manuf*, 23, pp. 129-134
- [101] Shi, J, J Wan, H Yan & H Suo (2011). A survey of cyber-physical systems. In 2011 Int. Conf. Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), pp. 1–6
- [102] Wan, J, H Yan, D Li, K Zhou & L Zeng (2013). Cyber-physical systems for optimal energy management scheme of autonomous electric vehicle. *Computer Journal*, 56(8), pp. 947–956
- [103] Li, Y, J Wu & S Li (2016). State estimation for distributed cyber-physical power systems under data attacks. *International Journal of Modelling, Identification and Control*, 26(4), pp. 317–323
- [104] Sierla, S, BM O'Halloran, T Karhela, N Papakonstantinou & IY Tumer (2013). Common cause failure analysis of cyber-physical systems situated in constructed environments. *Research in Engineering Design*, 24(4), pp. 375–394
- [105] Sanislav, T, G Mois, S Folea, L Miclea, G Gambardella & P Prinetto (2014). A cloud-based cyber-physical system for environmental monitoring. In 2014 3rd Mediterranean Conf. Embedded Computing (MECO), pp. 6–9
- [106] Zhou, Y, Z Mo, Q Xiao, S Chen & Y Yin (2016). Privacy-preserving transportation traffic measurement in intelligent cyber-physical road systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(5), pp. 3749–3759
- [107] Wan, J, M Chen, F Xia, D Li & K Zhou (2013). From machine-to-machine communications towards cyber-physical systems. *Computer Science and Information Systems*, 10(3), pp. 1105–1128

- [108] Bradley, JM & EM Atkins (2015). Optimization and control of cyber-physical vehicle systems. *Sensors (Switzerland)*, 15(9), pp. 23020–23049
- [109] Kantarci, B (2015). Cyber-physical alternate route recommendation system for paramedics in an urban area. In 2015 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), pp. 2155–2160
- [110] Kumar, N, RS Bali, R Iqbal, N Chilamkurti & S Rho (2015). Optimized clustering for data dissemination using stochastic coalition game in vehicular cyber-physical systems. *Journal of Supercomputing*, 71(9), pp. 3258–3287
- [111] Li, HX & LD Xu (2001). Feature space theory - a mathematical foundation for data mining. *Knowledge-based Systems*, 14(5), pp. 253–257
- [112] Ma, M, J An, Z Huang & Z Cao (2015). Sensor data fusion based on an improved Dempster-Shafer evidence theory in vehicular cyber-physical systems. In 2015 IEEE Int. Symp. Intelligent Control (ISIC), pp. 683–687
- [113] Zenina, N, A Romanovs, & Y Merkurjev (2015). Transport simulation model calibration with two-step cluster analysis procedure. *Information Technology and Management Science*, 18(1), pp. 49–56
- [114] Sampigethaya, K., & Poovendran, R. (2013). Aviation cyber-physical systems: Foundations for future aircraft and air transport. *Proceedings of the IEEE*, 101(8), pp. 1834–1855
- [115] Greer, C., Burns, M., Wollman, D., & Griffor, E. (2019). *Cyber-Physical Systems & the Internet of Things*. NIST Special Publication, 1900, pp. 202
- [116] Bonnefoy, P. A. (2008). Scalability of the air transportation system and development of multi-airport systems: A worldwide perspective (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology)
- [117] Platzer, A. (2009). Verification of cyberphysical transportation systems. *IEEE intelligent systems*, 24(4), pp. 10–13
- [118] Sánchez, BB, R Alcarria, D Sánchez-De-Rivera & A Sánchez-Picot (2016). Enhancing process control in industry 4.0 scenarios using cyber-physical systems. *Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications*, 7(4), pp. 41–64
- [119] Klimeš, J (2014). Using formal concept analysis for control in cyber-physical systems. *Procedia Engineering*, 69, pp. 1518–1522
- [120] Du, C, L Tan & Y Dong (2015). Period selection for integrated controller tasks in cyber physical systems. *Chinese Journal of Aeronautics*, 28(3), pp. 894–902
- [121] Medhat, R, B Bonakdarpour, D Kumar & S Fischmeister (2015). Runtime monitoring of cyber-physical systems under timing and memory constraints. *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*, 14(4), pp. 79
- [122] Han, R, X Zhao, Y Yu, Q Guan, W Hu & M Li (2016). A cyber-physical system for girder hoisting monitoring based on smartphones. *Sensors (Switzerland)*, 16(7), pp. 1048
- [123] Ardito, L., Petruzzelli, A. M., Panniello, U., & Garavelli, A. C. (2019). Towards Industry 4.0: Mapping digital technologies for supply chain management-marketing integration. *Business Process Management Journal*, 25(2), pp. 323–346
- [124] Burmester, M, E Magkos & V Chrissikopoulos (2012). Modeling security in cyber-physical systems. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 5(3–4), pp. 118–126
- [125] Chen, D & G Chang (2012). A survey on security issues of M2M communications in cyber physical systems. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 6(1), pp. 24–45

- [126] Mo, Y & B Sinopoli (2012). Integrity attacks on cyber-physical systems. In Proc. 1st Int. Conf. High Confidence Networked Systems, pp. 47–54
- [127] Axelrod, CW (2013). Managing the Risks of Cyber-Physical Systems. In 2013 Systems, Applications and Technology Conf. (LISAT), pp. 1–6
- [128] Zhang, L, Q Wang & B Tian (2013). Security threats and measures for the cyber-physical systems. Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 20(1), pp. 25–29
- [129] Gao, Y, Y Peng, F Xie, W Zhao, D Wang, X Han & Z Li (2014). Analysis of security threats and vulnerability for cyber-physical systems. In 2013 3rd Int. Conf. Computer Science and Network Technology (ICCSNT), pp. 50–55
- [130] Howser, G & B McMillin (2014). A modal model of stuxnet attacks on cyber-physical systems: A matter of trust. In 2014 8th Int. Conf. Software Security and Reliability, pp. 225–234
- [131] Peisert, S, J Margulies, DM Nicol, H Khurana & C Sawall (2014). Designed-in security for cyber-physical systems. IEEE Security and Privacy, 12(5), pp. 9–12
- [132] Orojloo, H & MA Azgomi (2014). A method for modeling and evaluation of the security of cyber-physical systems. In 2014 11th Int. ISC Conf. Information Security and Cryptology (ISCISC), pp. 131–136
- [133] Wan, K & V Alagar (2014). Context-aware security solutions for cyber-physical systems. Mobile Networks and Applications, 19(2), pp. 212–226
- [134] Vegh, L & L Miclea (2014). Enhancing security in cyber-physical systems through cryptographic and steganographic techniques. In 2014 IEEE Int. Conf. Automation, Quality and Testing, Robotics, pp. 1–6
- [135] Bou-Harb, E (2016). A brief survey of security approaches for cyber-physical systems. In 2016 8th IFIP Int. Conf. New Technologies, Mobility and Security (NTMS), pp. 1–5
- [136] Fernandez, EB (2016). Threat modeling in cyber-physical systems. In Dependable, Autonomic and Secure Computing, 14th Int. Conf. Pervasive Intelligence and Computing, 2nd Int. Conf. Big Data Intelligence and Computing and Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTech), pp. 448–453
- [137] Vegh, L & L Miclea (2014). Enhancing security in cyber-physical systems through cryptographic and steganographic techniques. In 2014 IEEE Int. Conf. Automation, Quality and Testing, Robotics, pp. 1–6
- [138] Wang, YN, ZY Lin, X Liang, WY Xu, Q Yang & GF Yan (2016). On modeling of electrical cyber-physical systems considering cyber security. Frontiers of Information Technology and Electronic Engineering, 17(5), pp. 465–478
- [139] Cassandra, CG (2016). Smart cities as cyber-physical social systems. Engineering, 2(2), pp. 218–219
- [140] Seiger, R, S Struwe, D Lemme & T Schlegel (2016). An interactive mobile control center for cyber-physical systems. In Proc. 2016 ACM Int. Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct, pp. 193–196
- [141] Basile, F, P Chiacchio, J Coppola & D Gerbasio (2015). Automated warehouse systems: A cyber-physical system perspective. In 2015 IEEE 20th Conf. Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), pp. 1–4
- [142] Wiesner, S, E Marilungo & KD Thoben (2017). Cyber-physical product-service systems – challenges for requirements engineering. International Journal of Automation Technology, 11(1), pp. 17–28
- [143] Kang, HS, JY Lee, S Choi, H Kim, JH Park, JY Son, BH Kim & S Do Noh (2016). Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions.

- International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, 3(1), pp. 111-128
- [144] Lee, I., Sokolsky, O., Chen, S., Hatcliff, J., Jee, E., Kim, B., ... & Venkatasubramanian, K. K. (2011). Challenges and research directions in medical cyber-physical systems. *Proceedings of the IEEE*, 100(1), pp. 75-90
- [145] Lee, E. A., & Seshia, S. A. (2016). *Introduction to embedded systems: A cyber-physical systems approach*. Mit Press
- [146] Pawlak, A., Jezewski, J., & Horoba, K. (2015). Dependable Medical Cyber-Physical System for Home Telecare of High-Risk Pregnancy. *ADA USER*, 36(4), pp. 254
- [147] Silva, L. C., Almeida, H. O., Perkusich, A., & Perkusich, M. (2015). A model-based approach to support validation of medical cyber-physical systems. *Sensors*, 15(11), pp. 27625-27670
- [148] Gupta, A., Kumar, M., Hansel, S., & Saini, A. K. (2013). Future of all technologies-the cloud and cyber physical systems. *Future*, 2(2)
- [149] *Cyber-Physical Systems: Enabling a Smart and Connective World*, http://www.nsf.gov/news/special_reports/cyber-physical/
- [150] Al-Mhiqani, M. N., Ahmad, R., Abdulkareem, K. H., & Ali, N. S. (2017). Investigation study of cyber-physical systems: characteristics, application domains, and security challenges. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(22), pp. 6557-6567
- [151] Philipose, M., Smith, J. R., Jiang, B., Mamishev, A., Roy, S., & Sundara-Rajan, K. (2005). Battery-free wireless identification and sensing. *IEEE Pervasive computing*, 4(1), pp. 37-45
- [152] Lopez-Nores, M., Pazos-Arias, J. J., Garcia-Duque, J., & Blanco-Fernandez, Y. (2008). Monitoring medicine intake in the networked home: The iCabiNET solution. In *Second International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth)*, pp. 116-117
- [153] Pang, Z., Chen, Q., & Zheng, L. (2009). A pervasive and preventive healthcare solution for medication noncompliance and daily monitoring. In *2nd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL)*, pp. 1-6
- [154] Sung, M., Marci, C., & Pentland, A. (2005). Wearable feedback systems for rehabilitation. *Journal of neuro engineering and rehabilitation*, 2(1), pp. 17
- [155] Wang, C. C., Chiang, C. Y., Lin, P. Y., Chou, Y. C., Kuo, I. T., Huang, C. N., & Chan, C. T. (2008). Development of a fall detecting system for the elderly residents. In *2nd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (ICBBE)*, pp. 1359-1362
- [156] Iso-Ketola, P., Karinsalo, T., & Vanhala, J. (2008). HipGuard: A wearable measurement system for patients recovering from a hip operation. In *Second International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth)*, pp. 196-199
- [157] Konstantas, D., & Herzog, R. (2003). Continuous monitoring of vital constants for mobile users: the MobiHealth approach. In *25th Annual International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society*, Vol. 4, pp. 3728-3731
- [158] Dagale, H., Anand, S. V. R., Hegde, M., Purohit, N., Supreeth, M. K., Gill, G. S., ... & Surya, P. (2015). Cyphys+: A reliable and managed cyber-physical system for old-age home healthcare over a 6lowpan using wearable motes. In *2015 IEEE International Conference on Services Computing (SCC)*, pp. 309-316
- [159] Kailanto, H., Hyvarinen, E., & Hyttinen, J. (2008). Mobile ECG measurement and analysis system using mobile phone as the base station. In *Second International*

- Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth) pp. 12-14
- [160] Shnayder, V., Chen, B. R., Lorincz, K., Fulford-Jones, T. R., & Welsh, M. (2005). Sensor networks for medical care
- [161] Wood, A. D., Stankovic, J. A., Virone, G., Selavo, L., He, Z., Cao, Q., ... & Stoleru, R. (2008). Context-aware wireless sensor networks for assisted living and residential monitoring. *IEEE network*, 22(4), pp. 26-33
- [162] Li, Y. T., Jacob, M., Akingba, G., & Wachs, J. P. (2013). A cyber-physical management system for delivering and monitoring surgical instruments in the OR. *Surgical innovation*, 20(4), pp. 377-384
- [163] Tercero, C, H Kodama, C Shi, K Ooe, S Ikeda, T Fukuda, F Arai, M Negoro, G Kwon and Z Najdovski (2013). Technical skills measurement based on a cyber-physical system for endovascular surgery simulation. *International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 9(3), e25-e33
- [164] Sonntag, D., Zillner, S., Chakraborty, S., Lorincz, A., Strommer, E., & Serafini, L. (2014). The medical cyber-physical systems activity at EIT: A look under the hood. In 2014 IEEE 27th International symposium on computer-based medical systems pp. 351-356
- [165] Lin, J., Yu, W., Zhang, N., Yang, X., Zhang, H., & Zhao, W. (2017). A survey on internet of things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(5), pp. 1125-1142
- [166] Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(05), pp. 164
- [167] Jabbar, S., Ullah, F., Khalid, S., Khan, M., & Han, K. (2017). Semantic interoperability in heterogeneous IoT infrastructure for healthcare. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2017
- [168] Internet, <http://www.webopedia.com/TERM/I/Internet.html>
- [169] Adding AI To The IoT, <https://semiengineering.com/adding-ai-to-the-iot/>
- [170] Popular Internet of Things Forecast of 50 Billion Devices by 2020 Is Outdated, <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/telecom/internet/popular-internet-of-things-forecast-of-50-billion-devices-by-2020-is-outdated>
- [171] ARM predicts 1 trillion IoT devices by 2035 with new end-to-end platform, <https://news.itu.int/arm-pelion-iot-end-to-end-platform/>
- [172] Internet of Things (IoT) connected devices installed base worldwide from 2015 to 2025, <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>
- [173] 5 Challenges Facing Health Care IoT in 2019, <https://www.ietfforall.com/5-challenges-facing-iot-healthcare-2019/>
- [174] Nagib, A. M., & Hamza, H. S. (2016). SIGHTED: A framework for semantic integration of heterogeneous sensor data on the Internet of Things. *Procedia Computer Science*, 83, pp. 529-536
- [175] Bartelt, C., Fischer, T., Niebuhr, D., Rausch, A., Seidl, F., & Trapp, M. (2005). Dynamic integration of heterogeneous mobile devices. In *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 30(4), pp. 1-7
- [176] The internet of things is revolutionizing our lives, but standards are a must, <https://www.theguardian.com/media-network/2015/mar/31/the-internet-of-things-is-revolutionising-our-lives-but-standards-are-a-must>
- [177] Fielding, R. T., & Taylor, R. N. (2002). Principled design of the modern web architecture. *ACM Transactions Internet Technology*, 2(2), pp. 115-150

- [178] Guinard, D., Trifa, V., Karnouskos, S., & Spiess, P. (2010). Interacting with the SoA-based internet of things: discovery, query, selection, and on-demand provisioning of web services. *IEEE Transactions on Service Computing*, 3(3), pp. 223-235
- [179] Guinard, D., Trifa, V., Pham, T., & Liechti, O. (2009). Towards physical mashups in the web of things. *Proc. IEEE Sixth International Conference on Networked Sensing Systems (INSS 09)*, pp.196-199
- [180] Xu, L. (2011). Information architecture for supply chain quality management. *International Journal of Production Research*, 49(1), pp. 183-198
- [181] Jiang, L., Da Xu, L., Cai, H., Jiang, Z., Bu, F., & Xu, B. (2014). An IoT-oriented data storage framework in cloud computing platform. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), pp. 1443-1451
- [182] Kataev, M., Bulysheva, L., Emelyanenko, A., & Emelyanenko, V. (2013). Enterprise systems in Russia: 1992-2012. *Enterprise Information Systems*, 7(2), pp. 169-186
- [183] Tao, F., Cheng, Y., Da Xu, L., Zhang, L., & Li, B. H. (2014). CCIoT-CMfg: cloud computing and internet of things-based cloud manufacturing service system. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), pp. 1435-1442
- [184] Tao, F., Zuo, Y., Da Xu, L., & Zhang, L. (2014). IoT-based intelligent perception and access of manufacturing resource toward cloud manufacturing. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), pp. 1547-1557
- [185] Kosmatos, E. A., Tselikas, N. D., & Boucouvalas, A. C. (2011). Integrating RFIDs and smart objects into a UnifiedInternet of Things architecture. *Advances in Internet of Things*, 1(01), pp. 5-12.
- [186] The future of IoT device management, <https://www.networkworld.com/article/3258812/internet-of-things/the-future-of-iot-device-management.html>
- [187] Evans, D. (2011). The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything. *CISCO white paper*, 1(2011), pp. 1-11
- [188] Gantz, J., & Reinsel, D. (2012). The digital universe in 2020: Big data, bigger digital shadows, and biggest growth in the far east. *IDC iView: IDC Analyze the future*, 2007(2012), pp. 1-16
- [189] Taylor, S. (2013). The next generation of the internet. *CISCO Point of view*
- [190] Manyika, J., Chui, M., Bughin, J., Dobbs, R., Bisson, P., & Marrs, A. (2013). *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*, Vol. 180. San Francisco, CA: McKinsey Global Institute
- [191] Shafiq, M. Z., Ji, L., Liu, A. X., Pang, J., & Wang, J. (2012). A first look at cellular machine-to-machine traffic: large scale measurement and characterization. *ACM SIGMETRICS performance evaluation review*, 40(1), pp. 65-76
- [192] Montori, F., Bedogni, L., & Bononi, L. (2016). On the integration of heterogeneous data sources for the collaborative Internet of Things. In *2016 IEEE 2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a better tomorrow (RTSI)*, pp. 1-6
- [193] Patel, K. K., & Patel, S. M. (2016). Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. *International journal of engineering science and computing*, 6(5)
- [194] Qiu, T., Chen, N., Li, K., Atiquzzaman, M., & Zhao, W. (2018). How can heterogeneous Internet of Things build our future: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(3), pp. 2011-2027
- [195] Khan, W. Z., Xiang, Y., Aalsalem, M. Y., & Arshad, Q. (2012). Mobile phone sensing systems: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 15(1), pp. 402-427

- [196] Lane, N. D., Miluzzo, E., Lu, H., Peebles, D., Choudhury, T., & Campbell, A. T. (2010). A survey of mobile phone sensing. *IEEE Communications magazine*, 48(9), pp. 140-150
- [197] Bui, N., & Zorzi, M. (2011). 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*, pp. 131
- [198] McGrath, M. J., & Scanail, C. N. (2013). Body-worn, ambient, and consumer sensing for health applications. In *Sensor Technologies*, pp. 181-216
- [199] Pantelopoulos, A., & Bourbakis, N. G. (2010). A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 40(1), pp. 1-12
- [200] Rashidi, P., & Mihailidis, A. (2012). A survey on ambient-assisted living tools for older adults. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 17(3), pp. 579-590
- [201] Anker, J. N., Hall, W. P., Lyandres, O., Shah, N. C., Zhao, J., & Van Duyne, R. P. (2010). Biosensing with plasmonic nanosensors. In *Nanoscience and Technology: A Collection of Reviews from Nature Journals*, pp. 308-319
- [202] Wilson, G. S., & Gifford, R. (2005). Biosensors for real-time in vivo measurements. *Biosensors and Bioelectronics*, 20(12), pp. 2388-2403
- [203] Medical Grade vs Consumer Grade - Does it Matter to Seniors' Health?, <http://seniorcarecorner.com/medical-grade-health-devices-worth-it>
- [204] Gruzelier, J. H. (2014). EEG-neurofeedback for optimising performance. I: a review of cognitive and affective outcome in healthy participants. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 44, pp. 124-141
- [205] Sekhar, P. K., Brosha, E. L., Mukundan, R., & Garzon, F. (2010). Chemical sensors for environmental monitoring and homeland security. *The Electrochemical Society Interface*, 19(4), pp. 35-40
- [206] Bhattacharyya, N., & Bandhopadhyay, R. (2010). Electronic nose and electronic tongue. In *Nondestructive evaluation of food quality*, pp. 73-100
- [207] Manna, S., Bhunia, S. S., & Mukherjee, N. (2014). Vehicular pollution monitoring using IoT. In *International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014)*, pp. 1-5
- [208] Want, R. (2006). An introduction to RFID technology. *IEEE pervasive computing*, (1), pp. 25-33
- [209] Zhu, X., Mukhopadhyay, S. K., & Kurata, H. (2012). A review of RFID technology and its managerial applications in different industries. *Journal of Engineering and Technology Management*, 29(1), pp. 152-167
- [210] Welbourne, E., Battle, L., Cole, G., Gould, K., Rector, K., Raymer, S., ... & Borriello, G. (2009). Building the internet of things using RFID: the RFID ecosystem experience. *IEEE Internet computing*, 13(3), pp. 48-55
- [211] Chang, K. H. (2014). Bluetooth: a viable solution for IoT?[Industry Perspectives]. *IEEE Wireless Communications*, 21(6), pp. 6-7
- [212] Hughes, C. F. (2015). Bluetooth Low Energy. Diss. Arizona State University.
- [213] Menychtas, A., Tsanakas, P., & Maglogiannis, I. (2016). Automated integration of wireless biosignal collection devices for patient-centred decision-making in point-of-care systems. *Healthcare technology letters*, 3(1), pp. 34-40
- [214] Ray, P. P. (2018). A survey on Internet of Things architectures. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 30(3), pp. 291-319
- [215] Baronti, P., Pillai, P., Chook, V. W., Chessa, S., Gotta, A., & Hu, Y. F. (2007). Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15. 4 and ZigBee standards. *Computer communications*, 30(7), pp. 1655-1695

- [216] ZigBee Wireless Technology Architecture and Applications, <https://www.elprocus.com/what-is-zigbee-technology-architecture-and-its-applications/>
- [217] Sundaram, B. S. (2016). A quantitative analysis of 802.11 ah wireless standard. *International Journal of Latest Research in Engineering and Technology*, 2
- [218] Sun, W., Choi, M., & Choi, S. (2013). IEEE 802.11 ah: A long range 802.11 WLAN at sub 1 GHz. *Journal of ICT Standardization*, 1(1), pp. 83-108
- [219] Agrawal, P., & Bhuraria, S. (2012). Near field communication. *SETLabs Bridfings*, 10(1), pp. 67-74
- [220] Coskun, V., Ozdenizci, B., & Ok, K. (2013). A survey on near field communication (NFC) technology. *Wireless personal communications*, 71(3), pp. 2259-2294
- [221] Curran, K., Millar, A., & Mc Garvey, C. (2012). Near Field Communication. *International Journal of Electrical & Computer Engineering*, 2(3), pp. 2088-8708
- [222] Bandyopadhyay, S., Sengupta, M., Maiti, S., & Dutta, S. (2011). Role of middleware for internet of things: A study. *International Journal of Computer Science and Engineering Survey*, 2(3), pp. 94-105
- [223] Razzaque, M. A., Milojevic-Jevric, M., Palade, A., & Clarke, S. (2015). Middleware for internet of things: a survey. *IEEE Internet of things journal*, 3(1), pp. 70-95
- [224] Song, Z., Cárdenas, A. A., & Masuoka, R. (2010, November). Semantic middleware for the internet of things. In *2010 Internet of Things (IOT)*, pp. 1-8
- [225] Katasonov, A., Kaykova, O., Khriyenko, O., Nikitin, S., & Terziyan, V. Y. (2008). Smart Semantic Middleware for the Internet of Things. *Icinco-Icso*, 8, pp. 169-178
- [226] Wu, M., Lu, T. J., Ling, F. Y., Sun, J., & Du, H. Y. (2010). Research on the architecture of Internet of Things. In *2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*, 5, pp. V5-484
- [227] Weyrich, M., & Ebert, C. (2016). Reference architectures for the internet of things. *IEEE Software*, (1), pp. 112-116
- [228] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7), pp. 1645-1660
- [229] Bonomi, F., Milito, R., Natarajan, P., & Zhu, J. (2014). Fog computing: A platform for internet of things and analytics. In *Big data and internet of things: A roadmap for smart environments*, pp. 169-186
- [230] Lavanya, R. (2019). Fog Computing and Its Role in the Internet of Things. In *Advancing Consumer-Centric Fog Computing Architectures*, pp. 63-71
- [231] Stojmenovic, I., & Wen, S. (2014). The fog computing paradigm: Scenarios and security issues. In *2014 Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, pp. 1-8
- [232] Aazam, M., & Huh, E. N. (2014). Fog computing and smart gateway based communication for cloud of things. In *2014 International Conference on Future Internet of Things and Cloud*, pp. 464-470
- [233] Bandyopadhyay, D., & Sen, J. (2011). Internet of Things: applications and challenges in technology and standardization. *Wireless Personal Communications*, 58(1), pp. 49-69
- [234] Roman, R., Najera, P., & Lopez, J. (2011). Securing the Internet of Things. *IEEE Computer*, 44(9), pp. 51-58
- [235] Yan, T., & Wen, Q. (2012). A trust-third-party based key management protocol for secure mobile RFID service based on the Internet of Things. In H. Tan (Ed.), *Knowledge discovery and data mining, AISC 135*, pp. 201-208

- [236] Mahalle, P., Babar, S., Prasad, N. R., & Prasad, R. (2010). Identity management framework towards Internet of Things (IoT): Roadmap and key challenges. In N. Meghanathan et al. (Eds.), *Recent trends in network security and applications, communications in computer and information science*, 89, pp. 430–439
- [237] Macedo, D., Guedes, L. A., & Silva, I. (2014). A dependability evaluation for Internet of Things incorporating redundancy aspects. In *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, pp. 417-422
- [238] Silva, I., Leandro, R., Macedo, D., & Guedes, L. A. (2013). A dependability evaluation tool for the Internet of Things. *Computers & Electrical Engineering*, 39(7), pp. 2005-2018
- [239] Maalel, N., Natalizio, E., Bouabdallah, A., Roux, P., & Kellil, M. (2013). Reliability for emergency applications in internet of things. In *2013 IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems*, pp. 361-366
- [240] Kempf, J., Arkko, J., Beheshti, N., & Yedavalli, K. (2011). Thoughts on reliability in the internet of things. In *Interconnecting smart objects with the Internet workshop*, 1, pp. 1-4
- [241] Ganz, F., Li, R., Barnaghi, P., & Harai, H. (2012). A resource mobility scheme for service-continuity in the Internet of Things. In *2012 IEEE International Conference on Green Computing and Communications*, pp. 261-264
- [242] Fu, H. L., Lin, P., Yue, H., Huang, G. M., & Lee, C. P. (2013). Group mobility management for large-scale machine-to-machine mobile networking. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 63(3), pp. 1296-1305
- [243] Elsaleh, T., Gluhak, A., & Moessner, K. (2011). Service continuity for subscribers of the mobile real world Internet. In *2011 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC)*, pp. 1-5
- [244] Rajan, M. A., Balamuralidhar, P., Chethan, K. P., & Swarnahpriyaah, M. (2011). A self-reconfigurable sensor network management system for internet of things paradigm. In *2011 International Conference on Devices and Communications (ICDeCom)*, pp. 1-5
- [245] OMA Lightweight M2M, <http://technical.openmobilealliance.org/Technical/technical-information/release-program/current-releases/oma-lightweightm2m-v1-0-2>
- [246] Perelman, V., Ersue, M., Schönwälder, J., & Watsen, K. (2012). Network configuration protocol light (NETCONF Light). Network
- [247] López-de-Ipiña, D., Vazquez, J. I., & Abaitua, J. (2007). A web 2.0 platform to enable context-aware mobile mash-ups. In *European Conference on Ambient Intelligence*, pp. 266-286
- [248] Van den Abeele, F., Hoebeke, J., Moerman, I., & Demeester, P. (2014). Fine-grained management of CoAP interactions with constrained IoT devices. In *14th IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (NOMS)*, pp. 1-5
- [249] Uckelmann, D., Isenberg, M. A., Teucke, M., Halfar, H., & Scholz-Reiter, B. (2011). Autonomous control and the internet of things: Increasing robustness, scalability and agility in logistic networks. In *Unique radio innovation for the 21st century*, pp. 163-181
- [250] Sarkar, C., Nambi, S. A. U., Prasad, R. V., & Rahim, A. (2014). A scalable distributed architecture towards unifying IoT applications. In *2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, pp. 508-513
- [251] Dunkels, A., Eriksson, J., & Tsiftes, N. (2011). Low-power Interoperability for the IPv6-based Internet of Things. In *Proceedings of the 10th Scandinavian Workshop on Wireless Ad-Hoc Networks (ADHOC'11)*, pp. 10-11

- [252] Ishaq, I., Carels, D., Teklemariam, G., Hoebeke, J., Abeele, F., Poorter, E., ... & Demeester, P. (2013). IETF standardization in the field of the internet of things (IoT): a survey. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 2(2), pp. 235-287
- [253] Cook, D. J., Youngblood, M., Heierman, E. O., Gopalratnam, K., Rao, S., Litvin, A., & Khawaja, F. (2003). MavHome: An agent-based smart home. In *Proceedings of the First IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, (PerCom)*, pp. 521-524
- [254] Das, S. K., Cook, D. J., Battacharya, A., Heierman, E. O., & Lin, T. Y. (2002). The role of prediction algorithms in the MavHome smart home architecture. *IEEE Wireless Communications*, 9(6), pp. 77-84
- [255] Han, D. M., & Lim, J. H. (2010). Design and implementation of smart home energy management systems based on zigbee. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56(3), pp. 1417-1425
- [256] Noury, N., Hervé, T., Rialle, V., Virone, G., Mercier, E., Morey, G., ... & Porcheron, T. (2000). Monitoring behavior in home using a smart fall sensor and position sensors. In *1st Annual International IEEE-EMBS Special Topic Conference on Microtechnologies in Medicine and Biology. Proceedings (Cat. No. 00EX451)*, pp. 607-610
- [257] Sixsmith, A., & Johnson, N. (2004). A smart sensor to detect the falls of the elderly. *IEEE Pervasive computing*, 3(2), pp. 42-47
- [258] Yu, M., Rhuma, A., Naqvi, S. M., Wang, L., & Chambers, J. (2012). A posture recognition-based fall detection system for monitoring an elderly person in a smart home environment. *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, 16(6), pp. 1274-1286
- [259] Yu, S. H., Hsieh, J. W., Chen, Y. S., & Hu, W. F. (2003). An automatic traffic surveillance system for vehicle tracking and classification. In *Scandinavian conference on image analysis*, pp. 379-386
- [260] Hu, W., Hu, X., Deng, J. Q., Zhu, C., Fotopoulos, G., Ngai, E. C. H., & Leung, V. (2014). Mood-fatigue analyzer: towards context-aware mobile sensing applications for safe driving. In *Proceedings of the 1st ACM Workshop on Middleware for Context-Aware Applications in the IoT*, pp. 19-24
- [261] Singh, H., Bhatia, J. S., & Kaur, J. (2011). Eye tracking based driver fatigue monitoring and warning system. In *India International Conference on Power Electronics 2010 (IICPE2010)*, pp. 1-6
- [262] Eren, H., Makinist, S., Akin, E., & Yilmaz, A. (2012). Estimating driving behavior by a smartphone. In *2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 234-239
- [263] White, J., Thompson, C., Turner, H., Dougherty, B., & Schmidt, D. C. (2011). Wreckwatch: Automatic traffic accident detection and notification with smartphones. *Mobile Networks and Applications*, 16(3), pp. 285-303
- [264] Zhao, J. C., Zhang, J. F., Feng, Y., & Guo, J. X. (2010). The study and application of the IOT technology in agriculture. In *2010 3rd International Conference on Computer Science and Information Technology*, 2, pp. 462-465
- [265] Zhao, G., Guo, Y., Sun, X., & Wang, X. (2015). A system for pesticide residues detection and agricultural products traceability based on acetylcholinesterase biosensor and internet of things. *International Journal of Electrochemical Science*, 10(4), pp. 3387-3399
- [266] Hauber-Davidson, G., & Idris, E. (2006). Smart water metering. *Water*, 33(3), pp. 38-41

- [267] Yan, B., & Huang, G. (2009). Supply chain information transmission based on RFID and internet of things. In 2009 ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management, 4, pp. 166-169
- [268] Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2011). SIoT: giving a social structure to the internet of things. *IEEE Communication Letters*, 15(11), pp. 1193-1195
- [269] Liang, G., Cao, J., & Zhu, W. (2013). CircleSense: A pervasive computing system for recognizing social activities. In 2013 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), pp. 201-206
- [270] Roman, R., & Lopez, J. (2009). Integrating wireless sensor networks and the internet: a security analysis. *Internet Research*, 19(2), pp. 246-259
- [271] Kang, K., Pang, Z., Da Xu, L., Ma, L., & Wang, C. (2014). An interactive trust model for application market of the internet of things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), pp. 1516-1526
- [272] Fielding, R. T., & Taylor, R. N. (2002). Principled design of the modern web architecture. *ACM Transactions Internet Technology*, 2(2), pp. 115-150
- [273] Frenken, T., Spiess, P., & Anke, J. (2008). A flexible and extensible architecture for device-level service deployment. *LNCS*, 5377, pp. 230-241
- [274] Islam, S. R., Kwak, D., Kabir, M. H., Hossain, M., & Kwak, K. S. (2015). The internet of things for health care: a comprehensive survey. *IEEE Access*, 3, pp. 678-708
- [275] Kim, H. H., Lee, S. Y., Baik, S. Y., & Kim, J. H. (2015). MELLO: Medical lifelog ontology for data terms from self-tracking and lifelog devices. *International journal of medical informatics*, 84(12), pp. 1099-1110
- [276] Kim, J., & Lee, J. W. (2014, March). OpenIoT: An open service framework for the Internet of Things. In 2014 IEEE world forum on internet of things (WF-IoT), pp. 89-93
- [277] Estimated Healthcare IoT Device Installations Worldwide from 2015 to 2020, <https://www.statista.com/statistics/735810/healthcare-iot-installations-global-estimate/>
- [278] Know the Key Factors Responsible for Growth of IoT Medical Devices Market Growing at Cagr of +25 % during the Forecast Period, <https://www.medgadget.com/2018/11/know-the-key-factors-responsible-for-growth-of-iot-medical-devices-market-growing-at-cagr-of-25-during-the-forecast-period.html>
- [279] Population health outcomes, <http://www.healthcatalyst.com/population-health-outcomes-3-keys-to-drive-improvement>
- [280] The role of IoT in the healthcare industry, <https://hackernoon.com/the-role-of-internet-of-things-in-the-healthcare-industry-759b2a1abe5>
- [281] Zhang, M., Zhao, H., Zheng, R., Wu, Q., & Wei, W. (2012). Cognitive internet of things: concepts and application example. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 9(6), pp. 151
- [282] Vlacheas, P., Giaffreda, R., Stavroulaki, V., Kelaidonis, D., Foteinos, V., Poullos, G., ... & Moessner, K. (2013). Enabling smart cities through a cognitive management framework for the internet of things. *IEEE communications magazine*, 51(6), pp. 102-111
- [283] Hossain, M. S., & Muhammad, G. (2017). Emotion-aware connected healthcare big data towards 5G. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(4), pp. 2399-2406
- [284] Piniewski, B., Muskens, J., Estevez, L., Carroll, R., & Cnossen, R. (2010). Empowering healthcare patients with smart technology. *Computer*, 43(7), pp. 27-34

- [285] Muhammad, G., Rahman, S. M. M., Alelaiwi, A., & Alamri, A. (2017). Smart health solution integrating IoT and cloud: A case study of voice pathology monitoring. *IEEE Communications Magazine*, 55(1), pp. 69-73
- [286] Samani, H., & Zhu, R. (2016). Robotic automated external defibrillator ambulance for emergency medical service in smart cities. *IEEE Access*, 4, pp. 268-283
- [287] Ghoneim, A., Muhammad, G., Amin, S. U., & Gupta, B. (2018). Medical image forgery detection for smart healthcare. *IEEE Communications Magazine*, 56(4), pp. 33-37
- [288] Muhammad, G. (2015). Automatic speech recognition using interlaced derivative pattern for cloud based healthcare system. *Cluster Computing*, 18(2), pp. 795-802
- [289] Alhussein, M., Muhammad, G., Hossain, M. S., & Amin, S. U. (2018). Cognitive IoT-cloud integration for smart healthcare: Case study for epileptic seizure detection and monitoring. *Mobile Networks and Applications*, 23(6), pp. 1624-1635
- [290] Yang, G., Xie, L., Mäntysalo, M., Zhou, X., Pang, Z., Da Xu, L., ... & Zheng, L. R. (2014). A health-IoT platform based on the integration of intelligent packaging, unobtrusive bio-sensor, and intelligent medicine box. *IEEE transactions on industrial informatics*, 10(4), pp. 2180-2191
- [291] Sebastian, S., & Ray, P. P. (2015). Development of IoT invasive architecture for complying with health of home. *Proceedings of I3CS, Shillong*, pp. 79-83
- [292] Figueredo, M. V. M., & Dias, J. S. (2004). Mobile telemedicine system for home care and patient monitoring. In *The 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2, pp. 3387-3390
- [293] Sebastian, S., & Ray, P. P. (2015). When soccer gets connected to internet. In *Proceeding of international conference on computing and communication systems (I3CS)*, pp. 84-88
- [294] Ray, P. P., Sharma, A., & Rai, R. (2013). MDTRM: abstraction to model driven tree reference model of internet of things. In *Proc. National Conference on Applied Electronics (NCAE)*, pp. 61-64
- [295] Rai, R., Lepcha, C., Ray, P. P., & Chettri, P. (2013). GDMA: generalized domain model architecture of internet of things. In *Proceedings of National Conference on Applied Electronics (NCAE)*, pp. 65-68
- [296] Ray, P. P. (2014). Home Health Hub Internet of Things (H³ IoT): An architectural framework for monitoring health of elderly people. In *2014 International Conference on Science Engineering and Management Research (ICSEMR)*, pp. 1-3
- [297] Ray, P. P. (2018). A survey on Internet of Things architectures. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 30(3), pp. 291-319
- [298] Yu, L., Lu, Y., & Zhu, X. (2012). Smart hospital based on internet of things. *Journal of Networks*, 7(10), pp. 1654
- [299] Fan, Y. J., Yin, Y. H., Da Xu, L., Zeng, Y., & Wu, F. (2014). IoT-based smart rehabilitation system. *IEEE transactions on industrial informatics*, 10(2), pp. 1568-1577
- [300] Chaqfeh, M. A., & Mohamed, N. (2012). Challenges in middleware solutions for the internet of things. In *2012 international conference on collaboration technologies and systems (CTS)*, pp. 21-26
- [301] Pötter, H. B., & Sztajnberg, A. (2016). Adapting heterogeneous devices into an IoT context-aware infrastructure. In *2016 IEEE/ACM 11th International Symposium on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems (SEAMS)*, pp. 64-74
- [302] Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things journal*, 1(1), pp. 22-32

- [303] Shelby, Z., Hartke, K., & Bormann, C. (2014). The constrained application protocol (CoAP), No. RFC 7252
- [304] Botts, M., Percivall, G., Reed, C., & Davidson, J. (2006). OGC® sensor web enablement: Overview and high level architecture. In *International conference on GeoSensor Networks*, pp. 175-190
- [305] Gu, T., Pung, H. K., & Zhang, D. Q. (2004). Toward an OSGi-based infrastructure for context-aware applications. *IEEE Pervasive Computing*, 3(4), pp. 66-74
- [306] Moraru, A., Mladenec, D., Vucnik, M., Porcius, M., Fortuna, C., & Mohorcic, M. (2011). Exposing real world information for the web of things. In *Proceedings of the 8th International Workshop on Information Integration on the Web: in conjunction with WWW 2011*, pp. 6
- [307] MySQL, <https://www.mysql.com/>
- [308] Compton, M., Barnaghi, P., Bermudez, L., GarcíA-Castro, R., Corcho, O., Cox, S., ... & Huang, V. (2012). The SSN ontology of the W3C semantic sensor network incubator group. *Web semantics: science, services and agents on the World Wide Web*, 17, pp. 25-32
- [309] Web Ontology Language (OWL), <https://www.w3.org/OWL/>
- [310] Donelson, L., Tarczy-Hornoch, P., Mork, P., Dolan, C., Mitchell, J. A., Barrier, M., & Mei, H. (2004). The BioMediator system as a data integration tool to answer diverse biologic queries. In *Medinfo*, pp. 768-772
- [311] Eckman, B. A., Lacroix, Z., & Raschid, L. (2001). Optimized seamless integration of biomolecular data. In *Proceedings 2nd Annual IEEE International Symposium on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE 2001)*, pp. 23-32
- [312] Goble, C. A., Stevens, R., Ng, G., Bechhofer, S., Paton, N. W., Baker, P. G., ... & Brass, A. (2001). Transparent access to multiple bioinformatics information sources. *IBM Systems Journal*, 40(2), pp. 532-551
- [313] Philippi, S. (2004). Light-weight integration of molecular biological databases. *Bioinformatics*, 20(1), pp. 51-57
- [314] Carbonaro, A., Piccinini, F., & Reda, R. (2018). Integrating heterogeneous data of healthcare devices to enable domain data management. *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, 14(1)
- [315] Dimou, A., Vander Sande, M., Colpaert, P., Verborgh, R., Mannens, E., & Van de Walle, R. (2014, April). RML: A Generic Language for Integrated RDF Mappings of Heterogeneous Data. In *LDOW*
- [316] Martín, L., Anguita, A., Maojo, V., Bonsma, E., Bucur, A. I., Vrijnsen, J., ... & Doerr, M. (2008). Ontology Based Integration of Distributed and Heterogeneous Data Sources in ACGT. In *HEALTHINF*, pp. 301-306
- [317] Brockmans, S., Volz, R., Eberhart, A., & Löffler, P. (2004). Visual modeling of OWL DL ontologies using UML. In *International Semantic Web Conference*, pp. 198-213
- [318] Moazzami, M. M., Xing, G., Mashima, D., Chen, W. P., & Herberg, U. (2016). SPOT: A smartphone-based platform to tackle heterogeneity in smart-home IoT systems. In *2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, pp. 514-519
- [319] Extensible Markup Language (XML), <https://www.w3.org/XML/>
- [320] Pires, P. F., Cavalcante, E., Barros, T., Delicato, F. C., Batista, T., & Costa, B. (2014). A platform for integrating physical devices in the Internet of Things. In *2014 12th IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing*, pp. 234-241
- [321] Sinha, N., Pujitha, K. E., & Alex, J. S. R. (2015). Xively based sensing and monitoring system for IoT. In *2015 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, pp. 1-6

- [322] Qin, W., Li, Q., Sun, L., Zhu, H., & Liu, Y. (2011). RestThing: A Restful Web service infrastructure for mash-up physical and Web resources. In 2011 IFIP 9th International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing, pp. 197-204
- [323] Gao, L., Zhang, C., & Sun, L. (2011). RESTful Web of Things API in sharing sensor data. In 2011 International Conference on Internet Technology and Applications, pp. 1-4
- [324] Introducing JSON, <https://www.json.org/>
- [325] What Is a CSV File?, <https://www.lifewire.com/csv-file-2622708>
- [326] Vega-Barbas, M., Casado-Mansilla, D., Valero, M. A., López-de-Ipina, D., Bravo, J., & Flórez, F. (2012). Smart spaces and smart objects interoperability architecture (S3OiA). In 2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, pp. 725-730
- [327] Sakamoto, T., & Nimura, K. (2016). Dynamic connection management between Web apps and peripheral devices by Web driver. In 2016 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops), pp. 1-6
- [328] Khaleel, H., Conzon, D., Kasinathan, P., Brizzi, P., Pastrone, C., Pramudianto, F., ... & Paralic, M. (2015). Heterogeneous applications, tools, and methodologies in the car manufacturing industry through an IoT approach. *IEEE Systems journal*, 11(3), pp. 1412-1423
- [329] Multiagent Systems, <http://www.masfoundations.org>
- [330] Castillejo, P., Martinez, J. F., Rodriguez-Molina, J., & Cuerva, A. (2013). Integration of wearable devices in a wireless sensor network for an E-health application. *IEEE Wireless Communications*, 20(4), pp. 38-49
- [331] Martin, D., Lamsfus, C., & Alzua, A. (2010). Automatic context data life cycle management framework. In 5th International Conference on Pervasive Computing and Applications, pp. 330-335
- [332] Warriach, E. U., Kaldeli, E., Bresser, J., Lazovik, A., & Aiello, M. (2011). Heterogeneous device discovery framework for the smart homes. In 2011 IEEE GCC Conference and Exhibition (GCC), pp. 637-640
- [333] Soldatos, J., Serrano, M., & Hauswirth, M. (2012). Convergence of utility computing with the internet-of-things. In 2012 Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing, pp. 874-879
- [334] The Hydra (LinkSmart) Project, <http://www.hydramiddleware.eu/>
- [335] Roy, S. K., Misra, S., & Raghuwanshi, N. S. (2019). SensPnP: Seamless Integration of Heterogeneous Sensors With IoT Devices. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 65(2), pp. 205-214
- [336] Almadani, B., Saeed, B., & Alroubaiy, A. (2016). Healthcare systems integration using real time publish subscribe (RTPS) middleware. *Computers & Electrical Engineering*, 50, pp. 67-78
- [337] Connecting Devices and Data on the Healthcare Network, <https://www.aami-bit.org/doi/pdf/10.2345/0899-8205-44.1.18>
- [338] Rhoads, J. G., Cooper, T., Fuchs, K., Schluter, P., & Zambuto, R. P. (2010). Medical device interoperability and the Integrating the Healthcare Enterprise (IHE) initiative. *Biomed Instrum Technol (Suppl)*, pp. 21-27
- [339] Emmerich, W. (2000). *Engineering distributed objects*. John Wiley & Sons Software
- [340] Amelung, V., Stein, V., Goodwin, N., Balicer, R., Nolte, E., & Suter, E. (Eds.). (2017). *Handbook integrated care*
- [341] Rolim, C. O., Koch, F. L., Westphall, C. B., Werner, J., Fracalossi, A., & Salvador, G. S. (2010). A cloud computing solution for patient's data collection in health care

- institutions. In 2010 Second International Conference on eHealth, Telemedicine, and Social Medicine, pp. 95-99
- [342] Fioravanti, A., Fico, G., Arredondo, M. T., Salvi, D., & Villalar, J. L. (2010). Integration of heterogeneous biomedical sensors into an ISO/IEEE 11073 compliant application. In 2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology, pp. 1049-1052)
- [343] Santos, J., Rodrigues, J. J., Silva, B. M., Casal, J., Saleem, K., & Denisov, V. (2016). An IoT-based mobile gateway for intelligent personal assistants on mobile health environments. *Journal of Network and Computer Applications*, 71, pp. 194-204
- [344] Arney, D., Fischmeister, S., Goldman, J. M., Lee, I., & Trausmuth, R. (2009). Plug-and-play for medical devices: Experiences from a case study. *Biomedical Instrumentation & Technology*, 43(4), pp. 313-317
- [345] Kumari, A., Tanwar, S., Tyagi, S., & Kumar, N. (2018). Fog computing for Healthcare 4.0 environment: Opportunities and challenges. *Computers & Electrical Engineering*, 72, pp. 1-13
- [346] Gong, P., Feng, D., & Lim, Y. S. (2005). An intelligent middleware for dynamic integration of heterogeneous health care applications. In 11th International Multimedia Modelling Conference, pp. 198-205
- [347] Arts, D. G., De Keizer, N. F., & Scheffer, G. J. (2002). Defining and improving data quality in medical registries: a literature review, case study, and generic framework. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 9(6), pp. 600-611
- [348] Weir, J. P. (2005). Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(1), pp. 231-240
- [349] Kaur, G., & Bahl, K. (2014). Software reliability, metrics, reliability improvement using agile process. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 1(3), pp. 143-147
- [350] Kunkun, P., & Xiangong, L. (2014). Reliability Evaluation of Coal Mine Internet of Things. In 2014 International Conference on Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things, pp. 301-302
- [351] Frühwirth, T., Krammer, L., & Kastner, W. (2015). Dependability demands and state of the art in the internet of things. In 2015 IEEE 20th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), pp. 1-4
- [352] Lyu, M. R. (2007). Software reliability engineering: A roadmap. In Future of Software Engineering (FOSE'07), pp. 153-170
- [353] Schneidewind, N. (2010). Tutorial on Hardware and Software Reliability, Maintainability, and Availability. *Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication*, 7(4), pp. 134-150
- [354] Thomas, M. O., & Rad, B. B. (2017). Reliability evaluation metrics for internet of things, car tracking system: a review. *Int. J. Inf. Technol. Comput. Sci. (IJITCS)*, 9(2), pp. 1-10
- [355] IEEE Computer Society. Software Engineering Technical Committee. (1983). IEEE standard glossary of software engineering terminology. Institute of Electrical and Electronics Engineers
- [356] Marzullo, K. (1990). Tolerating failures of continuous-valued sensors. *ACM Transactions on Computer Systems (TOCS)*, 8(4), pp. 284-304
- [357] Ganesan, D., Govindan, R., Shenker, S., & Estrin, D. (2001). Highly-resilient, energy-efficient multipath routing in wireless sensor networks. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 5(4), pp. 11-25

- [358] Gupta, G., & Younis, M. (2003). Fault-tolerant clustering of wireless sensor networks. In 2003 IEEE Wireless Communications and Networking (WCNC), 3, pp. 1579-1584
- [359] Desovski, D., Liu, Y., & Cukic, B. (2005). Linear randomized voting algorithm for fault tolerant sensor fusion and the corresponding reliability model. In Ninth IEEE International Symposium on High-Assurance Systems Engineering (HASE), pp. 153-162
- [360] I-Iarte, S., Rahmanl, A., & Razeeb, K. M. (2005). Fault tolerance in sensor networks using self-diagnosing sensor nodes
- [361] Saini, N. K. (2016). Trust factor and reliability-over-a-period-of-time as key differentiators in iot enabled services. In 2016 International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA), pp. 411-414
- [362] Van der Velde, E. T., Foeken, H., Witteman, T. A., van Erven, L., & Schali, M. J. (2012). Integration of data from remote monitoring systems and programmers into the hospital electronic health record system based on international standards. Netherlands Heart Journal, 20(2), pp. 66-70
- [363] Scott, M. T., Scott, T. J., & Kelly, V. G. (2016). The validity and reliability of global positioning systems in team sport: a brief review. The Journal of Strength & Conditioning Research, 30(5), pp. 1470-1490
- [364] Biswas, A. R., & Giaffreda, R. (2014). IoT and cloud convergence: Opportunities and challenges. In 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), pp. 375-376
- [365] Sheng, W. W., & Colino, R. P. (2004). Power electronic modules: design and manufacture. CRC press
- [366] Yang, L., Agyakwa, P. A., & Johnson, C. M. (2012). Physics-of-failure lifetime prediction models for wire bond interconnects in power electronic modules. IEEE Transactions on Device and Materials Reliability, 13(1), pp. 9-17
- [367] Liu, Y. (2012). Power electronic packaging: design, assembly process, reliability and modeling. Springer Science & Business Media
- [368] Georgiev, A., Papanchev, T., & Nikolov, N. (2016). Reliability assessment of power semiconductor devices. In 2016 19th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), pp. 1-4
- [369] Wason, R., Ahmed, P., & Rafiq, M. Q. (2012). New Paradigm for Software Reliability Estimation. International Journal of Computer Applications, 44(14), pp. 39-44
- [370] Kaur, G., & Bahl, K. (2014). Software reliability, metrics, reliability improvement using agile process. International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, 1(3), pp. 143-147
- [371] Thomas, M. O., & Rad, B. B. (2017). Reliability evaluation metrics for internet of things, car tracking system: a review. Int. J. Inf. Technol. Comput. Sci.(IJITCS), 9(2), pp. 1-10
- [372] Tiwari, V., & Pandey, R. (2012). Open source software and reliability metrics. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, 1(10), pp. 808-815
- [373] Stanley, S. (2011). Mtb_f, mtr, mttf & fit explanation of terms. IMC Networks, pp. 1-6
- [374] Farooq, S. U., Quadri, S. M. K., & Ahmad, N. (2012). Metrics, models and measurements in software reliability. In 2012 IEEE 10th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII), pp. 441-449

- [375] MTBF, MTTR and Reliability, <https://www.epsilonengineer.com/mtbf-mttr-and-reliability.html>
- [376] Tsarouhas, P. H. (2010). Measuring the efficiency of medical equipment. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 4(44), pp. 340-345
- [377] Bowman, K., & Cline, B. (2015). How the Internet of Things will improve reliability tracking. In *2015 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, pp. 1-5
- [378] Validity and Reliability, <http://learntech.uwe.ac.uk/da/Default.aspx?pageid=1429>
- [379] Different Types of Reliability, <http://www2.hawaii.edu/~cheang/Different%20Types%20of%20Reliability.htm>
- [380] Hallgren, K. A. (2012). Computing inter-rater reliability for observational data: an overview and tutorial. *Tutorials in quantitative methods for psychology*, 8(1), pp. 23
- [381] Chaturvedi, H. K., & Shweta, R. C. (2015). Evaluation of inter-rater agreement and inter-rater reliability for observational data: An overview of concepts and methods. *JIAAP*, 41, pp. 20-27
- [382] Doty, R. L., McKeown, D. A., Lee, W. W., & Shaman, P. (1995). A study of the test-retest reliability of ten olfactory tests. *Chemical senses*, 20(6), pp. 645-656
- [383] Types of Reliability, <https://socialresearchmethods.net/kb/reotypes.php>
- [384] Napoli, A. M., Machan, J. T., Corl, K., & Forcada, A. (2012). Interrater reliability and parallel forms reliability of two noninvasive hemodynamic monitoring devices in clinically stable emergency department patients. *European Journal of Emergency Medicine*, 19(5), pp. 297-303
- [385] Zeng, Z., Wen, M., & Kang, R. (2013). Belief reliability: a new metrics for products' reliability. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 12(1), pp. 15-27
- [386] Cai, K., Wen, C., & Zhang, M. (1991). Fuzzy variables as a basis for a theory of fuzzy reliability in the possibility context. *Fuzzy Sets And Systems*, 42(2), pp. 145-172
- [387] Kyriazis, D., & Varvarigou, T. (2013). Smart, autonomous and reliable Internet of Things. *Procedia Computer Science*, 21, pp. 442-448
- [388] Ahmad, M. (2014). Reliability models for the internet of things: A paradigm shift. In *2014 IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops*, pp. 52-59
- [389] Li, L., Jin, Z., Li, G., Zheng, L., & Wei, Q. (2012). Modeling and analyzing the reliability and cost of service composition in the IoT: A probabilistic approach. In *2012 IEEE 19th International Conference on Web Services*, pp. 584-591
- [390] Zin, T. T., Tin, P., & Hama, H. (2016). Reliability and availability measures for Internet of Things consumer world perspectives. In *2016 IEEE 5th Global Conference on Consumer Electronics*, pp. 1-2
- [391] Tsarouhas, P. H., & Fourlas, G. (2015). Reliability and maintainability analysis of a robotic system for industrial applications: a case study. *International Journal of Performability Engineering*, 11(5), pp. 453-462
- [392] Tsarouhas, P., & Nazlis, D. (2006). Industrial systems maintenance under the light of reliability. *Information Technology Journal*, 5(1), pp. 13-17
- [393] Lyu, M. R. (2007, May). Software reliability engineering: A roadmap. In *Future of Software Engineering (FOSE'07)*, pp. 153-170
- [394] Schneidewind, N. (2010). Tutorial on Hardware and Software Reliability, Maintainability, and Availability. *Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication*, 7(4), pp. 134-150
- [395] O'Connor, P., & Kleyner, A. (2012). *Practical reliability engineering*. John Wiley & Sons

- [396] Yong-Fei, L., & Li-Qin, T. (2014). Comprehensive evaluation method of Reliability of Internet of Things. In 2014 Ninth International Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing, pp. 262-266
- [397] Kunkun, P., & Xiangong, L. (2014). Reliability Evaluation of Coal Mine Internet of Things. In 2014 International Conference on Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things, pp. 301-302
- [398] Mezghani, E., Exposito, E., Drira, K., Da Silveira, M., & Pruski, C. (2015). A semantic big data platform for integrating heterogeneous wearable data in healthcare. *Journal of medical systems*, 39(12), pp. 185
- [399] The Evolution of Smart Health Care, <https://www.hticonference.com/wp-content/uploads/2018/03/gx-lshc-hc-outlook-2018.pdf>
- [400] Reisman, M. (2017). EHRs: the challenge of making electronic data usable and interoperable. *Pharmacy and Therapeutics*, 42(9), pp. 572
- [401] Lee, C., Luo, Z., Ngiam, K. Y., Zhang, M., Zheng, K., Chen, G., ... & Yip, W. L. J. (2017). Big healthcare data analytics: Challenges and applications. In *Handbook of Large-Scale Distributed Computing in Smart Healthcare*, pp. 11-41
- [402] Gwet, K. L. (2014). *Handbook of inter-rater reliability: The definitive guide to measuring the extent of agreement among raters*. Advanced Analytics, LLC
- [403] Toporkov, A. A. (2007). Assessment of service life of sophisticated medical equipment. *Biomedical Engineering*, 41(3), pp. 122-127
- [404] Leape, L. L. (1997). A systems analysis approach to medical error. *Journal of evaluation in clinical practice*, 3(3), pp. 213-222
- [405] Department of Defense. (1991). *Reliability prediction of electronic equipment*. Department of Defense
- [406] Seong, P. H. (Ed.). (2008). *Reliability and risk issues in large scale safety-critical digital control systems*. Springer Science & Business Media
- [407] Condra, L. (2001). *Reliability improvement with design of experiment*. CRC Press
- [408] Mortin, D. E., Krolewski, J. G., & Cushing, M. J. (1995). Consideration of component failure mechanisms in the reliability assessment of electronic equipment-addressing the constant failure rate assumption. In *Annual Reliability and Maintainability Symposium 1995 Proceedings*, pp. 54-59
- [409] Reid, R. E., Insogna, J. A., Carver, T. E., Comptour, A. M., Bewski, N. A., Sciortino, C., & Andersen, R. E. (2017). Validity and reliability of Fitbit activity monitors compared to ActiGraph GT3X+ with female adults in a free-living environment. *Journal of science and medicine in sport*, 20(6), pp. 578-582
- [410] Ruggiero, L., Dewhurst, S., & Bampouras, T. M. (2016). Validity and reliability of two field-based leg stiffness devices: implications for practical use. *Journal of applied biomechanics*, 32(4), pp. 415-419
- [411] Vohralik, S. L., Bowen, A. R., Burns, J., Hiller, C. E., & Nightingale, E. J. (2015). Reliability and validity of a smartphone app to measure joint range. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 94(4), pp. 325-330
- [412] Lee, J. A., Halpern, E. M., Lovblom, L. E., Yeung, E., Bril, V., & Perkins, B. A. (2014). Reliability and validity of a point-of-care sural nerve conduction device for identification of diabetic neuropathy. *PloS one*, 9(1), e86515
- [413] Pickerill, M. L., & Harter, R. A. (2011). Validity and reliability of limits-of-stability testing: a comparison of 2 postural stability evaluation devices, pp. 600-606
- [414] Sonter, J., Sadler, S., & Chuter, V. (2015). Inter-rater reliability of automated devices for measurement of toe systolic blood pressure and the toe brachial index. *Blood pressure monitoring*, 20(1), pp. 47-51

- [415] Bedekar, N., Suryawanshi, M., Rairikar, S., Sancheti, P., & Shyam, A. (2014). Inter and intra-rater reliability of mobile device goniometer in measuring lumbar flexion range of motion. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*, 27(2), pp. 161-166
- [416] Ganio, M. S., Brown, C. M., Casa, D. J., Becker, S. M., Yeargin, S. W., McDermott, B. P., ... & Maresh, C. M. (2009). Validity and reliability of devices that assess body temperature during indoor exercise in the heat. *Journal of athletic training*, 44(2), pp. 124-135
- [417] Baker, R. D. (2001). Data-based modeling of the failure rate of repairable equipment. *Lifetime Data Analysis*, 7(1), pp. 65-83
- [418] Toporkov, A. A. (2008). Criteria and methods for assessing reliability of medical equipment. *Biomedical Engineering*, 42(1), pp. 11-16
- [419] Singh, J., & Goel, P. (1995). Availability analysis of a standby complex system having imperfect switch-over device. *Microelectronics Reliability*, 35(2), pp. 285-288
- [420] Ion, R. A., Sonnemans, P. J., & Wensing, T. (2006). Reliability prediction for complex medical systems. In *RAMS'06. Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 368-373
- [421] Early reliability prediction based on Field Data, <http://alexandria.tue.nl/extra2/afstversl/tm/roelfsema2004.pdf>
- [422] Weka 3: Data Mining Software in Java, <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>
- [423] Introduction to k-nearest neighbors: Simplified, <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2014/10/introduction-k-neighbours-algorithm-clustering/>
- [424] A Detailed Introduction to K-Nearest Neighbor (KNN) Algorithm, <https://saravananthirumuruganathan.wordpress.com/2010/05/17/a-detailed-introduction-to-k-nearest-neighbor-knn-algorithm/>
- [425] Wu, Y., Ianakiev, K., & Govindaraju, V. (2002). Improved k-nearest neighbor classification. *Pattern recognition*, 35(10), pp. 2311-2318
- [426] Klopotek, M. A. (2005). Very large Bayesian multinets for text classification. *Future Generation Computer Systems*, 21(7), pp. 1068-1082
- [427] Rish, I. (2001). An empirical study of the naive Bayes classifier. In *IJCAI 2001 workshop on empirical methods in artificial intelligence*, 3(22), pp. 41-46
- [428] Naive bayes, http://scikit-learn.org/stable/modules/naive_bayes.html
- [429] Murphy, K. P. (2006). Naive bayes classifiers. *University of British Columbia*, 18, 60.
- [430] Chau, A. L., Li, X., & Yu, W. (2014). Support vector machine classification for large datasets using decision tree and Fisher linear discriminant. *Future Generation Computer Systems*, 36, pp. 57-65
- [431] Support Vector Machine - Classification (SVM), http://www.saedsayad.com/support_vector_machine.htm
- [432] Zakariah, M. (2014). Classification of large datasets using Random Forest Algorithm in various applications: Survey. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJJEIT)*, 4(3)
- [433] Random Forests, https://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc_home.htm
- [434] Ho, T. K. (2002). A data complexity analysis of comparative advantages of decision forest constructors. *Pattern Analysis & Applications*, 5(2), pp. 102-112
- [435] Kawade, D. R., & Oza, K. S. (2015). SMS spam classification using WEKA. *International Journal of Electronics Communication and Computer Technology*, 5

- [436] Kiourtis, A., Mavrogiorgou, A., & Kyriazis, D. (2017). Aggregating heterogeneous health data through an ontological common health language. In 2017 10th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE), pp. 175-181
- [437] Protégé, <http://protege.stanford.edu>
- [438] Restlet, <https://studio.restlet.com/apis/local/info>
- [439] Runscope, <https://www.runscope.com/>
- [440] API Strategy 201: Private APIs vs. Open APIs, <https://www.apiacademy.co/lessons/2015/04/api-strategy-lesson-201-private-apis-vs-open-apis>
- [441] MAC Vendors, <https://macvendors.com/>
- [442] Cheatham, M., & Hitzler, P. (2013). String similarity metrics for ontology alignment. In International Semantic Web Conference, pp. 294-309
- [443] Mavrogiorgou, A., Kiourtis, A., & Kyriazis, D. (2017). A comparative study of classification techniques for managing iot devices of common specifications. In International Conference on the Economics of Grids, Clouds, Systems, and Services, pp. 67-77
- [444] Mean Time Between Failures and Mean Time To Repair, <https://www.opservices.com/mttr-and-mtbf>
- [445] MTTF, MTBF, Mean Time Between Replacements and MTBF with Scheduled Replacements, <http://www.weibull.com/hotwire/issue94/re basics94.htm>
- [446] Connected Device: The Internet of Everything, <https://www.bluetooth.com/markets/connected-device>
- [447] Ali, N. M., Jun, S. W., Karis, M. S., Ghazaly, M. M., & Aras, M. S. M. (2016). Object classification and recognition using Bag-of-Words (BoW) model. In 2016 IEEE 12th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA), pp. 216-220
- [448] OWL 2 Web Ontology Language Document Overview (Second Edition), <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/>
- [449] Google Images, <https://images.google.com>
- [450] OpenCV, <https://opencv.org/>
- [451] Introduction to SURF (Speeded-Up Robust Features), https://opencv-python-tutroals.readthedocs.io/en/latest/py_tutorials/py_feature2d/py_surf_intro/py_surf_intro.html
- [452] Mistry, D., & Banerjee, A. (2017). Comparison of Feature Detection and Matching Approaches: SIFT and SURF. GRD Journal, 2
- [453] Fast Approximate Nearest Neighbor Search, https://docs.opencv.org/2.4/modules/flann/doc/flann_fast_approximate_nearest_neighbor_search.html
- [454] Muja, M., & Lowe, D. G. (2014). Scalable nearest neighbor algorithms for high dimensional data. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 36(11), pp. 2227-2240
- [455] Pan, J. S., Qiao, Y. L., & Sun, S. H. (2004). A fast K nearest neighbors classification algorithm. IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 87(4), pp. 961-963
- [456] Natural Language Process semantic analysis: definition, <https://www.expertsystem.com/natural-language-process-semantic-analysis-definition/>
- [457] Abraham, A. (2005). Artificial neural networks. Handbook of measuring system design

- [458] Svozil, D., Kvasnicka, V., & Pospichal, J. (1997). Introduction to multi-layer feed-forward neural networks. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 39(1), pp. 43-62
- [459] Cortical.io, <http://www.cortical.io/api.html>
- [460] Jiménez-Ruiz, E., Grau, B. C., & Horrocks, I. (2012). Exploiting the UMLS metathesaurus in the ontology alignment evaluation initiative. In E-LKR
- [461] Availability and the Different Ways to Calculate It, <http://www.weibull.com/hotwire/issue79/relbasics79.htm>
- [462] Guide to the expression of uncertainty in measurement, <https://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>
- [463] Types of Reliability, http://changingminds.org/explanations/research/design/types_reliability.htm
- [464] Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of chiropractic medicine*, 15(2), pp. 155-163
- [465] Java SPSS Reader, <http://spss.pmstation.com/docs/spssr/api/index.html>
- [466] Hallgren, K. A. (2012). Computing inter-rater reliability for observational data: an overview and tutorial. *Tutorials in quantitative methods for psychology*, 8(1), pp. 23
- [467] Medical Grade vs Consumer Grade - Does it Matter to Seniors' Health?, <http://seniorcarecorner.com/medical-grade-health-devices-worth-it>
- [468] Netbeans, <https://netbeans.org>
- [469] Apache Derby, <https://db.apache.org/derby/>
- [470] Web API Reference, <https://dev.fitbit.com/build/reference/web-api/>
- [471] API Docs, <https://developer.garmin.com/connect-iq/api-docs/>
- [472] Getting iHealth Data, https://developer.ihealthlabs.com/dev_documentation_GettingiHealthData.htm
- [473] Xiaomi Open API, <https://dev.mi.com/docs/passport/en/open-api/>
- [474] How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything, <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/se/internet-of-things/at-a-glance-c45-731471.pdf>
- [475] Gil, D., Ferrández, A., Mora-Mora, H., & Peral, J. (2016). Internet of things: A review of surveys based on context aware intelligent services. *Sensors*, 16(7), pp. 1069
- [476] Leading the IoT, https://www.gartner.com/imagesrv/books/iot/iotEbook_digital.pdf
- [477] IDC Forecasts Worldwide Spending on the Internet of Things to Reach \$745 Billion in 2019, Led by the Manufacturing, Consumer, Transportation, and Utilities Sectors, <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS44596319>
- [478] Dyn Analysis Summary Of Friday October 21 Attack, <https://dyn.com/blog/dyn-analysis-summary-of-friday-october-21-attack>
- [479] AI AND IOMT SPUR HEALTHCARE INDUSTRY GROWTH, <https://medicalview.org/ai-and-iomt-spur-healthcare-industry-growth/>
- [480] Internet of Things (IoT) Healthcare Market is Expected to Reach \$136.8 Billion, Globally, by 2021, <https://www.alliedmarketresearch.com/press-release/internet-of-things-iot-healthcare-market.html>
- [481] Sixth Annual Benchmark Study on Privacy & Security of Healthcare Data, <https://www.ponemon.org/local/upload/file/Sixth%20Annual%20Patient%20Privacy%20%26%20Data%20Security%20Report%20FINAL%206.pdf>