

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ INTERNET OF THINGS
ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΝΟΣΗΛΕΙΑ ΑΣΘΕΝΩΝ
ΣΕ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΤΟΥ

ΤΣΑΛΙΚΑΚΗ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΧΑΤΖΗΛΑΚΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΚΥΠΡΟΣ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2018

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ INTERNET OF THINGS
ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΝΟΣΗΛΕΙΑ ΑΣΘΕΝΩΝ
ΣΕ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΤΟΥ

ΤΣΑΛΙΚΑΚΗ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΧΑΤΖΗΛΑΚΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΚΥΠΡΟΣ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2018

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, έχουν γίνει σημαντικά βήματα για την ανάπτυξη του «Διαδικτύου των Πραγμάτων» ή όπως είναι ευρύτερα γνωστό το Internet of things (IoT) και αυτό έχει ως συνέπεια την εμφάνιση νέων χρήσιμων εφαρμογών. Η παρούσα εργασία προτείνει μία νέα, έξυπνη αρχιτεκτονική IoT για την αυτόματη παρακολούθηση και καταγραφή βιοϊατρικών στοιχείων των ασθενών αλλά και των ιατρικών συσκευών στα νοσοκομεία και στα νοσηλευτικά ιδρύματα.

Ακολουθώντας το όραμα του IoT, προτείνουμε ένα έξυπνο νοσοκομειακό σύστημα, το οποίο βασίζεται στη σύνδεση διάφορων μικρών και μεγάλων συσκευών με ενσωματωμένους αισθητήρες, οι οποίες συλλέγουν και αποστέλουν δεδομένα σε μία υποδομή δικτύου χαμηλής κατανάλωσης ευρείας περιοχής (LoRaWAN). Το προτεινόμενο σύστημα είναι σε θέση να συλλέγει, σε πραγματικό χρόνο, τόσο τις περιβαλλοντικές συνθήκες όσο και τις φυσιολογικές παραμέτρους των ασθενών μέσω ενός δικτύου αισθητήρων. Τα ανιχνευόμενα δεδομένα παραδίδονται σε ένα κέντρο ελέγχου όπου μια προηγμένη εφαρμογή παρακολούθησης τους καθιστά εύκολη την πρόσβαση τόσο από τοπικούς όσο και απομακρυσμένους χρήστες μέσω μιας διαδικτυακής υπηρεσίας.

Αυτό το έξυπνο νοσοκομειακό σύστημα εγκαταστάθηκε στο Πανεπιστημιακό Γενικό Νοσοκομείο Θεσσαλονίκης «ΑΧΕΠΑ», το οποίο είναι ένα από τα μεγαλύτερα νοσοκομεία της Ελλάδας. Μετά από μελέτη παρατηρήθηκε ότι με την χρήση του προτεινόμενου συστήματος η απόδοση γιατρών και νοσοκομειακού προσωπικού αυξήθηκε καθώς βελτιώθηκε η διεκπεραίωση διαδικασιών στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης και της βιοϊατρικής.

Λέξεις - Κλειδιά

Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Σύστημα υγειονομικής περίθαλψης, Δίκτυο αισθητήρων

Abstract

In recent years, significant steps have been made for the «Internet of Things» development. This results in the emergence of new fascinating and useful applications. This paper proposes a new, intelligent IoT architecture for the automatic monitoring and recording of biomedical data of patients and medical devices, in hospitals and nursing homes.

Keeping the vision of IoT, we recommend a smart hospital system based on the connection of several small and large devices with built-in sensors that collect and send data to a LoRaWAN network, a Low-Power Wide-Area network. The proposed system is able to collect, in real-time, both environmental conditions and physiological parameters of patients through a network of sensors. The scanned data is delivered to a control center where an advanced monitoring application makes it easy for both local and remote users to access via an online service.

This smart hospital system has been installed at «AHEPA» University Hospital, which is one of the largest hospitals in Greece. After study, it was observed that using the proposed system the performance of doctors and hospital staff has increased as procedures for health care and biomedicine have improved.

Keywords

IoT, Internet of Things, Healthcare system, Sensors network

Copyright © Τσαλικάκης Δημήτριος, 2018, Κύπρος

Δήλωση Πνευματικών Δικαιωμάτων

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο ή/και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή.

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

Ευχαριστίες

Όσο μοναχική και αν είναι η πορεία για την απόκτηση ενός μεταπτυχιακού τίτλους σπουδών, δεν μπορεί παρά να ζητήσεις βοήθεια απο φίλους και συνεργάτες και φυσικά να «κλέψεις» και πάλι την στήριξη της οικογένειας σου. Θα ήθελα ευχαριστήσω τον «Δάσκαλο» Χατζηλάκο Αθανάσιο, που με βοήθησε με την επιλογή του θέματος, με τις πολύτιμες παρατηρήσεις του αλλά και γιατί μέσα απο τις συνεδρίες των μαθημάτων του αποκόμισα πολύτιμες μαθησιακές εμπειρίες.

Θα ευχαριστήσω την Άννα Ντάγιου, τον Γιώργο Στεφανίδη και τον Πάνο Ματσαρίδη για την πολύτιμη βοήθεια τους σε τεχνικά θέματα και σε θέματα δικτύων LoRaWAN. Είναι πηγή έμπνευσης να δουλεύεις δίπλα και μαζί με νέους-φρέσκους ανθρώπους.

Τέλος, θα ευχαριστήσω την σύζυγο μου Κυριακή, τις κόρες μου Σοφία και Αριάδνη και νομίζω ότι ήρθε η ώρα να τους υποσχεθώ ότι αυτό ήταν το τελευταίο μεταπτυχιακό.

Περιεχόμενα

1	IoT: Internet of Things	15
1.1	Εισαγωγή	15
1.2	Επικοινωνία συσκευών	18
1.2.1	Device-to-Device	18
1.2.2	Device-to-Cloud	19
1.2.3	Device-to-Gateway	21
1.2.4	Back-End Data-Sharing	22
1.2.5	Σύνοψη επικοινωνίας συσκευών	24
1.3	Απαιτήσεις	24
1.3.1	Ασφάλεια	25
1.3.2	Ιδιωτικότητα	27
1.3.3	Διαλειτουργικότητα και πρότυπα	29
1.3.4	Νομικά, ρυθμιστικά θέματα και δικαιώματα	31

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.3.5	Οικονομικά πεδία προς ανάπτυξη	32
1.4	Εφαρμογές	34
1.4.1	Έξυπνη πόλη	35
1.4.2	Έξυπνο σπίτι	36
1.4.3	Ιατρική και υγειονομική περίθαλψη	37
2	IoT στο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης	38
2.1	Εισαγωγή	38
2.2	Τεχνολογικές τάσεις στην υγεία	39
2.2.1	Τηλεϊατρική	40
2.2.2	Συσκευές-Wearables	41
2.2.3	Εφαρμογές	41
2.3	Πλεονεκτήματα	42
2.4	Συμπεράσματα	44
3	Βιβλιογραφική ανασκόπηση	45
3.1	Παλαιότερες έρευνες	45
3.1.1	Evaluation of LoRa LPWAN Technology for Indoor Remote Health and Wellbeing Monitoring	45
3.1.2	Adaptive Rule Engine Based IoT Enabled Remote Health Care Data Acquisition and Smart Transmission System	46

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

3.1.3	BSN-Care: A Secure IoT-Based Modern Healthcare System Using Body Sensor Network	47
3.1.4	A Cooperative Internet of Things (IoT) for Rural Healthcare Monitoring and Control	48
3.2	Συγκριτική ανάλυση ερευνών	49
4	Προτεινόμενο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης βασισμένο σε IOT	51
4.1	Περιγραφή συστήματος	51
4.1.1	Αρχιτεκτονική	52
4.1.2	Arduino Mega	53
4.1.3	LoRaWAN Shield	54
4.1.4	Αισθητήρας βάρους	56
4.1.5	Αισθητήρας υγρασίας	57
4.1.6	Μπουτόν κλήσης αδερφής	57
4.1.7	Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας	58
4.2	Πλατφόρμα απεικόνισης δεδομένων	58
4.3	Φωτογραφικό υλικό συστήματος	61
5	Αποτελέσματα	64
5.1	Μετρικές	64
5.2	Πίνακες δεδομένων	65

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

5.3	Γραφικές αναπαραστάσεις	67
5.4	Συγκριτική μελέτη	70
5.5	Μελλοντικές επεκτάσεις	72
5.6	Κώδικας επικοινωνίας LoRaWAN	72

Κατάλογος Σχημάτων

1.1	Αριθμός IoT συσκευών παγκοσμίως από το 2015 έως το 2020 σύμφωνα με την IHS [5].	17
1.2	Παράδειγμα του μοντέλου επικοινωνίας Device-to-Device [8] . . .	19
1.3	Παράδειγμα του μοντέλου επικοινωνίας Device-to-Cloud [8] . . .	20
1.4	Παράδειγμα του μοντέλου επικοινωνίας Device-to-Gateway [8] . . .	22
1.5	Παράδειγμα του μοντέλου επικοινωνίας Back-End Data-Sharing [8]	23
4.1	Αρχιτεκτονική του προτεινόμενου συστήματος	53
4.2	Arduino Mega	54
4.3	LoRaWAN Shield	55
4.4	Αισθητήρας βάρους	56
4.5	Αρχική σελίδα της πλατφόρμας Cayenne myDevices για το προτεινόμενο σύστημα.	59
4.6	Γράφημα μέσης ωριαίας θερμοκρασίας δωματίου κατά τον μήνα Ιούλιο.	60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

4.7	Γράφημα μέσης θερμοκρασίας δωματίου κατά τον μήνα Ιούλιο. . .	60
4.8	Arduino Mega και LoRaWAN Shield.	61
4.9	Arduino Mega, LoRaWAN Shield και αισθητήρας θερμοκρασίας- υγρασίας.	62
4.10	Αισθητήρας βάρους και ενισχυτής σήματος αισθητήρα.	62
4.11	Αισθητήρες τοποθετημένοι στο νοσοκομειακό εξοπλισμό.	63
5.1	Μετρήσεις αισθητήρων πριν την επεξεργασία.	66
5.2	Μετρήσεις αισθητήρων μετά την επεξεργασία.	67
5.3	Γραφική αναπαράσταση των δεδομένων θερμοκρασίας του περι- βάλλοντος.	68
5.4	Γραφική αναπαράσταση των δεδομένων υγρασίας του περιβάλ- λοντος.	68
5.5	Γραφική αναπαράσταση των δεδομένων του βάρους του ορού. . .	69
5.6	Γραφική αναπαράσταση των δεδομένων του βάρους των ούρων. .	69
5.7	Συγκριτική γραφική αναπαράσταση των δεδομένων του βάρους του ορού και των ούρων.	70

Κατάλογος Πινάκων

3.1	Συγκριτική ανάλυση των ερευνών	50
4.1	Τεχνικά χαρακτηριστικά του LoRaWAN Shield	55

Συντομογραφίες

API	Application Programming Interface
BSN	Body Sensor Network
GPS	Global Positioning System
ΗΕΓ	Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα
ΗΚΓ	Ηλεκτροκαρδιογράφημα
ΗΜΓ	Ηλεκτρομυογράφημα
IETF	Internet Engineering Task Force
IHS	Information Handling Services Markit
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
LoRaWAN	Long Range Wide-Area Network.
LPWAN	Low-Power Wide-Area Network
OLA	Opportunistic Large Array
PDA	Personal Digital Assistant
REST	Representational State Transfer
RFID	Radio Frequency Identification
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Κεφάλαιο 1

IoT: Internet of Things

1.1 Εισαγωγή

Το «Διαδίκτυο των πραγμάτων» ή όπως είναι ευρύτερα γνωστό το IoT ξεκίνησε ως μία ιδέα, που έχει την βάση της στην σύνδεση διάφορων μικρών και μεγάλων συσκευών ή και συσκευών με ενσωματωμένους αισθητήρες και εξοπλισμό διασύνδεσης (tablets, τηλέφωνα, ηχεία, wearables, κάμερες, αισθητήρες κ.α) τόσο μεταξύ τους όσο και με τον κατασκευαστή, για να λαμβάνουν και να μεταδίδουν σχετικά δεδομένα (data) με στόχο να προσφέρουν περισσότερες προσωποποιημένες (personalized) υπηρεσίες.

Αρχικά το IoT χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει τα συστήματα ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνότητας, τα οποία είναι ευρέως γνωστά ως RFID[1]. Συγκεκριμένα ο όρος IoT ειπώθηκε για πρώτη φορά από τον Βρετανό Kevin Ashton για να περιγράψει «υπολογιστές οι οποίοι μπορούν να συλλέγουν δεδομένα με έναν δικό τους τρόπο έτσι ώστε να μπορούν να βλέπουν, να ακούν και να μιρίζουν τον κόσμο για τον εαυτό τους». Με λίγα λόγια ένα σύστημα στο οποίο αντικείμενα του φυσικού κόσμου θα είχαν την δυνατότητα να συνδεθούν στο Διαδίκτυο μέσω της τεχνολογίας των αισθητήρων.

Αργότερα, ο όρος αυτός χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει περισσότερες τε-

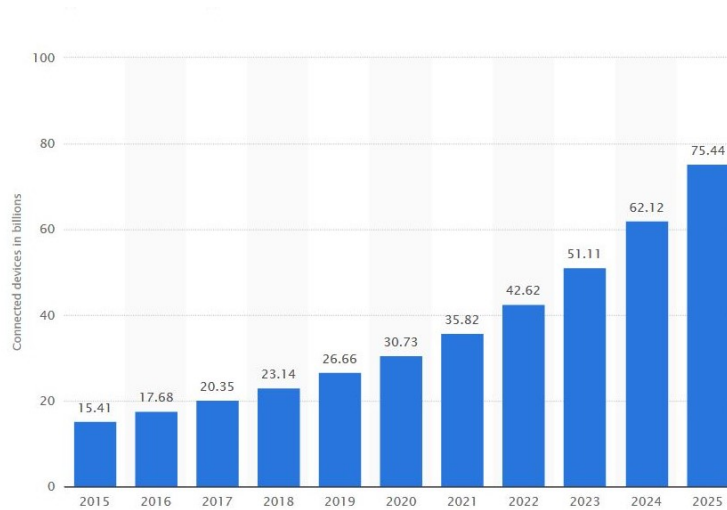
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. IOT: INTERNET OF THINGS

χνολογίες όπως αισθητήρες, ενεργοποιητές, GPS συσκευές αλλά και κινητές συσκευές. Σήμερα, ο πιο ευρέως αποδεκτός όρος για την περιγραφή του "Διαδίκτυο των πραγμάτων" είναι ο εξής:

«Μια δυναμική υποδομή παγκόσμιου δικτύου με αυτοδιαμορφωτικές δυνατότητες που βασίζονται σε πρότυπα και διαλειτουργικά πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπου τα φυσικά και εικονικά «πράγματα» έχουν ταυτότητες, φυσικά χαρακτηριστικά και εικονικές προσωπικότητες και χρησιμοποιούν έξυπνες διεπαφές και ενσωματώνονται άψογα στο δίκτυο πληροφοριών [2].»

Συγκεκριμένα, η ενσωμάτωση αισθητήρων / ενεργοποιητών, ετικετών RFID και τεχνολογιών επικοινωνίας χρησιμεύει ως θεμέλιο του IoT και εξηγεί πώς μια ποικιλία φυσικών αντικειμένων και συσκευών γύρω μας μπορεί να συνδεθεί στο Διαδίκτυο και να επιτρέψει σε αυτά τα αντικείμενα και συσκευές να συνεργαστούν και να επικοινωνήσουν μεταξύ τους για να επιτύχουν κοινούς στόχους. Για παράδειγμα, η Cisco προβλέπει ότι οι συσκευές IoT και ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών στο Διαδίκτυο θα υπερβούν τον αριθμό των ανθρώπων που κατοικούν σε ολόκληρο τον πλανήτη [3]. Και αυτό δεν είναι μόνο έξυπνα τηλέφωνα και tablets αλλά είναι αισθητήρες που επιτρέπουν ένα έξυπνο δίκτυο, πιο έξυπνες μεταφορές, παρακολούθηση της υγείας των βοοειδών και ιατρικές συσκευές που παρακολουθούν την υγεία των ασθενών [4].

Η IHS με το σχήμα 1.1 δείχνει τον αριθμό των συνδεδεμένων συσκευών IoT παγκοσμίως από το 2015 έως το 2025. Για το 2020, η εγκατεστημένη βάση των συσκευών Internet of Things προβλέπεται να αυξηθεί σε σχεδόν 31 δισεκατομμύρια σε όλο τον κόσμο. Η συνολική αγορά του Ίντερνετ των πραγμάτων προβλέπεται να ανέρχεται σε περισσότερα από ένα δισεκατομμύριο δολάρια ΗΠΑ ετησίως από το 2017 και μετά.



Σχήμα 1.1: Αριθμός IoT συσκευών παγκοσμίως από το 2015 έως το 2020 σύμφωνα με την IHS [5].

Η McKinsey [6] εκτιμά ότι το συνολικό μέγεθος της αγοράς του IoT το 2015 θα ανέλθει στα 900 εκατομμύρια δολάρια, αυξάνοντας σε \$ 3.7B το 2020, επιτυγχάνοντας ένα σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 32,6% και θα ξεκλειδώσει τεράστια αξία σε όλες τις βιομηχανικές αλλά κυριότερα στον τομέα υγειονομικής περίθαλψης. Το (IoT) έχει δυνητικές οικονομικές επιπτώσεις από 2.7 έως 6.2 τρισεκατομμύρια \$ μέχρι το 2025.

Οι προβλέψεις αυτές μας δίνουν μία εικόνα για την ραγδαία ανάπτυξη και επιρροή των συσκευών IoT στη ζωή του ανθρώπου. Αυτό που αναδύεται είναι ότι ο κόσμος εκλαμβάνει το IoT ως ένα εργαλείο που χρησιμοποιεί στοιχεία τα οποία βασίζονται σε αισθητήρες, δημιουργούν πλούσια σύνολα δεδομένων και μπορούν να επιλύσουν σύνθετα προβλήματα στην παγκόσμια βιομηχανία. Υπάρχουν και αυτοί που πιστεύουν ότι το IoT αποτελεί έναν κόσμο που παραβιάζει την προσωπική, κοινωνική και οικονομική ζωή τους και δημιουργεί προβλήματα στην ομαλή ροή της καθημερινότητας.

Παρόλα αυτά δεν μπορεί να διαψευστεί ότι το IoT θα επιφέρει τεράστιες αλλαγές στον τρόπο που οι άνθρωποι αλληλεπιδρούν με τα καθημερινά αντικείμενα που έρχονται σε επαφή αλλά και μεταξύ τους διαμέσου Διαδικτύου αλλά και στον

τρόπο που επιχειρήσεις και οι οργάνισμοί εκτελούν διεργασίες για την παροχή των υπηρεσιών που προσφέρουν.

1.2 Επικοινωνία συσκευών

Στο πιο βασικό επίπεδο, το Διαδίκτυο των πραγμάτων έχει να κάνει με τη σύνδεση διαφόρων συσκευών και αισθητήρων στο Διαδίκτυο, αλλά δεν είναι πάντα προφανές πώς πραγματοποιείται η σύνδεσή τους.

Τον Μάρτιο του 2015, το Συμβούλιο Αρχιτεκτονικής Διαδικτύου - μια ομάδα του Internet Society που επιβλέπει την τεχνική εξέλιξη του Διαδικτύου - εξέδωσε έναν οδηγό για τη δικτύωση του Διαδικτύου [7]. Αυτό περιγράφει τέσσερα κοινά μοντέλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται από τα IoT «έξυπνα αντικείμενα»:

- Device-to-Device
- Device-to-Cloud
- Device-to-Gateway
- Back-End Data-Sharing

1.2.1 Device-to-Device

Η Device-to-Device επικοινωνία αντιπροσωπεύει δύο ή περισσότερες συσκευές που συνδέονται άμεσα και επικοινωνούν μεταξύ τους. Μπορούν να επικοινωνούν σε πολλούς τύπους δικτύων, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων IP ή του Διαδικτύου, αλλά συχνότερα χρησιμοποιούν πρωτόκολλα όπως Bluetooth, Z-Wave και ZigBee.

Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται συνήθως στα συστήματα οικιακής αυτοματοποίησης για τη μεταφορά μικρών πακέτων δεδομένων πληροφοριών μεταξύ συσκευών με σχετικά χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Αυτοί μπορεί να

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. IOT: INTERNET OF THINGS

είναι λαμπτήρες, θερμοστάτες και κλειδαριές πόρτας που στέλνουν μικρές ποσότητες πληροφοριών μεταξύ τους.

Κάθε μοντέλο συνδεσιμότητας έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά. Με τη συσκευή Device-to-Device, αναφέρεται ότι "η ασφάλεια απλοποιείται ειδικά επειδή διαθέτετε αυτή τη ραδιοφωνική τεχνολογία μικρής εμβέλειας [και μια] ατομική σχέση μεταξύ αυτών των δύο συσκευών".

Η Device-to-Device επικοινωνία είναι δημοφιλής μεταξύ των φορητών συσκευών IoT όπως μια οθόνη καρδιάς που συνδέεται με ένα smartwatch όπου τα δεδομένα των συσκευών δεν πρέπει απαραίτητα να μοιράζονται σε πολλούς ανθρώπους.

Υπάρχουν πολλά πρότυπα που αναπτύσσονται γύρω από το Device-to-Device, όπως το Bluetooth Low Energy (επίσης γνωστό ως Bluetooth Smart ή Bluetooth Version 4.0+), το οποίο είναι δημοφιλές μεταξύ των φορητών συσκευών, επειδή οι χαμηλές απαιτήσεις ισχύος του θα σήμαιναν ότι οι συσκευές θα μπορούσαν να λειτουργούν για μήνες ή χρόνια με μία μπαταρία. Η μικρότερη πολυπλοκότητά του μπορεί επίσης να μειώσει το μέγεθος και το κόστος του.



Σχήμα 1.2: Παράδειγμα του μοντέλου επικοινωνίας Device-to-Device [8]

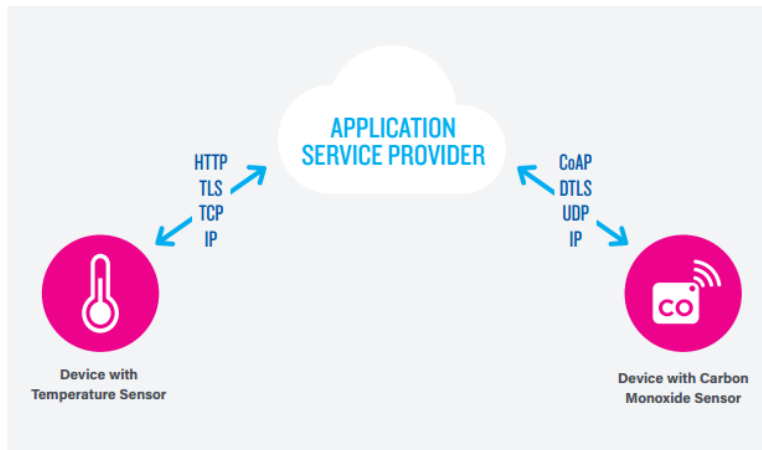
1.2.2 Device-to-Cloud

Το μοντέλο επικοινωνίας Device-to-Cloud περιλαμβάνει μια συσκευή IoT που συνδέεται απευθείας με μια υπηρεσία cloud στο Internet, όπως ένας πάροχος υπηρεσιών εφαρμογών για την ανταλλαγή δεδομένων και την κυκλοφορία μη-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. IOT: INTERNET OF THINGS

νυμάτων ελέγχου. Συχνά χρησιμοποιεί παραδοσιακές ενσύρματες συνδέσεις Ethernet ή Wi-Fi, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιεί κυψελοειδή τεχνολογία.

Η συνδεσιμότητα Cloud επιτρέπει στον χρήστη (και σε μια εφαρμογή) να αποκτήσει απομακρυσμένη πρόσβαση σε μια συσκευή. Υποστηρίζει επίσης ενδεχομένως την προώθηση ενημερώσεων λογισμικού στη συσκευή.



Σχήμα 1.3: Παράδειγμα του μοντέλου επικοινωνίας Device-to-Cloud [8]

Μια περίπτωση χρήσης για το μοντέλο Device-to-Cloud που βασίζεται σε κυψέλες θα μπορούσε να είναι μια έξυπνη ετικέτα που θα παρακολουθεί το σκύλι σας ενώ δεν είστε κοντά του, κάτι που θα χρειαζόταν επικοινωνία ευρείας περιοχής, επειδή δεν θα γνωρίζετε πού θα μπορούσε να είναι ο σκύλος.

Ένα άλλο σενάριο, δήλωσε ο Tschofenig [8], θα είναι η παρακολούθηση από απόσταση με ένα προϊόν όπως το Dropcam, όπου χρειάζεται το εύρος ζώνης που παρέχεται από το Wifi ή το Ethernet. Αλλά επίσης έχει νόημα να μεταφέρουμε τα δεδομένα στο cloud σε αυτό το σενάριο επειδή ο χρήστης έχει πρόσβαση αν είναι μακριά. "Συγκεκριμένα, εάν είστε μακριά και θέλετε να δείτε τι βρίσκεται στην κάμερα σας στο σπίτι. Μπορείτε να επικοινωνήσετε με την υποδομή του cloud και στη συνέχεια να μεταβιβαστεί η υποδομή του cloud στη συσκευή IoT σας."

Από την άποψη της ασφάλειας, αυτό γίνεται πιο περίπλοκο από το μοντέλο

Device-to-Device επειδή περιλαμβάνει δύο διαφορετικούς τύπους εξουσιοδότησης, η εξουσιοδότηση πρόσβασης δικτύου (όπως η κάρτα SIM της κινητής συσκευής) και, στη συνέχεια, η εξουσιοδότηση πρόσβασης στο cloud.

Η έκθεση της IAB [8] ανέφερε επίσης ότι η διαλειτουργικότητα είναι επίσης ένας παράγοντας με το μοντέλο Device-to-Cloud όταν προσπαθείτε να ενσωματώσετε συσκευές που κατασκευάζονται από διάφορους κατασκευαστές, δεδομένου ότι η συσκευή και η υπηρεσία cloud είναι συνήθως από τον ίδιο προμηθευτή. Ένα παράδειγμα θα είναι το Nest Labs Learning Thermostat, όπου ο Learning Thermostat μπορεί να λειτουργήσει μόνο με την υπηρεσία cloud της Nest.

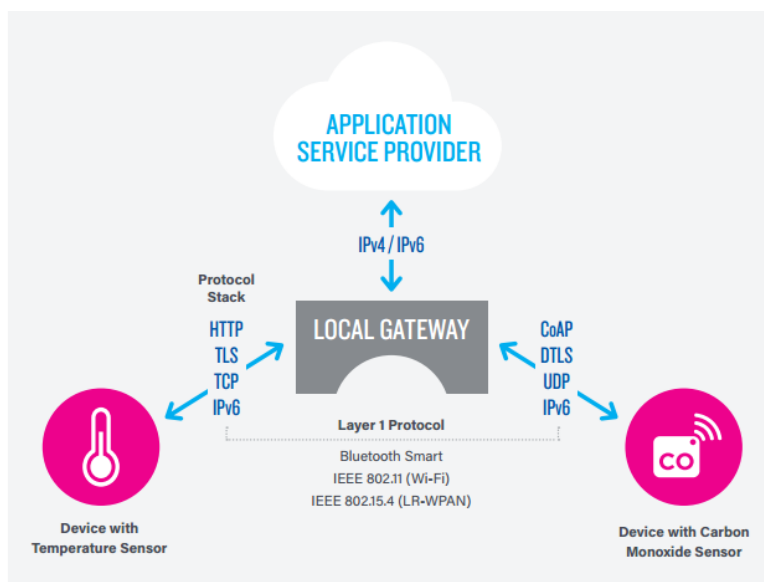
Ο Tschofenig δήλωσε ότι υπάρχει έργο που πηγαίνει στην κατασκευή συσκευών Wifi που κάνουν συνδέσεις cloud ενώ καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια με πρότυπα όπως LoRa, Sigfox και Narrowband.

1.2.3 Device-to-Gateway

Στο μοντέλο Device-to-Gateway, οι συσκευές IoT συνδέονται βασικά με μια ενδιαμέση συσκευή για πρόσβαση σε μια υπηρεσία cloud. Αυτό το μοντέλο συχνά περιλαμβάνει λογισμικό εφαρμογών που λειτουργεί σε μια τοπική συσκευή πύλης (όπως ένα smartphone ή ένα "hub") που λειτουργεί ως ενδιαμέσος μεταξύ μιας συσκευής IoT και μιας υπηρεσίας cloud.

Αυτή η πύλη θα μπορούσε να παρέχει ασφάλεια και άλλες λειτουργίες, όπως δεδομένα ή μετάφραση πρωτοκόλλου. Εάν η πύλη στο application-layer είναι ένα smartphone, αυτό το λογισμικό εφαρμογών μπορεί να πάρει τη μορφή μιας εφαρμογής που συνδέεται με τη συσκευή IoT και επικοινωνεί με μια υπηρεσία cloud.

Αυτό μπορεί να είναι μια συσκευή φυσικής κατάστασης που συνδέεται με το cloud μέσω μιας εφαρμογής smartphone όπως η Nike+ ή εφαρμογές οικιακού αυτοματισμού που περιλαμβάνουν συσκευές που συνδέονται σε ένα διανομέα όπως το οικοσύστημα SmartThings της Samsung.



Σχήμα 1.4: Παράδειγμα του μοντέλου επικοινωνίας Device-to-Gateway [8]

“Σήμερα, λίγο-πολύ πρέπει να αγοράσετε μια πύλη από έναν εξειδικευμένο προμηθευτή ή να χρησιμοποιήσετε μία από αυτές τις πύλες πολλαπλών χρήσεων”, δήλωσε ο Tschofenig[8]. “Συνδέετε όλες τις συσκευές σας με αυτήν την πύλη και αυτή θα κάνει κάτι σαν συσσώρευση δεδομένων ή μετασχηματισμό και είτε εκτελεί [εκτός των δεδομένων] τοπικά στο σπίτι είτε τα ανακατεύει στο cloud, ανάλογα με τη χρήση”.

Οι συσκευές πύλης μπορούν επίσης να γεφυρώσουν το χάσμα διαλειτουργικότητας μεταξύ συσκευών που επικοινωνούν με διαφορετικά πρότυπα. Για παράδειγμα, οι πομποδέκτες Z-Wave και Zigbee της SmartThings μπορούν να επικοινωνούν με τις δύο οικογένειες συσκευών.

1.2.4 Back-End Data-Sharing

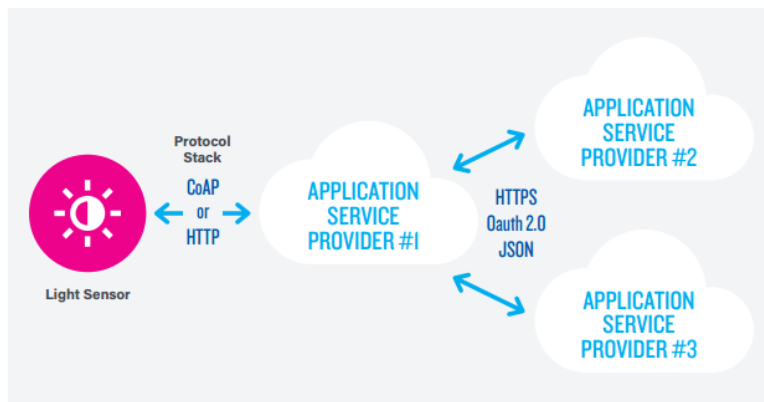
Το μοντέλο Back-End Data-Sharing επεκτείνει ουσιαστικά το μοντέλο ενιαίας επικοινωνίας device-to-cloud, έτσι ώστε οι συσκευές IoT και τα δεδομένα αισθητήρων να έχουν πρόσβαση σε εξουσιοδοτημένα τρίτα μέρη. Σύμφωνα με

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. IOT: INTERNET OF THINGS

αυτό το μοντέλο, οι χρήστες μπορούν να εξάγουν και να αναλύουν δεδομένα έξυπνων αντικειμένων από μια υπηρεσία cloud σε συνδυασμό με δεδομένα από άλλες πηγές και να τα στείλουν σε άλλες υπηρεσίες για συνάθροιση και ανάλυση.

Ο Tschofenig δήλωσε ότι η εφαρμογή Map My Fitness είναι ένα καλό παράδειγμα, διότι καταρτίζει δεδομένα γυμναστικής από διάφορες συσκευές που κυμαίνονται από το Fitbit έως το Adidas miCoach έως το Wahoo Bike Cadence Sensor. 'Παρέχουν άγκιστρα, REST API για να επιτρέπουν την ασφάλεια και την φιλική προς το ιδιωτικό απόρρητο κοινή χρήση δεδομένων στο Map My Fitness.' Αυτό σημαίνει ότι μια άσκηση μπορεί να αναλυθεί από την άποψη διαφορών αισθητήρων.

‘Αυτό το μοντέλο έρχεται σε αντίθεση με το θέμα ότι όλα καταλήγουν σε μία αποθήκη δεδομένων’, είπε ο Tschofenig



Σχήμα 1.5: Παράδειγμα του μοντέλου επικοινωνίας Back-End Data-Sharing [8]

1.2.5 Σύνοψη επικοινωνίας συσκευών

Ο Tschofenig δήλωσε ότι η διαδικασία λήψης αποφάσεων για προγραμματιστές του IoT είναι πολύ περίπλοκη όταν εξετάζει πώς θα ενσωματωθεί και πώς θα αποκτήσει συνδεσιμότητα με το διαδίκτυο.

Για να περιπλέξουμε τα πράγματα, οι νεότερες τεχνολογίες με χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, μέγεθος και κόστος συχνά στερούνται ωριμότητας σε σύγκριση με την παραδοσιακή τεχνολογία Ethernet ή Wi-Fi.

Ο Tschofenig λέει λοιπόν «Οι περιορισμοί των τεχνολογιών ραδιοσυχνοτήτων και πώς αντιμετωπίζονται παράγοντες όπως οι περιορισμοί μεγέθους, η κατανάλωση ενέργειας, το κόστος διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο».

1.3 Απαιτήσεις

Θα ήταν αδύνατο να καλυφθεί το ευρύ πεδίο των απαιτήσεων και των ζητημάτων που αφορούν το Διαδίκτυο των πραγμάτων σε ένα ενιαίο κεφάλαιο. Σε αυτή την ενότητα, ωστόσο, παρουσιάζεται μια συνοπτική παρουσίαση πέντε θεμάτων που συζητούνται συχνά σε σχέση με το Διαδίκτυο:

- Ασφάλεια
- Ιδιωτικότητα
- Διαλειτουργικότητα και πρότυπα
- Νομικά, ρυθμιστικά θέματα και δικαιώματα
- Αναπτυσσόμενες οικονομίες και ανάπτυξη

1.3.1 Ασφάλεια

Η διασφάλιση της ασφάλειας, της αξιοπιστίας και της σταθερότητας των εφαρμογών και των υπηρεσιών Ιντερνετ είναι ζωτικής σημασίας για την προώθηση της εμπιστοσύνης και της χρήσης του διαδικτύου. Ως χρήστες του διαδικτύου πρέπει να έχουμε υψηλό βαθμό εμπιστοσύνης ότι το διαδίκτυο, οι εφαρμογές του και οι συνδεδεμένες με αυτόν συσκευές είναι αρκετά ασφαλείς σε σχέση με την ανοχή κινδύνου ώστε να πραγματοποιούμε τα είδη δραστηριοτήτων που θέλουμε στο διαδίκτυο. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων δεν διαφέρει από αυτή την άποψη και η ασφάλεια στο Διαδίκτυο των πραγμάτων συνδέεται ουσιαστικά με την ικανότητα των χρηστών να εμπιστεύονται το περιβάλλον τους. Εάν οι χρήστες δεν πιστεύουν ότι οι συνδεδεμένες συσκευές τους και οι πληροφορίες τους είναι εύλογα ασφαλείς από κακή χρήση ή βλάβη, η επακόλουθη ρήξη εμπιστοσύνης προκαλεί απροθυμία χρήσης του διαδικτύου. Αυτό έχει παγκόσμιες συνέπειες για το ηλεκτρονικό εμπόριο, την καινοτομία της τεχνολογίας, την ελευθερία του λόγου και σχεδόν όλες τις άλλες πτυχές των ηλεκτρονικών δραστηριοτήτων. Πράγματι, η διασφάλιση της ασφάλειας στα προϊόντα και τις υπηρεσίες διαδικτύου θα πρέπει να θεωρείται κορυφαία προτεραιότητα για τον τομέα.

Καθώς η σύνδεση συσκευών στο διαδίκτυο αυξάνεται, αναπτύσσονται νέες ευκαιρίες εκμετάλλευσης πιθανών τρωτών σημείων ασφαλείας. Οι συσκευές IoT με χαμηλή ασφάλεια θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως σημεία εισόδου για διαδικτυακή επίθεση, επιτρέποντας σε κακόβουλα άτομα να επαναπρογραμματίζουν μια συσκευή ή να την προκαλούν σε δυσλειτουργία. Οι κακώς σχεδιαζόμενες συσκευές μπορούν να εκθέσουν δεδομένα χρήστη σε κλοπή αφήνοντας τα streams δεδομένων ανεπαρκώς προστατευμένα. Η αποτυχία ή η δυσλειτουργία των συσκευών μπορεί επίσης να δημιουργήσει τρωτά σημεία ασφαλείας. Αυτά τα προβλήματα είναι εξίσου μεγάλα ή μεγαλύτερα για τις μικρές, φθηνές και πανταχού παρούσες έξυπνες συσκευές του Διαδικτύου των πραγμάτων όπως είναι για τους υπολογιστές που παραδοσιακά ήταν τα τελικά σημεία σύνδεσης στο διαδίκτυο. Το ανταγωνιστικό κόστος και οι τεχνικοί περιορισμοί στις συσκευές IoT προκαλούν τους κατασκευαστές να σχεδιάζουν κατάλληλα τα χαρακτηριστικά ασφαλείας σε αυτές τις συσκευές, δημιουργώντας προβλήματα ασφαλείας μεγαλύτερα από τα παραδοσιακά προβλήματα ασφαλείας των υπολογιστών.

Μαζί με πιθανές ανεπάρκειες σχεδιασμού ασφαλείας, η καθαρή αύξηση του αριθμού και της φύσης των συσκευών IoT θα μπορούσε να αυξήσει τις δυνα-

τότητες επίθεσης. Όταν συνδυάζεται με την εξαιρετικά διασυνδεδεμένη φύση των συσκευών IoT, κάθε συσκευή που είναι ασφαλώς συνδεδεμένη σε απευθείας σύνδεση ενδέχεται να επηρεάζει την ασφάλεια και την ανθεκτικότητα του Ιντερνετ παγκοσμίως, όχι μόνο τοπικά. Για παράδειγμα, ένα μη προστατευμένο ψυγείο ή τηλεόραση στις ΗΠΑ που έχει μολυνθεί από κακόβουλο λογισμικό ενδέχεται να στείλει χιλιάδες ανεπιθύμητα μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου σε παραλήπτες σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιώντας τη σύνδεση Internet Wi-Fi του ιδιοκτήτη.

Για να περιπλέξουμε τα θέματα, η ικανότητά μας να λειτουργούμε στις καθημερινές μας δραστηριότητες χωρίς τη χρήση συσκευών ή συστημάτων με δυνατότητα Internet είναι πιθανό να μειωθεί σε έναν κόσμο που συνδέεται με τον κόσμο. Στην πραγματικότητα, είναι όλο και πιο δύσκολη η αγορά κάποιων συσκευών που δεν είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο, επειδή ορισμένοι προμηθευτές παρέχουν μόνο συνδεδεμένα προϊόντα. Μέρα με τη μέρα, γινόμαστε πιο συνδεδεμένοι και εξαρτημένοι από συσκευές IoT για βασικές υπηρεσίες και χρειαζόμαστε οι συσκευές να είναι ασφαλείς, αναγνωρίζοντας ταυτόχρονα ότι καμία συσκευή δεν μπορεί να είναι απόλυτα ασφαλής. Αυτό το αυξανόμενο επίπεδο εξάρτησης από τις συσκευές IoT και τις υπηρεσίες Internet με τις οποίες αλληλοεπιδρούν αυξάνει επίσης τις διαδρομές για τους παραβάτες για να αποκτήσουν πρόσβαση σε αυτές τις συσκευές. Ίσως θα μπορούσαμε να αποσυνδέσουμε τις τηλεοράσεις που συνδέονται με το διαδίκτυο αν υποστούν βλάβη σε επιθέσεις στον κυβερνοχώρο, αλλά δεν μπορούμε τόσο εύκολα να απενεργοποιήσουμε έναν έξυπνο μετρητή ισχύος, ένα σύστημα ελέγχου της κυκλοφορίας ή ένα εμφυτευμένο βηματοδότη εάν πέσουν θύματα κακόβουλης συμπεριφοράς.

Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η ασφάλεια των συσκευών και υπηρεσιών του διαδικτύου είναι ένα σημαντικό σημείο συζήτησης και πρέπει να θεωρηθεί κρίσιμο ζήτημα. Πρώτον, το πρόβλημα της ασφάλειας για τα 'Πράγματα' δημιουργείται από τα τρωτά σημεία που δημιουργούνται από τον απρόσεκτο σχεδιασμό των προγραμμάτων. Αυτό δημιουργεί ευκαιρίες για εγκατάσταση κακόβουλο λογισμικού. Με βάση την ετερογένεια και τον αυξανόμενο πλήθος των 'Πραγμάτων' στο IoT, τέτοια προβλήματα ασφάλειας είναι πιο πολύπλοκα σε σχέση με τα προβλήματα ασφάλειας που αντιμετωπίζαμε ως τώρα [9]. Η ασφάλεια εξαρτάται όλο και περισσότερο από τις συσκευές βασικών υπηρεσιών και η συμπεριφορά τους μπορεί να έχει παγκόσμια εμβέλεια και αντίκτυπο.

1.3.2 Ιδιωτικότητα

Ο σεβασμός των δικαιωμάτων και των προσδοκιών της ιδιωτικής ζωής αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της διασφάλισης της εμπιστοσύνης στο Διαδίκτυο και επηρεάζει επίσης την ικανότητα των ατόμων να μιλούν και να συνδέονται με ουσιαστικό τρόπο. Αυτά τα δικαιώματα και οι προσδοκίες μερικές φορές εντάσσονται σε θέματα ηθικού χειρισμού δεδομένων, το οποίο υπογραμμίζει τη σημασία του σεβασμού των προσδοκιών του ατόμου όσον αφορά την ιδιωτική ζωή και τη δίκαιη χρήση των δεδομένων του. Το Διαδίκτυο των πραγμάτων μπορεί να αμφισβητήσει αυτές τις παραδοσιακές προσδοκίες της ιδιωτικής ζωής.

Το ΙοΤ αναφέρεται συχνά σε ένα μεγάλο δίκτυο συσκευών με αισθητήρες που έχουν σχεδιαστεί για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με το περιβάλλον τους, το οποίο περιλαμβάνει συχνά δεδομένα σχετικά με τους ανθρώπους. Αυτά τα δεδομένα πιθανώς παρέχουν ένα πλεονέκτημα στον ιδιοκτήτη της συσκευής, αλλά συχνά και στον κατασκευαστή ή τον προμηθευτή της συσκευής. Η συλλογή και χρήση δεδομένων του Διαδικτύου γίνεται φλέγον ζήτημα σχετικά με την προστασία της ιδιωτικής ζωής όταν τα άτομα που παρατηρούνται από συσκευές ΙοΤ έχουν διαφορετικές προσδοκίες για την προστασία της ιδιωτικής ζωής τους, όσον αφορά το πεδίο και τη χρήση αυτών των δεδομένων, από εκείνες του συλλέκτη δεδομένων.

Έπειτα φαινομενικά καλοήθης συνδυασμοί ροών δεδομένων ΙοΤ μπορούν επίσης να θέσουν σε κίνδυνο την προστασία της ιδιωτικής ζωής. Όταν συνδυάζονται ή συσχετίζονται μεμονωμένες ροές δεδομένων, συχνά ζωγραφίζεται ένα πιο διεισδυτικό ψηφιακό πορτραίτο για το άτομο, από αυτό που μπορεί να πραγματοποιηθεί από μια μεμονωμένη ροή δεδομένων ΙοΤ. Για παράδειγμα, μια οδοντόβουρτσα με δυνατότητα σύνδεσης ενός χρήστη μπορεί να καταγράψει και να μεταδώσει αβλαβή δεδομένα σχετικά με τις συνήθειες βουρτσίσματος των δοντιών ενός ατόμου. Αλλά εάν το ψυγείο του χρήστη αναφέρει την απογραφή των τροφών που τρώει και η συσκευή παρακολούθησης της φυσικής του κατάστασης αναφέρει τα δεδομένα δραστηριότητας του, ο συνδυασμός αυτών των ροών δεδομένων ζωγραφίζει μια πολύ πιο λεπτομερή και ιδιωτική περιγραφή της συνολικής υγείας του ατόμου. Αυτό το φαινόμενο συγκέντρωσης δεδομένων μπορεί να είναι ιδιαίτερα ισχυρό σε σχέση με τις συσκευές ΙοΤ, επειδή πολλές παράγουν πρόσθετα μεταδεδομένα όπως time stamps και οι πληροφορίες γεωγραφικής κατανομής, γεγονός που προσθέτει ακόμα περισσότερη λεπτομέρεια

στον χρήστη.

Σε άλλες περιπτώσεις, ο χρήστης μπορεί να μην γνωρίζει ότι μια συσκευή IoT συλλέγει δεδομένα σχετικά με τον ίδιο και ενδεχομένως τα μοιράζεται με τρίτους. Αυτός ο τύπος συλλογής δεδομένων γίνεται όλο και πιο διαδεδομένος στις καταναλωτικές συσκευές όπως οι έξυπνες τηλεοράσεις και οι συσκευές βιντεοπαιχνιδιών. Αυτά τα είδη προϊόντων έχουν φωνητική αναγνώριση ή χαρακτηριστικά όρασης που ακούν συνεχώς συνομιλίες ή παρακολουθούν δραστηριότητα σε ένα δωμάτιο και μεταδίδουν επιλεκτικά αυτά τα δεδομένα σε μια cloud υπηρεσία για επεξεργασία, η οποία μερικές φορές περιλαμβάνει έναν τρίτο. Ένα άτομο μπορεί να είναι παρουσία τέτοιων συσκευών χωρίς να γνωρίζει ότι η συνομιλία ή οι δραστηριότητες του παρακολουθούνται και τα δεδομένα του συλλέγονται. Αυτά τα είδη λειτουργιών μπορεί να προσφέρουν ένα ευεργετικό όφελος σε έναν ενημερωμένο χρήστη, αλλά μπορούν να δημιουργήσουν πρόβλημα προστασίας της ιδιωτικής ζωής για όσους δεν γνωρίζουν την παρουσία των συσκευών και δεν επηρεάζουν ουσιαστικά τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούνται αυτές οι πληροφορίες.

Ανεξάρτητα από το αν ο χρήστης γνωρίζει και συναινεί να συλλέξει και να αναλύσει τα δεδομένα του IoT, αυτές οι καταστάσεις υπογραμμίζουν την αξία αυτών των εξατομικευμένων ροών δεδομένων σε εταιρείες και οργανισμούς που επιδιώκουν να συλλέξουν και να επωφεληθούν από τις πληροφορίες του IoT. Το αίτημα για αυτές τις πληροφορίες αποκαλύπτει τις νομικές και ρυθμιστικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι νόμοι περί προστασίας δεδομένων και ιδιωτικότητας.

Αυτά τα είδη προβλημάτων ιδιωτικού απορρήτου είναι κρίσιμα στην αντιμετώπισή τους, διότι έχουν επιπτώσεις στα βασικά μας δικαιώματα και στη συλλογική μας ικανότητα να εμπιστευόμαστε το Διαδίκτυο. Από μια ευρεία προοπτική, οι άνθρωποι αναγνωρίζουν ότι η ιδιωτική τους ζωή είναι εγγενώς πολύτιμη και έχουν προσδοκίες για το ποια δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν από αυτούς και για το πώς τα άλλα μέρη χρησιμοποιούν τα δεδομένα αυτά. Αυτή η γενική ιδέα για την προστασία της ιδιωτικής ζωής ισχύει για τα δεδομένα που συλλέγονται από τις συσκευές IoT, αλλά αυτές οι συσκευές μπορούν να υπονομεύσουν την ικανότητα του χρήστη να εκφράζει και να επιβάλλει τις προτιμήσεις απορρήτου. Εάν οι χρήστες χάσουν την εμπιστοσύνη τους στο Διαδίκτυο διότι οι προτιμήσεις απορρήτου τους δεν γίνονται σεβαστές στο Διαδίκτυο των πραγμάτων, τότε η μεγαλύτερη αξία του Διαδικτύου μπορεί να χαθεί.

Το απόρρητο είναι το δικαίωμα των χρηστών να διατηρούν την εμπιστευτικότητα και τον έλεγχο των πληροφοριών τους όταν αποκαλύπτονται σε τρίτους. Στις εφαρμογές του Διαδικτύου, οι προκλήσεις της ιδιωτικής ζωής μπορούν να εντοπιστούν κυρίως από την οπτική γωνία των καταναλωτών και των αποθηκευμένων δεδομένων τους. Τα δίκτυα IoT μπορούν να περιλαμβάνουν δεκάδες έως εκατομμύρια συσκευές με ετερογενή χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τους περιορισμούς των πόρων, την κινητικότητα, την επεκτασιμότητα, τον βαθμό αυτονομίας, τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης και ούτω καθεξής [10]. Έτσι, τα ζητήματα ιδιωτικού απορρήτου στον Διαδίκτυο διαφέρουν σημαντικά σε σχέση με τις εφαρμογές που εμπλέκονται.

1.3.3 Διαλειτουργικότητα και πρότυπα

Στο παραδοσιακό Διαδίκτυο, η διαλειτουργικότητα είναι η βασικότερη αξία και η πρώτη απαίτηση της σύνδεσης στο Διαδίκτυο είναι ότι τα συνδεδεμένα συστήματα μπορούν να 'μιλούν την ίδια γλώσσα' των πρωτοκόλλων και των κωδικοποιήσεων. Η διαλειτουργικότητα είναι τόσο θεμελιώδης ώστε τα πρώτα εργαστήρια για προμηθευτές εξοπλισμού Internet ονομαζόταν 'Interops' από το interoperability που σημαίνει διαλειτουργικότητα και είναι ο σαφής στόχος ολόκληρης της συσκευής για τα πρότυπα του Διαδικτύου, ο οποίος επικεντρώνεται στο IETF.

Η διαλειτουργικότητα αποτελεί επίσης ακρογωνιαίο λίθο του ανοικτού Διαδικτύου. Τα εμπόδια που δημιουργούνται σκόπιμα για να παρεμποδίσουν την ανταλλαγή πληροφοριών μπορούν να αρνηθούν στους χρήστες του Διαδικτύου τη δυνατότητα να συνδέουν, να μιλούν, να μοιράζονται και να καινοτομούν, που είναι τέσσερις θεμελιώδεις αρχές του ISOC. Οι λεγόμενοι 'walled gardens', στους οποίους επιτρέπεται στους χρήστες να συνεργάζονται μόνο με ένα επιλεγμένο υποσύνολο τοποθεσιών και υπηρεσιών, μπορούν να μειώσουν σημαντικά τα κοινωνικά, πολιτικά και οικονομικά οφέλη της πρόσβασης σε ολόκληρο το Διαδίκτυο.

Σε ένα πλήρως διαλειτουργικό περιβάλλον, οποιαδήποτε συσκευή IoT μπορεί να συνδεθεί με οποιαδήποτε άλλη συσκευή ή σύστημα και να ανταλλάξει πληροφορίες όπως επιθυμεί. Στην πραγματικότητα, η διαλειτουργικότητα είναι πιο πολύπλοκη. Η διαλειτουργικότητα μεταξύ των συσκευών και των συστημάτων

Διαδικτύου συμβαίνει σε διαφορετικούς βαθμούς σε διαφορετικά επίπεδα εντός της στοίβας πρωτοκόλλου επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών. Επιπλέον, η πλήρης διαλειτουργικότητα σε όλες τις πτυχές ενός τεχνικού προϊόντος δεν είναι πάντοτε εφικτή, απαραίτητη ή επιθυμητή και, αν επιβληθεί τεχνητά (όπως με κυβερνητικές εντολές), θα μπορούσε να αποτελέσει αντικίνητρο για επενδύσεις και καινοτομία. Η τυποποίηση και η υιοθέτηση πρωτοκόλλων που καθορίζουν αυτές τις λεπτομέρειες της επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένων εκείνων όπου είναι βέλτιστη η ύπαρξη προτύπων, βρίσκονται στο επίκεντρο της συζήτησης διαλειτουργικότητας για το διαδίκτυο.

Πέραν των τεχνικών ζητημάτων, η διαλειτουργικότητα έχει σημαντική επίδραση στις πιθανές οικονομικές επιπτώσεις του IoT. Η σωστή και σαφώς καθορισμένη διαλειτουργικότητα των συσκευών μπορεί να ενθαρρύνει την καινοτομία και να προσφέρει αποδοτικότητα στους κατασκευαστές συσκευών IoT, αυξάνοντας τη συνολική οικονομική αξία της αγοράς. Επιπλέον, η εφαρμογή των υφιστάμενων προτύπων και η ανάπτυξη νέων ανοικτών προτύπων, όπου είναι απαραίτητο, συμβάλλουν στη μείωση των φραγμών εισόδου και στη διευκόλυνση νέων επιχειρηματικών μοντέλων.

Σύμφωνα με μια έκθεση του Παγκόσμιου Ινστιτούτου McKinsey του 2015, 'είναι κατά μέσο όρο απαραίτητη η διαλειτουργικότητα για να δημιουργηθεί το 40% της δυνητικής αξίας που μπορεί να δημιουργηθεί από το Διαδίκτυο των Πραγμάτων σε διάφορα περιβάλλοντα' [11]. Η έκθεση συνεχίζει, 'Η διαλειτουργικότητα απαιτείται για την απελευθέρωση περισσότερων από 4 τρισεκατομμύρια \$ ετησίως στις πιθανές οικονομικές επιπτώσεις για την χρήση του Ίντερνετ των Πραγμάτων το 2025, από το σύνολο των επιπτώσεων των 11.1 τρισεκατομμυρίων \$ των εννέα ρυθμίσεων που αναλύονται από το Παγκόσμιο Ινστιτούτο McKinsey'. Ενώ ορισμένες εταιρείες βλέπουν τα ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα και τα οικονομικά κίνητρα για την κατασκευή ιδιόκτητων συστημάτων, οι συνολικές οικονομικές ευκαιρίες ενδέχεται να περιοριστούν σε μια αγορά.

Επίσης, η διαλειτουργικότητα είναι θεμελιωδώς πολύτιμη από την οπτική γωνία τόσο του μεμονωμένου καταναλωτή όσο και του οργανωμένου χρήστη αυτών των συσκευών. Διευκολύνει τη δυνατότητα επιλογής συσκευών με τα καλύτερα χαρακτηριστικά στην καλύτερη τιμή και την ενσωμάτωσή τους, ώστε να λειτουργούν μαζί. Οι αγοραστές ενδέχεται να διστάζουν να αγοράσουν προϊόντα και υπηρεσίες IoT εάν υπάρχει έλλειψη ευελιξίας, ανησυχία για τον αποκλεισμό του πωλητή ή φόβος απαξίωσης λόγω μεταβαλλόμενων προτύπων.

Η έλλειψη διαλειτουργικότητας προκαλεί μείζονα τεχνολογικά και επιχειρηματικά προβλήματα όπως η αδυναμία σύνδεσης μη διαλειτουργικών συσκευών IoT σε ετερογενείς πλατφόρμες IoT, αδυναμία ανάπτυξης εφαρμογών IoT που εκμεταλλεύονται πολλαπλές πλατφόρμες σε ομοιογενείς ή / και διασταυρούμενους τομείς, σπάνια επαναχρησιμοποίηση τεχνικών λύσεων και δυσaréσκεια των χρηστών [12].

1.3.4 Νομικά, ρυθμιστικά θέματα και δικαιώματα

Τα δεδομένα που συλλέγονται από συσκευές IoT μπορεί να μην έχουν περιορισμούς στο να στέλνονται στα όρια δικαιοδοσίας. Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούν το διαδίκτυο για να επικοινωνούν και το διαδίκτυο εκτείνεται σε όρια δικαιοδοσίας σε όλα τα επίπεδα. Οι συσκευές IoT μπορούν να συλλέγουν δεδομένα σχετικά με άτομα σε μια δικαιοδοσία και να μεταδίδουν αυτά τα δεδομένα σε άλλη δικαιοδοσία για αποθήκευση ή επεξεργασία δεδομένων, συχνά με λίγα ή καθόλου τεχνικά οδοφράγματα. Αυτό μπορεί να γίνει γρήγορα ένα νομικό πρόβλημα, για παράδειγμα, εάν τα δεδομένα που συλλέγονται θεωρούνται προσωπικά ή ευαίσθητα δεδομένα και υπόκεινται σε νόμους περί προστασίας δεδομένων σε διάφορες δικαιοδοσίες. Για να περιπλέξουμε περαιτέρω τα ζητήματα, οι νόμοι περί προστασίας δεδομένων στη δικαιοδοσία όπου λειτουργεί η συσκευή και το υποκείμενο των δεδομένων ενδέχεται να είναι ασυμβίβαστο με τους νόμους της δικαιοδοσίας όπου αποθηκεύονται και επεξεργάζονται τα δεδομένα.

Αυτές οι καταστάσεις περιγράφονται ως διασυνοριακές ροές δεδομένων και δημιουργούν ερωτήματα σχετικά με το νομικό πεδίο εφαρμογής των κανονισμών που ενδέχεται να ισχύουν. Με άλλα λόγια, απαντά στο ερώτημα, ποιο νομικό καθεστώς διέπει τη διάταξη συλλογής των δεδομένων, την αποθήκευση και τη χρήση των συλλεγόμενων δεδομένων. Το σενάριο αυτό εγείρει επίσης ρυθμιστικά ερωτήματα. Μπορούν οι νόμοι αυτοί να τροποποιηθούν για να μειώσουν τον βαθμό κατακερματισμού του Διαδικτύου που προκαλούν ενώ παράλληλα προστατεύουν τα δικαιώματα των χρηστών; Πρέπει μια δικαιοδοσία με πιο περιοριστικούς νόμους για την προστασία των δεδομένων, τη διεκπεραίωση και τη διαβίβαση ορισμένων δεδομένων που επιτρέπονται από το Διαδίκτυο, να μπορεί να προβάλλει αυτές τις νομικές απαιτήσεις σε άλλες δικαιοδοσίες;

Ενώ πολλά από αυτά τα ερωτήματα διασυνοριακής ροής δεδομένων έχουν τεθεί και αντιμετωπιστεί στο πλαίσιο της παραδοσιακής κυκλοφορίας δεδομένων στο Διαδίκτυο [13] [14] [15], οι συσκευές IoT αποτελούν μια νέα πρόκληση. Όλο και περισσότερο, θα βλέπουμε αυτές τις συσκευές να μπορούν να συνδέονται με άλλες συσκευές και αυτόματα συστήματα και να μεταδίδουν πληροφορίες πέρα από τα όρια τους χωρίς ο χρήστης να έχει γνώση. Αυτό θα μπορούσε να δημιουργήσει καταστάσεις στις οποίες ο χρήστης είναι υπεύθυνος για τις απαιτήσεις δεδομένων διασυνοριακής ροής και δεν γνωρίζει ότι αυτή η δραστηριότητα συμβαίνει. Πρόκειται για πολύπλοκα ζητήματα που μόνο μεγειθύνονται, καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να ξεπερνά την πολιτική.

Τα δεδομένα είναι η ψυχή της σύγχρονης παγκόσμιας οικονομίας. Το ψηφιακό εμπόριο και οι διασυνοριακές ροές δεδομένων αναμένεται να συνεχίσουν να αυξάνονται ταχύτερα από το συνολικό ποσοστό παγκόσμιου εμπορίου. Οι επιχειρήσεις χρησιμοποιούν δεδομένα για να δημιουργήσουν αξία και πολλοί μπορούν να μεγιστοποιήσουν αυτήν την αξία μόνο όταν τα δεδομένα μπορούν να κυκλοφορούν ελεύθερα πέραν των συνόρων, αλλά ένας αυξανόμενος αριθμός χωρών θεσπίζει εμπόδια που καθιστούν ακριβότερη και χρονοβόρα, αν όχι παράνομη, μεταφορά δεδομένων στο εξωτερικό. Ορισμένα έθνη για να δημιουργήσουν τέτοιους φραγμούς, βασίζονται στις αποφάσεις τους με την λανθασμένη λογική ότι θα αμβλύνει τα προβλήματα ιδιωτικής ζωής και ασφάλειας στον κυβερνοχώρο. Ωστόσο, ανεξάρτητα από το κίνητρο, το κόστος αυτών των πολιτικών είναι σημαντικό, όχι μόνο για την παγκόσμια οικονομία, αλλά και για τα έθνη που χρησιμοποιούν αυτές τις πολιτικές [16].

1.3.5 Οικονομικά πεδία προς ανάπτυξη

Η διάδοση και ο αντίκτυπος του Διαδικτύου είναι παγκόσμιος, προσφέροντας ευκαιρίες και οφέλη τόσο στις αναπτυγμένες όσο και στις αναπτυσσόμενες περιφέρειες. Ταυτόχρονα, υπάρχουν συχνά μοναδικές προκλήσεις στην ανάπτυξη περιοχών που σχετίζονται με την ανάπτυξη, την υλοποίηση και τη χρήση της τεχνολογίας, συμπεριλαμβανομένου του Διαδικτύου. Είναι λογικό να περιμένουμε το ίδιο να ισχύει για τα πιθανά οφέλη και τις προκλήσεις που συνδέονται με το Διαδίκτυο των πραγμάτων.

Όσον αφορά τις ευκαιρίες, το McKinsey Global Institute σημειώνει ότι η τε-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. IOT: INTERNET OF THINGS

χνολογία του Διαδικτύου έχει σημαντικές δυνατότητες στις αναπτυσσόμενες οικονομίες. Μέχρι το 2025, εκτιμούν ότι έως και το 38% των ετήσιων οικονομικών επιπτώσεων των εφαρμογών διανυσματικών δεδομένων θα προέρχεται από λιγότερο ανεπτυγμένες περιφέρειες [17]. Από οικονομική άποψη, αναμένεται ότι τόσο οι δημογραφικές όσο και οι τάσεις της αγοράς θα οδηγήσουν σε ευκαιρία. Για παράδειγμα, οι αναπτυσσόμενες χώρες έχουν υψηλό δυνητικό αριθμό χρηστών IoT (κυρίως στην Κίνα), η παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη μετατοπίζεται στις αναπτυσσόμενες οικονομίες και οι βιομηχανικές εφαρμογές IoT (όπως εργοστάσια, εργοτάξια και μεταφορές) αναμένεται να οδηγήσουν στη δημιουργία οικονομικής αξίας.

The Internet of Things offers a potential economic impact of \$4 trillion to \$11 trillion a year in 2025.



¹Adjusted to 2015 dollars; for sized applications only; includes consumer surplus. Numbers do not sum to total, because of rounding.

McKinsey&Company | Source: McKinsey Global Institute analysis

Κατά την εξέταση του δυναμικού της τεχνολογίας έξυπνων αντικειμένων και του Internet of Things για την ουσιαστική αντιμετώπιση των αναπτυξιακών προκλήσεων, οι ευκαιρίες είναι επιτακτικές. Για παράδειγμα, η εφαρμογή των δικτύων αισθητήρων στις περιβαλλοντικές προκλήσεις, συμπεριλαμβανομένης της ποιότητας και της χρήσης των υδάτων, της υγιεινής, της ασθένειας και της υγείας, της κλιματικής αλλαγής και της παρακολούθησης των φυσικών πόρων, θα μπορούσε να έχει σημαντικό αντίκτυπο πέρα από τη διαχείριση των πόρων. Τα δεδομένα που προέρχονται από τέτοιες εφαρμογές θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε ερευνητικά πλαίσια βοηθώντας τους τοπικούς επιστήμονες και πανεπιστήμια να συνεισφέρουν μοναδικά στο ευρύτερο πλαίσιο παγκόσμιων επιστημονικών γνώσεων και να παρέχουν κίνητρο για την τοπική ακαδημαϊκή κοινότητα επιστημόνων να παραμείνει στη χώρα για να διεξάγει έρευνα.

Ο αυξανόμενος παγκόσμιος πληθυσμός, ιδίως στις αναδυόμενες οικονομίες, και οι προκλήσεις που συνδέονται με την παροχή πρόσβασης σε ποιοτικά, ασφαλή και οικονομικά προσιτά τρόφιμα θα αυξηθούν με την πάροδο του χρόνου. Η πιθανή χρήση του IoT για την καταπολέμηση της πείνας και την προώθηση της αειφόρου γεωργίας έχει λάβει ιδιαίτερη προσοχή, ίσως περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο αναπτυξιακό ζήτημα. Από τη διαχείριση των κύκλων γεωργικής παραγωγής, των απειλών από ασθένειες και των αυξανόμενων εισροών έως την αυτοματοποιημένη συγκομιδή, την εφοδιαστική διανομή και την παρακολούθηση της ποιότητας, προβλέπονται τεχνικές «έξυπνης γεωργίας» με τη χρήση IoT σε όλη την αλυσίδα αξίας για τη βελτίωση της βιωσιμότητας και της παραγωγικότητας.

1.4 Εφαρμογές

Όπως είδαμε και στα προηγούμενα υποκεφάλαια, το IoT προωθεί ένα όραμα του μελλοντικού Διαδικτύου, όπου η σύνδεση των φυσικών πραγμάτων μέσω ενός δικτύου, θα τους επιτρέψει να συμμετέχουν ενεργά στο Διαδίκτυο, ανταλλάσσοντας πληροφορίες για τον εαυτό τους και το περιβάλλον τους. Επομένως οι δυνατότητες που προσφέρει το IoT καθιστούν αναγκαία την ανάπτυξη πολλών εφαρμογών βασισμένων σε αυτό. Στο μέλλον, θα υπάρχουν έξυπνες εφαρμογές για πιο έξυπνα σπίτια και γραφεία, πιο έξυπνα συστήματα μεταφορών, έξυπνότερα νοσοκομεία, έξυπνότερες επιχειρήσεις και εργοστάσια. Στα επόμενα υπο-

κεφάλαια, αναφέρονται εν συντομία μερικές από τις πιο σημαντικές εφαρμογές του IoT.

1.4.1 Έξυπνη πόλη

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αυξανόμενη τάση μεγάλου αριθμού ανθρώπων που κινούνται προς την αστική ζωή. Όπως προβλέπεται έως το 2030, περισσότερο από το 60% του πληθυσμού θα ζει σε αστικό περιβάλλον [18]. Ορισμένα από τα συστήματα που μπορούν να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις που σχετίζονται με τον αυξημένο πληθυσμό θα συμβάλουν στην ανάπτυξη της έξυπνης πόλης. Η ιδέα της 'έξυπνης πόλης' λειτουργεί σε ένα σύνθετο αστικό περιβάλλον, ενσωματώνοντας αρκετά σύνθετα συστήματα υποδομής, ανθρώπινης συμπεριφοράς, τεχνολογίας, κοινωνικών και πολιτικών δομών και οικονομίας. Μια 'έξυπνη πόλη' παρέχει έναν έξυπνο τρόπο διαχείρισης των εξαρτημάτων όπως η μεταφορά, η υγεία, η ενέργεια, τα σπίτια και τα κτίρια και το περιβάλλον. Τα δεδομένα που παράγονται από αυτά τα στοιχεία είναι κυρίως από ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν αναπτυχθεί σε πολλές βιομηχανικές και καταναλωτικές εφαρμογές όπως η παρακολούθηση της υγείας, οι έξυπνες οικιακές εφαρμογές, η παρακολούθηση του νερού και η παρακολούθηση του περιβάλλοντος.

Οι έξυπνες πόλεις έχουν πολλές δυνατότητες και οι πιο σχετικοί κλάδοι που παράγουν δεδομένα εμπίπτουν στους ακόλουθους τομείς [18] :

- Μεταφορά - π.χ. Υπολογισμός δυναμικής διαδρομής για ατυχήματα και συμφόρηση.
- Ενέργεια - π.χ. αναφορά βλαβών .
- Υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης - π.χ. ανίχνευση ατυχημάτων και εγκλημάτων .
- Διαχείριση αποβλήτων - π.χ. ανίχνευση πλήρων κάδων.
- Αέρας και νερό - π.χ. αναφορά της ρύπανσης του αέρα και των υδάτων .
- Ψυχαγωγία - π.χ. να παράγει δεδομένα σχετικά με μεγάλες εκδηλώσεις όπως οι συναυλίες για την ενημέρωση των μέσων μαζικής μεταφοράς

1.4.2 Έξυπνο σπίτι

Η έννοια του έξυπνου σπιτιού διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό μελλοντικών μοντέλων φροντίδας που βασίζονται στη στέγαση. Όλο και περισσότεροι ερευνητικοί όμιλοι εργάζονται σε αυτόν τον τομέα, όπως το MIT, η Siemens, η Cisco, η IBM, η Xerox, η Microsoft κ.λπ. Σε αυτές τις ομάδες, έχουν οριστεί σχεδόν 20 εργαστήρια βασισμένα στο σπίτι. Σε αυτά τα εργαστήρια, χρησιμοποιούνται πάνω από 30 συσκευές, παράγονται περισσότερα από 5 πρωτόκολλα δικτύου και έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερες από 3 τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης [19].

Γενικότερα το έξυπνο σπίτι έχει πολλές δυνατότητες εφόσον οι οικιακές συσκευές είναι αρκετές και έτσι κάποιες από τις έξυπνες συσκευές αναφέρονται παρακάτω.

- Έξυπνο τραπέζι

Με την ενσωμάτωση μιας διαδραστικής οθόνης αφής στην επιφάνειά της, το έξυπνο τραπέζι επιτρέπει στον χρήστη να έχει πρόσβαση σε όλα τα μέρη του έξυπνου δικτύου με το πάτημα ενός δακτύλου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε περίπτωση για να επικοινωνεί με μηνύματα και να δημιουργεί εργασίες - ακόμη και σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

- Έξυπνο ψυγείο

Μαζί με την προφανή βασική λειτουργία αποθήκευσης τροφίμων, το έξυπνο ψυγείο είναι εξοπλισμένο με μια εφαρμογή αγορών και αποθήκευσης που επιτρέπει στο χρήστη να παρακολουθεί τις ημερομηνίες λήξης των μεμονωμένων ειδών τροφίμων καθώς και να διαχειρίζεται λίστες αγορών.

- Έξυπνο κρεβάτι

Το έξυπνο κρεβάτι μπορεί να προγραμματιστεί για να θυμάται τις προτιμώμενες ρυθμίσεις ήχου, οσμής, φωτός και θερμοκρασίας για να ξυπνήσει απαλά όλες τις αισθήσεις και να σας δώσει μια καλή αρχή κάθε πρωί στον χρήση.

1.4.3 Ιατρική και υγειονομική περίθαλψη

Το IoT θα έχει πολλές εφαρμογές στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, με τη δυνατότητα χρήσης του κινητού τηλεφώνου με δυνατότητες αισθητήρων RFID ως πλατφόρμα παρακολούθησης των ιατρικών παραμέτρων και της παράδοσης φαρμάκων. Το πλεονέκτημα που αποκομίζεται είναι η πρόληψη και η εύκολη παρακολούθηση των ασθενειών, η διάγνωση και η άμεση ιατρική φροντίδα σε περιπτώσεις ατυχημάτων. Οι εμφυτεύσιμες και απευθυνόμενες ασύρματες συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση αρχείων υγείας που μπορούν να σώσουν τη ζωή ενός ασθενούς σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, ειδικά για άτομα με διαβήτη, καρκίνο, στεφανιαία νόσο, εγκεφαλικό επεισόδιο, χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια, γνωστικές διαταραχές, διαταραχές επιληπτικών κρίσεων και ασθένεια Alzheimer. Τα βρώσιμα, βιοδιασπώμενα chips μπορούν να εισαχθούν στο ανθρώπινο σώμα για καθοδηγούμενες ενέργειες. Τα παραπληγικά άτομα μπορούν να έχουν μυϊκά ερεθίσματα που διανέμονται μέσω ενός εμφυτευμένου ηλεκτρονικού συστήματος προσομοίωσης ελεγχόμενων αντιχειμένων, προκειμένου να αποκατασταθούν οι λειτουργίες κίνησης[20].

Κεφάλαιο 2

ΙοΤ στο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης

2.1 Εισαγωγή

Στην εποχή μας η τεχνολογία είναι έντονα συνυφασμένη με την υγεία και ίσως αποτελεί τον σημαντικότερο σύμμαχο της διότι με την βοήθεια της σώζονται και θεραπεύονται χιλιάδες ζωές στον κόσμο. Επομένως όσο η τεχνολογία εξελίσσεται τόσο πιο σύγχρονες τεχνολογικές συσκευές θα χρησιμοποιούνται από την παραδοσιακή ιατρική, παρέχοντας ολοένα περισσότερες και ποιοτικά καλύτερες παροχές υγείας σε λιγότερο χρόνο. Με αυτό τον τρόπο αντιμετωπίζονται ολοένα και πιο έγκαιρα τα προβλήματα υγείας που μπορεί να παρουσιαστούν αλλά και βελτιώνεται η ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών.

Η βελτίωση της αποτελεσματικότητας των υποδομών υγειονομικής περίθαλψης και των βιοϊατρικών συστημάτων είναι ένας από τους πιο απαιτητικούς στόχους της σύγχρονης κοινωνίας. Στην πραγματικότητα, η ανάγκη παροχής ποιοτικής φροντίδας στους ασθενείς, μειώνοντας παράλληλα το κόστος της υγειονομικής περίθαλψης και την αντιμετώπιση του προβλήματος της έλλειψης νοσηλευτικού προσωπικού αποτελεί πρωταρχικό ζήτημα. Στην πραγματικότητα, οι τρέχουσες διαδικασίες για την παρακολούθηση, την περίθαλψη, τη διαχείριση και την

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΙΟΤ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ

επίβλεψη των ασθενών εκτελούνται συχνά χειρωνακτικά από το νοσηλευτικό προσωπικό. Επιπροσθέτως, δεδομένα που αφορούν τα στοιχεία των ασθενών, γιατρών, νοσοκομειακού προσωπικού κτλ αποθηκεύονται σε ακριβή κέντρα δεδομένων ανα κλινική ή νοσοκομείο. Αυτά οδηγούν σε μία μείωση της απόδοσης αλλά παράλληλα διογκώνουν το κόστος της υγείας κάτι που θα μπορούσε να προκαλέσει ακόμη και τραγικά λάθη στις πρακτικές των νοσοκομείων. Οι πρόσφατες εξελίξεις στον σχεδιασμό τεχνολογιών Διαδικτύου των πραγμάτων προωθούν την ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων για τη στήριξη και τη βελτίωση των διαδικασιών στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης και της βιοϊατρικής. Η αυτόματη ταυτοποίηση και παρακολούθηση ατόμων και βιοϊατρικών συσκευών στα νοσοκομεία, οι ορθές ενώσεις φαρμάκων-ασθενών, η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των φυσιολογικών παραμέτρων των ασθενών για την έγκαιρη ανίχνευση της κλινικής αλλοίωσης, η αποθήκευση των στοιχείων κάθε χρήστη σε cloud αποθηκευτικούς χώρους είναι μερικά μόνο από τα πιθανά παραδείγματα.

Η τεχνολογία είναι χρήσιμη για τον κόσμο της ιατρικής και της υγειονομικής περίθαλψης χάρη των έξυπνων τηλεφώνων αλλά και των φορητών αισθητήρων που δημιουργούν μεγάλο όγκο δεδομένων. Με την σωστή και λεπτομερή ανάλυση-μελέτη αυτών των τόσο σημαντικών πληροφοριών ο γιατρός μπορεί να παρέχει ποιοτικές ιατρικές υπηρεσίες καθώς θα αντιστοιχίζει σωστά την σωστή θεραπεία στους ασθενείς του σε πολύ λιγότερο χρόνο. Έτσι δίνεται το πλεονέκτημα στον γιατρό να δράσει και να δώσει το σωστό πλάνο θεραπείας πριν οι επιπλοκές στην υγεία των ασθενών του μεγαλώνουν. Με αυτό τον τρόπο η θεραπεία και παρακολούθηση των ασθενών θα μετατραπεί σε μία εύκολη αλλά και πιο αυτοματοποιημένη διαδικασία.

2.2 Τεχνολογικές τάσεις στην υγεία

Στις μέρες μας, το θέμα της υγειονομικής περίθαλψης έχει προσελκύσει υψηλό ενδιαφέρον από την ερευνητική κοινότητα και έτσι με την βοήθεια της τεχνολογίας προσπαθούν να αντιμετωπιστούν σημαντικά πρακτικά προβλήματα ιατρικής φύσης. Κατά συνέπεια, έχουν εφευρεθεί αρκετές εφαρμογές και συσκευές στον τομέα αυτό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΙΟΤ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ

Παρακάτω παρατίθενται μερικές από τις πιο αξιοσημείωτες τεχνολογίες στον τομέα της υγείας.

2.2.1 Τηλεϊατρική

Η τηλεϊατρική αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις για την αντιμετώπιση της πρώτης βοήθειας σε καρδιακή προσβολή, εγκεφαλικό επεισόδιο, ατύχημα, πυρκαγιά σε ασθενείς όπου οι γιατροί δεν είναι διαθέσιμοι. Κατά τη διάσωση ατυχήματος του αυτοκινήτου, ο ασθενής θα πρέπει να μεταφερθεί μέσω ασθενοφόρου, τα ζωτικά σημεία των τραυματιών θα πρέπει να παρακολουθούνται και να λαμβάνουν θεραπεία πρώτων βοηθειών μέσα στο ασθενοφόρο για να αποφευχθεί ο αιφνίδιος θάνατος ή οι σοβαροί τραυματισμοί. Επιπλέον, τα βίντεο καταστάσεων ασθενών που λαμβάνονται από ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές αποστέλλονται στο νοσοκομείο σε πραγματικό χρόνο από το ασθενοφόρο. Όταν ο ασθενής ταξιδεύει σε αμαξοστοιχία απαιτεί θεραπεία πρώτων βοηθειών μέσα στο τρένο και πρέπει να επικοινωνεί με ειδικούς υγείας μέσω υψηλής ταχύτητας διαδικτύου. Ομοίως, το σκάφος είναι απαραίτητο για την ασφάλεια των πληγέντων από το νερό των πλημμυρών και χρειάζεται θεραπεία πρώτων βοηθειών σε άρρωστους ασθενείς [21].

Ως εκ τούτου, η τηλεϊατρική είναι μια επείγουσα θεραπεία για τον ασθενή και περιλαμβάνει το κομμάτι της μετάδοσης ιατρικών εικόνων όπως εικόνες X-Ray και να στείλει τα ιατρικά δεδομένα στην πλευρά του δέκτη δηλαδή του ειδικευμένου γιατρού. Τα ιατρικά δεδομένα είναι σημαντικά έγγραφα υγειονομικής περίθαλψης έκτακτης ανάγκης και μερικές φορές η αποστολή τους στον γιατρό δεν πραγματοποιείται εγκαίρως λόγω του ότι η ταχύτητα του Ιντερνετ μειώνεται εξαιτίας ακάλυπτων περιοχών από σταθμούς βάσης όπως σε αγροτικές περιοχές. Επομένως γίνεται αντιληπτό πως η τεχνολογία αποτελεί τον πιο σημαντικό παράγοντα στην τηλεϊατρική δηλαδή όταν ο ασθενής πρέπει να επικοινωνήσει με το γιατρό του σε περιπτώσεις ανάγκης.

2.2.2 Συσκευές-Wearables

Στις ανεπτυγμένες χώρες, για τον σκοπό της παρακολούθησης της υγείας των ανθρώπων γενικότερα, υπάρχει μια σειρά από συσκευές που μπορούν να φορεθούν για να πραγματοποιείται παρακολούθηση στην υγεία τους. Οι αισθητήρες που σχετίζονται με την υγεία, όπως ο αισθητήρας καρδιακών παλμών, ο αισθητήρας μέτρησης της θερμοκρασίας του σώματος, τα βήματα, οι θερμίδες που καίγονται, ο τρόπος ύπνου, οι δυνατότητες επεξεργασίας και η μετάδοση, μπορούν να βοηθήσουν να καταστούν οικονομικά φορητά gadgets για την παρακολούθηση της υγείας. Επίσης διαφορετικές τεχνικές και αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται για να εντοπίσουν την ακριβή θέση του χρήστη. Με αυτό το τρόπο οι φορητές αυτές συσκευές μπορούν να βοηθήσουν τους ανθρώπους να παρακολουθούν την κατάσταση της υγείας τους με ένα πολύ διαφορετικό τρόπο από ότι η επίσκεψη σε ένα κτίριο υγειονομικής περίθαλψης.

Παρόλα αυτά, οι συσκευές αυτές δεν θα μπορέσουν ποτέ να αντικαταστήσουν την επίσκεψη του ασθενή στο νοσοκομείο αλλά θα συντελούν στην ευαισθητοποίηση του ανθρώπου σχετικά με το σώμα και την υγεία του και λειτουργούν προειδοποιητικά σε περίπτωση μίας λανθασμένης λειτουργίας του σώματός του.

2.2.3 Εφαρμογές

Οι εφαρμογές υγείας έχουν βρεθεί ότι διευκολύνουν την πρόωρη και αποτελεσματικότερη παρέμβαση τόσο της σωματικής όσο και της ψυχικής ασθένειας. Οι εφαρμογές προσφέρουν μοναδικές ευκαιρίες για παρακολούθηση της προόδου, παροχή εκπαιδευτικού υλικού, λήψη εξατομικευμένων προτροπών και υποστήριξης, συλλογή έγκυρων δεδομένων και χρήση παρεμβάσεων αυτοδιαχείρισης όταν και όπου χρειάζονται. Η εφαρμογές υγείας σε smartphones θα βοηθήσουν τους γιατρούς να προσεγγίσουν αποτελεσματικά τους μικρούς πληθυσμούς και τις απομακρυσμένες περιοχές όπου η υγειονομική περίθαλψη είναι ελλιπής ή και εντελώς απουσιάζει.

Επομένως σε μια όλο και μεγαλύτερη αγορά εφαρμογών για την υγεία (πάνω από 259.000 που διατίθενται σε μεγάλα ηλεκτρονικά καταστήματα), μια επείγουσα ανάγκη που προκύπτει είναι να βρεθούν τρόποι παροχής χρήσιμων αλλά

και υψηλής ακρίβειας εφαρμογές για τους χρήστες. Στόχος της έρευνας των εφαρμογών είναι η ανάπτυξη εργαλείων υποστήριξης χρηστών για πιο έγκυρη υιοθέτηση εφαρμογών υγείας.

2.3 Πλεονεκτήματα

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το Διαδίκτυο των πραγμάτων μετασχηματίζει εντελώς τη βιομηχανία της υγειονομικής περίθαλψης επαναπροσδιορίζοντας τον τρόπο με τον οποίο οι εφαρμογές, οι συσκευές και οι άνθρωποι αλληλοεπιδρούν και συνδέονται μεταξύ τους στην παροχή λύσεων υγειονομικής περίθαλψης. Δηλαδή, το ΙοΤ προσφέρει συνεχώς νέα εργαλεία καθώς και βελτιώσεις αποτελεσματικότητας που αποτελούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης με σκοπό να διασφαλιστεί η καλύτερη φροντίδα των ασθενών, οι δαπάνες για την υγειονομική περίθαλψη μειώνονται σημαντικά και βελτιώνονται τα αποτελέσματα της θεραπείας.

Έτσι, είναι μια συσσώρευση πολλαπλών ευκαιριών που οι υποστηρικτές της ευεξίας και τα νοσοκομεία μπορούν να αξιοποιήσουν ακόμα και καθώς βελτιστοποιούν τους πόρους τους μέσω αυτοματοποιημένων ροών εργασίας καθώς και της τελειότητας της διαδικασίας. Για παράδειγμα, η πλειοψηφία των νοσοκομείων χρησιμοποιεί το ΙοΤ για τη διαχείριση περιουσιακών στοιχείων και τον έλεγχο της υγρασίας και της θερμοκρασίας στα χειρουργεία [22].

Τα βασικά πλεονεκτήματα του Διαδικτύου των πραγμάτων σε ότι οι οργανώσεις υγειονομικής περίθαλψης μπορούν να επωφεληθούν περιλαμβάνουν τα εξής [22]:

- Μειωμένα κόστη

Όταν οι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης επωφελούνται από τη συνδεσιμότητα των λύσεων υγειονομικής περίθαλψης, η παρακολούθηση των ασθενών μπορεί να γίνει σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας έτσι σημαντικά τις περιττές επισκέψεις των γιατρών. Ειδικότερα, οι εγκαταστάσεις φροντίδας κατ' οίκον που προχωρούν είναι εγγυημένες ότι θα μειώσουν τις διαμονές και τις επανεισδοχές στο νοσοκομείο.

- Βελτιωμένα αποτελέσματα της θεραπείας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΙΟΤ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ

Η συνδεσιμότητα λύσεων υγειονομικής περίθαλψης μέσω του cloud computing ή άλλων εικονικών υποδομών παρέχει στους φροντιστές την δυνατότητα πρόσβασης σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο που τους επιτρέπουν να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις καθώς και να προσφέρουν θεραπευτική αγωγή που βασίζεται σε αποδεικτικά στοιχεία. Αυτό εξασφαλίζει ότι η παροχή υγειονομικής περίθαλψης είναι έγκαιρη και βελτιώνονται τα αποτελέσματα της θεραπείας.

- Βελτιωμένη διαχείριση ασθενειών

Όταν οι ασθενείς παρακολουθούνται συνεχώς και οι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης έχουν πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, οι ασθένειες αντιμετωπίζονται πριν πάρουν άλλη τροπή.

- Μειωμένα σφάλματα

Η ακριβής συλλογή δεδομένων, οι αυτοματοποιημένες ροές εργασίας σε συνδυασμό με αποφάσεις που βασίζονται σε δεδομένα είναι ένας εξαιρετικός τρόπος μείωσης των αποβλήτων, μείωσης του κόστους συστήματος και, κυρίως, ελαχιστοποίησης των σφαλμάτων.

- Ενισχυμένη εμπειρία ασθενούς

Η συνδεσιμότητα του συστήματος υγείας μέσω του διαδικτύου των πραγμάτων, δίνει έμφαση στις ανάγκες του ασθενούς. Δηλαδή, οι προληπτικές θεραπείες, η βελτιωμένη ακρίβεια όσον αφορά τη διάγνωση, η έγκαιρη παρέμβαση από τους γιατρούς και τα βελτιωμένα αποτελέσματα θεραπείας οδηγούν σε υπεύθυνη φροντίδα που είναι ιδιαίτερα αξιόπιστη στους ασθενείς.

- Ενισχυμένη διαχείριση των φαρμάκων

Η δημιουργία και η διαχείριση των φαρμάκων αποτελούν σημαντικό κόστος για τη βιομηχανία υγειονομικής περίθαλψης. Ακόμα και τότε, με διαδικασίες και συσκευές IoT, είναι δυνατόν να διαχειριστούμε καλύτερα αυτά τα κόστη.

2.4 Συμπεράσματα

Η έρευνα σε συναφείς τομείς έχει δείξει ότι η απομακρυσμένη παρακολούθηση της υγείας είναι εύλογη, αλλά ίσως πιο σημαντικά είναι τα οφέλη που θα μπορούσε να προσφέρει σε διαφορετικά πλαίσια. Η απομακρυσμένη παρακολούθηση της υγείας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση ασθενών που δεν χρειάζονται επείγουσα θεραπεία, στο σπίτι παρά στο νοσοκομείο, μειώνοντας την πίεση σε νοσοκομειακούς πόρους, όπως γιατρούς και κρεβάτια. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την καλύτερη πρόσβαση στην υγειονομική περίθαλψη για όσους ζουν σε αγροτικές περιοχές ή για να δοθεί η δυνατότητα στα ηλικιωμένα άτομα να ζουν ανεξάρτητα στο σπίτι για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Ουσιαστικά, μπορεί να βελτιώσει την πρόσβαση σε πόρους της υγειονομικής περίθαλψης μειώνοντας παράλληλα την πίεση στα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης και μπορεί να δώσει στους ανθρώπους όλο και περισσότερο έλεγχο της υγείας τους ανά πάσα στιγμή.

Στην πραγματικότητα, υπάρχουν σχετικά λίγα μειονεκτήματα της απομακρυσμένης παρακολούθησης της υγείας. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα είναι ο κίνδυνος ασφάλειας που σχετίζεται με την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ευαίσθητων δεδομένων σε μια ενιαία βάση δεδομένων, η πιθανή τακτική ανάγκη να αναπροσαρμόζονται οι αισθητήρες ενός ατόμου για να διασφαλιστεί ότι παρακολουθούνται με ακρίβεια και πιθανές αποσυνδέσεις από τις υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης όταν ο ασθενής βρίσκεται εκτός κυψελοειδούς εμβέλειας ή όταν οι συσκευές του δεν έχουν μπαταρία. Ευτυχώς, αυτά τα ζητήματα είναι όλα σε μεγάλο βαθμό επιλύσιμα και εξετάζονται ήδη από την επιστημονική κοινότητα, όπως θα τονιστεί σε όλη την υπόλοιπη εργασία. Καθώς εξακολουθεί να σημειώνεται πρόοδος για τη μείωση των μειονεκτημάτων, τα συστήματα που βασίζονται στο Διαδίκτυο για απομακρυσμένη παρακολούθηση της υγείας γίνονται όλο και πιο βιώσιμες λύσεις για την παροχή υγειονομικής περίθαλψης στο εγγύς μέλλον.

Κεφάλαιο 3

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

3.1 Παλαιότερες έρευνες

Στην βιβλιογραφία έχουν παρουσιαστεί αρκετές έρευνες που παρουσιάζουν IoT νοσοκομειακά συστήματα, τα οποία βασίζονται στην σύνδεση συσκευών με ενσωματωμένους αισθητήρες. Κάποια από αυτά χρησιμοποιούν το δίκτυο χαμηλής κατανάλωσης ευρείας περιοχής LoRaWAN. Κάποιες άλλες διαφέρουν στις συσκευές IoT που συλλέγουν και αποστέλλουν δεδομένα. Παρακάτω γίνεται αναφορά σε μερικές από αυτές.

3.1.1 **Evaluation of LoRa LPWAN Technology for Indoor Remote Health and Wellbeing Monitoring**

Η μεγάλη διάρκεια ζωής ενός ασύρματου κόμβου αισθητήρα / ενεργοποιητή, το χαμηλό κόστος τοιπ πομποδέκτη και η μεγάλη περιοχή κάλυψης είναι τα κύρια χαρακτηριστικά των τεχνολογιών χαμηλής ισχύος ευρείας περιοχής (LPWAN). Αυτοί οι στόχοι συσχετίζονται καλά με τις απαιτήσεις που επιβάλλονται από τις εφαρμογές της υγείας της ψηφιακής εποχής. Ως εκ τούτου, οι LPWAN μπορούν να βρουν την θέση τους ανάμεσα στις παραδοσιακές τεχνολογίες μι-

κρής εμβέλειας για ασύρματα δίκτυα περιοχής σώματος, όπως το ZigBee, το Bluetooth και το ultra wideband.

Για να ελεγχθεί αυτή η υπόθεση, σε αυτή την εργασία [23] διερευνώνται οι εσωτερικές επιδόσεις με μία από τις τεχνολογίες LPWAN, με το όνομα LoRa, μέσω εμπειρικών μετρήσεων. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας τις εμπορικά διαθέσιμες συσκευές στην κύρια πανεπιστημιούπολη του Πανεπιστημίου του Oulu της Φινλανδίας. Προκειμένου να ληφθεί η συνολική εικόνα, τα πειράματα εκτελέστηκαν για τους κόμβους αισθητήρων που λειτουργούν με διάφορες ρυθμίσεις φυσικού στρώματος, δηλ. χρησιμοποιώντας τους διαφορετικούς παράγοντες διάδοσης, τα εύρη ζώνης και τις δυνάμεις μετάδοσης. Τα ληφθέντα αποτελέσματα δείχνουν ότι με τον μεγαλύτερο συντελεστή εξάπλωσης 12 και 14 dBm, όλη η περιοχή της πανεπιστημιούπολης (570 μ. Βορρά προς Νότο και πάνω από 320 μ. Ανατολικά προς Δύση) μπορεί να καλυφθεί από έναν σταθμό βάσης. Ο μέσος λόγος αποστολής επιτυχίας πακέτων επιτυχίας για αυτή την περίπτωση ήταν 96,7%, ακόμη και χωρίς τη χρήση acknowledgements και αναμετάδοσης. Η πανεπιστημιούπολη καλύφθηκε επίσης με χαμηλότερους παράγοντες εξάπλωσης με ισχύ εκπομπής 2 dBm, αλλά σαφώς χάθηκαν περισσότερα πακέτα. Εκτός από αυτό, ερευνήθηκε η κατανάλωση ισχύος του πομποδέκτη συμβατού με LoRa με διαφορετικές ρυθμίσεις του φυσικού επιπέδου.

Τα πειράματα που διεξάγονται χρησιμοποιώντας την ειδικά σχεδιασμένη μονάδα δείχνουν ότι με βάση τις ρυθμίσεις που χρησιμοποιούνται, η ποσότητα ενέργειας για την αποστολή της ίδιας ποσότητας δεδομένων μπορεί να διαφέρει ως και 200 φορές. Αυτό απαιτεί την αποτελεσματική επιλογή του τρόπου επικοινωνίας που θα χρησιμοποιηθεί από τις συσκευές με περιορισμένη ενεργειακή κατανάλωση και υπογραμμίζει τη σημασία του να επιτρέπεται ο έλεγχος ρυθμίσεων προσαρμοστικών δεδομένων.

3.1.2 Adaptive Rule Engine Based IoT Enabled Remote Health Care Data Acquisition and Smart Transmission System

Στις εφαρμογές περίθαλψης απομακρυσμένης παρακολούθησης, τα ιατρικά δεδομένα που συλλέγονται από τους βιοϊατρικούς αισθητήρες πρέπει να μεταφερ-

θούν στην πλησιέστερη πύλη δικτύου για περαιτέρω επεξεργασία. Η μετάδοση δεδομένων συμβάλλει σε σημαντική κατανάλωση ποσότητας ενέργειας από τον πομπό και αύξηση κίνησης στο δίκτυο.

Αυτή η εργασία [24] προτείνει έναν μηχανισμό κανόνων χαμηλής περιπλοκότητας που βασίζεται στην απόκτηση δεδομένων υγειονομικού ενδιαφέροντος και στην αρχιτεκτονική έξυπνου συστήματος μετάδοσης, η οποία χρησιμοποιεί το πρότυπο IEEE 802.15.4 για την μεταφορά των δεδομένων στην πύλη του δικτύου. Η κατανάλωση ενέργειας και η κίνηση του δικτύου που παράγεται από τη συσκευή μπορεί να μειωθεί μεταδίδοντας ανά συμβάν παρά να γίνεται συνεχής διαβίβαση δεδομένων. Η ομάδα λοιπόν ανέπτυξε δύο διαφορετικούς μηχανισμούς κανόνων: τον στατικό και τον προσαρμοστικό, όπου ο τελευταίος αποφασίζει εάν θα μεταδώσει τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί βασισμένος σε σημαντικά χαρακτηριστικά που εξάγονται από τα δεδομένα, επιτυγχάνοντας έτσι εξοικονόμηση ενέργειας.

Σε αυτή την εργασία λαμβάνεται υπόψιν η συλλογή δεδομένων ηλεκτροκαρδιογραφήματος και η αρχιτεκτονική μετάδοσης. Οι μετρικές που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση απόδοσης είναι η ποσότητα ενέργειας που εξοικονομείται και η κίνηση του δικτύου. Αποδεικνύεται ότι ο προτεινόμενος μηχανισμός κανόνων αυτού του άρθρου προσφέρει σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και της κυκλοφορίας δικτύου που δημιουργείται.

3.1.3 BSN-Care: A Secure IoT-Based Modern Healthcare System Using Body Sensor Network

Η πρόοδος στις τεχνολογίες των πληροφοριών και των επικοινωνιών οδήγησαν στην εμφάνιση του Ίντερνετ των πραγμάτων (IoT). Στο σύγχρονο περιβάλλον υγειονομικής περίθαλψης, η χρήση των τεχνολογιών IoT φέρνει την ευκολία των ιατρών και των ασθενών, δεδομένου ότι εφαρμόζονται σε διάφορους ιατρικούς τομείς (όπως παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, διαχείριση πληροφοριών ασθενών και διαχείριση της υγειονομικής περίθαλψης).

Η τεχνολογία BSN [25] είναι μία από τις βασικές τεχνολογίες των εξελίξεων του IoT στο σύστημα υγείας, όπου ο ασθενής μπορεί να παρακολουθείται

χρησιμοποιώντας μια συλλογή μικρών και χαμηλού βάρους ασύρματων κόμβων αισθητήρων.

Ωστόσο, η ανάπτυξη αυτής της νέας τεχνολογίας στις εφαρμογές της υγειονομικής περίθαλψης χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η ασφάλεια καθιστά ευάλωτη τη μυστικότητα των ασθενών. Σε αυτήν την εργασία, καταρχάς, τονίζουμε τις σημαντικές απαιτήσεις ασφαλείας στο σύγχρονο σύστημα υγείας που βασίζεται το BSN. Στη συνέχεια, προτείνουμε ένα ασφαλές σύστημα υγείας που βασίζεται στο IoT χρησιμοποιώντας το BSN, που ονομάζεται BSN-Care, το οποίο μπορεί να επιτύχει αποτελεσματικά αυτές τις απαιτήσεις.

3.1.4 A Cooperative Internet of Things (IoT) for Rural Healthcare Monitoring and Control

Η έννοια του IoT επιτρέπει τη δυνατότητα ανακάλυψης πληροφοριών σχετικά με ένα αντικείμενο ή ένα άτομο που φέρουν ετικέτα με την βοήθεια μιας διεύθυνσης διαδικτύου ή μιας καταχώρησης βάσης δεδομένων που αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο ενεργό RFID με ικανότητα ανίχνευσης. Είναι ένα μέσο για την ανάκτηση πληροφοριών από τον φυσικό κόσμο σε έναν ψηφιακό κόσμο.

Με την ασύρματη επικοινωνία, οι οντότητες ασύρματων κόμβων μπορούν να αυξήσουν την αποτελεσματική ποιότητα της υπηρεσίας τους (QoS) με συνεργασία. Στις αναπτυσσόμενες χώρες, τα ποσοστά θνησιμότητας λόγω έλλειψης έγκαιρα διαθέσιμων ιατρικών θεραπειών είναι αρκετά υψηλά σε σύγκριση με άλλες ανεπτυγμένες χώρες. Η πλειονότητα αυτών των θανάτων μπορεί να προληφθεί μέσω ποιοτικής φροντίδας.

Το παρόν έγγραφο [26] προτείνει μια συλλογική IoT προσέγγιση για την καλύτερη παρακολούθηση της υγείας και τον έλεγχο των παραμέτρων της υγείας των αγροτικών και των φτωχών ανθρώπων, όπως η αρτηριακή πίεση, η αιμοσφαιρίνη, το σάκχαρο του αίματος, η μη φυσιολογική κυτταρική ανάπτυξη σε οποιοδήποτε μέρος του σώματος κλπ.

3.2 Συγκριτική ανάλυση ερευνών

Όπως παρατηρείται ορισμένοι ερευνητές έχουν παρουσιάσει νέες αρχιτεκτονικές για IoT συστήματα που αφορούν τον τομέα της υγείας. Στον παρακάτω πίνακα 3.1 γίνεται μία συγκριτική ανάλυση των διαφορετικών παλαιότερων ερευνών που παρουσιάζουν ένα νοσοκομειακό σύστημα.

	Συγγραφείς	Τεχνολογία	Περιγραφή
[23]	Petäjäljärvi J. et al.	Αισθητήρες, LoRaWAN	Σε αυτή την εργασία μελετήθηκε η απόδοση της τεχνολογίας LoRaWAN, μέσω μετρήσεων ενός κόμβου αισθητήρων που λειτουργούν κοντά στο ανθρώπινο σώμα. Ο κόμβος στέλνει περιοδικά τα δεδομένα που ανιχνεύει σε ένα σταθμό βάσης.
[24]	M. P. R. S. Kiran et al.	Ηλεκτρόδια, Ενισχυτές, Φίλτρα, Spartan-3E FPGA, IEEE 802.15.4	Προτείνει μία αρχιτεκτονική μετάδοσης ΗΚΓ εφαρμόζοντας δύο μηχανισμούς κανόνων επιτυγχάνοντας εξοικονόμηση ενέργειας από την άσκοπη μετάδοση δεδομένων.
[25]	P. Gope	Βιοαισθητήρες, 3G / CDMA / GPRS	Χρησιμοποιεί βιοαισθητήρες όπως ΗΚΓ, ΗΜΓ, ΗΕΓ, αρτηριακής πίεσης που συλλέγουν τα δεδομένα και τα διαβιβάζουν σε έναν συντονιστή, ο οποίος μπορεί να είναι μία φορητή συσκευή όπως PDA, έξυπνο τηλέφωνο κλπ. Ο συντονιστής λειτουργεί ως δρομολογητής μεταξύ των κόμβων αισθητήρων και του κεντρικού διακομιστή χρησιμοποιώντας τα ασύρματα μέσα επικοινωνίας όπως τα κινητά δίκτυα 3G / CDMA / GPRS. Όταν ο συντονιστής ανιχνεύσει τυχόν ανωμαλίες, τότε παρέχει άμεση ειδοποίηση στο πρόσωπο που φορά τους βιοαισθητήρες.

[26]	V. M. Rohokale et al.	RFID, OLA	<p>Προτείνει ένα σύστημα στο οποίο οι κάτοικοι αγροτικών περιοχών θα φορούν έναν ενεργό αισθητήρα RFID. Οι παράμετροι υγείας που λαμβάνονται υπόψη είναι η παλμική αρτηριακή πίεση, η αιμοσφαιρίνη, το σάκχαρο αίματος. Οι αισθητήρες θα σχηματίσουν μια δομή OLA και οι επείγουσες πληροφορίες θα δρομολογούνται συνεργατικά μέσω του τελικού κόμβου στο gateway και μέσω του Διαδικτύου θα φθάνουν στον γιατρό του κέντρου υγειονομικής περίθαλψης έτσι ώστε ο ίδιος να φτάσει στους ασθενείς έκτακτης ανάγκης.</p>
------	-----------------------	-----------	---

Πίνακας 3.1: Συγκριτική ανάλυση των ερευνών

Κεφάλαιο 4

Προτεινόμενο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης βασισμένο σε ΙΟΤ

4.1 Περιγραφή συστήματος

Το προτεινόμενο σύστημα σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε έχοντας μελετήσει τις παραπάνω εργασίες του κεφαλαίου 3. Η παρούσα εργασία προτείνει μία νέα, έξυπνη αρχιτεκτονική ΙοΤ για την αυτόματη παρακολούθηση και καταγραφή βιοϊατρικών στοιχείων των ασθενών αλλά και των ιατρικών συσκευών στα νοσοκομεία και στα νοσηλευτικά ιδρύματα. Η γενική ιδέα του συστήματος είναι η σύνδεση διάφορων μικρών και μεγάλων συσκευών με ενσωματωμένους αισθητήρες, οι οποίες συλλέγουν και αποστέλλουν δεδομένα σε μία υποδομή δικτύου χαμηλής κατανάλωσης ευρείας περιοχής LoRaWAN.

Ειδικότερα το σύστημα είναι σε θέση να συλλέγει, σε πραγματικό χρόνο, τόσο τις περιβαλλοντικές συνθήκες όσο και τις φυσιολογικές παραμέτρους των ασθενών μέσω ενός δικτύου αισθητήρων. Τα ανιχνευόμενα δεδομένα παραδίδονται σε ένα κέντρο ελέγχου όπου μια προηγμένη εφαρμογή παρακολούθησης τους καθιστά εύκολη την πρόσβαση τόσο από τοπικούς όσο και απομακρυσμένους

χρήστες μέσω μιας διαδικτυακής υπηρεσίας.

4.1.1 Αρχιτεκτονική

Το προτεινόμενο σύστημα που απεικονίζεται στην εικόνα 4.1 αποτελείται από 8 μέρη τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

- **Ένα Arduino Mega**

Αποτελεί το βασικότερο κομμάτι του συστήματος το οποίο συλλέγει δεδομένα από τους αισθητήρες που έχουμε προσαρτήσει στην κλίνη και μεταδίδει ασύρματα τα δεδομένα προς το δίκτυο υποδομής που έχουμε εγκαταστήσει.

- **Ένα LoRaWAN Shield**

Επιτρέπει την αποστολή δεδομένων και φτάνει σε εξαιρετικά μεγάλες αποστάσεις με χαμηλή ταχύτητα δεδομένων. Παρέχει επικοινωνία ευρέως φάσματος και υψηλή αντοχή στις παρεμβολές ενώ ελαχιστοποιεί την κατανάλωση ρεύματος.

- **Δύο αισθητήρες Βάρους**

Καταγράφουν το βάρος του όρου που χορηγείτε στον ασθενή και του ουροσυλλέκτη που είναι προσαρτημένος στον ασθενή.

- **Ένας αισθητήρας υγρασίας**

Εντοπίζει διαρροές υγρών όπως ούρα και νερό στην κλίνη του ασθενούς.

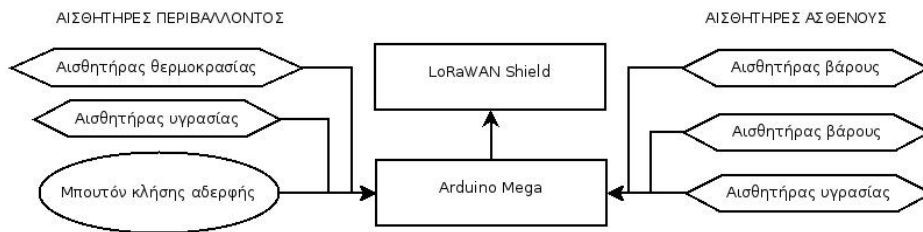
- **Ένα μπουτόν κλήσης αδερφής**

Ενεργοποιείται απο τον ασθενή ή τον συνοδό του για να ειδοποιηθεί το νοσηλευτικό προσωπικό.

- **Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας**

Για την παρατήρηση του δωματίου που βρίσκεται η κλίνη του ασθενούς προσαρτήσαμε στο κεντρικό ελεγκτή αισθητήρια θερμοκρασίας και υγρασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟ ΣΕ ΙΟΤ

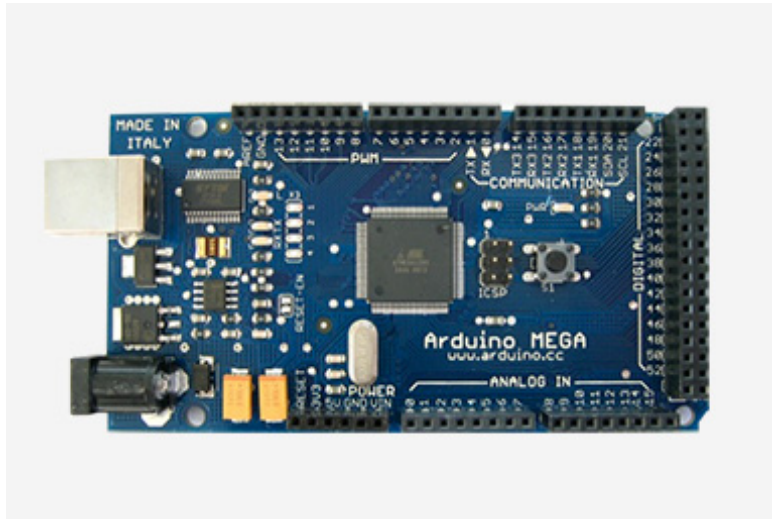


Σχήμα 4.1: Αρχιτεκτονική του προτεινόμενου συστήματος

Στις επόμενες υποενότητες αναλύονται περαιτέρω όλα τα μέρη του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος.

4.1.2 Arduino Mega

Όπως το περιγράφει ο δημιουργός του, το Arduino είναι μια «ανοικτού κώδικα» πλατφόρμα «πρωτοτυποποίησης» ηλεκτρονικών βασισμένη σε ευέλικτο και εύκολο στη χρήση hardware και software που προορίζεται για οποιονδήποτε έχει λίγη προγραμματιστική εμπειρία, στοιχειώδεις γνώσεις ηλεκτρονικών και ενδιαφέρεται να δημιουργήσει διαδραστικά αντικείμενα ή περιβάλλοντα. Παρακάτω στην εικόνα 4.2 δίνεται η απεικόνιση του Arduino Mega.



Σχήμα 4.2: Arduino Mega

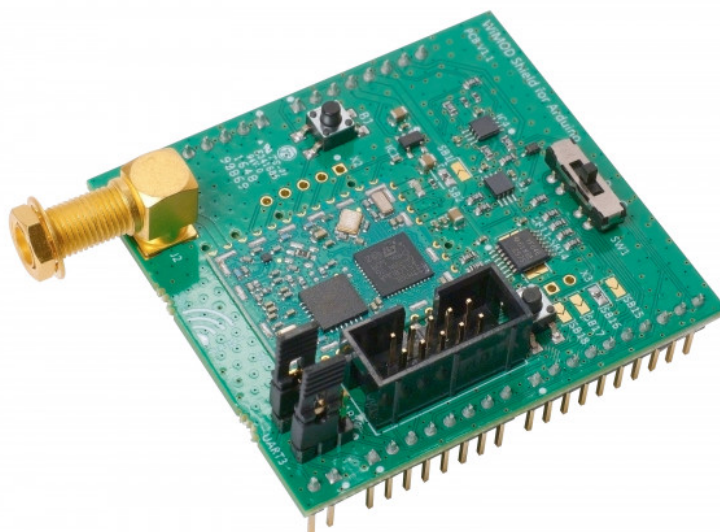
Το Arduino αποτελεί τον εγκέφαλο του συστήματος που έχουμε σχεδιάσει και κατασκευάσει για την έρευνα αυτή. Συλλέγει δεδομένα από τους αισθητήρες που έχουμε προσαρτήσει στην κλίνη και μεταδίδει ασύρματα τα δεδομένα προς το δίκτυο υποδομής που έχουμε εγκαταστήσει. Επιλέξαμε το Arduino Mega διότι μας προσφέρει αρκετές εισόδους και εξόδους επικοινωνίας με τα περιφερειακά αισθητήρια όργανα. Η υπολογιστική ισχύς του μικροεπεξεργαστή είναι αρκετή για να κωδικοποιήσει τα δεδομένα των αισθητήριων και να τα μετατρέψει σε πληροφορία που μπορεί να μεταδοθεί. Επίσης η απλή αρχιτεκτονική του απαιτεί χαμηλή παροχή ενέργειας και μπορεί να λειτουργεί αδιάληπτα με χρήση μπαταρίας για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

4.1.3 LoRaWAN Shield

Για το σύστημα μετάδοσης χρησιμοποιήθηκε το LoRaWAN Shield. Η πλατφόρμα του Arduino μας επιτρέπει να της προσαρμόσουμε πλακέτες επέκτασης για να μας δώσουν περαιτέρω δυνατότητες και λειτουργίες. Στην πειραματική μας διάταξη προσαρτήσαμε σε κάθε Arduino μια πλακέτα που περιλαμβάνει την διάταξη εκπομπής και λήψης σημάτων χαμηλής ισχύς και δίνει την δυνατότη-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟ ΣΕ ΙΟΤ

τα στο Arduino να επικοινωνήσει με την ασύρματη υποδομή. Παρακάτω στην εικόνα 4.3 δίνεται η απεικόνιση του LoRaWAN Shield.



Σχήμα 4.3: LoRaWAN Shield

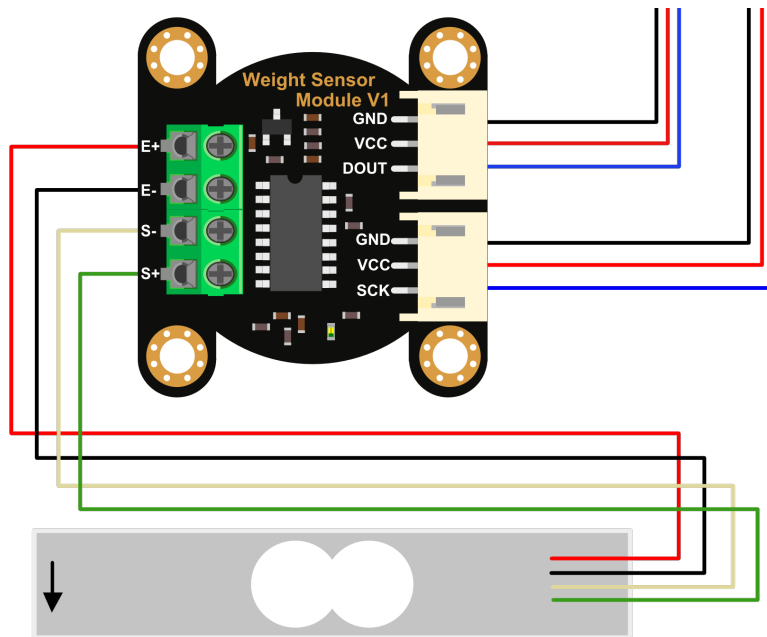
Στον παρακάτω πίνακα 4.1 δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του LoRaWAN Shield.

Χαρακτηριστικό	Τιμή
Διαστάσεις	58 x 53 x 20 mm
Τάση λειτουργίας	5V
Ισχύς εκπομπής	25mW
Διαστάσεις	868MHz
UART Communication με το Arduino	

Πίνακας 4.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του LoRaWAN Shield

4.1.4 Αισθητήρας βάρους

Η πειραματική μας διάταξη περιλαμβάνει 2 αισθητήρια βάρους που καταγράφουν το βάρος του όρου που χορηγείτε στον ασθενή και του ουροσυλλέκτη που είναι προσαρτημένος στον ασθενή. Παρακάτω στην εικόνα 4.4 δίνεται η συνδεσμο-λογία του αισθητήρα βάρους.



Σχήμα 4.4: Αισθητήρας βάρους

Ο κάθε αισθητήρας βάρους που χρησιμοποιείται, αποτελείται από δύο εξαρτήματα, ένα δυναμομετρικό αισθητήρα και ένα στοιχείο αισθητήρα βάρους. Ο δυναμομετρικός αισθητήρας αποτελείται από μια δοκό και ένα μηχανοσκόπετρο. Όταν στο ένα άκρο της δοκού υπάρχει τάση που ασκείται από το βάρος που έχουμε προσαρτήσει προκαλεί κάμψη στην δοκό, το μηχανοσκόπετρο μετράει την παραμόρφωση στο σημείο στο οποίο είναι τοποθετημένο. Το μηχανοσκόπετρο αποτελείται από ένα μεταλλικό έλασμα σε συγκεκριμένη γεωμετρία. Η παραμόρφωση που δημιουργείται λόγω του βάρους μεταβάλλει την ωμική αντίσταση του ελάσματος. Το μηχανοσκόπετρο είναι σε διάταξη γέφυρας με βαθμονομημένες ωμικές αντιστάσεις ώστε να είναι δυνατό να μετρήσουμε την μεταβολή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟ ΣΕ ΙΟΤ

της ωμικής αντίστασης ως μεταβολή της τάσης στα άκρα του μηκυνσιομέτρου και βάση των προδιαγραφών να υπολογίσουμε την δύναμη που ασκεί το βάρος. Για να γίνει καταγραφή της μεταβολής της τάσης στο Αρδουίνο, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσουμε έναν ενισχυτή τάσης. Ο ενισχυτής αυτός είναι το στοιχείο αισθητήρα βάρους που προαναφέραμε, στην διάταξη μας τοποθετήσαμε ένα έτοιμο κύκλωμα του ενισχυτή σήματος HX711. Τοποθετήθηκε ο δυναμομετρικός αισθητήρας στο στατώ όρου και έγινε βαθμονόμηση με αντικείμενο γνωστού βάρους. Στην ελεύθερη άκρη του πρώτου δυναμομετρικού αισθητήρα αναρτήθηκε ο ορός και του δεύτερου ο ουροσυλλέκτης. Προγραμματίστηκε το κεντρικός ελεγκτής να κάνει συνεχή καταμέτρηση του βάρους και των δύο φορτίων και να μεταδίδει την πληροφορία αν υπάρχει μεταβολή του βάρους πάνω από 100g σε διάστημα 5 λεπτών.

Στο κεντρικό σύστημα ενημέρωσης συγκεντρώνονται όλες οι πληροφορίες και αποστέλλεται ενημέρωση στο νοσηλευτικό προσωπικό αν υπάρχει πλήρωση του ουροσυλλέκτη και αν αδειάσει ο ορός.

4.1.5 Αισθητήρας υγρασίας

Η πειραματική μας διάταξη έχει την δυνατότητα να προσαρτούμε αισθητήριο υγρασίας στην κλίνη του ασθενούς για να εντοπίζουμε διαρροές υγρών όπως ούρα και νερό. Μόλις αντιληφθεί το αισθητήριο ύπαρξη υγρού τότε αποστέλλει ειδοποίηση στο νοσηλευτικό προσωπικό.

4.1.6 Μπουτόν κλήσης αδερφής

Δίπλα στην κλίνη έχουμε τοποθετήσει ένα μπουτόν κλήσης αδερφής έτσι ώστε ο ασθενής να έχει την δυνατότητα να καλέσει το νοσηλευτικό προσωπικό για να του δοθεί η ζητούμενη βοήθεια.

4.1.7 Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας

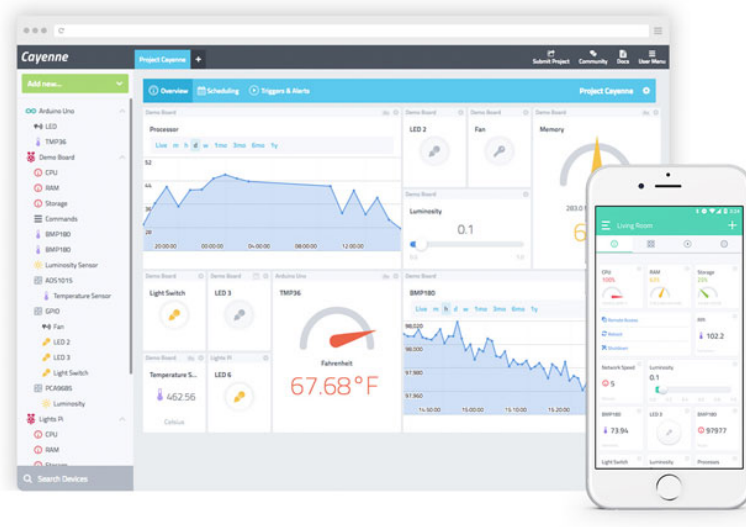
Για την παρατήρηση του δωματίου που βρίσκεται η κλίνη του ασθενούς προσάρτησαμε στο κεντρικό ελεγκτή αισθητήρια θερμοκρασίας και υγρασίας. Τα δεδομένα των αισθητήρων συλλέγονται για να γίνει βελτιστοποίηση των πόρων του νοσοκομείου που αφορούν την θέρμανση και την ψύξη του. Επίσης όταν οι τιμές αυτές υπερβούν τα όρια που έχουν οριστεί τότε ειδοποιείται το αρμόδιο προσωπικό ώστε να λάβει τα κατάλληλα μέτρα.

4.2 Πλατφόρμα απεικόνισης δεδομένων

Η πλατφόρμα που χρησιμοποιήθηκε για την απεικόνιση των δεδομένων που συλλέγονται από τους αισθητήρες του προτεινόμενου συστήματος είναι η Cayenne myDevices. Η πλατφόρμα αυτή δίνει την δυνατότητα να απεικονιστούν γραφικά δεδομένα από πληθώρα αισθητήρων και να αποστέλλονται ειδοποιήσεις όταν οι τιμές των αισθητήρων έχουν ξεπεράσει τα όρια που έχουμε θέσει. Η πρόσβαση στην πλατφόρμα γίνεται μέσω πλοηγού σε Ηλεκτρονικού υπολογιστή ή εφαρμογής σε κινητό τηλέφωνο. Η ειδοποίηση γίνεται μέσω της εφαρμογής του κινητού ή μηνύματος ή e-mail.

Παρακάτω στην εικόνα 4.5 δίνεται η απεικόνιση της πλατφόρμας Cayenne myDevices.

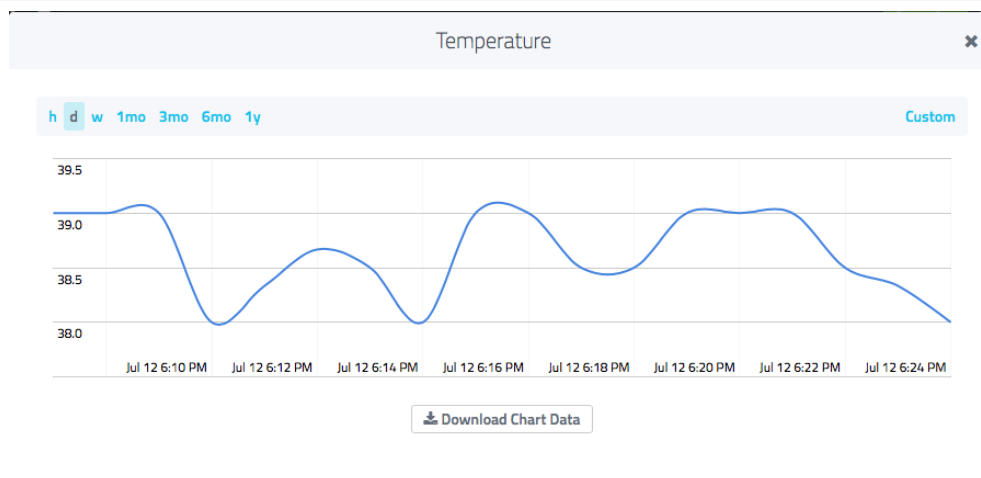
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟ ΣΕ ΙΟΤ



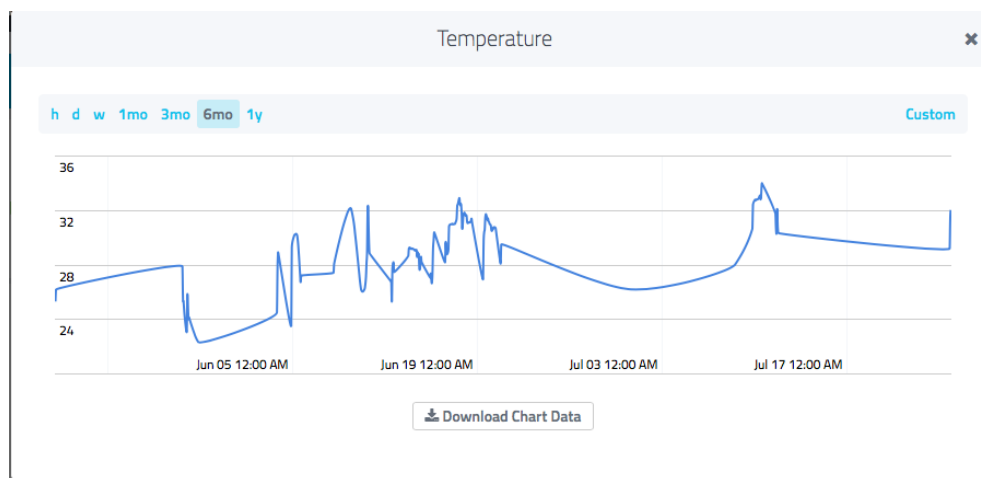
Σχήμα 4.5: Αρχική σελίδα της πλατφόρμας Cayenne myDevices για το προτεινόμενο σύστημα.

Οι παρακάτω εικόνες 4.6, 4.7 παρουσιάζουν τις γραφικές αναπαραστάσεις που μπορούν να εξαχθούν από την πλατφόρμα απεικόνισης δεδομένων Cayenne myDevices.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟ ΣΕ ΙΟΤ



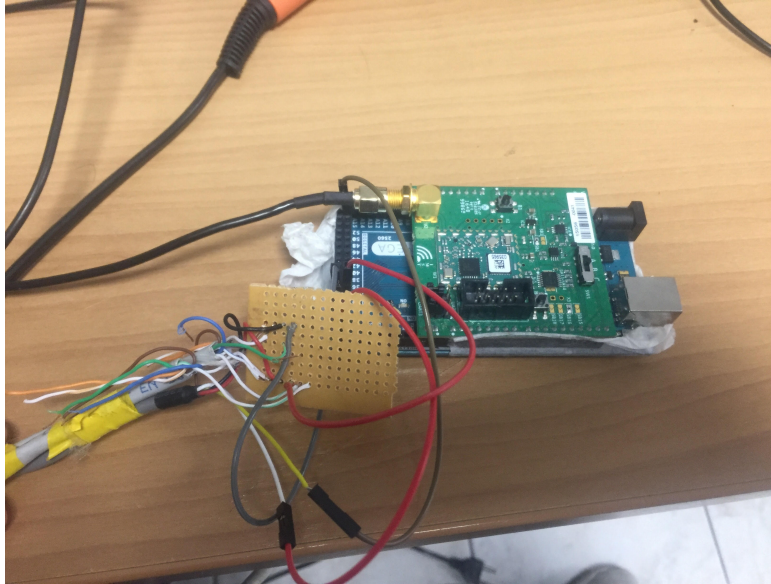
Σχήμα 4.6: Γράφημα μέσης ωριαίας θερμοκρασίας δωματίου κατά τον μήνα Ιούλιο.



Σχήμα 4.7: Γράφημα μέσης θερμοκρασίας δωματίου κατά τον μήνα Ιούλιο.

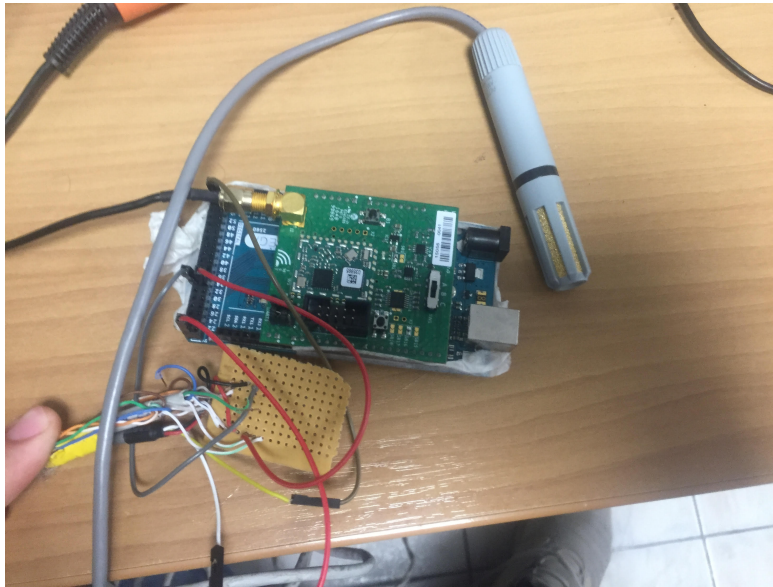
4.3 Φωτογραφικό υλικό συστήματος

Παρακάτω δίνεται φωτογραφικό υλικό από την εγκατάσταση του προτεινόμενου συστήματος.



Σχήμα 4.8: Arduino Mega και LoRaWAN Shield.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟ ΣΕ ΙΟΤ



Σχήμα 4.9: Arduino Mega, LoRaWAN Shield και αισθητήρας θερμοκρασίας-υγρασίας.



Σχήμα 4.10: Αισθητήρας βάρους και ενισχυτής σήματος αισθητήρα.

Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα

5.1 Μετρικές

Το προτεινόμενο σύστημα υλοποιήθηκε έχοντας σχεδιάσει μια καινοτόμο, έξυπνη αρχιτεκτονική IoT που χρησιμοποιεί πληθώρα αισθητήρων για την αυτόματη παρακολούθηση και καταγραφή βιοϊατρικών στοιχείων των ασθενών αλλά και των ιατρικών συσκευών στα νοσηλευτικά ιδρύματα. Το σύστημα αυτό έχει εγκατασταθεί σε μία νοσοκομειακή κλίνη του Πανεπιστημιακού Γενικού Νοσοκομείου Θεσσαλονίκης «ΑΧΕΠΑ», το οποίο είναι ένα από τα μεγαλύτερα νοσοκομεία της Ελλάδας. Το νοσοκομειακό προσωπικό συνεργάστηκε άψογα για την οργάνωση και την εγκατάσταση του συστήματος στις εγκαταστάσεις του νοσοκομείου.

Συγκεκριμένα στην κλίνη του ασθενούς τοποθετήθηκαν δύο αισθητήρες βάρους, ο ένας κάτω από την συσκευασία του ορού και ο άλλος στον ουροσυλλέκτη που είναι προσαρτημένος στον ασθενή. Και οι δύο αισθητήρες έχουν δύο τύπους μετρήσεων. Ο ένας τύπος είναι να γίνεται αποστολή δεδομένων κάθε 10 λεπτά της ώρας και ο δεύτερος μετρούσε και έστειλε τις πληροφορίες ανά μεταβολή της τάξης του 0.1 του κιλού. Δηλαδή κάθε φορά που ο αισθητήρας αντιλαμβάνόταν μείωση ή αύξηση 100 γραμμαρίων στα ούρα ή στον ορό του ασθενούς πραγματοποιούσε αποστολή μετρήσεων. Η αποστολή αυτή συνέβαινε ασφαλώς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

και κάθε 10 λεπτά καθώς η νοσηλευτική υπηρεσία του νοσοκομείου υπέδειξε ότι το χρονικό διάστημα των 10 λεπτών της ώρας θεωρείται ένα ασφαλές περιθώριο για την ειδοποίηση του προσωπικού έτσι ώστε το ίδιο να προβεί στην αλλαγή του ορού ή το άδειασμα του καθετήρα. Επιπρόσθετα είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι οροί και οι ουροσυλλέκτες που χρησιμοποιήθηκαν έχουν χωρητικότητα ενός λίτρου.

Έπειτα χρησιμοποιήθηκε ένας αισθητήρας υγρασίας της κλίνης του ασθενούς που εντοπίζει διαρροές υγρών όπως ούρα ή νερό. Σε αυτόν τον αισθητήρα δεν στέλνονται περιοδικά δεδομένα αλλά εάν η υγρασία της κλίνης είναι πάνω από ένα όριο τότε και μόνο τότε πραγματοποιείται η αποστολή μίας ειδοποίησης στο σύστημα.

Στην λογική της λειτουργίας ειδοποίησης υπάρχει και το μπουτόν κλήσης αδερφής. Ο ασθενής ή ο συνοδός του ασθενή έχει την δυνατότητα ειδοποίησης του νοσηλευτικού προσωπικού και έτσι εξασφαλίζεται η ετοιμότητα σε όλους τους νοσηλευτικούς τομείς του νοσοκομείου για την κάλυψη των επειγόντων περιστατικών και την αντιμετώπιση ενδεχόμενων απρόσμενων συμβάντων.

Παραπάνω λοιπόν έγινε η ανάλυση των αισθητήρων που βρίσκονται προσαρτημένοι στον ασθενή ή στις ιατρικές συσκευές που είναι απαραίτητες για την φροντίδα του ασθενούς. Εκτός από αυτούς τους αισθητήρες χρησιμοποιήθηκαν και άλλοι δύο για τον έλεγχο της κατάστασης του περιβάλλοντος του δωματίου του ασθενούς. Συγκεκριμένα τοποθετήθηκε ένας αισθητήρας θερμοκρασίας και ένας υγρασίας. Και οι δύο αυτοί αισθητήρες μετέδιδαν τα δεδομένα που κατέγραφαν ανα 10 λεπτά της ώρας. Επίσης η θερμοκρασία αναφέρεται στην κλίμακα κελσίου και η υγρασία στην ποσοστιαία μεταβολή της.

5.2 Πίνακες δεδομένων

Τα δεδομένα που μεταδίδονταν από τους αισθητήρες ανα τακτά χρονικά διαστήματα απεικονίζονται στον παρακατω πίνακα 5.1. Σαφώς τα αποτελέσματα δεν έχουν υποστεί καμία επεξεργασία σε αυτήν την μορφή και αποτελούν ένα υποσύνολο του συνολικού όγκου των μετρήσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Temp	24.10	Hum	28.60	Reading 1	-1.0 kgs	Reading 2	-4.3 kgs	Count	102
Temp	24.10	Hum	28.60	Reading 1	-1.0 kgs	Reading 2	-5.0 kgs	Count	103
Temp	24.10	Hum	28.60	Reading 1	-1.0 kgs	Reading 2	-5.5 kgs	Count	104
Temp	24.10	Hum	28.60	Reading 1	-1.0 kgs	Reading 2	-5.3 kgs	Count	105
Temp	24.10	Hum	28.60	Reading 1	-1.0 kgs	Reading 2	-0.1 kgs	Count	106
Temp	24.10	Hum	28.60	Reading 1	-1.0 kgs	Reading 2	-0.1 kgs	Count	107
Temp	24.10	Hum	28.60	Reading 1	-1.0 kgs	Reading 2	0.0 kgs	Count	108
Temp	24.10	Hum	28.60	Reading 1	-1.0 kgs	Reading 2	1.6 kgs	Count	109
Temp	24.10	Hum	28.60	Reading 1	-1.0 kgs	Reading 2	2.5 kgs	Count	110
Temp	24.10	Hum	28.60	Reading 1	-1.0 kgs	Reading 2	0.1 kgs	Count	111
Temp	24.10	Hum	28.60	Reading 1	-1.0 kgs	Reading 2	-0.1 kgs	Count	112
Temp	24.10	Hum	28.60	Reading 1	-1.0 kgs	Reading 2	-0.1 kgs	Count	113
Temp	24.10	Hum	28.60	Reading 1	-1.0 kgs	Reading 2	-2.0 kgs	Count	114
Temp	24.10	Hum	28.60	Reading 1	-1.0 kgs	Reading 2	-3.8 kgs	Count	115

Σχήμα 5.1: Μετρήσεις αισθητήρων πριν την επεξεργασία.

Παρακάτω δίνεται ένας περιεκτικός πίνακας 5.2 των συνολικών μετρήσεων. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι συγκεκριμένες μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί σε διάστημα τεσσάρων ημερών και αυτό μπορεί να διαπιστωθεί από τις ώρες των μετρήσεων. Όπως διαπιστώνεται τα περιεχόμενα των στηλών είναι η θερμοκρασία και η υγρασία περιβάλλοντος, το βάρος του ορού και των ούρων, ο κωδικός της μέτρησης καθώς και η ώρα της μέτρησης. Για να γίνουν πιο αντιληπτές αυτές οι τιμές των αισθητήρων παρατείνονται μερικά γραφήματα τα οποία απεικονίζουν γραφικά τις αλλαγές στις μετρήσεις αυτές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

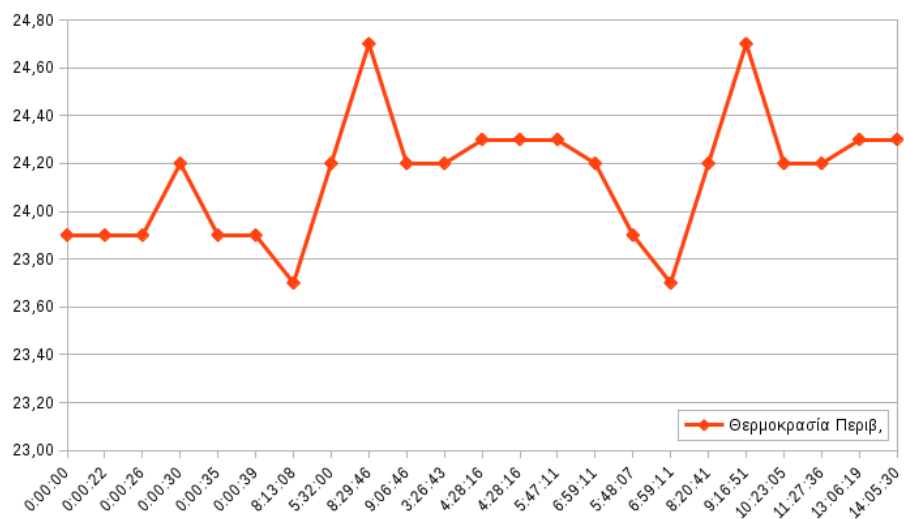
Θερμοκρασία Περιβ.	Υγρασία	Ορός	Ούρα	Μέτρηση	Ωρα
23.90	28.70	0	0	0	0:00:00
23.90	28.70	-0,1	0	5	0:00:22
23.90	28.70	-0,6	0	6	0:00:26
24.20	41.30	0	0	7	0:00:30
23.90	28.70	-0,9	0	8	0:00:35
23.90	28.70	-1	0	9	0:00:39
23.70	33.00	-0,8	0	26849	8:13:08
24.20	33.60	-0,7	0,2	44611	5:32:00
24.70	36.70	-0,5	0,4	67080	8:29:46
24.20	41.40	-0,4	0,7	87594	9:06:46
24.20	42.30	-0,3	0	102871	3:26:43
24.30	41.50	-0,2	0	123726	4:28:16
24.30	41.50	-0,1	0	143726	4:28:16
24.30	41.50	0	0	144822	5:47:11
24.20	41.30	0	0	145822	6:59:11
23.90	28.70	-1	0	144835	5:48:07
23.70	33.00	-0,8	0,2	145822	6:59:11
24.20	33.60	-0,7	0,4	146954	8:20:41
24.70	36.70	-0,5	0,5	147734	9:16:51
24.20	41.40	-0,4	0	148654	10:23:05
24.20	42.30	-0,3	0	149550	11:27:36
24.30	41.50	-0,2	0	150921	13:06:19
24.30	41.50	-0,1	0	151743	14:05:30

Σχήμα 5.2: Μετρήσεις αισθητήρων μετά την επεξεργασία.

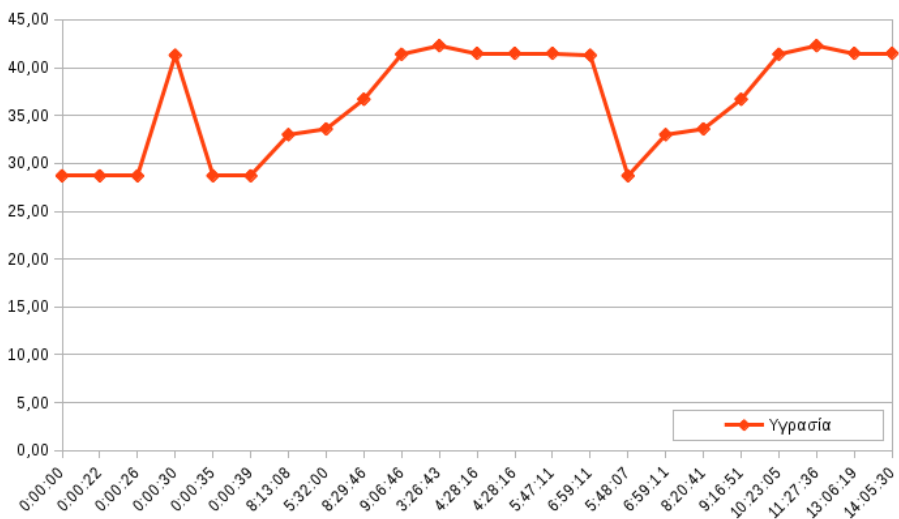
5.3 Γραφικές αναπαραστάσεις

Οι παρακάτω εικόνες 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 παρουσιάζουν γραφικά τα ποσοστά υγρασίας, την θερμοκρασία σε κλίμακα κελσίου και τις μεταβολές στο βάρος του ορού και των ουρων καθώς υπάρχει και ένα συγκριτικό γράφημα 5.7 αυτών των δύο μετρήσεων βάρους. Όπως διαπιστώθηκε οι μετρήσεις είχαν υψηλό βαθμό ακρίβειας με τις πραγματικές τιμές γεγονός που εξασφαλίζει ότι τα δεδομένα είναι αξιόπιστα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

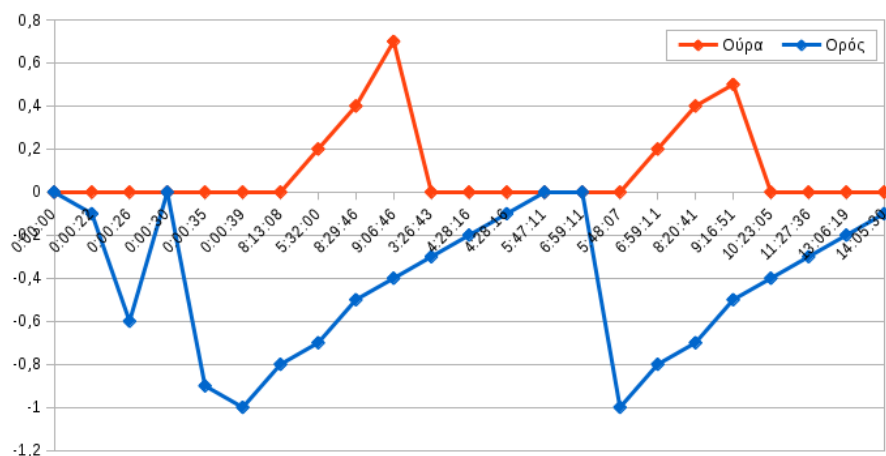


Σχήμα 5.3: Γραφική αναπαράσταση των δεδομένων θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.



Σχήμα 5.4: Γραφική αναπαράσταση των δεδομένων υγρασίας του περιβάλλοντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Σχήμα 5.7: Συγκριτική γραφική αναπαράσταση των δεδομένων του βάρους του ορού και των ούρων.

5.4 Συγκριτική μελέτη

Ένα από τα βασικότερα συμπεράσματα της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι ότι οι μετρήσεις όλων των αισθητήρων μπορούν να μελετηθούν και να παρατηρηθούν χωρίς να χρειάζεται το νοσοκομειακό προσωπικό να βλέπει και να καταγράφει κάθε αλλαγή της ιατρικής συσκευής.

Ειδικότερα στην γραφική αναπαράσταση 5.3 παρατηρείται ότι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος κυμαίνεται μεταξύ των 23.7°C και των 24.7°C, με την χαμηλότερη να πραγματοποιείται πριν τις 8:13 και την υψηλότερη μετά τις 8:29 το πρωί.

Έπειτα στην γραφική αναπαράσταση 5.4 γίνεται αντιληπτό ότι η υγρασία του δωματίου του νοσηλευόμενου κυμαίνεται μεταξύ του 28.7% και του 42.3% με την πρώτη και χαμηλότερη τιμή να παρατηρείται σε ώρες κοντά στα μεσάνυχτα.

Στην συγκριτική γραφική αναπαράσταση 5.7 των δεδομένων του βάρους του ορού και των ούρων εντοπίζονται σταδιακές διακυμάνσεις αλλά και απότομες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

μεταβολές γεγονότα που μας δείχνουν τον ρυθμό παροχής του ορού στον νοσηλευόμενο αλλά και το πότε έγινε η αλλαγή του δοχείου του ορού. Το ίδιο ισχύει και για το βάρος των ούρων. Οι απότομες αλλαγές αντικατροπτρίζουν το πότε άδειασε ο ουροσυλλέκτης του ασθενούς και η κυμαινόμενη αύξηση δείχνει τον ρυθμό που γεμίζει. Έτσι μελετώντας το γράφημα παρατηρείται ότι έχει γίνει αλλαγή τεσσάρων συσκευασιών ορού του ενός λίτρου καθώς έχουν γεμίσει και αδειάσει δύο ουροσυλλέκτες κυρίως τις πρωινές ώρες.

Όλες αυτές οι παρατηρήσεις πραγματοποιήθηκαν χωρίς να χρειαστεί να ερωτηθεί η κάθε νοσηλεύτρια που φρόντιζε τον ασθενή και χωρίς να γίνει καταγραφή μετρήσεων σε κάποιο έγγραφο. Ο επιβλέπων γιατρός των ασθενών μπορεί να έχει πρόσβαση στα δεδομένα που καταγράφονται απο οποιοδήποτε μέρος μπορεί να βρίσκεται. Επιπρόσθετα το νοσηλευτικό προσωπικό μπορεί να ειδοποιηθεί ανά πάσα στιγμή για το εαν ο ασθενής χρειαζόταν κάποια βοήθεια εφόσον ο ίδιος ασθενής είχε την δυνατότητα να πατήσει το μπουτόν κλήσης αδερφής. Αυτές είναι κάποιες δυνατότητες οι οποίες είναι απαραίτητες για την ομαλή λειτουργία του νοσοκομείου καθώς διασφαλίζουν την ακρίβεια μετρήσεων, παρέχουν απομακρυσμένη πρόσβαση σε χρησιμες πληροφορίες και ικανοποιούν τον σκοπό μιας νοσηλευτικής υπηρεσίας ο οποίος δεν είναι άλλος από την παροχή υψηλής ποιότητας φροντίδας στους νοσηλευόμενους.

Το πιο αξιοσημείωτο είναι το είδος των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται καθώς και η τεχνολογία μετάδοσης των δεδομένων που εφαρμόζεται. Αισθητήρες βάρους σε ιατρικές συσκευές αλλά και αισθητήρες καταγραφής κατάστασης περιβάλλοντος δεν έχουν χρησιμοποιηθεί σε κανένα απο τα προηγούμενα συστήματα που εξετάστηκαν στο κεφάλαιο 3. Οι περισσότερες εργασίες επικεντρώνονται σε βιοαισθητήρες όπως ΗΚΓ, ΗΜΓ, ΗΕΓ. Επιπρόσθετα όλες οι αρχιτεκτονικές των εργασιών εκτός απο την [23] χρησιμοποιούν συστήματα μετάδοσης δεδομένων τα οποία είναι αρκετά κοστοβόρα απο την πλευρα της ενέργειας ενώ στο προτεινόμενο σύστημα γίνεται χρήση της τεχνολογίας LoRaWAN. Το LoRaWAN διαθέτει λειτουργία χαμηλής ισχύος (περίπου 10 χρόνια ζωής της μπαταρίας), χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (27 kbps) και μεγάλο εύρος επικοινωνίας (2-5 χλμ σε αστικές περιοχές και 15 χλμ. προαστιακές περιοχές) [27]. Αυτό δίνει ένα αξιόπεραστο πλεονέκτημα στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική.

Σκοπός της νοσηλευτικής υπηρεσίας είναι η παροχή υψηλής ποιότητας φροντίδας στους νοσηλευόμενους. Για την εξυπηρέτηση του παραπάνω σκοπού

η οργάνωση και λειτουργία της πρέπει να στηρίζεται στους σύγχρονους κανόνες της νοσηλευτικής επιστήμης αλλά και σε καινοτόμα συστήματα που σκοπό έχουν τη βελτίωση απόδοσης του νοσηλευτικού προσωπικού. Αυτός ήταν ο στόχος αυτής της εργασίας, έτσι ώστε οι δυνατότητες το IoT να χρησιμοποιηθούν στο έπακρο για τη βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών όλων των νοσηλευτικών ιδρυμάτων.

5.5 Μελλοντικές επεκτάσεις

Σαν μελλοντική επέκταση αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας είναι προσθήκη περισσότερων αισθητήρων αλλά και βιοαισθητήρων ώστε να υπάρχουν όσο το δυνατό περισσότερες μετρήσεις και αποτελέσματα.

Επίσης μια επέκταση που θα μπορούσε να υλοποιηθεί είναι εγκατάσταση του συστήματος σε όλες τις κλίνες και τα δωμάτια ενός νοσοκομείου για την μετάδοση μεγαλύτερου όγκου δεδομένων που σκοπό έχουν να βελτιώσουν τις νοσοκομειακές υπηρεσίες.

5.6 Κώδικας επικοινωνίας LoRaWAN

```
1 #include <CayenneLPP.h>
2
3 // Set your AppEUI and AppKey
4
5 //kleidia kruptografisis epikoinwnias LoRaWAN
6 const char *appEui = "0000000000000000";
7 const char *appKey = "0000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000";
8
9 #define loraSerial Serial1
10 #define debugSerial Serial
11
12 //Suxnotita epikoinanias 868MHz gia Europi
```

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

```
13 #define freqPlan TTN_FP_EU868
14
15 TheThingsNetwork ttn(loraSerial, debugSerial, freqPlan
    );
16 CayenneLPP lpp(51);
17
18 void setup()
19 {
20 //arxikopoihsh
21   loraSerial.begin(57600);
22   debugSerial.begin(9600);
23
24   // Wait a maximum of 10s for Serial Monitor
25   while (!debugSerial && millis() < 10000)
26     ;
27
28   debugSerial.println("--_STATUS");
29   ttn.showStatus();
30
31 //epitixia sundesis
32   debugSerial.println("--_JOIN");
33   ttn.join(appEui, appKey);
34 }
35
36 void loop()
37 {
38   debugSerial.println("--_LOOP");
39
40   lpp.reset();
41
42 //metadosi thermokrasias
43
44 //psifiaki eisodos apo kinisi
45   lpp.addDigitalInput(1, getButtonPressed());
46
47 //analogiki eisodos apo ugrasia krevatiou
48   lpp.addAnalogInput(2, getRotaryPosition());
49
```

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

```
50 //ugrasia apo to domatio
51 lpp.addRelativeHumidity(3, sensor.getRH());
52 lpp.addTemperature(4, sensor.getTemp());
53
54 //fotinotita domatiou
55 lpp.addLuminosity(5, get_lux_value());
56
57 lpp.addTemperature(1, 22.5);
58 //metadosi varometrikis piesis
59 lpp.addBarometricPressure(2, 1073.21);
60
61 //metadosi minimatos me LoRaWAN
62 ttn.sendBytes(lpp.getBuffer(), lpp.getSize());
63
64 delay(10000);
65 }
```

Βιβλιογραφία

- [1] K. Ashton. *That 'Internet of Things' Thing*. English. 2009. URL: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>.
- [2] R. van Kranenburg and S. Dodson. *The Internet of Things: A Critique of Ambient Technology and the All-seeing Network of RFID*. English. Network notebooks. Institute of Network Cultures, 2008. ISBN: 9789078146063. URL: <https://books.google.gr/books?id=PilgkgEACAAJ>.
- [3] D. Evans. *The Internet of Things*. English. 2011. URL: <http://blogs.cisco.com/diversity/the-internet-of-things-infographic>.
- [4] R. van Kranenburg et al. “The internet of things”. English. In: *Proc. 1st Berlin Symp. Internet Soc.* Berlin, Germany, 2011.
- [5] IHS (Information Handling Services Markit). *IoT platforms: enabling the Internet of Things*. English. 2016. URL: <https://www.ihs.com/industry/telecommunications.html>.
- [6] Chris Ip. *Internet of Things The IoT opportunity – Are you ready to capture a once-in-a-lifetime value pool? Hong Kong IoT Conference*. English. 2016. URL: [http://hk-iot-conference.gslhk.org/2016/pdf/_04_McKinsey-\(ChrisIp\)pptpart1_IoT-CapturingtheOpportunityvF-21June2016.1pptx.pdf](http://hk-iot-conference.gslhk.org/2016/pdf/_04_McKinsey-(ChrisIp)pptpart1_IoT-CapturingtheOpportunityvF-21June2016.1pptx.pdf).
- [7] Internet Society. *The Internet of Things (IoT): An Overview*. English. 2015. URL: <https://www.internetsociety.org/resources/doc/2015/iot-overview>.

- [8] H. Tschofenig et al. “Architectural Considerations in Smart Object Networking”. English. In: *Internet Architecture Board (IAB)* (2015). ISSN: 2070-1721. URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7452.txt>.
- [9] Z. K. Zhang et al. “IoT Security: Ongoing Challenges and Research Opportunities”. English. In: *2014 IEEE 7th International Conference on Service-Oriented Computing and Applications*. 2014, pp. 230–234. DOI: 10.1109/SOCA.2014.58.
- [10] P. Porambage et al. “The Quest for Privacy in the Internet of Things”. English. In: *IEEE Cloud Computing* 3.2 (2016), pp. 36–45. ISSN: 2325-6095. DOI: 10.1109/MCC.2016.28.
- [11] J. Manyika et al. *The Internet of Things: Mapping the Value beyond the Hype*. English. 2015. URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world>.
- [12] G. Aloï et al. “Enabling IoT interoperability through opportunistic smartphone-based mobile gateways”. English. In: *Journal of Network and Computer Applications* 81.Supplement C (2017), pp. 74–84. ISSN: 1084-8045. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.10.013>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804516302405>.
- [13] OECD. “Privacy Expert Group Report on the Review of the 1980 OECD Privacy Guidelines”. English. In: (). DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/5k3xz5zmj2mx-en>. URL: </content/workingpaper/5k3xz5zmj2mx-en>.
- [14] Council of Europe. “European Treaty Series - No. 108 Convention for the Protection of Individuals with regard to Automatic Processing of Personal Data”. English. In: (). URL: <http://rm.coe.int/1680078b37>.
- [15] APEC. “APEC Privacy Framework”. English. In: (). URL: <http://www.apec.org/Publications/2005/12/APEC-Privacy-Framework>.

- [16] Nigel Cory. “Cross-Border Data Flows: Where Are the Barriers, and What Do They Cost?” English. In: (2017). URL: <http://www2.itif.org/2017-cross-border-data-flows.pdf>.
- [17] et. al. Manyika James. “The Internet of Things: Mapping the Value beyond the Hype”. English. In: (2015). URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world>.
- [18] Riccardo Petrolo, V Loscri, and Nathalie Mitton. “Towards a smart city based on cloud of things, a survey on the smart city vision and paradigms”. English. In: 28 (2015).
- [19] Li Jiang, Da-You Liu, and Bo Yang. “Smart home research”. English. In: *Proceedings of 2004 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (IEEE Cat. No.04EX826)*. Vol. 2. 2004, 659–663 vol.2. DOI: 10.1109/ICMLC.2004.1382266.
- [20] Debasis Bandyopadhyay and Jaydip Sen. “Internet of Things: Applications and Challenges in Technology and Standardization”. English. In: *Wireless Personal Communications* 58.1 (2011), pp. 49–69. ISSN: 1572-834X. DOI: 10.1007/s11277-011-0288-5. URL: <https://doi.org/10.1007/s11277-011-0288-5>.
- [21] S. Saravanan and P. Sudhakar. “Telemedicine communication system in Mobile units”. English. In: *2017 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*. 2017, pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICCCI.2017.8117750.
- [22] Kevin Patel. “6 Benefits of IoT for Hospitals and Healthcare”. English. In: (Jan. 2017).
- [23] Juha Petäjäjärvi et al. “Evaluation of LoRa LPWAN Technology for Indoor Remote Health and Wellbeing Monitoring”. English. In: *International Journal of Wireless Information Networks* 24.2 (2017), pp. 153–165. ISSN: 1572-8129. DOI: 10.1007/s10776-017-0341-8. URL: <https://doi.org/10.1007/s10776-017-0341-8>.
- [24] M. P. R. S. Kiran et al. “Adaptive rule engine based IoT enabled remote health care data acquisition and smart transmission system”. English. In: *2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*. 2014, pp. 253–258. DOI: 10.1109/WF-IoT.2014.6803168.

- [25] P. Gope and T. Hwang. “BSN-Care: A Secure IoT-Based Modern Healthcare System Using Body Sensor Network”. English. In: *IEEE Sensors Journal* 16.5 (2016), pp. 1368–1376. ISSN: 1530-437X. DOI: 10.1109/JSEN.2015.2502401.
- [26] V. M. Rohokale, N. R. Prasad, and R. Prasad. “A cooperative Internet of Things (IoT) for rural healthcare monitoring and control”. English. In: *2011 2nd International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace Electronic Systems Technology (Wireless VITAE)*. 2011, pp. 1–6. DOI: 10.1109/WIRELESSVITAE.2011.5940920.
- [27] F. Adelantado et al. “Understanding the Limits of LoRaWAN”. English. In: *IEEE Communications Magazine* 55.9 (2017), pp. 34–40. ISSN: 0163-6804. DOI: 10.1109/MCOM.2017.1600613.
- [28] Riccardo Petrolo, V Loscri, and Nathalie Mitton. “Towards a smart city based on cloud of things, a survey on the smart city vision and paradigms”. English. In: 28 (Feb. 2015).