



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

«ΕΞΥΓΝΟ ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ ESP32»

ΤΟΥ

Αρβανιτάκη Πέτρου Ιωάννη

Επιβλέπων Καθηγητής : Παπουτσιδάκης Μιχαήλ

Αθήνα, Μάρτιος 2023



UNIVERSITY of WEST ATTICA

SCHOOL of ENGINEERING

DEPARTMENT of INDUSTRIAL DESIGN & PRODUCTION ENGINEERING

'SMART BUILDING WITH THE USE OF A MICROCONTROLLER ESP32'

DIPLOMA THESIS

ARVANITAKIS PETROS IOANNIS

Supervisor: Papoutsidakis Michael

Athens, March 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

«ΕΞΥΠΝΟ ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ ESP32»

ΤΟΥ

ΑΡΒΑΝΙΤΑΚΗ ΠΕΤΡΟΥ ΙΩΑΝΝΗ

Επιβλέπων Καθηγητής : Παπουτσιδάκης Μιχαήλ

Η πτυχιακή / διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

.....
Παπουτσιδάκης Μιχαήλ
Καθηγητής Πα.Δ.Α

.....
Θεοχάρης Ευστάθιος
Ε.Δι.Π

.....
Σόρτ Ανδρέας Ρόναλντ
Ε.Δι.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2023

.....

ΑΡΒΑΝΙΤΑΚΗΣ ΠΕΤΡΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Copyright ©- All rights reserved



Copyright ©- All rights reserved Αρβανιτάκης Πέτρος Ιωάννης, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

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.

Δήλωση συγγραφέα πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Αρβανιτάκης Πέτρος Ιωάννης του Ιωάννου, με αριθμό μητρώου 71447587 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Αρβανιτάκης Πέτρος Ιωάννης

Περίληψη

Η εποχή στην οποία ζούμε και τα χρόνια τα οποία διανύουμε, αποτελούν αναμφισβήτητα, αυτά με την μεγαλύτερη ανάπτυξη της τεχνολογίας. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αποτελεί μια τέτοια τεχνολογία, η οποία αναπτύσσεται ραγδαία, και συνδέει φυσικές συσκευές, οχήματα, κτίρια, αντικείμενα κ.α. , με το Διαδίκτυο, δίνοντας τους την δυνατότητα για επικοινωνία και ανταλλαγή δεδομένων. Η τεχνολογία αυτή, φέρνει επανάσταση σε διάφορους κλάδους, και συγκεκριμένα στα κτίρια, μετατρέποντας τα σε «έξυπνα», το οποίο αποτελεί το αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τα κτίρια που χρησιμοποιούν την τεχνολογία IoT, γίνονται όλο και πιο δημοφιλή, λόγω της βελτιστοποίησης της απόδοσης του κτιρίου, της ενεργειακής απόδοσης, αλλά και της άνεσης των χρηστών.

Στη συγκεκριμένη εργασία, παρέχεται επισκόπηση του Διαδικτύου των Πραγμάτων, συμπεριλαμβανομένου του ορισμού του, των βασικών στοιχείων και των εφαρμογών του. Επιπλέον, αναλύονται τα οφέλη του, ενώ συμπεριλαμβάνονται και οι ανησυχίες για την ασφάλεια και το απόρρητο. Στην συνέχεια, επεξηγείται ο όρος «έξυπνο κτίριο», καθώς επίσης αναλύονται οι λειτουργίες τέτοιου είδους κτιρίων, ενώ παρουσιάζονται και τα χαρακτηριστικά αυτών. Επιπρόσθετα, επεξηγούνται οι τεχνολογίες και τα πρωτόκολλα επικοινωνιών τα οποία χρησιμοποιούνται σε τεχνολογίες όπως είναι το IoT, για την επίτευξη του στόχου πραγματοποίησης συγκεκριμένης εφαρμογής (Smart Building).

Ακόμα, για την ολοκλήρωση και την ορθή λειτουργία μιας τέτοιας εφαρμογής, απαραίτητο στοιχείο αποτελούν οι μικροελεγκτές. Ο ορισμός τους, η λειτουργία τους, τα χαρακτηριστικά τους και οι κατηγορίες στις οποίες αυτοί χωρίζονται, παρουσιάζονται σε συγκεκριμένο κεφάλαιο στην παρούσα εργασία, ενώ εκτενής αναφορά γίνεται για τον μικροελεγκτή ESP32, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στην εφαρμογή που υλοποιήθηκε. Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται τόσο το λογισμικό, όσο και το υλικό, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του συστήματος.

Τέλος, αναφέρονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που προέκυψαν κατά τις δοκιμές του συστήματος, οι οποίες υποδεικνύουν και την ορθή λειτουργία του. Αξίζει να σημειωθεί, πως κριτήριο για τα παραπάνω αποτέλεσε η απλότητα και η αξιοπιστία κατά την σχεδίαση, με μελλοντικό στόχο την αξιοποίηση ενός τέτοιου συστήματος.

Abstract

The era in which we live and the years we are going through are undoubtedly the ones with the greatest development of technology. The Internet of Things is one such technology, which is developing rapidly, and connects physical devices, vehicles, buildings, objects, etc. , with the Internet, enabling them to communicate and exchange data. This technology is revolutionizing various industries, specifically buildings, turning them into "smart" ones, which is the subject of this thesis. Buildings using IoT technology are becoming increasingly popular due to the optimization of building performance, energy efficiency, and user comfort.

In this paper, an overview of the Internet of Things is provided, including its definition, key elements, and applications. In addition, its benefits are analyzed, while security and privacy concerns are also included. Next, the term "smart building" is explained, as well as the functions of such buildings are analyzed, while their characteristics are also presented. In addition, the technologies and communication protocols used in technologies such as IoT are explained to achieve the goal of realizing a specific application (Smart Building).

Furthermore, for the completion and proper operation of such an application, microcontrollers are a necessary element. Their definition, their operation, their characteristics, and the categories into which they are divided, are presented in a specific chapter in this work, while an extensive reference is made to the ESP32 microcontroller, which was used in the implemented application. Additionally, both the software and the hardware used for the development of the system are presented, which will be analyzed in the following chapter.

Finally, the results of the measurements obtained during the system tests are reported, which also indicates its correct operation. It is worth noting that the criterion for the above was simplicity and reliability during the design, with the future goal of utilizing such a system.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με το πέρας της παρούσας διπλωματικής εργασίας, νιώθω την υποχρέωση να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Παπουτσιδάκη Μιχαήλ, για την ευκαιρία που μου πρόσφερε να μελετήσω και να αναπτύξω ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον και επίκαιρο θέμα, καθώς επίσης και για την συνεχή υποστήριξη που μου παρείχε, καθ' όλη τη διάρκεια ενασχόλησής μου με την συγκεκριμένη εργασία.

Στην συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον φίλο και συμφοιτητή μου, Κρεμμύδα Νικόλαο, για την πολύτιμη βοήθειά του, σε ορισμένους τομείς τους οποίους δεν γνώριζα, δίνοντας μου την δυνατότητα με την βοήθειά του, για υιοθέτηση νέων γνώσεων, οι οποίες ήταν χρήσιμες για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους γονείς μου και την αδερφή μου, για την πολύτιμη βοήθεια, και την υποστήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Περίληψη	6
Abstract.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things).....	13
1.1 Ιστορική αναδρομή Internet of Things.....	13
1.2 Ορισμός του Internet of Things.....	14
1.3 Πως λειτουργεί το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)	15
1.4 Απαιτούμενα στοιχεία IoT συστήματος	16
1.5 Μέρη του IoT οικοσυστήματος.....	18
1.6 Αρχιτεκτονική IoT.....	20
1.6.1 Αρχιτεκτονική τριών επιπέδων	20
1.6.2 Αρχιτεκτονική πέντε επιπέδων	21
1.7 Απειλές για την ασφάλεια και το απόρρητο στα επίπεδα αρχιτεκτονικής IoT	23
1.8 Κύρια χαρακτηριστικά Internet of Things	24
1.9.1 Πλεονεκτήματα Internet of Things.....	25
1.9.2 Μειονεκτήματα Internet of Things	26
1.10 Εφαρμογές	26
1.10.1 Έξυπνο σπίτι (Smart home)	27
1.10.2 Έξυπνη πόλη (Smart city)	28
1.10.3 Έξυπνη Βιομηχανία (Smart Industry)	29
1.10.4 Έξυπνες Μεταφορές & Εφοδιαστική Αλυσίδα.....	30
1.10.5 Λιανική Πώληση.....	31
1.10.6 Έξυπνη Ενέργεια.....	31
1.10.7 Έξυπνη Κινητικότητα.....	32
1.10.8 Έξυπνη Υγεία	32
1.10.9 Έξυπνη Κτηνοτροφία και Γεωργία	32
1.10.10 Έξυπνο Περιβάλλον	32
1.11 Οι συνέπειες του IoT στους ανθρώπους, την κοινωνία, και την βιομηχανία	33
Κεφάλαιο 2: Έξυπνο Κτίριο	34
2.1 Λειτουργίες Έξυπνου Κτιρίου.....	34
2.2 Χαρακτηριστικά Έξυπνων Κτιρίων	35
2.2.1 Φωτισμός.....	36
2.2.2 Ασφάλεια	36
2.2.3 Συστήματα θέρμανσης, ψύξης και εξαερισμού.....	36

2.2.4 Συσκευές.....	37
2.2.5 Ψυχαγωγία.....	37
2.2.6 Διαχείριση και Εξοικονόμηση Ενέργειας	37
2.3 Αρχιτεκτονική Έξυπνων Κτιρίων	38
2.3.1 Αρχιτεκτονική δόμησης έξυπνων κτιρίων	38
2.3.2 Κεντρικό Σύστημα Διαχείρισης Κτιρίων (Building Management System)	38
2.4 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Έξυπνων Κτιρίων	39
2.4.1 Πλεονεκτήματα Έξυπνων Κτιρίων	39
2.4.2 Μειονεκτήματα Έξυπνων Κτιρίων.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Τεχνολογίες και Πρωτόκολλα επικοινωνίας στο IoT	42
3.1 Μοντέλα Επικοινωνίας.....	42
3.1.1 Συσκευή με Συσκευή	42
3.1.2 Συσκευή με Υπολογιστικό Νέφος (Cloud)	43
3.1.3 Συσκευή με Ενδιάμεσο Κόμβο Gateway	44
3.1.4 Back – End Μοντέλο Ανταλλαγής Δεδομένων	45
3.2 Ασύρματες Τεχνολογίες.....	45
3.3 Παράγοντες επιλογής ασύρματων τεχνολογιών	46
3.3.1 Φάσμα.....	46
3.3.2 Εμβέλεια και Χωρητικότητα	46
3.3.3 Τοπολογία δικτύου.....	47
3.3.3.1 Σημείου προς σημείο	47
3.3.3.2 Δακτύλιος	47
3.3.3.3 Πλέγμα.....	47
3.3.3.4 Αστέρας.....	47
3.3.4 Ποιότητα υπηρεσίας	47
3.3.5 Διαχείριση δικτύου	48
3.3.6 Ασφάλεια	48
3.4.1 RFID.....	48
3.4.2 NFC	48
3.4.3 Bluetooth.....	49
3.4.4 Bluetooth Low Energy	49
3.4.5 6LoWPAN	50
3.4.6 Zigbee.....	50
3.4.7 Z-Wave	50
3.4.8 Thread.....	51

3.4.9 WirelessHART	51
3.4.10 Wi-Fi	51
3.4.11 Wi-Fi HaLow	51
3.4.12 WiMAX	52
3.5 Κυψελωτά δίκτυα	53
3.5.1 GSM, 3G, 4G	53
3.5.2 5G	53
3.5.3 Narrowband (NB) IoT.....	54
3.5.4 LTE – M	54
3.6 Low Power Wide Area Network.....	54
3.6.1 LoRa / LoRaWAN	55
3.6.2 Χαρακτηριστικά του LoRaWAN.....	55
3.7 Πρωτόκολλα επικοινωνίας IoT	56
3.7.1 Message Queue Telemetry Transport (MQTT)	56
3.7.1.1 Χαρακτηριστικά πρωτοκόλλου MQTT	56
3.7.1.2 Publish / Subscribe	57
3.7.1.3 Θέματα (Topics)	57
3.7.1.4 Broker.....	59
3.7.1.5 Ποιότητα εξυπηρέτησης στο πρωτόκολλο MQTT (QoS)	59
3.7.2 HyperText Transfer Protocol (HTTP).....	60
3.7.2.1 HTTPS	61
3.7.2.2 Αιτήματα και Απαντήσεις (Requests and Responses) HTTP.....	61
3.7.2.3 Κωδικοί Κατάστασης	62
3.7.2.4 Διακομιστές Μεσολάβησης (Proxies).....	62
3.7.3 Constrained Application Protocol (CoAP)	63
3.7.3.1 Αρχιτεκτονική CoAP	63
3.7.3.2 Λειτουργία CoAP	64
3.7.3.3 Ασφάλεια CoAP.....	64
Κεφάλαιο 4: Μικροελεγκτές	65
4.1 Μικροελεγκτές	65
4.1.1 Ποια είναι τα στοιχεία ενός μικροελεγκτή	65
4.1.2 Συνήθη υποσυστήματα.....	66
4.1.3 Πως λειτουργούν	67
4.1.4 Χαρακτηριστικά μικροελεγκτών	68
4.1.4.1 Αρχιτεκτονική	68

4.1.4.2 RISC & CISC.....	68
4.1.4.3 Γλώσσες προγραμματισμού.....	69
4.1.5 Σύγκριση Μικροελεγκτών με Μικροεπεξεργαστές	69
4.2 Κατηγορίες Μικροελεγκτών	70
4.2.1 Ταξινόμηση με βάση το μέγεθος του εσωτερικού διαύλου επικοινωνίας	70
4.2.1.1 4 – 8 bit	70
4.2.1.2 8 bit.....	70
4.2.1.3 Συνήθως 8 bit αλλά και 16 ή 32 bit	70
4.2.1.4 16 bit	71
4.2.1.5 32 bit	71
4.2.2 Ταξινόμηση με βάση τον τύπο μνήμης	71
4.3 Μικροελεγκτής ESP32.....	71
4.3.1 Εισαγωγή	71
4.3.2 Χαρακτηριστικά ESP32	72
4.3.3 ESP32 GPIOs Pinout	73
4.3.3.1 Power Pins	73
4.3.3.2 GPIOs.....	73
4.3.4 Γλώσσες προγραμματισμού ESP32	74
4.3.5 ESP32 και άλλοι μικροελεγκτές	74
Κεφάλαιο 5: Σχεδιασμός του Συστήματος	75
5.1 Περιγραφή του HARDWARE.....	76
Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα και μετρήσεις	92
6.1 Διατάξεις συστημάτων	92
6.1.1 Διάταξη συστήματος Sender	92
6.1.2 Διάταξη συστήματος Receiver.....	92
6.2 Σενάρια.....	94
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω ανάπτυξη	98
7.1 Συμπεράσματα	98
7.2 Προτάσεις για περαιτέρω ανάπτυξη.....	98

Κεφάλαιο 1: Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things)

1.1 Ιστορική αναδρομή Internet of Things

Μέχρι και σήμερα, αν ανατρέξουμε και ψάξουμε για την ιστορία και την δημιουργία του IoT, θα βρούμε ότι ο όρος αυτός «γεννήθηκε» στα τέλη της δεκαετίας του 1990 και συγκεκριμένα το 1999 στο κέντρο AUTO-ID στο MIT από τον Kevin Ashton, ο οποίος είναι ένας από τους ιδρυτές του κέντρου αυτού στο MIT. Όμως, όλα αυτά ανατρέπονται όταν ο Chetan Sharma θα χρειαστεί να ερευνήσει την ιστορία του IoT για την δουλειά του στο Connected intelligence το 2015 και θα πληροφορηθεί από κάποιον φίλο του για την δουλειά που είχε κάνει στο παρελθόν ο πλέον καλός του φίλος Peter Lewis. Ο Peter, μετά από έρευνα που έγινε στα αρχεία, αποδείχθηκε ότι σε ομιλία που είχε τον Σεπτέμβριο του 1985, στο ίδρυμα Black Caucus του Κογκρέσου, για πρώτη φορά σκέφτηκε, επινόησε, χρησιμοποίησε και δημοσίευσε, τον όρο που χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα, IoT. Η σημαντική αυτή ομιλία, που παρουσίαζε το όραμα του IoT, δεν αρχειοθετήθηκε ποτέ διότι δεν υπήρχε ευρεία διαθεσιμότητα του διαδικτύου εκείνες τις μέρες. Μόνο μερικοί φίλοι και συνεργάτες γνώριζαν για την ομιλία του Peter. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την παρερμηνεία για το ποιος επινοήθηκε τον όρο. Παρ' όλα αυτά, ευρέως γνωστό κατάφερε να κάνει το Διαδίκτυο των Πραγμάτων ο Kevin Ashton, όταν υποστήριξε πως υπάρχει δυνατότητα παρακολούθησης συσκευών, τις οποίες χρησιμοποιούμε στην καθημερινότητά μας, από υπολογιστές, εφόσον οι συσκευές αυτές ήταν εξοπλισμένες με τεχνολογίες αναγνωριστικών, όπως RFID, Barcodes, QR codes κ.α. , αν είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους καθώς και στο διαδίκτυο, αλλά και αν υπάρχει διευθυνσιοδότηση όλων αυτών μαζί. Με τον τρόπο αυτό στόχευε να επιτύχει καλύτερη λειτουργία αλλά και αποδοτικότητα των συσκευών αυτών. Όμως, εκείνα τα χρόνια , οι ασύρματες τεχνολογίες δεν είχαν εξελιχθεί και χρειάστηκε να περάσουν αρκετά χρόνια ώστε να πραγματοποιηθεί αυτή η ιδέα και να φτάσει να αποτελεί σήμερα κομμάτι της καθημερινότητας των ανθρώπων.¹

¹ Correcting The IoT History, Chetan Sharma, 2020

1.2 Ορισμός του Internet of Things

Με τον όρο Διαδίκτυο των πραγμάτων και στα Αγγλικά (Internet of Things - IoT) αποκαλούμε ένα σύνολο από συσκευές, οχήματα, κτίρια, καθώς και γενικότερα αντικείμενα τα οποία μπορεί να είναι από οικιακές συσκευές έως πολύπλοκα επιχειρηματικά και βιομηχανικά εργαλεία, τα οποία διαθέτουν λογισμικό, ηλεκτρονικά μέσα, αισθητήρες αλλά και συνδεσιμότητα σε δίκτυο, έχοντας ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός οικοσυστήματος στο οποίο άνθρωποι και συσκευές θα αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και θα ανταλλάσσουν δεδομένα. Λέγοντας «πράγματα», αναφερόμαστε σε μια μεγάλη ποικιλία αντικειμένων, όχι απαραίτητα όμοια μεταξύ τους, τα οποία έχουν ως στόχο αφού συνδεθούν το ένα με το άλλο, να παρέχουν στον χρήστη την δυνατότητα να τα ελέγχει από τον υπολογιστή ή από το κινητό. Το γεγονός ότι το IoT εξοπλίζεται με αισθητήρες και ενεργοποιητές αυτομάτως αποτελεί αναγκαίο εργαλείο για έξυπνα συστήματα της καθημερινότητας όπως έξυπνα κτίρια, πόλεις κ.α.

Τα τελευταία χρόνια η προσοχή που λαμβάνει το IoT από ακαδημαϊκούς ερευνητές και από τον κόσμο των επιχειρήσεων είναι τεράστια. Επίσης, επικρατεί η γνώμη ότι το IoT αποτελεί ένα από τα βασικότερα στοιχεία του Industry 4.0.

Μέχρι το 2020, οι συσκευές IoT που υφίστανται, μετρούσαν περισσότερες από 50 δισεκατομμύρια, ένα νούμερο το οποίο στο πέρας των χρόνων αυξάνεται ραγδαία. Από οικονομικής πλευράς, προβλέπεται ότι οι οικονομικές απολαβές στην αγορά του IoT, θα κυμαίνονται από 1,6 τρισεκατομμύρια έως 14,4 τρισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2025, ασκώντας επιρροή στους τομείς της οικονομίας και της ανθρώπινης ζωής, όπως π.χ. στην μεταφορά, στην ιατρική περίθαλψη, στην γεωργία, στις κατοικίες, στα οχήματα, στα σχολεία, στις αγορές και στην βιομηχανία.

Πλέον, χάρις στο Internet of Things, δισεκατομμύρια συσκευές και αντικείμενα από όλο τον κόσμο, συνδέονται μέσω διαδικτύου, με απώτερο σκοπό την συλλογή και ανταλλαγή δεδομένων και πολύτιμων πληροφοριών.²

² What is the internet of things (IoT)?, Alexander S. Gillis, 2022



Εικόνα 1.1: Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

1.3 Πως λειτουργεί το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

Με την ραγδαία ανάπτυξη και εξέλιξη της τεχνολογίας, η ζωή όλων των ανθρώπων έχει αλλάξει και τείνει να διαφοροποιηθεί ακόμα περισσότερο τα επόμενα χρόνια. Το διαδίκτυο έχει αλλάξει βασικές συνήθειες της καθημερινότητας όλων μας, όπως για παράδειγμα τον τρόπο με τον οποίο επικοινωνούμε, μέχρι αυτόν με τον οποίο εργαζόμαστε. Πρόκειται να υπάρξει ακόμα μεγαλύτερη εξέλιξη σε πολλούς τομείς, με την εισαγωγή νέων τεχνολογιών όπως είναι το 5G, και νέα πρωτόκολλα διαδικτύου όπως το Li-Fi.

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων προσφέρει ένα εντελώς νέο τρόπο συνδεσιμότητας, καθώς παρέχει την δυνατότητα σύνδεσης πολλών συσκευών ταυτόχρονα μεταξύ τους μέσω του διαδικτύου, διευκολύνοντας έτσι, όχι μόνο την επικοινωνία ανθρώπου-μηχανής, αλλά και από μηχανή σε αλληλεπιδράσεις μηχανών.

Για την εκμετάλλευση όλων των δυνατοτήτων που παρέχονται από το σύστημα IoT, χρειάζεται να υπάρχει ένα επίπεδο τεχνογνωσίας, κάτι το οποίο δεν το κάνει να είναι περίπλοκο. Όπως είναι λογικό, οι νέοι, οι οποίοι έχουν μεγαλύτερη ευχέρεια και άνεση με την τεχνολογία, πρόκειται να το χρησιμοποιούν πολύ περισσότερο από ηλικιωμένους, οι οποίοι δεν διαθέτουν την απαραίτητη τεχνογνωσία.

Για την πραγματοποίηση ενός συστήματος IoT, χρειάζονται συσκευές οι οποίες διαθέτουν ενσωματωμένους αισθητήρες, και συνδέονται σε πλατφόρμες του IoT. Οι πλατφόρμες αυτές με τη σειρά τους, αφού συλλέξουν, ανταλλάξουν και ενσωματώσουν δεδομένα και πληροφορίες από τις συσκευές, ύστερα

πραγματοποιούν ανταλλαγή σημαντικών πληροφοριών, με συγκεκριμένες εφαρμογές, οι οποίες έχουν κατασκευαστεί με σκοπό να καλύπτουν συγκεκριμένες ανάγκες.

Η διαλογή μεταξύ χρήσιμων, ή πληροφοριών τις οποίες μπορούμε να τις αγνοήσουμε, πραγματοποιείται από αυτές τις πλατφόρμες IoT. Όλες οι πληροφορίες οι οποίες συλλέγονται, χρησιμοποιούνται για διάφορους σκοπούς όπως τον εντοπισμό προτύπων, την εύρεση πιθανών προβλημάτων ή την λήψη έξυπνων αποφάσεων κ.α.

Βοηθητικό θα φανεί το IoT και σε επιχειρηματίες, οι οποίοι για παράδειγμα έχουν στην κατοχή τους κάποιο κατάστημα. Με την χρήση του καινοτόμου συστήματος, μπορεί ο ιδιοκτήτης να παίρνει δεδομένα από τα προϊόντα τα οποία είναι πιο δημοφιλή και έχουν την μεγαλύτερη ζήτηση από τους πελάτες. Αισθητήρες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε διάφορα σημεία στο κατάστημα, θα εντοπίζουν σε ποιο ή ποια σημεία του καταστήματος οι πελάτες αφιερώνουν τον περισσότερο χρόνο, άρα και γίνεται η μεγαλύτερη κατανάλωση προϊόντων. Με τον τρόπο αυτό, ο ιδιοκτήτης ελέγχει τα προϊόντα με την μεγαλύτερη ζήτηση, και φροντίζει ώστε να μην εξαντληθούν τα αποθέματα αυτών.

Το IoT και οι λειτουργίες του δεν περιορίζονται σε έναν μόνο τομέα της οικονομίας, αλλά έχει εφαρμογή σε μεγάλο αριθμό πεδίων, όπως είναι ο οικιακός αυτοματισμός, αυτοματισμός οχημάτων, η ιατρική, η λιανική πώληση, αυτοματισμός σε γραμμές παραγωγής, χρηματοοικονομικά κ.α.

Τέλος, με την χρήση της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης, η συλλογή δεδομένων στο IoT σύστημα γίνεται ακόμα ευκολότερη και πιο δυναμική.³

1.4 Απαιτούμενα στοιχεία IoT συστήματος

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι ένα σύστημα το οποίο διαθέτει ένα σύνθετο σύνολο υποσυστημάτων. Αποτελείται από ένα σύνολο δικτύων, όπου όλες οι συσκευές επικοινωνούν μεταξύ τους, μέσω του διαδικτύου. Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζονται τα έξι στοιχεία που χρειάζονται για να δημιουργηθεί ένα σύστημα IoT και να είναι πλήρως λειτουργικό.



Εικόνα 1.2: Απαιτούμενα στοιχεία IoT συστήματος

³ What is the internet of things (IoT)?, Alexander S. Gillis, 2022

- **Ταυτοποίηση (Identification):** Η ταυτοποίηση είναι το πρώτο χαρακτηριστικό που διαθέτουν οι συσκευές IoT. Κάθε αντικείμενο που ανήκει σε ένα δίκτυο, πρέπει να διαθέτει μια μοναδική ταυτότητα, ως αποτέλεσμα να είναι μοναδικά αναγνωρίσιμη μέσα σε αυτό, χάρις στην ταυτοποίηση. Για να ολοκληρωθεί και να επιτευχθεί η ταυτοποίηση, χρειάζονται δύο διεργασίες. Αρχικά, η ονοματοδοσία (naming), η οποία δηλώνει το όνομα ενός αντικειμένου μέσα στο δίκτυο, και στην συνέχεια η διευθυνσιοδότηση (addressing), η οποία αναφέρει την μοναδική διεύθυνση που διαθέτει ένα συγκεκριμένο αντικείμενο. Οι όροι αυτοί μεταξύ τους είναι όμοιοι αλλά όχι ίδιοι, διότι δύο ή παραπάνω αντικείμενα, ενδέχεται να έχουν ίδια ονομασία, αλλά ποτέ δεν μπορούν να διαθέτουν ίδια διεύθυνση. Ο αριθμός των μεθόδων, που διατίθενται για την ονοματοδοσία των αντικειμένων, είναι μεγάλος. Δύο από αυτές είναι το Electron Products Codes (EPC), καθώς και το Ubiquitous Codes (UCodes). Οι μοναδικές διευθύνσεις καταχωρούνται στα αντικείμενα με την χρήση του πρωτοκόλλου διαδικτύου IPv6. Αρχικά, χρησιμοποιούνταν το πρωτόκολλο IPv4 για την αντιστοίχιση διευθύνσεων με αντικείμενα. Όμως, λόγω της αύξησης των συσκευών IoT, δεν μπορούσε να ανταπεξέλθει στις ανάγκες διευθυνσιοδότησης και έτσι αντικαταστάθηκε από το πρωτόκολλο IPv6, χρησιμοποιώντας διευθύνσεις των 128 bit.
- **Συλλογή Δεδομένων:** Τα δεδομένα που συλλέγονται (sensing), από τις διάφορες συσκευές ανίχνευσης, κοινοποιούνται σε αποθηκευτικά μέσα, όπως είναι π.χ. το υπολογιστικό νέφος (cloud). Για τη συλλογή δεδομένων από αντικείμενα, χρησιμοποιούνται συσκευές ανίχνευσης όπως ετικέτες RFID, έξυπνοι αισθητήρες και ενεργοποιητές.
- **Επικοινωνία (Communication):** Η επικοινωνία, είναι η κύρια διαδικασία αποστολής και λήψης δεδομένων και αρχείων, μέσω συνδεδεμένων συσκευών, αλλά και γενικότερα βασικός πυλώνας του Διαδικτύου των Αντικειμένων. Τα αντικείμενα αυτά αλληλοεπιδρούν και επικοινωνούν με τεχνολογίες όπως ασύρματα δίκτυα, Bluetooth, και RFID, οι οποίες αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο.
- **Υπολογισμός (Computation):** Η διαδικασία του υπολογισμού πραγματοποιείται, για την επεξεργασία δεδομένων που συλλέγονται από τις IoT συσκευές. Με την διαδικασία αυτή, πολλά επιπλέον ή περιττά δεδομένα αφαιρούνται. Η επεξεργασία που πραγματοποιείται στις εφαρμογές του IoT οικοσυστήματος, επιτυγχάνεται με διάφορες πλατφόρμες λογισμικού και υλικού. Μικροεπεξεργαστές όπως το Arduino, το Raspberry Pi, και ο Intel Galileo, διατίθενται για τις πλατφόρμες υλικού, ενώ το λειτουργικό σύστημα είναι αυτό που φροντίζει για την εκτέλεση της επεξεργασίας. Μερικοί από τους τύπους των λειτουργικών συστημάτων που συναντάμε είναι το Android και το Lite Os.
- **Υπηρεσίες των IoT εφαρμογών (Services):** Οι εφαρμογές του IoT διαθέτουν τέσσερις τύπους υπηρεσιών, οι οποίοι αναφέρονται παρακάτω:
 1. Υπηρεσίες για την αναγνώριση της ταυτότητας των αντικειμένων, τα οποία δημιουργούν κάποιο αίτημα.

2. Υπηρεσίες οι οποίες συλλέγουν, αλλά και επεξεργάζονται τις απαραίτητες πληροφορίες από τα αντικείμενα του οικοσυστήματος, είναι οι υπηρεσίες συνάθροισης.
 3. Με βάση τα δεδομένα που συλλέγονται και επεξεργάζονται, οι συνεργατικές υπηρεσίες θα λάβουν αποφάσεις και θα μεταφέρουν τις κατάλληλες απαντήσεις στις συσκευές.
 4. Το πλήθος όλων των υπηρεσιών, οι οποίες μεριμνούν ώστε να είναι άμεση η ανταπόκριση στις συσκευές.
- **Σημασιολογία (Semantics):** Πρόκειται για το τελευταίο αλλά συγχρόνως και το σημαντικότερο χαρακτηριστικό των συσκευών IoT. Με την βοήθεια της ανάλυσης δεδομένων, αντλούνται όλες οι πληροφορίες από το φυσικό τους περιβάλλον και λαμβάνονται οι κατάλληλες αποφάσεις για τις απαντήσεις οι οποίες πρέπει να δοθούν στις συσκευές.

1.5 Μέρη του IoT οικοσυστήματος

Τα οικοσυστήματα IoT, χωρίζονται σε ορισμένα μέρη και βασίζονται σε αυτά (τεχνητή νοημοσύνη (AI), αισθητήρες, συσκευές, διαδίκτυο/συνδεσιμότητα) και στην ενσωμάτωσή τους.

- **ΣΥΣΚΕΥΕΣ:** Στις συσκευές του συστήματος IoT, ανήκουν διαφορετικοί τύποι υλικών (hardware), όπως είναι οι αισθητήρες, οικιακές συσκευές, μηχανήματα τα οποία έχουν προγραμματιστεί για συγκεκριμένες εφαρμογές και έχουν την δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων και πληροφοριών μέσω του διαδικτύου. Αυτές οι συσκευές με τη σειρά τους, ενσωματώνονται σε άλλες συσκευές, σε βιομηχανικό εξοπλισμό, σε ιατρικές συσκευές, σε αμυντικό εξοπλισμό κ.α. Τα χαρακτηριστικά των συσκευών αυτών μπορούν να θεωρηθούν από πολύ απλά, έως πολύ εξελιγμένα. Μπορούν να ανταλλάζουν δεδομένα, με την βοήθεια τσίπ και την παρουσία ασύρματων δικτύων υψηλής ταχύτητας.⁴
- **Αισθητήρες:** Ακόμη ένα μέλος των συστημάτων του IoT, το οποίο είναι αναγκαίο για την ορθή λειτουργία του συστήματος, είναι οι αισθητήρες. Ρόλος τους είναι η ανίχνευση και παρακολούθηση εξωτερικών περιβαλλόντων. Στην συνέχεια, η διεργασία που ακολουθείται είναι αυτή της αντικατάστασης των πληροφοριών που έχουν συλλεχθεί, με σήματα. Τα σήματα αυτά είναι αναγνωρίσιμα από τους ανθρώπους και τις μηχανές. Οι αισθητήρες είναι είτε ενεργοί, είτε παθητικοί καθώς και αναλογικοί ή ψηφιακοί. Αισθητήρες σαν αυτούς που προαναφέραμε είναι οι αισθητήρες θερμοκρασίας, αισθητήρες υγρασίας, αισθητήρες πίεσεως, αισθητήρες στάθμης, αισθητήρες αερίου κ.α. Οι αισθητήρες αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα μέλη του οικοσυστήματος IoT, καθώς με την συνδρομή τους βελτιώνεται το σύστημα σε όλους τους τομείς, μειώνει το κόστος, και ενισχύει την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα των εργαζομένων.⁵

⁴ Miorandi, Sicari, De Pellegrini, and Chlamtac, 2012

⁵ Curt and Srivastava, 2001

- **Συνδεσιμότητα:** Η συνδεσιμότητα είναι ένα κύριο χαρακτηριστικό του συστήματος IoT, και χωρίς αυτό δεν επιτυγχάνεται η λειτουργία του συστήματος. Τα συγκεκριμένα δίκτυα σύνδεσης, είναι επεκτάσιμα, ανάλογα το μέγεθος και το εύρος του συστήματος.⁶
1. **LAN (Local Area Network):** Το τοπικό δίκτυο υπολογιστών (LAN), αποτελείται από ένα σύνολο συνδεδεμένων υπολογιστών, οι οποίοι βρίσκονται σε ορισμένη περιοχή. Παραδείγματα τοπικού δικτύου αποτελεί, το δίκτυο ενός ή περισσότερων δωματίων, ενός κτιρίου ή και κτιρίων τα οποία βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Είναι το δίκτυο το οποίο χρησιμοποιούν πολλές επιχειρήσεις, ώστε να συνδέουν υπολογιστές και σταθμούς εργασίας, με στόχο την κοινή χρήση διαφορετικών μέσων (π.χ. εκτυπωτές), αλλά και την ανταλλαγή δεδομένων.
 2. **PAN (Personal Area Network):** Το δίκτυο προσωπικής περιοχής (PAN), αποτελείται από ένα δίκτυο υπολογιστών, που έχει ως στόχο την σύνδεση των ηλεκτρονικών συσκευών των οποίων διαθέτει ένα άτομο στον χώρο του. Με το συγκεκριμένο δίκτυο, γίνεται ανταλλαγή δεδομένων ανάμεσα σε συσκευές όπως υπολογιστές, έξυπνα κινητά κ.α. Ένα δίκτυο προσωπικής περιοχής είναι είτε ασύρματο, ή να μεταφέρεται μέσω ενσύρματων διεπαφών. Στην περίπτωση του ασύρματου προσωπικού δικτύου (WPAN), έχουμε ένα PAN, το οποίο με την βοήθεια μιας τεχνολογίας ασύρματου δικτύου μικρής ισχύος, και μικρής απόστασης, όπως Bluetooth, καταφέρνει και μεταφέρεται. Η εμβέλεια του ασύρματου δικτύου, μπορεί να ξεκινά από μερικά εκατοστά, έως μερικά μέτρα.
 3. **MAN (Metropolitan Area Network):** Το Μητροπολιτικό δίκτυο (MAN), είναι ένα δίκτυο το οποίο συνδέει υπολογιστές, και έχει την δυνατότητα να καλύπτει μια ενιαία μεγάλη πόλη, μια κωμόπολη, ή μια μεγάλη πόλη η οποία διαθέτει πολλά κτίρια. Ένα τέτοιο δίκτυο κατά κύριο λόγο συνδέει τοπικά δίκτυα μεταξύ τους, και είναι μεγαλύτερο από ένα τοπικό δίκτυο (LAN), όμως μικρότερο από ένα δίκτυο ευρείας περιοχής (WAN).
 4. **WAN (Wide Area Network):** Ένα δίκτυο ευρείας περιοχής, είναι ένα σύνολο συνδεδεμένων τοπικών δικτύων χωρίς γεωγραφικό όριο, τα οποία δημιουργούν μεταξύ τους ένα δίκτυο επικοινωνίας. Με λίγα λόγια, το δίκτυο αυτό αποτελεί ένα δίκτυο δικτύων.
- **Τεχνητή Νοημοσύνη:** Αδιαμφισβήτητα, το IoT αποτελεί μια παραγωγική και ισχυρή τεχνολογία, κάτι το οποίο αποτελεί σίγουρα και η τεχνητή νοημοσύνη. Οι δυνατότητες που προκύπτουν από τον συνδυασμό των δύο αυτών τεχνολογιών είναι ασυναγώνιστες. Όταν ένα σύστημα εκπληρώνει κάποιες διεργασίες, με έξυπνο τρόπο, τότε αυτό ονομάζεται τεχνητή νοημοσύνη. Όταν όμως, συνδυάζεται η τεχνητή νοημοσύνη με την τεχνολογία του IoT, και το αποτέλεσμα αυτού του συνδυασμού είναι μια συσκευή, η οποία αναλύει δεδομένα και δημιουργεί έξυπνες αποφάσεις, χωρίς την βοήθεια του ανθρώπου, είναι η σπουδαιότητα του IoT.

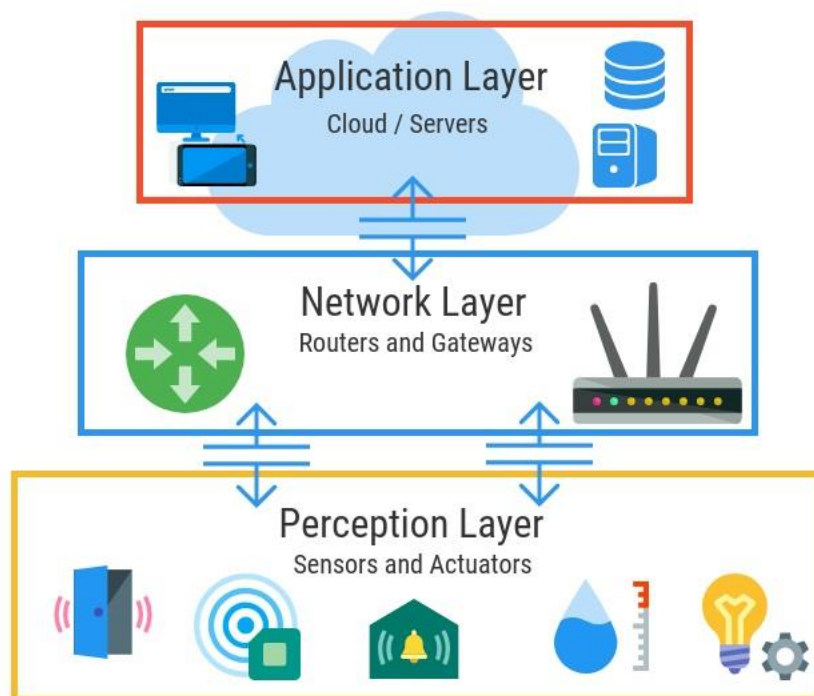
⁶ Hu, Peng Tay and Yonggang Wen, 2012

1.6 Αρχιτεκτονική ΙοΤ

Όλα αυτά τα χρόνια οι απόψεις για την αρχιτεκτονική του ΙοΤ δίστανται. Παρουσιάζονται και προτείνονται διάφορες εκδοχές για το ποια είναι η αρχιτεκτονική αυτού του συστήματος. Έτσι, και οι ερευνητές έχουν προτείνει διάφορες αρχιτεκτονικές, χωρίς να υπάρχει γενική συμφωνία ως προς αυτές τις απόψεις, με αποτέλεσμα να μην γίνεται αποδεκτή από ολόκληρο τον κόσμο. Μεγάλος αριθμός ερευνητών υποστηρίζουν ότι η αρχιτεκτονική του ΙοΤ αποτελείται από τρία επίπεδα. Όμως, πολλοί είναι και εκείνοι οι οποίοι πιστεύουν, ότι οι απαιτήσεις ενός τέτοιου συστήματος, όπως είναι το ΙοΤ, καλύπτονται από ένα μοντέλο αρχιτεκτονικής των πέντε επιπέδων.

1.6.1 Αρχιτεκτονική τριών επιπέδων

Από τις πρώτες κιόλας ημέρες εμφάνισης και εξέλιξης του ΙοΤ, η θεμελιώδης και βασική αυτή αρχιτεκτονική προτάθηκε και στήριξε την ιδέα του διαδικτύου των πραγμάτων. Τα τρία επίπεδα που δομούν αυτή την αρχιτεκτονική είναι το επίπεδο συλλογής δεδομένων, το επίπεδο δικτύου, και το επίπεδο εφαρμογής.



Εικόνα 1.3: Αρχιτεκτονική ΙοΤ τριών επιπέδων

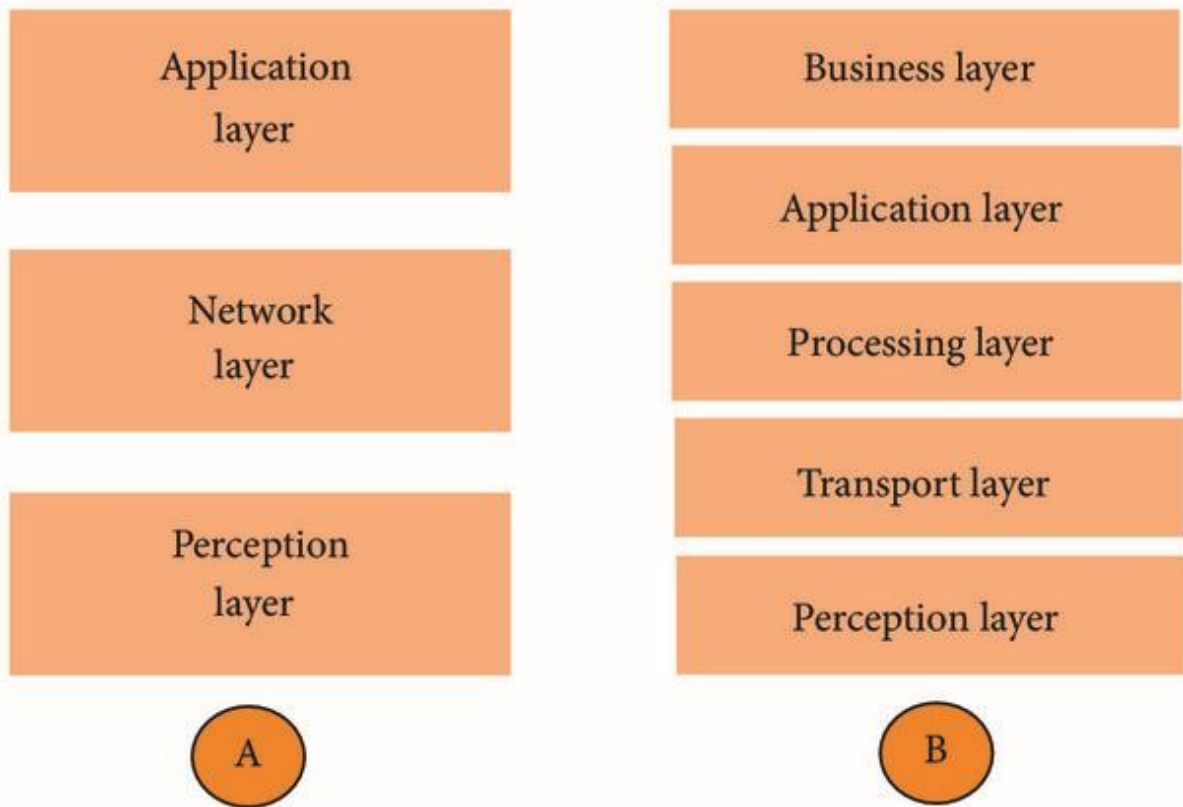
1. **Επίπεδο συλλογής δεδομένων:** Μέλημα του επιπέδου συλλογής δεδομένων, ή αλλιώς επίπεδο αισθητήρων, είναι να εντοπίζει τα αντικείμενα του ΙοΤ οικοσυστήματος, και τις ιδιότητές τους, να τα διαχειρίζεται και να αντλεί τα απαραίτητα δεδομένα και πληροφορίες από

αυτά. Αυτό το επίπεδο, στηρίζεται σε διάφορες τεχνολογίες και τύπους αισθητήρων, λαμβάνοντας πληροφορίες μετά την σύνδεσή τους με τις συσκευές IoT. Τέτοιοι τύποι αισθητήρων είναι οι RFID και Barcode αισθητήρες, αλλά και οι τεχνολογίες WSN, GPS και NFC, κ.λπ. Τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται, από το επίπεδο συλλογής δεδομένων, συνδέονται με την τοποθεσία, το περιβάλλον, την κίνηση κ.α. Ακόμα, το επίπεδο αυτό, μετατρέπει τις πληροφορίες, σε ψηφιακά σήματα, για να επιτευχθεί καλύτερη μετάδοση δικτύου. Όμως, υπάρχουν και αντικείμενα τα οποία δεν αναγνωρίζονται, με αποτέλεσμα να μην ανιχνεύονται από τους αισθητήρες. Για τον λόγο αυτό, χρειάζεται να προσαρμοστούν μικροσίπ στα αντικείμενα αυτά, για να υπάρχει αίσθηση και να παρέχεται η δυνατότητα επεξεργασίας.

2. **ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΙΚΤΥΟΥ:** Η πρώτη διεργασία που εκτελεί το επίπεδο δικτύου, είναι να επεξεργάζεται όλα τα δεδομένα που λαμβάνει από το επίπεδο συλλογής δεδομένων. Αφού πραγματοποιηθεί η επεξεργασία, σειρά έχει η μεταφορά των δεδομένων. Το επίπεδο δικτύου, είναι υπεύθυνο για την μετάδοση των πληροφοριών, που αντλούνται από όλα τα φυσικά αντικείμενα, με την χρήση διάφορων τεχνολογιών και μέσων, όπως ασύρματα και ενσύρματα δίκτυα, τοπικά δίκτυα (LAN), Wi-Fi, 3G & 4G, Bluetooth, ZigBee και υπέρυθρες. Επίσης, το επίπεδο δικτύου, συνδέει τα έξυπνα αντικείμενα, τις συσκευές δικτύου και τα δίκτυα, μεταξύ τους.
3. **Επίπεδο εφαρμογής:** Το συγκεκριμένο επίπεδο είναι και το τελευταίο, στο οποίο φτάνουν όλα τα επεξεργασμένα δεδομένα και οι πληροφορίες από τα δυο προηγούμενα επίπεδα. Έχοντας φτάσει στο τελευταίο επίπεδο, το επίπεδο εφαρμογής είναι αυτό που είναι υπεύθυνο, για την παροχή των υπηρεσιών στον τελικό χρήστη.

1.6.2 Αρχιτεκτονική πέντε επιπέδων

Ένα ποσοστό ερευνητών υποστηρίζουν ότι για ένα απαιτητικό σύστημα σαν το IoT, είναι απαραίτητη μια εξελιγμένη αρχιτεκτονική, η οποία θα είναι αρκετή για τις απαιτήσεις αυτού του συστήματος. Με μια τροποποίηση στα επίπεδα που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη αρχιτεκτονική ολοκληρώνεται η αρχιτεκτονική των πέντε επιπέδων. Τα προστιθέμενα επίπεδα είναι το επίπεδο μεταφοράς, το επίπεδο επεξεργασίας, και το επίπεδο διαχείρισης του συστήματος. Σε αυτή την αρχιτεκτονική των πέντε επιπέδων, το επίπεδο συλλογής δεδομένων καθώς και το επίπεδο εφαρμογής έχουν την ίδια λειτουργία με την αρχιτεκτονική τριών επιπέδων. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι τροποποιήσεις που εφαρμόστηκαν μεταξύ των δύο αρχιτεκτονικών. Στον πίνακα Α παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική τριών επιπέδων, ενώ στον πίνακα Β, η αρχιτεκτονική των πέντε επιπέδων. Παρακάτω αναλύονται τα τρία νέα επίπεδα, τα οποία αποτελούν την αρχιτεκτονική πέντε επιπέδων σε συνδυασμό με τα δύο επίπεδα που προαναφέραμε, της αρχιτεκτονικής τριών επιπέδων.



Εικόνα 1.4: Αρχιτεκτονική IoT τριών & πέντε επιπέδων

1. **Επίπεδο μεταφοράς:** Μέσω του επιπέδου μεταφοράς, πληροφορίες αισθητήρων μεταφέρονται από το επίπεδο συλλογής δεδομένων, στο επίπεδο επεξεργασίας, με την βοήθεια ασύρματων δικτύων.
2. **Επίπεδο επεξεργασίας:** Το επίπεδο επεξεργασίας, γνωστό και ως επίπεδο ενδιάμεσου λογισμικού, διαχειρίζεται όλες τις πληροφορίες που λαμβάνει από το επίπεδο συλλογής δεδομένων. Τα δεδομένα που μεταφέρονται, αποθηκεύονται, αναλύονται και ύστερα επεξεργάζονται, έχοντας ως στόχο την διατήρηση της χρήσιμης πληροφορίας, και την αφαίρεση της περιττής. Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας και την επίτευξη του στόχου, χρησιμοποιείται ποικιλία τεχνολογιών, όπως το υπολογιστικό νέφος (cloud computing), η τεχνητή νοημοσύνη και λογισμικά βάσεων δεδομένων.
3. **Επίπεδο διαχείρισης συστήματος:** Το συγκεκριμένο επίπεδο, πραγματοποιεί τον έλεγχο ολόκληρου του συστήματος, οργανώνοντας τις υπηρεσίες και τις δραστηριότητές του. Ο έλεγχος των εφαρμογών γίνεται από αυτό το επίπεδο, όπως και η εξασφάλιση του ιδιωτικού

απορρήτου των χρηστών, καθώς επίσης μπορεί να ελέγχει και να παρεμβαίνει στον τρόπο δημιουργίας και αποθήκευσης των πληροφοριών.⁷

1.7 Απειλές για την ασφάλεια και το απόρρητο στα επίπεδα αρχιτεκτονικής IoT

Ένα τόσο σύνθετο σύστημα όπως είναι το IoT, η αρχιτεκτονική η οποία διαθέτει είναι πολυεπίπεδη, όπως αναφέραμε και παραπάνω. Το κάθε επίπεδο πραγματοποιεί τις δικές του λειτουργίες, χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνολογίες. Όμως, με την ραγδαία ανάπτυξη που έχει αναγνωρίσει το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, ελλοχεύονται και πολλοί κίνδυνοι και απειλές, πράγμα το οποίο δημιουργεί ανησυχίες ως προς την ασφάλεια. Παρακάτω θα επισημάνουμε μερικούς από τους κινδύνους που παραμονεύουν σε κάθε επίπεδο της αρχιτεκτονικής του IoT.

- **Απειλές στο επίπεδο συλλογής δεδομένων:** Βασικός σκοπός του επιπέδου συλλογής δεδομένων είναι η συγκέντρωση δεδομένων και πληροφοριών. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση αισθητήρων, οι οποίοι κατά κύριο λόγο συνδέονται ασύρματα. Η ασύρματη σύνδεση κάνει εύκολη την παραβίαση των πληροφοριών σε διάφορους επιτήδειους που προσπαθούν να υποκλέψουν στοιχεία χρηστών.
- **Απειλές στο επίπεδο δικτύου:** Το επίπεδο δικτύου είναι υπεύθυνο για την μετάδοση των πληροφοριών, οι οποίες έχουν συλλεχθεί από το επίπεδο συλλογής δεδομένων. Κινητές συσκευές, cloud και δίκτυα διαδικτύου αποτελούν παραδείγματα του επιπέδου αυτού. Απειλές που μπορεί να παρουσιαστούν σε αυτό το επίπεδο είναι η επίθεση ιστότοπου ηλεκτρονικού ψαρέματος (phishing), επίθεση DoS, επίθεση DDoS, επίθεση Sybil κ.α.
- **Επίπεδο διαχείρισης συστήματος:** Το επίπεδο διαχείρισης συστήματος, συνδέει μεταξύ τους, το δίκτυο με τα επίπεδα εφαρμογής. Επίσης, έχει την δυνατότητα υπολογισμών και αποθήκευσης. Όπως όλα τα επίπεδα, έτσι και το συγκεκριμένο είναι ευάλωτο σε τυχόν επίθεση. Τέτοιες είναι το Flooding attack, αποσυγχρονισμός SQL και επίθεση Man-in-the-Middle.
- **Επίπεδο εφαρμογής:** Το επίπεδο εφαρμογής είναι αυτό το οποίο έχει την άμεση επαφή με τον χρήστη. Κάποια παραδείγματα από τις απειλές που μπορεί να δεχτεί αυτό το επίπεδο είναι επιθέσεις κλοπής δεδομένων, καταστροφή δεδομένων, επιθέσεις κακόβουλου κώδικα και επίθεση sniffing.

⁷ Raza, U., Kulkarni, P., & Sooriyabandara, M. (2017). Low Power Wide Area Networks: An Overview. IEEE Communications Surveys & Tutorials

1.8 Κύρια χαρακτηριστικά Internet of Things

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, υπάρχουν ορισμένα διαφορετικά χαρακτηριστικά τα οποία είναι απαραίτητα για τον σχεδιασμό των νέων υπηρεσιών και συσκευών IoT. Η αποδοτικότητα και η λειτουργικότητα είναι χαρακτηριστικά τα οποία είναι απαραίτητα για ένα τόσο σύνθετο σύστημα όπως το IoT.

Μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά του Internet of things ακολουθούν παρακάτω:

- **Διασυνδεσιμότητα:** Με τον όρο διασυνδεσιμότητα εννοούμε οποιαδήποτε συσκευή (αντικείμενο ή πράγμα) είναι ικανή να διασυνδεθεί με την παγκόσμια υποδομή πληροφόρησης και επικοινωνίας.
- **Υπηρεσίες οι οποίες σχετίζονται με τα πράγματα:** Το IoT έχει την δυνατότητα για παροχή υπηρεσιών, οι οποίες σχετίζονται με τα πράγματα, χωρίς όμως να αγνοεί την σημασιολογική συνοχή, η οποία υπάρχει μεταξύ των εικονικών και των φυσικών πραγμάτων, πράγμα το οποίο είναι ικανό να οδηγήσει στην αλλαγή, τόσο των τεχνολογιών του φυσικού κόσμου όσο, και του κόσμου της πληροφορίας.
- **Ετερογένεια μεταξύ των συνδεδεμένων συσκευών:** Οι συσκευές στο Διαδίκτυο είναι ετερογενείς, αφού είναι βασισμένες σε διαφορετικές πλατφόρμες, αλλά και σε διαφορετικά δίκτυα. Η αλληλεπίδραση τους όμως, με άλλες συσκευές ή πλατφόρμες υπηρεσιών είναι εφικτή, μέσω διαφορετικών δικτύων. Δηλαδή, μια IoT συσκευή μπορεί να διαχειριστεί είτε μέσω ενός iPhone, είτε μέσω ενός Android smartphone. Η αρχιτεκτονική του IoT πρέπει να υποστηρίζει την άμεση διασύνδεση μεταξύ ετερογενών δικτύων, ενώ βασικές απαιτήσεις σχεδίασης για το περιβάλλον του IoT αποτελούν οι δυνατότητες κλιμάκωσης, διάρθρωσης, επέκτασης και διαλειτουργικότητας.
- **Δυναμικές αλλαγές στην κατάσταση των συσκευών:** Χαρακτηριστικό του IoT είναι επίσης η δυναμικότητα των συσκευών, αφού οι συσκευές αλλάζουν την κατάστασή τους δυναμικά, δηλαδή μπορούν για παράδειγμα να συνδεθούν ή να αποσυνδεθούν, να είναι ενεργές ή απενεργοποιημένες καθώς και να αλλάζει η θέση και η ταχύτητά τους. Ακόμα, αλλάζει δυναμικά και ο αριθμός των διασυνδεδεμένων συσκευών.
- **Πλήθος διασυνδεδεμένων συσκευών:** Υπολογίζεται το πλήθος των διασυνδεδεμένων συσκευών να είναι αρκετά μεγάλο, και σε σύγκριση με τον αριθμό των συσκευών σε τηλεπικοινωνιακά δίκτυα προηγούμενων γενεών (3G,4G), είναι μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερο. Είναι αναγκαίο λοιπόν, αυτός ο αριθμός των συσκευών να καταφέρνει να υποστηρίζεται από τις υπηρεσίες και γενικότερα τις υλοποιήσεις.
- **Ασφάλεια:** Από την στιγμή που συνδέονται στο διαδίκτυο οι συσκευές του IoT, αυτομάτως γίνονται ευάλωτες σε απειλές για την ασφάλειά τους. Έτσι, για να μας παρέχεται η μέγιστη απόδοση, αλλά και τα οφέλη του IoT, αναγκαίο είναι οι συσκευές να διασφαλίζουν την προστασία των δεδομένων που διακινούνται μέσω των εφαρμογών, αλλά και την αδιάβλητη αλληλεπίδραση μεταξύ εφαρμογών και συσκευών.

- **Αίσθηση:** Στις εφαρμογές του IoT, απαραίτητο εργαλείο αποτελούν τα αισθητήρια τα οποία ανιχνεύουν και μετρούν τυχόν αλλαγές στο περιβάλλον, έτσι ώστε να παράγουν δεδομένα που μπορούν να αναφέρουν την κατάστασή τους, ή ακόμα και να αλληλοεπιδρούν με αυτό. Οι συσκευές, μέσω τεχνολογιών ανίχνευσης, μπορούν να γνωρίζουν πραγματικά τον φυσικό κόσμο και τους ανθρώπους.
- **Νοημοσύνη:** Με την βοήθεια των αλγορίθμων και του λογισμικού, το IoT καθίσταται “ έξυπνο”. Έτσι, παρέχοντας νοημοσύνη στο IoT, μεγιστοποιούνται οι δυνατότητές του, κάνοντας ικανές τις συσκευές να ανταποκρίνονται έξυπνα και να προσαρμόζονται σε μια συγκεκριμένη κατάσταση, με στόχο την πραγματοποίηση συγκεκριμένων σεναρίων.⁸

1.9 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Internet of Things

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων είναι κάτι το οποίο εφευρέθηκε ώστε να κάνει την ζωή του ανθρώπου ευκολότερη , γρηγορότερη αλλά και πιο άνετη. Πριν όμως καταλάβουμε τι αντίκτυπο θα έχει αυτή η τεχνολογία στον τρόπο ζωής μας, είναι σημαντικό να εξετασθούν τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματά του.

1.9.1 Πλεονεκτήματα Internet of Things

Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα του IoT αναφέρονται παρακάτω:

- **Δεδομένα (Data):** Το πλήθος των πληροφοριών που κατέχουμε, είναι πολύ σημαντικό για την ορθή λήψη των κατάλληλων αποφάσεων, δηλαδή όσο περισσότερες οι πληροφορίες, τόσο ευκολότερη και πιο σωστή η απόφαση.
- **Παρακολούθηση (Tracking):** Με την βοήθεια των υπολογιστών, μπορούμε να έχουμε πλήρη έλεγχο τόσο για την ποιότητα, όσο και για την βιωσιμότητα των πραγμάτων που υπάρχουν στο σπίτι μας.
- **Χρόνος (Time):** Με αυτόν τον τρόπο παρακολούθησης των αντικειμένων του σπιτιού, εξοικονομούμε πολύ χρόνο.
- **Χρήμα (Money):** Σημαντικότερο πλεονέκτημα είναι το οικονομικό αφού με την βοήθεια του IoT γίνεται πλήρης έλεγχος σε όλους τους οικονομικούς τομείς του ανθρώπου.

⁸ Patel, K. K., & Patel, S. M. (2016). Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. Int. J. Eng. Sci. Comput

1.9.2 Μειονεκτήματα Internet of Things

Μερικά από τα μειονεκτήματα του IoT παρατίθενται παρακάτω:

- Συμβατότητα (Compatibility): Προς το παρόν, δεν υπάρχει κάποιο πρότυπο για την τοποθέτηση και την παρακολούθηση ετικετών μέσω της χρήσης αισθητήρων.
- Πολυπλοκότητα (Complexity): Οι πιθανότητες για αποτυχία είναι πολλές, λόγω των πολύπλοκων συστημάτων που υπάρχουν.
- Προστασία προσωπικών δεδομένων / Ασφάλεια (Privacy / Security): Το απόρρητο και η προστασία των προσωπικών δεδομένων είναι ένα μεγάλο πρόβλημα με το IoT. Η κρυπτογράφηση των δεδομένων είναι αναγκαία ώστε να μην γίνονται γνωστά σε τρίτους.
- Ασφάλεια (Safety): Υπάρχει πιθανότητα να παραβιαστεί κάποιο λογισμικό με αποτέλεσμα να παραβιαστούν προσωπικά δεδομένα.⁹

1.10 Εφαρμογές

Το IoT έχει αρκετές εφαρμογές στην καθημερινότητα του ανθρώπου κάνοντας την ζωή του ευκολότερη. Όμως, πρέπει να επισημάνουμε ότι δεν βρίσκονται όλες στο ίδιο επίπεδο ανάπτυξης. Ορισμένες είναι αυτές οι οποίες είναι κομμάτι της καθημερινότητας των ανθρώπων, άλλες είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο, ενώ υπάρχουν κι αυτές οι οποίες θα πραγματοποιηθούν στο μέλλον. Μερικές από αυτές τις εφαρμογές παρουσιάζονται παρακάτω:

⁹ The advantages and disadvantages of Internet Of Things, 2016

1.10.1 Έξυπνο σπίτι (Smart home)



Εικόνα 1.5: Έξυπνο σπίτι (Smart home)

Μια από τις πιο γνωστές και ευρέως διαδεδομένες εφαρμογές του IoT είναι το Smart Home. Το έξυπνο σπίτι είναι μια ειδικότερη υποκατηγορία της εφαρμογής έξυπνου κτηρίου (Smart Building), με την οποία θα ασχοληθούμε στην συγκεκριμένη εργασία και θα αναλύσουμε περαιτέρω σε παρακάτω κεφάλαιο. Με το πέρασ των χρόνων, όλο και περισσότερα άτομα αναζητούν έξυπνα σπίτια, καθώς επιθυμούν εύκολα και οικονομικά να μπορούν να ελέγχουν λειτουργίες του σπιτιού τους, και να τις διαχειρίζονται σύμφωνα με τις δικές τους επιθυμίες, όπως τον φωτισμό, τον κλιματισμό, την ασφάλεια, το πότισμα κ.α. μέσω smartphone, laptop, ή tablet, χωρίς την ανάγκη εγκατάστασης πρόσθετων καλωδίων. Συστήματα σαν αυτά της θέρμανσης και της ψύξης, προσαρμόζονται στις συνθήκες που υπάρχουν στο περιβάλλον του σπιτιού. Με την δυνατότητα άμεσης παρακολούθησης του σπιτιού σε πραγματικό χρόνο, δημιουργείται ένα αίσθημα ασφάλειας στον χρήστη, για εκείνον και την περιουσία του, καθώς γίνονται αντιληπτές πιθανές παραβιάσεις. Επίσης, εξοικονομείται ενέργεια από συστήματα έξυπνου φωτισμού ή από άλλες ηλεκτρικές συσκευές, αφού απενεργοποιούνται αυτομάτως μόλις σταματά η λειτουργία τους, και δεν έχει προγραμματιστεί κάποια επόμενη λειτουργία, μετά το πέρασ της προηγούμενης. Τέλος, σπουδαία δυνατότητα που παρέχεται από το σύστημα, είναι η παρακολούθησης κατανάλωσης νερού, καθώς και έλεγχος της ποιότητάς του, κάτι το οποίο είναι σημαντικό για την υγεία του ανθρώπου.

1.10.2 Έξυπνη πόλη (Smart city)



Εικόνα 1.6: Έξυπνη πόλη (Smart city)

Όταν μιλάμε για έξυπνη πόλη, εννοούμε μια πόλη η οποία χρησιμοποιεί κάθε νέα τεχνολογία που υπάρχει, έχοντας ως στόχο την παροχή των απαραίτητων υπηρεσιών και υποδομών για να αυξήσει τα κοινωνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη τα οποία συμβάλλουν στην βελτίωση της ποιότητας ζωής και στη βιώσιμη αστική ανάπτυξη. Με την δημιουργία έξυπνων και ψηφιοποιημένων πόλεων, το όφελος θα είναι μεγάλο σε αρκετούς τομείς και κλάδους.

- Έλεγχος κατάστασης κτηρίων: Άμεση παρακολούθηση ενεργειών, δονήσεων και των υλικών συνθηκών σε κτήρια, γέφυρες και ιστορικά μνημεία.
- Χάρτες αστικού θορύβου: Έλεγχος ήχου σε πραγματικό χρόνο, σε πολυσύχναστες περιοχές και κεντρικές ζώνες.
- Έξυπνος φωτισμός: Ευφυής φωτισμός της πόλης, ο οποίος προσαρμόζεται στις εκάστοτε ανάγκες, όπως την κινητικότητα που υπάρχει στους δρόμους, αλλά και με βάση τις καιρικές συνθήκες.
- Διαχείριση απορριμμάτων: Έλεγχος των επιπέδων των απορριμμάτων για την βελτιστοποίηση των δρομολογίων συλλογής τους, αλλά και ολόκληρης της διαδικασίας.
- Έξυπνοι δρόμοι: Προειδοποιητικά μηνύματα σε πραγματικό χρόνο στους δρόμους της πόλης, καθώς και εκτροπές σύμφωνα με τις κλιματικές συνθήκες και γεγονότα όπως ατυχήματα ή κυκλοφοριακή συμφόρηση. Παράλληλα, δίνεται δυνατότητα αντιμετώπισης του προβλήματος εύρεσης θέσης στάθμευσης, αφού παρακολουθούνται οι διαθέσιμες θέσεις.

1.10.3 Έξυπνη Βιομηχανία (Smart Industry)



Εικόνα 1.7: Έξυπνη βιομηχανία (Smart industry)

Τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκε η τάση της αυτοματοποίησης και της ανταλλαγής δεδομένων στις τεχνολογίες παραγωγής, η οποία ενισχύει αυτό που ονομάστηκε ως έξυπνο εργοστάσιο. Μέσα σε αυτά τα δομημένα έξυπνα εργοστάσια, όλες οι φυσικές διαδικασίες παρακολουθούνται και εποπτεύονται από κυβερνο-φυσικά συστήματα, καθώς αυτά επίσης δημιουργούν ένα εικονικό αντίγραφο του φυσικού κόσμου και λαμβάνουν αποφάσεις. Με την βοήθεια του Διαδικτύου των Πραγμάτων, τα συστήματα αυτά συνεργάζονται και επικοινωνούν όχι μόνο μεταξύ τους, αλλά και με ανθρώπους σε πραγματικό χρόνο. Ακόμα, εταιρίες οι οποίες εφοδιάζονται προϊόντα, θα έχουν την δυνατότητα παρακολούθησης τούς, μέσω ετικετών αναγνώρισης ραδιοσυχνότητας, μειώνοντας έτσι λειτουργικά έξοδα και βελτιώνοντας την παραγωγικότητά τους. Τα μηχανήματα τα οποία εξοπλίζουν ένα εργοστάσιο θα παρακολουθούνται από συνδεδεμένους αισθητήρες διευκολύνοντας την συντήρησή τους, την καλή λειτουργία τους και την απόδοσή τους.

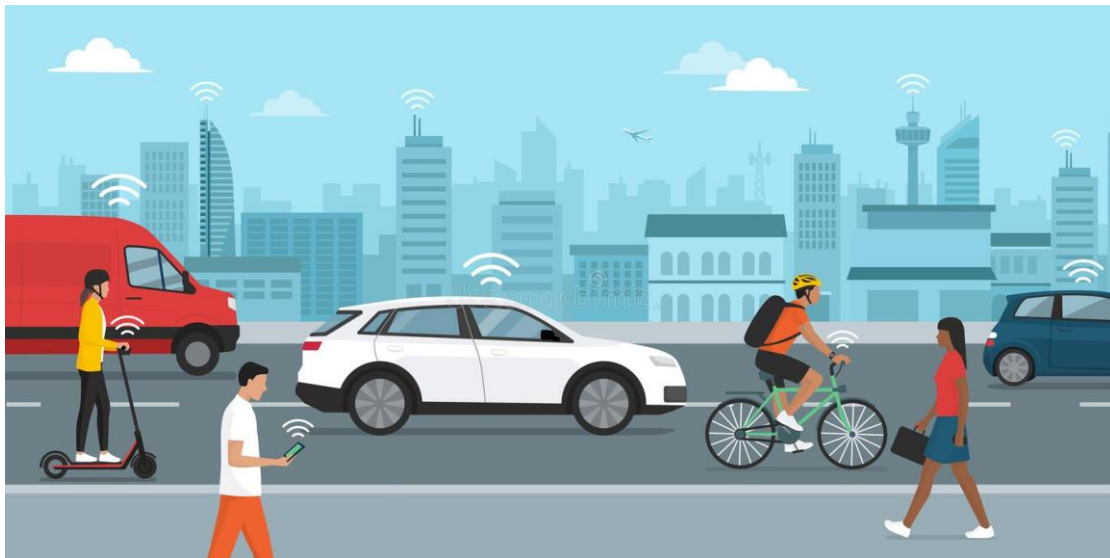
Γενικότερα, οι διαδικασίες θα πραγματοποιούνται αυτόματα με την συνδρομή του IoT, κάτι το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη ραγδαία μείωση του ανθρώπινου δυναμικού, αφού οι εργαζόμενοι θα αντικατασταθούν από bar-code scanners, αναγνώστες, αισθητήρες, ενεργοποιητές ή ακόμα και από ρομπότ, τα οποία είναι τόσο παραγωγικά όσο ένα ανθρώπινο όν.

Είναι γεγονός ότι, με αυτές τις νέες τεχνολογίες οι εργαζόμενοι θα έχουν ευκαιρίες να ενταχθούν σε νέες υπαλληλικές θέσεις, καθώς μεγάλος αριθμός αυτών θα είναι αναγκαίος για τον προγραμματισμό αλλά και την επισκευή των μηχανημάτων.

- Έλεγχος ποιότητας αέρα στον χώρο εργασίας: Έλεγχος της ποσότητας οξυγόνου σε πραγματικό χρόνο ανά τακτά χρονικά διαστήματα, καθώς και άλλων τοξικών ουσιών που μπορεί να υπάρχουν στο εσωτερικό των βιομηχανιών, παρέχοντας έτσι ασφάλεια στους εργαζόμενους και στα εμπορεύματα.
- Έλεγχος θερμοκρασίας: Παρακολούθηση της θερμοκρασίας σε όλους τους χώρους που υπάρχει προσωπικό και εμπορεύματα ώστε να παραμένει πάντα στα επιτρεπτά όρια.

- Παρακολούθηση των διαδικασιών παραγωγής σε πραγματικό χρόνο: Έλεγχος και εποπτεία της διαδικασίας παραγωγής στον χώρο της βιομηχανίας, με την χρήση διαφόρων μέσων επιτήρησης και αισθητήρων.

1.10.4 Έξυπνες Μεταφορές & Εφοδιαστική Αλυσίδα



Εικόνα 1.8: Έξυπνες μεταφορές

Στο κομμάτι των μεταφορών, μεγάλη θα είναι η βοήθεια η οποία προσφέρει το IoT στο παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού στίγματος και αυτόματης αναγνώρισης των εμπορευμάτων. Ακόμα, αυξάνεται η ενεργειακή απόδοση, κάτι το οποίο συνεπάγεται τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας.

Πρόκειται να υπάρξουν τεράστιες αλλαγές στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού λόγω του IoT, κάτι το οποίο θα υλοποιηθεί μέσω του συνεχούς συγχρονισμού των πληροφοριών της εφοδιαστικής αλυσίδας και της συνεχούς παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο. Με τον τρόπο αυτό, η αλυσίδα εφοδιασμού γίνεται ορατή και ελεγχόμενη, δίνοντας την δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ ανθρώπων και εμπορευμάτων.

- Ρύθμιση οδικής κυκλοφορίας: Παρακολούθηση των οχημάτων στους δρόμους με στόχο την βέλτιστη και γρηγορότερη διαδρομή, και την αποφυγή συμφορήσεων καθώς και την βελτιστοποίηση της οδηγικής συμπεριφοράς.

- Έξυπνη στάθμευση: Έλεγχος ελεύθερων θέσεων στάθμευσης στην πόλη, προς αποφυγή αναζήτησής τους, κερδίζοντας πολύτιμο χρόνο.
- Έλεγχος των συνθηκών μεταφοράς εμπορευμάτων: Παρακολούθηση τυχόν χτυπημάτων και κραδασμών των εμπορευμάτων κατά την διάρκεια της μεταφοράς.
- Εντοπισμός της θέσης των προϊόντων σε πραγματικό χρόνο: Έλεγχος της διαδρομής που ακολουθούν τα εμπορεύματα από την στιγμή της παραλαβής τους, από την μεταφορική εταιρία, έως και την στιγμή που θα φτάσει στον παραλήπτη.

1.10.5 Λιανική Πώληση

Στον «κόσμο» των αγοροπωλησιών υπάρχουν απαιτήσεις και ανάγκες, τόσο από τους πελάτες, όσο και από τις επιχειρήσεις, τις οποίες το IoT είναι σε θέση να αντιλαμβάνεται. Προϊόντα ίδιων κατηγοριών συγκρίνονται μεταξύ τους, ως προς την τιμή, την ποιότητα κ.α. , και οι πληροφορίες παρέχονται στα καταστήματα και στους αγοραστές. Με τον τρόπο αυτό, οι υποψήφιοι αγοραστές κάνουν την σωστότερη επιλογή και οι επιχειρήσεις βοηθιούνται να βελτιώσουν τις αγορές τους.

- Παρακολούθηση προμηθειών: Έλεγχος κατά την συσκευασία και την αποθήκευση των προϊόντων.
- Εφαρμογές έξυπνης αγοράς: Δημιουργία κατάστασης με τα απαραίτητα προϊόντα σύμφωνα με τις ανάγκες και τις προτιμήσεις των πελατών, καθώς και ενημέρωση αποφυγής αγαθών τα οποία μπορεί να επιφέρουν αλλεργίες.
- Έξυπνη διαχείριση προϊόντων: Αυτόματη ανανέωση και εμπλουτισμός των ραφιών και των αποθηκών, όταν τα προϊόντα είναι σε έλλειψη.

1.10.6 Έξυπνη Ενέργεια

Μια από τις σπουδαιότερες υπηρεσίες που παρέχει το IoT, είναι η δημιουργία έξυπνου δικτύου διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας. Παρέχει την δυνατότητα παρακολούθησης και διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας, με αισθητήρες στο σύνολο ολόκληρου του δικτύου. Η παραγωγή προσαρμόζεται σύμφωνα με τις ενεργειακές ανάγκες του δικτύου, ενώ παράλληλα μπορεί να σταματήσει πιθανές διακοπές ηλεκτρικού ρεύματος και ενεργεί άμεσα σε περιπτώσεις αποτυχιών ή διαρροών.

1.10.7 Έξυπνη Κινητικότητα

Με την πραγματοποίηση του συστήματος IoT, μπορεί να υλοποιηθεί η ιδέα των αυτόνομων οχημάτων. Οι ανέπαφες συναλλαγές θα βασίζονται στην τοποθεσία ή στην διάρκεια των δραστηριοτήτων σε περιπτώσεις όπως αυτές των μέσων μαζικής μεταφοράς, θεματικών πάρκων, γυμναστηρίων, αλλά και στην προ τιμολόγηση του κόστους των διοδίων. Με τις πληροφορίες και τα δεδομένα που αντλούν οι αισθητήρες, σχεδιάζονται μέσα μαζικών μεταφορών με στόχο την καλύτερη και αποτελεσματικότερη εξυπηρέτηση των επιβατών.

1.10.8 Έξυπνη Υγεία

Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, έχει θετικό αντίκτυπο και στον τομέα της υγείας. Μέσω τεχνολογιών της τηλεϊατρικής, παρέχεται φροντίδα έξω από τα φυσικά όρια του νοσοκομείου, εξυπηρετώντας έτσι τον ασθενή και δημιουργώντας του μια καλύτερη εμπειρία, αφού θα πραγματοποιείται η περίθαλψη από το σπίτι του. Ηλικιωμένοι και άτομα με ειδικές ανάγκες και περιορισμένες ικανότητες, μπορούν πλέον να νιώθουν μεγαλύτερη ασφάλεια τις ώρες που βρίσκονται μόνοι τους, χάρις στην χρήση συστημάτων ανίχνευσης πτώσης. Τα συστήματα αυτά με την βοήθεια αισθητήρων, αντιλαμβάνονται πιθανή πτώση και ειδοποιούν τα άτομα τα οποία έχουν επιλεγεί ως επαφές για έκτακτες ανάγκες.

1.10.9 Έξυπνη Κτηνοτροφία και Γεωργία

Η χρήση έξυπνων τεχνολογιών, όπως το IoT, στον κλάδο της γεωργίας και της κτηνοτροφίας, μπορεί να φέρει δραστικές μειώσεις στο κόστος παραγωγής. Οι παραγωγοί έχουν την δυνατότητα παρακολούθησης μικροκλιματικών αλλαγών στο περιβάλλον, προσφέροντας τους την ευκαιρία μεγιστοποίησης της παραγωγής των φρούτων και των λαχανικών. Με την χρήση αισθητήρων, ελέγχεται η θερμοκρασία, ακόμα και η υγρασία του εδάφους, για την εποπτεία των συνθηκών παραγωγής και την άμεση πρόληψη καταστροφής, όπως απότομη αύξηση της θερμοκρασίας, ή έλλειψη νερού. Οι κτηνοτρόφοι με την σειρά τους, μπορούν να είναι βέβαιοι για τις ιδανικές συνθήκες υγείας και ανάπτυξης των ζώων τους, ακόμα και για τον εντοπισμό τους και την ταυτοποίησή τους σε περίπτωση εξαφάνισης.

1.10.10 Έξυπνο Περιβάλλον

Όπως είναι γνωστό, κάθε χρόνο, κυρίως τους θερινούς μήνες του χρόνου, ο πλανήτης μας πληγείτε από καταστροφικές πυρκαγιές. Με την βοήθεια της τεχνολογία, και συγκεκριμένα του συστήματος IoT, μπορούν να μειωθούν, έως και να εξαλειφθούν. Με την χρήση αισθητήριων μέσων, σε δασικές περιοχές, αλλά και όπου αλλού κρίνεται αναγκαίο, μπορούν να καταγραφούν τα αέρια τα οποία προκαλούνται από μια πυρκαγιά, με αποτέλεσμα να ειδοποιούνται άμεσα οι αρμόδιες αρχές, και να σπεύσουν γρήγορα στην

ακριβή τοποθεσία της. Ακόμα, με την βοήθεια του συστήματος IoT, υπάρχει η δυνατότητα για έγκαιρη και έγκυρη ενημέρωση, όσον αφορά τις πλημμύρες. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση αισθητήρων σε ποταμούς, φράγματα, δεξαμενές κ.α. για παρακολούθηση της στάθμης του νερού και των διακυμάνσεων της, σε πραγματικό χρόνο, αποσκοπώντας στην πρόληψη καταστροφών.

1.11 Οι συνέπειες του IoT στους ανθρώπους, την κοινωνία, και την βιομηχανία

Υπάρχει πλήθος από οφέλη τα οποία μπορεί να αποφέρει το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, τόσο στους ανθρώπους, όσο στην κοινωνία, αλλά και την βιομηχανία, όπως είναι η αυξημένη απόδοση, η εξοικονόμηση κόστους, και η ευκολία. Ωστόσο, δεν παύουν να υπάρχουν και οι αρνητικές επιπτώσεις οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Όσον αφορά τους ανθρώπους, η καθημερινότητα τους τείνει να γίνει ευκολότερη, όμως εγκυμονούν και πολλές ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο και την ασφάλεια. Εφόσον είναι συνδεδεμένες όλο και περισσότερες συσκευές στο διαδίκτυο, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος για κλοπή προσωπικών δεδομένων και πληροφοριών. Ακόμα, η συνεχής και αδιάκοπη ροή δεδομένων και ειδοποιήσεων, που προέρχονται από τις συσκευές IoT, μπορούν να οδηγήσουν σε αίσθημα υπερέντασης του χρήστη και διαρκούς σύνδεσης.

Στο κομμάτι της κοινωνίας, η βελτίωση των υποδομών, αλλά και των δημόσιων υπηρεσιών μπορεί να επιτευχθεί με τις εφαρμογές του IoT. Η ροή της κυκλοφορίας στις πόλεις βελτιστοποιείται και ρυθμίζεται στις έξυπνες πόλεις με την βοήθεια του IoT, καθώς επίσης και η μείωση της ρύπανσης, αλλά και η βελτίωση της δημόσιας ασφάλειας. Ωστόσο, υπάρχουν ανησυχίες ότι η αυξημένη χρήση συσκευών IoT, ίσως οδηγήσει σε μεγαλύτερη ανισότητα και αποκλεισμό ορισμένων ομάδων, όπως για παράδειγμα εκείνων που δεν έχουν πρόσβαση στο διαδίκτυο ή δεν διαθέτουν τους πόρους για την αγορά και την συντήρηση τέτοιων συσκευών.

Η χρήση τεχνολογιών IoT στον τομέα της βιομηχανίας μπορεί να επιφέρει αυξημένη αποδοτικότητα, εξοικονόμηση κόστους και νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες. Με την βοήθεια του IoT, εταιρίες μπορούν να βελτιστοποιήσουν τις διαδικασίες παραγωγής, αλλά και την διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας. Όμως, η ανάπτυξη της τεχνολογίας του IoT, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια θέσεων εργασίας και στην ανάγκη επανεκπαίδευσης, αφού οι περισσότερες εργασίες είναι αυτοματοποιημένες.

Συνοπτικά, οι συνέπειες που μπορεί να έχει το IoT είναι πολύπλοκες και πολύπλευρες. Όσα οφέλη έχει την δυνατότητα να αποφέρει, άλλες τόσες αρνητικές συνέπειες υπάρχουν και πρέπει να ληφθούν μέτρα για τον μετριασμό τους.

Κεφάλαιο 2: Έξυπνο Κτίριο

Ένα κτίριο το οποίο διαθέτει έναν ή περισσότερους ελεγκτές με στόχο την ενσωμάτωση διάφορων συστημάτων αυτοματισμού, το χαρακτηρίζουμε ως Έξυπνο Κτίριο. Περισσότερο διαδεδομένοι είναι οι ελεγκτές που είναι συνδεδεμένοι με κάποιο υπολογιστή ή φορητή συσκευή, μόνο κατά την διαδικασία του προγραμματισμού, και έπειτα τα καθήκοντα ελέγχου πραγματοποιούνται στο κτίριο σε αυτόματη βάση.

Οι δυνατότητες οι οποίες παρέχει αυτή η τεχνολογία είναι τεράστιες και εξελίξιμες με βασικές την δυνατότητα ελέγχου, τηλεχειρισμού και τήλε-εποπτείας. Το φαινόμενο των έξυπνων κτιρίων δεν είναι κάτι το οποίο εμφανίστηκε τα τελευταία χρόνια, καθώς την πρώτη τους εμφάνιση την έκαναν πριν δύο δεκαετίες, αναγνωρίζοντας ραγδαία αύξηση τα τελευταία τρία χρόνια, λόγω της προόδου που έλαβε το διαδίκτυο, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές σε συνδυασμό με την ανάγκη και ζήτηση των ανθρώπων για ευκολία και άνεση στην καθημερινότητά τους.

Με το πέρασμα των χρόνων οι τεχνολογίες αυτοματισμού αναπτύσσονται, δίνοντας την δυνατότητα εξέλιξης, ώστε να μην παραμένουν σε απλά αυτοματοποιημένα σενάρια. Έτσι, πλέον ένα έξυπνο κτίριο το χαρακτηρίζει η δυνατότητα διαχείρισης ενέργειας, έλεγχος του φωτισμού αλλά και της θερμοκρασίας, καθώς και έλεγχος της ασφάλειας, και όχι απλά κάποιοι προγραμματιζόμενοι χρονοδιακόπτες που υπήρχαν στο παρελθόν.

Στην σύγχρονη εποχή, το έξυπνο κτίριο εξοπλίζεται με εξ αποστάσεως παρακολούθηση ολόκληρου του κτιρίου μέσω κινητών τηλεφώνων ή ηλεκτρονικών υπολογιστών, ενημερώνοντας τον χρήστη για την κατάσταση λειτουργίας του, ακόμα και για την ασφάλειά του προσωπικού του χώρου.

Αναλυτικότερα, τα υποσυστήματα σε ένα έξυπνο κτίριο είναι τα παρακάτω:

- Συστήματα ασφαλείας.
- Συστήματα παρακολούθησης.
- Σύστημα φωτισμού και ηλεκτρικών συσκευών.
- Σύστημα ρολών – τεντών και θηρών.
- Σύστημα ελέγχου διαρροών και κατανάλωσης.
- Σύστημα δικτύου Ethernet και υπολογιστών.
- Σύστημα διανομής δορυφορικού και τηλεοπτικού σήματος.
- Σύστημα διανομής ήχου και εικόνας.
- Σύστημα κεντρικής διαχείρισης και εποπτείας.¹⁰

2.1 Λειτουργίες Έξυπνου Κτιρίου

¹⁰ Toschi, et al., 2017

Αρκετά σπουδαία λειτουργία, την οποία «εκμεταλλεύονται» οι χρήστες των έξυπνων κτιρίων, είναι η εξοικονόμηση τόσο της θερμικής, όσο και της ηλεκτρικής ενέργειας κάτι το οποίο γίνεται δυνατό με τον πλήρη έλεγχο της θέρμανσης του κτιρίου, και με την υλοποίηση των συγκεκριμένων σεναρίων για τον φωτισμό αλλά και για τις ηλεκτρικές συσκευές που εξοπλίζουν το κτίριο, με βάση το αν κάποιος βρίσκεται ή απουσιάζει από το κτίριο. Στην περίπτωση που δεν βρίσκεται κανείς στο κτίριο αυτό, υπάρχει η δυνατότητα να αναβοσβήνει ο χρήστης τα φώτα όλων των χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών) μέσω του κινητού του τηλεφώνου, με σκοπό την αποφυγή πιθανής διάρρηξης δημιουργώντας ασφαλή εντύπωση στους ληστές, πως υπάρχει κάποιος μέσα στο κτίριο.

Με την χρήση έξυπνων ελεγκτών οι οποίοι βρίσκονται μέσα στο κτίριο, δίνεται η δυνατότητα για παρακολούθηση του ποσοστού νερού που καταναλώθηκε, καθώς και της ηλεκτρικής ενέργειας από όλες τις ηλεκτρικές συσκευές, εποπτεύοντας με τον τρόπο αυτό τα δεδομένα οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Σε περίπτωση υπερβολικής κατανάλωσης, το σύστημα ελέγχου προειδοποιεί τον χρήστη, έτσι ώστε να περιοριστεί η αλόγιστη χρήση.

Σημαντική λειτουργία η οποία εξοπλίζει το « έξυπνο κτίριο », είναι η πυρανίχνευση και αυτόματη κατάσβεση. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση αισθητήρων καπνού, ή αισθητήρων που αντιλαμβάνονται την απότομη αύξηση της θερμοκρασίας, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι στο σύστημα.

Στο «έξυπνο κτίριο» μπορεί να προσαρμοστεί ακόμα μια έξυπνη λειτουργία, το αυτόματο πότισμα. Η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του ποτίσματος γίνεται χειροκίνητα από οθόνη αφής, είτε αυτόματα μέσω του χρονοπρογράμματος, ρυθμίζοντας την ώρα εκκίνησης και την διάρκεια του ποτίσματος. Με την βοήθεια αισθητήρα ο οποίος ελέγχει την υγρασία του εδάφους, το πότισμα θα γίνεται μόνο όταν είναι απαραίτητο. Επίσης, πραγματοποιείται έλεγχος των διαρροών υδάτων, έτσι ώστε αν παρατηρηθεί κάποια διαρροή να υπάρξει ειδοποίηση και να σταματήσει η παροχή νερού.

Εσωτερικά του κτιρίου, υπάρχουν οθόνες σε συγκεκριμένα σημεία από τις οποίες ελέγχεται το σύστημα ή ακόμα και από το κινητό τηλέφωνο του ιδιοκτήτη. Διατίθεται ένα μενού επιλογών όπως ενεργοποίηση του συναγερμού, άνοιγμα των θυρών καθώς και απενεργοποίηση του φωτισμού και ηλεκτρικών συσκευών.

2.2 Χαρακτηριστικά Έξυπνων Κτιρίων

Χαρακτηριστικό του συστήματος του « έξυπνου κτιρίου » , αποτελεί το ότι τα περιφερειακά συστήματα που εξοπλίζουν το σύστημα, χρησιμοποιούνται για πολλές χρήσεις και λειτουργίες. Δηλαδή, αισθητήρες οι οποίοι απαιτούνται για τον έλεγχο του φωτισμού του κτιρίου, χρησιμοποιούνται και για το σύστημα του συναγερμού. Ακόμα, η εικόνα της θυροτηλεόρασης μπορεί να προβληθεί σε οθόνες που υπάρχουν εντός του χώρου.

Σημαντικό χαρακτηριστικό του έξυπνου κτιρίου είναι πως λειτουργεί σύμφωνα με τις συνήθειες και τις ανάγκες όσων βρίσκονται μέσα σε αυτό καθημερινά. Οι χρήστες έχουν τον απόλυτο έλεγχο του κτιρίου είτε βρίσκονται εντός, είτε εκτός αυτού ή ακόμα και από μεγάλες αποστάσεις.

2.2.1 Φωτισμός

Σε κάθε κτίριο, ο φωτισμός είναι ένα από τα απαραίτητα μέρη για να είναι αυτό λειτουργικό. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ελέγχει τον χρόνο ενεργοποίησης και απενεργοποίησης, καθώς και όλα τα φώτα του κτιρίου από οποιοδήποτε σημείο. Επίσης, μπορεί να ρυθμίζει το επίπεδο φωτισμού (dimming) για όλες τις λάμπες του κτιρίου. Με την τοποθέτηση αστρονομικών ή απλών χρονοδιακοπών, αυτοματοποιείται ο φωτισμός του εξωτερικού χώρου του κτιρίου, σύμφωνα με την ανατολή και την δύση του ηλίου, στοχεύοντας στην εξοικονόμηση ενέργειας. Δίνεται επίσης, η δυνατότητα για αυτορρύθμιση των επιπέδων φωτισμού, βάση επιθυμητών επιπέδων άνεσης σε συγκεκριμένους χώρους, ανάλογα με τον φυσικό φωτισμό.

2.2.2 Ασφάλεια

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια, και κατά συνέπεια σε ένα έξυπνο κτίριο, οι λειτουργίες ασφαλείας επεκτείνονται πολύ περισσότερο από το σύστημα συναγερμού. Το σύστημα αυτό είναι ευφύες και απομνημονεύει τον τρόπο ζωής και τις συνήθειες των χρηστών, παρέχοντάς τους συνθήκες ασφαλείας.

Ωστόσο, στις λειτουργίες ασφαλείας περιέχονται επίσης:

- Συστήματα εποπτείας καμερών.
- Φωτισμός ασφαλείας.
- Σενάριο « ΠΑΝΙΚΟΥ », ενεργοποιώντας με αυτόν τον τρόπο αυτόματα όλα τα φώτα του κτιρίου.
- Σενάριο «SOS», όπου με το πάτημα ενός κουμπιού ειδοποιείται ο χρήστης για κάποια πιθανή δυσκολία ή κίνδυνο που αντιμετωπίζει άτομο το οποίο βρίσκεται στο κτίριο.
- Σενάριο «ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ» , για τις ημέρες που στο κτίριο δεν θα υπάρχει κανείς.

2.2.3 Συστήματα θέρμανσης, ψύξης και εξαερισμού.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των έξυπνων κτιρίων είναι ο αποδοτικός έλεγχος των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.

Ένα σημείο ορίζεται ως προκαθορισμένο, με βάση τις ανέσεις και τις απαιτήσεις του χρήστη κάνοντας έτσι το έξυπνο σπίτι να ρυθμίζει συνεχώς τις συνθήκες θερμοκρασιών. Με γνώμονα ορισμένες παραμέτρους, όπως η εξωτερική και η εσωτερική θερμοκρασία αλλά και η υγρασία, πραγματοποιείται η ενεργειακά αποδοτική διαχείριση των συστημάτων κλιματισμού και εξαερισμού. Ακόμα, το ευφύες αυτό σπίτι, είναι σε θέση να μάθει τον τρόπο ζωής του χρήστη και να προσαρμοστεί σε αυτόν.

2.2.4 ΣΥΣΚΕΥΕΣ

Χρησιμοποιώντας ένα έξυπνο σύστημα, ελέγχεται η παροχή ρεύματος σε όλες τις συσκευές οι οποίες υπάρχουν σε κάποιο κτίριο. Στην περίπτωση που ένα κτίριο είναι αρκετά μεγάλο, αυτή η λειτουργία είναι αρκετά βολική, διότι μπορεί να υπάρχουν πολλές ηλεκτρικές συσκευές οι οποίες έχουν μείνει σε κατάσταση αναμονής. Το σύστημα αυτό εκτελεί μια διαδικασία ανίχνευσης των συνδέσεων τροφοδοσίας στο κτίριο, με στόχο την μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας.

2.2.5 Ψυχαγωγία

Σε ένα κτίριο που υπάρχουν συστήματα ήχου και εικόνας, ο χειρισμός τους γίνεται απλούστατος μόνο με το πάτημα ενός πλήκτρου μέσω οπτικοποίησης σε εφαρμογή ή ακόμα και με την χρήση φωνητικών εντολών.

2.2.6 Διαχείριση και Εξοικονόμηση Ενέργειας

Η κατανάλωση ενέργειας που έχει ένα έξυπνο κτίριο, παρακολουθείται σε πραγματικό χρόνο, κάνοντας το έτσι «πράσινο» και δίνοντας την δυνατότητα για λήψη αποφάσεων για την λειτουργία του κτιρίου, σύμφωνα με τους περιορισμούς και τα επίπεδα άνεσης του χρήστη.

Με τον χρονοπρογραμματισμό συγκεκριμένων καταναλώσεων σε ώρες με χαμηλή τιμή ρεύματος ή σε περιπτώσεις νυχτερινού ρεύματος, εξοικονομείται ενέργεια χωρίς ο χρήστης να αλλάξει κάποια από τις συνήθειες του.¹¹

¹¹ Toschi, et al., 2017

2.3 Αρχιτεκτονική Έξυπνων Κτιρίων

2.3.1 Αρχιτεκτονική δόμησης έξυπνων κτιρίων

Η αρχιτεκτονική των κατανεμημένων συστημάτων χρησιμοποιείται από τα συστήματα των έξυπνων κτιρίων, τα οποία οργανώνονται σε τρία επίπεδα: ¹²

1. Το Field Layer, με το οποίο επιτυγχάνεται η επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων συσκευών όπως ενεργοποιητές, αισθητήρες κ.α.
2. Automation Layer, που πραγματοποιούνται διάφορες μετρήσεις, εκτελούνται βρόχοι ελέγχου ή ενεργοποιούνται οι συναγερμοί.
3. Management Layer, το οποίο διαχειρίζεται τα δεδομένα του συστήματος καθώς και την παρουσίαση, την προώθηση, την καταγραφή και την αρχειοθέτηση τους.¹³

2.3.2 Κεντρικό Σύστημα Διαχείρισης Κτιρίων (Building Management System)

Το σύστημα Διαχείριση Κτηρίων (Building Management System ή BMS) ή αυτόματο σύστημα κτηρίων (Building Automation System ή BAS), είναι ένα σύστημα ελέγχου που βασίζεται σε υπολογιστή εγκατεστημένο σε κτίρια, το οποίο ελέγχει και παρακολουθεί τον μηχανικό και ηλεκτρικό εξοπλισμό του κτιρίου, όπως τον εξαερισμό, τον φωτισμό, την θέρμανση, τα συστήματα ισχύος, τα συστήματα πυρκαγιάς και τα συστήματα ασφαλείας. Κατά κύριο λόγο, τα συστήματα αυτά ενσωματώνουν ένα ολοκληρωμένο δίκτυο με το κατάλληλο υλικό (Hardware) και λογισμικό (Software) χρησιμοποιώντας κάποιο πρωτόκολλο επικοινωνίας. Τα BMS χωρίζονται στα συμβατικά και στα έξυπνα συστήματα ελέγχου, σύμφωνα με τον σχεδιασμό τους.¹⁴

¹² Domingues, et al., 2016

¹³ Withanage, et al., 2014

¹⁴ Shaikh, et al., 2014

2.4 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Έξυπνων Κτιρίων

2.4.1 Πλεονεκτήματα Έξυπνων Κτιρίων

Το έξυπνο κτίριο, παρέχοντας τις δυνατότητες του σε όσους βρίσκονται, κατοικούν ή εργάζονται μέσα σε αυτό, προσφέρει μια ζωή πιο εύκολη αλλά και περισσότερο αποτελεσματική. Οι νέες τεχνολογίες και τάσεις οι οποίες αναπτύσσονται τα τελευταία χρόνια και εφαρμόζονται στα έξυπνα κτίρια, έχουν σημαντικές και αξιόλογες περιβαλλοντικές αλλά και οικονομικές επιδράσεις. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, έξυπνο κτίριο μπορεί να χαρακτηριστεί ένα κτίριο το οποίο διαθέτει ως κύριο χαρακτηριστικό ηλεκτρονικές και τεχνολογικές καινοτομίες, σχεδιασμένες έτσι ώστε όλες οι λειτουργίες του κτιρίου να ελέγχονται και να αυτοματοποιούνται.

Η ρύθμιση των συστημάτων ελέγχου των έξυπνων κτιρίων, γίνεται με βάση την ώρα της ημέρας, και με το αν κάποιος χώρος είναι κατειλημμένος. Λειτουργίες όπως φωτισμός, μουσική και άλλα μέσα ψυχαγωγίας ελέγχονται εύκολα και απλά από ένα μόνο κουμπί, ενώ η παρακολούθηση ολόκληρου του κτιρίου πραγματοποιείται μέσω κινητού τηλεφώνου, όταν οι χρήστες βρίσκονται σε απόσταση από αυτό.

Παρακάτω θα αναλύσουμε τα πλεονεκτήματα του έξυπνου κτιρίου και όπως θα δούμε στην συνέχεια δεν διαφέρουν από τα χαρακτηριστικά που διαθέτει ένας τέτοιος χώρος.

- **Ευκολία:** Σημαντικός και κατά βάση κυριότερος λόγος ο οποίος οδηγεί στην κατασκευή ή αγορά έξυπνων κτιρίων, είναι η άνεση που προσφέρει στους χρήστες. Στο έξυπνο κτίριο χρησιμοποιούνται μηχανισμοί και συστήματα τα οποία είναι υπεύθυνα για την ρύθμιση και την αυτοματοποίηση των ηλεκτρικών συσκευών, τα επίπεδα του κλίματος και της θερμοκρασίας. Με την χρήση χρονοδιακοπών ή ανιχνευτών κινήσεων, καθορίζεται ο έλεγχος και οι λειτουργίες πραγματοποιούνται αυτόματα. Δίνοντας την δυνατότητα στον χρήστη να ελέγχει τις λειτουργίες του κτιρίου από οθόνες αφής και κινητά τηλέφωνα, επιτυγχάνεται το άνοιγμα των φώτων, η προσαρμογή της θερμοκρασίας των χώρων καθώς και η αναπαραγωγή μουσικής με βάση την διάθεση των ατόμων που βρίσκονται στο κτίριο, μόνο με το πάτημα ενός κουμπιού.
- **Ασφάλεια:** Η τάση της ηλεκτρικής ενέργειας ενός έξυπνου κτιρίου, μπορεί να κατανεμηθεί αυτόματα, σε όλες τις συσκευές και τα μηχανήματα που διαθέτει ο χώρος. Τα εξελιγμένα ηλεκτρολογικά συστήματα που εξοπλίζουν το ευφυές κτίριο, δίνουν την δυνατότητα παροχής ενέργειας μόνο στις πρίζες που έχουν κάποια συνδεδεμένη συσκευή και είναι ανοιχτή. Επιπλέον, ασφάλεια προσφέρεται στο κτίριο με την χρήση ανιχνευτών οι οποίοι αντιλαμβάνονται διαρροές νερού και αερίου, καθώς και τον καπνό, και ειδοποιούν άμεσα τους χρήστες του κτιρίου. Ασφάλεια παρέχεται επίσης στο κτίριο αλλά και στους χρήστες του, αφού το κτίριο επικοινωνεί με την αστυνομία ή με την ιδιωτική εταιρία ασφαλείας αν υπάρχει, και ειδοποιούνται άμεσα σε προσπάθεια παραβίασης του χώρου.

- **Οικονομία:** Πολλές από τις καθημερινές συνήθειες των χρηστών του έξυπνου κτιρίου ελέγχονται από το σύστημα, προς την εξυπηρέτηση και το όφελος τους. Με τον τρόπο αυτό, ρυθμίζεται για παράδειγμα η χρήση της παροχής νερού, ηλεκτρισμού κτλ. , προσφέροντας έτσι στους ενοίκους χαμηλότερους λογαριασμούς. Η λειτουργία αυτή πραγματοποιείται αν παραδείγματος χάρη, οι παροχές προσαρμοστούν με τέτοιο τρόπο ώστε, η μέγιστη λειτουργία τους να πραγματοποιείται ώρες μη αιχμής.
- **Περιβάλλον:** Τα έξυπνα σπίτια μπορούν να χαρακτηριστούν και ως πράσινα. Χάρη στις δυνατότητες που παρέχει, είναι δυνατό να περιοριστεί η κατανάλωση του νερού, του ηλεκτρικού ρεύματος αλλά και του αερίου, προστατεύοντας με τον τρόπο αυτό τόσο το περιβάλλον όσο και τους φυσικούς αλλά και τους πόρους ορυκτών καυσίμων. Επίσης, οι ανάγκες των χρηστών καλύπτονται με διάφορες καινοτομίες όπως είναι τα ηλιακά πλέγματα, τα οποία περιλαμβάνονται σε ένα έξυπνο κτίριο, μειώνοντας έτσι την ανάγκη συγκαταβατικών ορυκτών καυσίμων για λόγους ενέργειας.
- **Τηλεπρόσβαση:** Η τηλεπρόσβαση, δηλαδή η πρόσβαση στις λειτουργίες του έξυπνου κτιρίου από απόσταση, είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα. Οι χρήστες έχουν την δυνατότητα πρόσβασης σε μεγάλο αριθμό οικιακών συστημάτων, ενώ βρίσκονται απομακρυσμένα από το κτίριο. Όλες οι πληροφορίες οι οποίες αφορούν τον έξυπνο κτίριο, μεταφέρονται με την βοήθεια ασύρματων σημάτων στις συσκευές του χρήστη, όπου κι αν βρίσκεται.¹⁵

2.4.2 Μειονεκτήματα Έξυπνων Κτιρίων

Με το πέρας των ετών τα έξυπνα κτίρια γίνονται όλο και πιο γνωστά, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ραγδαία το πλήθος ανθρώπων που τα χρησιμοποιούν προσφέροντας τους άνεση και κάνοντας την καθημερινότητα τους ευκολότερη και πιο απλή, κάτι το οποίο αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα για εκείνους. Όμως, αρκετοί είναι και οι λόγοι οι οποίοι βρίσκουν αντίθετους μερικούς ανθρώπους με την νέα αυτή τεχνολογία.

- **Κόστος:** Η χρήση των νέων αυτών τεχνολογιών στα κτίρια επηρεάζει σημαντικά την αγοραστική του αξία, κάνοντας το πιο ακριβό, δυσκολεύοντας έτσι τους υποψήφιους αγοραστές να προχωρήσουν στην αγορά ενός έξυπνου κτιρίου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι χρησιμοποιούνται νέες τεχνολογίες και έτσι γίνεται το κόστος πιο υψηλό.

¹⁵ Shaikh, et al., 2014

- Χρήση της τεχνολογίας: Για να είναι ένα έξυπνο κτίριο λειτουργικό προς τον χρήστη και να μπορεί να του παρέχει όλες τις δυνατότητες του, πρέπει ο χρήστης να είναι εξοικειωμένος με αυτό και να γνωρίζει να το χρησιμοποιεί. Η διαφορά από ένα απλό κτίριο είναι πολύ μεγάλη αφού χρησιμοποιούνται καινοτόμες τεχνολογίες. Έτσι, κάποιος ο οποίος δεν είναι έμπειρος με την τεχνολογία, δεν θα έχει την ευκαιρία να ανακαλύψει τις παροχές της τεχνολογίας του έξυπνου κτιρίου.
- Παρακολούθηση με βίντεο: Ένα από τα μέτρα ασφαλείας που λαμβάνει κάποιος για να εξασφαλίσει την ασφάλεια του προσωπικού του χώρου είναι η χρήση καμερών έτσι ώστε να ειδοποιηθεί αν πραγματοποιηθεί κάποια ύποπτη κίνηση και να μπορεί να καταγραφεί. Η επικοινωνία όλων αυτών των συστημάτων γίνεται ασύρματα και είναι πολύ πιθανό να μπορέσει κάποιος να υποκλέψει τα προσωπικά δεδομένα του χρήστη με αποτέλεσμα να τον παρακολουθεί και να γνωρίζει κάθε του ενέργεια κάνοντας πολύ εύκολη μια παράνομη είσοδο στον χώρο του.¹⁶

¹⁶ Toschi, et al., 2017

Κεφάλαιο 3: Τεχνολογίες και Πρωτόκολλα επικοινωνίας στο IoT

Βασικό θεμέλιο του IoT είναι η διασύνδεση και η επικοινωνία των συσκευών ή πληροφοριακών συστημάτων, τα οποία χρησιμοποιεί ο χρήστης στην καθημερινότητά του. Το καινοτόμο αυτό σύστημα IoT, παρέχει την δυνατότητα για διασύνδεση, όχι μόνο με τις συσκευές μεταξύ τους, αλλά και με τους κατασκευαστές αυτών, με στόχο την προσφορά υπηρεσιών. Με την χρήση του IoT, τα συστήματα διασυνδέονται μέσω διαδικτύου και είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Τέτοια συστήματα μπορεί να είναι έξυπνες συσκευές, συστήματα συλλογής πληροφοριών σε μεγάλες βάσεις δεδομένων κ.α.

Τα κύρια μέρη ενός IoT συστήματος χωρίζονται ως εξής:

1. Συλλογή πληροφοριών ανά πάσα στιγμή και οπουδήποτε, από τα «αντικείμενα», μέσω τεχνολογιών, αισθητήρων και κώδικα.
2. Σύνδεση μεταξύ «αντικειμένων» και δικτύων επικοινωνίας.
3. Επεξεργασία δεδομένων, που στέλνουν και λαμβάνουν τα «αντικείμενα», από υπολογιστικά συστήματα και εφαρμογές.
4. Αποστολή των επεξεργασμένων από τα υπολογιστικά συστήματα δεδομένων.

Σύμφωνα με δημοσίευμα του Internet Architecture Board (RFC 7452) (<https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7452>), η συνδεσιμότητα των μερών του IoT, επιτυγχάνεται με τέσσερα μοντέλα επικοινωνίας.

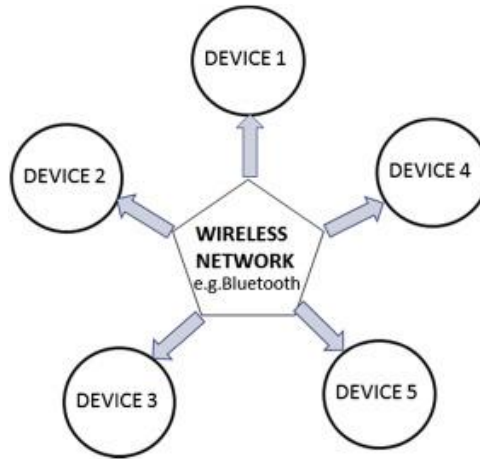
3.1 Μοντέλα Επικοινωνίας

3.1.1 Συσκευή με Συσκευή

Με το μοντέλο επικοινωνίας αυτό, πραγματοποιείται σύνδεση δύο ή περισσότερων συσκευών, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους και επικοινωνούν, χωρίς την παρεμβολή ενδιάμεσου διαμεσολαβητή. Η σύνδεση των συσκευών αυτών, πραγματοποιείται με ποικίλους τρόπους δικτύωσης, και ως επί το πλείστον χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως είναι το Bluetooth, το Z-Wave, και το ZigBee, για την άμεση επικοινωνία των συσκευών.

Η χρήση των δικτύων του μοντέλου επικοινωνίας συσκευής με συσκευή, προσφέρουν στις συσκευές, την δυνατότητα για επικοινωνία και ανταλλαγή μηνυμάτων, με στόχο την επίτευξη των λειτουργιών κάποια υπηρεσίας. Παράδειγμα εφαρμογής αυτού του μοντέλου, αποτελούν τα οικιακά συστήματα αυτοματισμού, όπου χρησιμοποιούνται μικρά πακέτα δεδομένων για επικοινωνία μεταξύ των συσκευών, με οικιακές συσκευές IoT να αποτελούν οι έξυπνες λάμπες και οι έξυπνες κλειδαριές.

Πρόβλημα που αντιμετωπίζει το συγκεκριμένο μοντέλο επικοινωνίας, αποτελεί η ανομοιογένεια των συσκευών. Συσκευές οι οποίες προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές, διαθέτουν διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει συμβατότητα ανάμεσα στις συσκευές.¹⁷

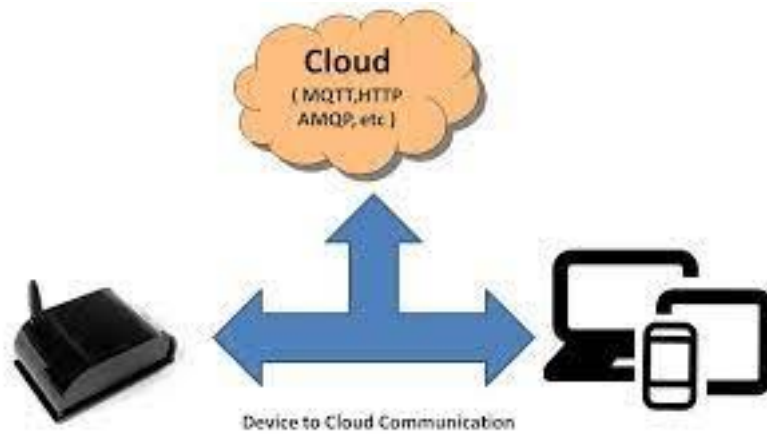


Εικόνα 3.1: Μοντέλο επικοινωνίας συσκευή με συσκευή

3.1.2 Συσκευή με Υπολογιστικό Νέφος (Cloud)

Για να πραγματοποιηθεί η διασύνδεση στο IoT, χρειάζεται να εφαρμοστούν τεχνολογίες, όπως είναι οι ασύρματοι αισθητήρες και το RFID, μέσω των οποίων γίνεται η συλλογή των δεδομένων, που αξιοποιούν τα υπολογιστικά συστήματα. Έτσι, δημιουργείται μεγάλο πλήθος δεδομένων, τα οποία είναι ανάγκη να αποθηκευτούν, να επεξεργαστούν, και τέλος να παρουσιαστούν. Με το μοντέλο επικοινωνίας συσκευής με υπολογιστικό νέφος, πραγματοποιείται η συλλογή, ανάλυση, αποθήκευση και αποστολή των πληροφοριών στον χρήστη. Με τον τρόπο αυτό, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να έχει πρόσβαση σε εφαρμογές οποιαδήποτε στιγμή και από όποιο μέρος επιθυμεί. Η ανταλλαγή δεδομένων και ο έλεγχος των πληροφοριών γίνεται αφού συνδέεται η IoT συσκευή άμεσα με μια υπηρεσία cloud. Τα προβλήματα συμβατότητα τα οποία προαναφέραμε στο προηγούμενο μοντέλο, επιλύονται με το συγκεκριμένο μοντέλο επικοινωνίας συσκευών με το υπολογιστικό νέφος. Όμως δημιουργούνται περιορισμοί για τους δικτυακούς πόρους τους οποίους μπορεί να χρησιμοποιήσει η κάθε υπηρεσία.

¹⁷ Mobile Device-to-Device Video Distribution: Theory and Application, Liang Zhou, 2016



Εικόνα 3.2: Μοντέλο επικοινωνίας συσκευή με υπολογιστικό νέφος

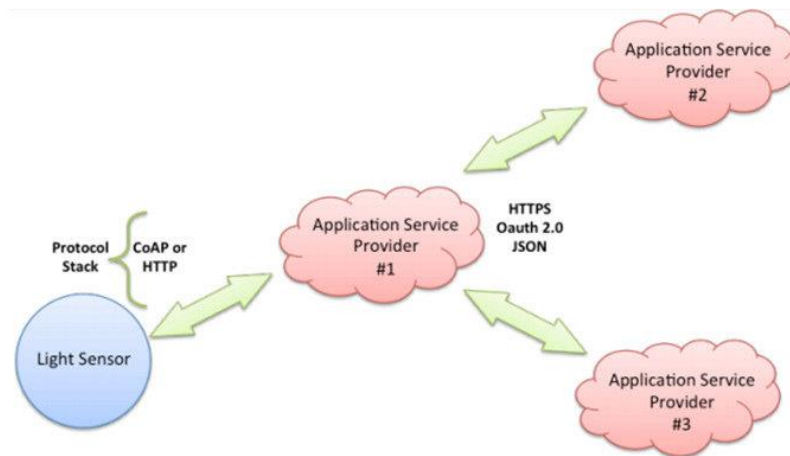
3.1.3 Συσκευή με Ενδιάμεσο Κόμβο Gateway

Στο συγκεκριμένο μοντέλο επικοινωνίας, πραγματοποιείται σύνδεση της συσκευής IoT με τον πάροχο, μέσω ενός διαύλου (gateway). Τα δεδομένα που συλλέγονται από τα αισθητήρια, έχουν την δυνατότητα να απορρίπτονται, να αθροίζονται και να ελέγχονται από μια συσκευή gateway, προτού σταλούν κάπου αλλού. Όσον αφορά την σύνδεση μεταξύ πράγματος ή αλλιώς συσκευής, με το gateway, επιτυγχάνεται με τους τρόπους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Για την σύνδεση του gateway με το cloud, χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως, το IPv4 και IPv6. Επιλέγεται συνήθως το πρωτόκολλο IPv6, λόγω των καλύτερων δυνατοτήτων αυτορρύθμισης συσκευών, της καλύτερης ποιότητας υπηρεσιών, καθώς και λόγω της μεγαλύτερης ασφάλειας που παρέχει, συγκριτικά με το IPv4.



Εικόνα 3.3: Μοντέλο επικοινωνίας συσκευή με ενδιάμεσο κόμβο gateway

3.1.4 Back – End Μοντέλο Ανταλλαγής Δεδομένων



Εικόνα 3.4: Μοντέλο ανταλλαγής δεδομένων Back - End

Με το συγκεκριμένο μοντέλο ανταλλαγής δεδομένων, οι χρήστες μπορούν να εξάγουν και να αναλύουν τα δεδομένα των «πραγμάτων» από μια υπηρεσία cloud, μαζί με δεδομένα από άλλες πηγές. Παράδειγμα αποτελεί, ένα άτομο σε μία εταιρία το οποίο είναι υπεύθυνο για την συλλογή και ανάλυση των δεδομένων κατανάλωσης ενέργειας και κοινής ωφέλειας, σε ένα συγκρότημα γραφείων, που δημιουργούνται από τους αισθητήρες IoT, και συστήματα κοινής ωφέλειας στις εγκαταστάσεις. Η εταιρία με τη σειρά της, έχει την δυνατότητα για πρόσβαση και ανάλυση των δεδομένων στο cloud που δημιουργούνται από τις συσκευές στο κτίριο, με την βοήθεια της back-end ανταλλαγής δεδομένων.¹⁸

3.2 Ασύρματες Τεχνολογίες

Ένα σύστημα IoT, βασίζεται στο δίκτυο και στην συνδεσιμότητα για την ορθή λειτουργία του. Οι συνδέσεις των συστημάτων IoT πρέπει να πραγματοποιούνται σε μικρή, μεσαία και μεγάλη απόσταση εμβέλειας. Οι απαιτήσεις για την ποιότητα μετάδοσης είναι μεγάλες, καθώς επίσης ίσως να χρειάζονται και βελτιστοποιήσεις για χαμηλή καθυστέρηση, αποθήκευση και προώθηση της πληροφορίας, κινητικότητα και ροή πληροφορίας. Τα IoT συστήματα, πρέπει να είναι σε θέση να ελέγχουν και εξωτερικές διαταραχές που ίσως δημιουργούν παρεμβολές στην συνδεσιμότητα, όπως για παράδειγμα η υπερφόρτωση του δικτύου, ραδιοπαρεμβολές, διαταραχές (θόρυβο) λόγω χρήσης άλλου ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

Για να παρέχονται πλήρως όλες οι δυνατότητες, οι οποίες κατέχει το IoT, θα χρειαστεί πλήθος ασύρματων τεχνολογιών. Ανάλογα την απόσταση που βρίσκονται οι συσκευές που απαιτείται να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, υπάρχουν και οι κατάλληλες τεχνολογίες.

¹⁸ The Four Internet of Things Connectivity Models Explained, Channel Futures, 2016

- BAN (Body Area Network): Χρησιμοποιείται για αποστάσεις μερικών μέτρων, από 10-100 μέτρα.
- LAN (Local Area Network): Χρησιμοποιείται για αποστάσεις μερικών χιλιομέτρων, από 10-100 χιλιόμετρα.
- WAN (Wide Area Network): Χρησιμοποιείται για αποστάσεις που φτάνουν τα 1000 χιλιόμετρα.

3.3 Παράγοντες επιλογής ασύρματων τεχνολογιών

Η επιλογή των ασύρματων τεχνολογιών εξαρτάται από συγκεκριμένα σημαντικά ζητήματα τα οποία είναι το φάσμα, η εμβέλεια κάλυψης και η χωρητικότητα του δικτύου, η τοπολογία δικτύου, η ποιότητα υπηρεσίας, η διαχείριση δικτύου και η ασφάλεια.

3.3.1 Φάσμα

Τα ασύρματα φάσματα διαφοροποιούνται σύμφωνα με την αδειοδότηση τους. Χωρίζονται λοιπόν σε αδειοδοτημένα και μη αδειοδοτημένα ασύρματα φάσματα. Τα πρώτα, πραγματοποιούν πρόσβαση σε ραδιοφάσμα, το οποίο έχει αγοραστεί, ώστε να παρέχεται αποκλειστική πρόσβαση σε ένα μοναδικό κανάλι, σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Σημαντικό είναι ότι στα κανάλια αυτά συνήθως δεν παρουσιάζονται παρεμβολές. Από την άλλη πλευρά όμως, μειονεκτήματα αποτελούν το κόστος, διότι είναι εξαιρετικά ακριβό, το φάσμα, λόγω του περιορισμού του, καθώς επίσης ότι υπάρχει πιθανότητα να μην είναι διαθέσιμες, οι ασύρματες ζώνες συνδεσιμότητας, σε άλλες γεωγραφικές τοποθεσίες για την ίδια χρήση. Αντίθετα, τα μη αδειοδοτημένα ραδιοφάσματα, δεν διαθέτει αποκλειστική πρόσβαση, αφού είναι διαθέσιμα σε οποιονδήποτε, χωρίς την απαίτηση δικαιωμάτων. Σημαντικό αρνητικό τους είναι ότι, δημιουργούνται συχνές παρεμβολές, για τον λόγο ότι άλλα συστήματα χρησιμοποιούν το ίδιο κανάλι, σε διαφορετικά επίπεδα ισχύος. Περιθώρια αντιμετώπισης και απαλοιφής των παρεμβολών αυτών υπάρχουν, με μεθόδους όπως αυτή της προσαρμοστικής διαμόρφωσης, αλλά και του αυτόματου ελέγχου ισχύος μετάδοσης.

3.3.2 Εμβέλεια και Χωρητικότητα

Το μέγεθος της χωρητικότητας των δεδομένων, τα οποία παραδίδονται σε μια συγκεκριμένη απόσταση, εξαρτάται από συγκεκριμένους παράγοντες, όπως είναι το φάσμα, το εύρος ζώνης του καναλιού, η ισχύς του πομπού, ο θόρυβος και το μέγεθος της κεραίας. Η απόσταση, είναι αντιστρόφως ανάλογη με την χωρητικότητα των δεδομένων. Στις μεγάλες αποστάσεις, για την μετάδοση χρησιμοποιούνται κανάλια στενής ζώνης και χαμηλής συχνότητας, και κεραία με μεγάλο κέρδος. Όπου υπάρχει περιορισμένη εμβέλεια, γίνεται χρήση ευζωνικών καναλιών, για την επίτευξη υψηλών επιπέδων χωρητικότητας. Ο συνδυασμός κατάλληλου μεγέθους καναλιού, ικανοποιητικής κεραίας, ραδιοσυχνότητας, ισχύος εκπομπής και σχήματος διαμόρφωσης, έχουν ως αποτέλεσμα, την βέλτιστη απόδοση κάθε εφαρμογής.

3.3.3 Τοπολογία δικτύου

Ο τρόπος με τον οποίο κατατάσσονται τα στοιχεία σε ένα δίκτυο, συμπεριλαμβανομένων των κόμβων και των συνδέσεων μεταξύ τους, αποτελεί την τοπολογία του δικτύου. Οι πιο συνηθισμένες τοπολογίες δικτύου, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ασύρματη συνδεσιμότητα, παρουσιάζονται παρακάτω:

3.3.3.1 Σημείου προς σημείο

Η τοπολογία αυτή, είναι η ιδανική για την παροχή δυνατοτήτων σε μεγάλες αποστάσεις, ειδικά όταν υπάρχουν παρεμβολές στις αποστάσεις αυτές. Η χρήση της τοπολογίας σημείου προς σημείο, χρησιμοποιείται και σε συνδέσεις μικρής εμβέλειας.

3.3.3.2 Δακτύλιος

Για την κάλυψη μεγάλης περιοχής, γίνεται χρήση της τοπολογίας δακτυλίου, αφού είναι οι κατάλληλες για ανθεκτικές λειτουργίες που χρησιμοποιούν υψηλής χωρητικότητας συνδέσεις.

3.3.3.3 Πλέγμα

Από τις πολλαπλές συνδέσεις σημείου προς σημείο, δημιουργείται η τοπολογία του πλέγματος. Μειονέκτημα αυτής της τοπολογίας αποτελεί το γεγονός ότι κάθε πακέτο πραγματοποιεί μεγάλο αριθμό αλμάτων, με αποτέλεσμα να υπάρχουν καθυστερήσεις στην υποδομή του δικτύου.

3.3.3.4 Αστέρας

Η τοπολογία αστέρα, ή αλλιώς σημείου προς πολλαπλά σημεία, έχει την διαφορά με την τοπολογία σημείου προς σημείο, ως προς τον αριθμό των κόμβων. Το πλήθος των κόμβων κλιμακώνεται, ενώ τοποθετούνται δίπλα ο ένας με τον άλλον, χωρίς να παρουσιάζονται παρεμβολές.

3.3.4 Ποιότητα υπηρεσίας

Η εκμετάλλευση των διαθέσιμων φασμάτων από τα συστήματα, είναι απαραίτητη, καθώς επίσης, να είναι βέβαιο ότι οι σημαντικές και απαραίτητες πληροφορίες θα μεταδίδονται με προτεραιότητα. Οι υπηρεσίες οι οποίες υποστηρίζονται από τα δίκτυα, πρέπει να είναι υψηλού επιπέδου, αλλά και να πραγματοποιείται μέσω του δικτύου, ταξινόμηση της κίνησης της πληροφορίας. Έτσι, η προτεραιότητα ορίζεται από τον αποστολέα και το δίκτυο επιβεβαιώνει ότι πραγματοποιήθηκε η παράδοση του πακέτου δεδομένων.

3.3.5 Διαχείριση δικτύου

Το συνολικό κόστος ενός συστήματος IoT, είναι άμεσα εξαρτώμενο από την ευχέρεια διαχείρισης κάποιο δικτύου. Υπάρχει η δυνατότητα της μείωσης αυτού του συνολικού κόστους, καθώς και της προσπάθειας, με την βοήθεια συστημάτων δικτύωσης, τα οποία διαχειρίζονται την ρύθμιση των παραμέτρων, επιτρέπουν την ανίχνευση βλαβών, την συνεχή παρακολούθηση και την επικύρωση ασφαλείας. Ακόμα, εξαλείφονται οι διακοπές λειτουργίας, παρέχοντας αξιοπιστία στο σύστημα.

3.3.6 Ασφάλεια

Με το πέρας των χρόνων, οι ασύρματες επικοινωνίες γίνονται κομμάτι της καθημερινότητας των ανθρώπων. Απαραίτητη είναι όμως και η ασφάλεια τους, η οποία και αυξάνεται σημαντικά, με την κρυπτογραφία να αποτελεί ένα παράδειγμα. Απαραίτητες είναι και οι ασφαλείς διεπαφές διαχείρισης, μέσω πρωτοκόλλων όπως HTTPS και SNMP.

3.4 Ασύρματες τεχνολογίες και Internet of Things

Παρακάτω, παρουσιάζονται και αναπτύσσονται οι ασύρματες τεχνολογίες, τα δίκτυα, και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας, που χρησιμοποιούνται στα συστήματα IoT.

3.4.1 RFID

Η τεχνολογία RFID, έκανε την πρώτη της εμφάνιση πριν από 50 χρόνια, κατά την διάρκεια του Β' Παγκοσμίου, και από τότε και ύστερα ξεκίνησε να εδραιώνεται. Πρόκειται για μια τεχνολογία ταυτοποίησης, όπου υπάρχει μια ετικέτα RFID, η οποία μεταφέρει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, και ένας αναγνώστης RFID, ο οποίος διαβάζει όλα τα δεδομένα. Ετικέτα είναι, ένα μικρό υπολογιστικό σύστημα, το οποίο διαθέτει ενσωματωμένη κεραία, και έχει την δυνατότητα μεταφοράς των δεδομένων που έχουν αποθηκευτεί, μέσω ραδιοκυμάτων. Οι συγκεκριμένες ετικέτες χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, ενεργητικές και παθητικές. Οι ενεργητικές, τροφοδοτούνται μέσω κάποιας πηγής ενέργειας, ενώ οι παθητικές αντλούν την απαιτούμενη ενέργεια από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπει ο αναγνώστης. Παραδείγματα στα οποία χρησιμοποιείται η τεχνολογία RFID, είναι ο έλεγχος ταυτότητας, η παρακολούθηση και ο εντοπισμός αντικειμένων, ο έλεγχος πρόσβασης κ.α.

3.4.2 NFC

Η πρότυπη τεχνολογία NFC, εξελίσσεται και διαδίδεται με γρήγορους ρυθμούς. Πρόκειται για μια τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας και μικρής εμβέλειας, που λειτουργεί στην συχνότητα των 13,56MHz, και μεταφέρει δεδομένα με ρυθμό έως και 424 kbps. Η λειτουργία της τεχνολογίας αυτής στηρίζεται στην επαφή ή την προσέγγιση, σε απόσταση περίπου των 5 εκ., ανάμεσα στην συσκευή που διαθέτει το τσιπ

NFC, και σε άλλη που περιέχει τον κατάλληλο αισθητήρα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα χρήσης της πρότυπης τεχνολογίας είναι η πρόσβαση χωρίς κλειδί, το ηλεκτρονικό πορτοφόλι σε smartphone ή σε smartwatch κ.α.

	Εμβέλεια Κάλυψης	Συχνότητα	Ρυθμός Μετάδοσης
RFID	3-5 m	125 kHz 13.56 MHz 902-928MHz	4 Mbps
NFC	0-10 cm	125 kHz 13.56 MHz 860MHz	106-424 Kbps

3.4.3 Bluetooth

Το Bluetooth είναι μια ασύρματη τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία μικρών αποστάσεων με διαρκή μετάδοση δεδομένων και σημάτων μέσω μικροκυμάτων. Η αρχιτεκτονική που χρησιμοποιεί το Bluetooth είναι τύπου master – slave, όπου οι συσκευές slave, επικοινωνούν με ορισμένη συσκευή master, που κατέχει ιδιότητες διαχειριστή. Με την χρήση αυτής της ασύρματης τεχνολογίας, μπορεί να υπάρξει επικοινωνία μεταξύ κινητών τηλεφώνων, φορητών υπολογιστών, έξυπνων ρολογιών, ακουστικών, εκτυπωτών, ψηφιακών καμερών κ.α. , μέσω ραδιοσυχνότητας μικρής εμβέλειας, η οποία είναι ασφαλής, φθηνή και διαθέσιμη σε όλο τον κόσμο, χωρίς κάποια ειδική άδεια.

3.4.4 Bluetooth Low Energy

Βελτιωμένη έκδοση της προηγούμενης τεχνολογίας που αναφέραμε, αποτελεί το Bluetooth Low Energy, για λόγους όπως είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, καθώς και ο λιγότερος χρόνος εγκατάστασης σύνδεσης. Ορισμένες εφαρμογές του IoT, οι οποίες έχουν σαν χαρακτηριστικά την μικρή εμβέλεια, το μικρό εύρος ζώνης και την μικρή καθυστέρηση, χρησιμοποιούν την συγκεκριμένη τεχνολογία για την κάλυψη της επικοινωνίας. Όπως και στην τεχνολογία του Bluetooth, έτσι και στην βελτιωμένη έκδοσή του, η αρχιτεκτονική που ακολουθείται είναι η master – slave. Τα πλαίσια που προσφέρονται είναι δύο ειδών. Το πρώτο αποτελεί το διαφημιστικό πλαίσιο, ενώ το δεύτερο το πλαίσιο δεδομένων. Το πλαίσιο διαφήμισης, το οποίο χρησιμοποιούν οι συσκευές τύπου slave, έχει ως στόχο να αποσταλούν τα πλαίσια δεδομένων, με την βοήθεια ενός καναλιού επικοινωνίας. Τα διαφημιστικά πλαίσια με τη σειρά τους, αναγνωρίζονται από την συσκευή τύπου master, και διαχειρίζεται τις συνδέσεις, ώστε να επιτευχθεί η καταλληλότερη με τις συσκευές τύπου slave. Μόλις πραγματοποιηθεί η σύνδεση, όλες οι slave συσκευές ενημερώνονται από την master συσκευή, για τον κύκλο ενεργοποίησης που πρόκειται να ακολουθήσει. Ενεργοποιημένες θα

παραμένουν οι συσκευές τύπου slave, μόνο κατά την επικοινωνία, ενώ θα αδρανοποιούνται όταν δεν πραγματοποιείται κάποια. Με τον τρόπο αυτό, θα παραμένουν χαμηλά τα επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας.

3.4.5 6LoWPAN

Το 6LoWPAN αποτελεί το ακρωνύμιο του IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks. Πρόκειται για πρωτόκολλο επικοινωνίας, του οποίου η δημιουργία, είχε ως απώτερο σκοπό, την εφαρμογή του Πρωτοκόλλου Διαδικτύου (IP) ακόμα και στις μικρότερες συσκευές, δίνοντας έτσι την δυνατότητα σε συσκευές με χαμηλή κατανάλωση, και συγκεκριμένες δυνατότητες, να μπορούν να συμμετέχουν στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Πλέον, αποτελεί βασικό πρότυπο από τα πρωτόκολλα επικοινωνίας του IoT. Είναι εφικτή η άμεση σύνδεση με άλλο δίκτυο IP, χωρίς την παρεμβολή ενδιάμεσων οντοτήτων, όπως οι διακομιστές μεσολάβησης. Βρίσκεται ανάμεσα στο φυσικό στρώμα και στο στρώμα δικτύου, ως ένα στρώμα προσαρμογής, πραγματοποιώντας διαχείριση της διαλειτουργικότητας ανάμεσα στο πρότυπο IEEE 802.15.4 και στο πρωτόκολλο IPv6, ενσωματώνοντας τις μεγάλες επικεφαλίδες του IPv6, στα μικρά πακέτα του προτύπου IEEE 802.15.4. Η επικοινωνία μεταξύ μικρών συσκευών χαμηλής ισχύος, με οποιονδήποτε διακομιστή ή συσκευή που στηρίζονται στο IP, είναι εφικτή μέσω του πρωτοκόλλου 6LoWPAN.

3.4.6 Zigbee

Η τεχνολογία Zigbee βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4, το οποίο δημιουργεί ασύρματα προσωπικά δίκτυα χαμηλής συχνότητας και ενεργειακής κατανάλωσης. Ο αριθμός των τοπολογιών που υποστηρίζονται είναι μεγάλος, όπως και συσκευές διαφορετικών κατασκευαστών, ενώ εξασφαλίζονται επαρκείς ρυθμοί μετάδοσης, ασφαλής επικοινωνία, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, και ανταλλαγή δεδομένων, όπου υπάρχει κενός χρόνος ενδιάμεσα από το καθένα. Τα δίκτυα τα οποία είναι βασισμένα στην τεχνολογία Zigbee, τα στελεχώνουν ορισμένες συσκευές οι οποίες εκπληρώνουν τον ρόλο του συντονιστή, άλλες οι οποίες είναι υπεύθυνες για την δρομολόγηση του δικτύου, και τέλος οι τερματικές συσκευές. Η τεχνολογία Zigbee, έχει συχνή εφαρμογή συνήθως σε συστήματα έξυπνων σπιτιών και κτιρίων, και ειδικότερα στις λειτουργίες που αφορούν τον φωτισμό, την ασφάλεια του κτιρίου, και τον έλεγχο συσκευών θέρμανσης και κλιματισμού.

3.4.7 Z-Wave

Άλλο ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας, το οποίο δημιουργήθηκε κυρίως για χρήση σε οικιακό αυτοματισμό, και ακολουθεί το τεχνικό πρότυπο IEEE 802.15.4, το οποίο αναφέρθηκε παραπάνω, αποτελεί το Z-Wave. Παρατηρείται συνήθως σε εφαρμογές IoT, με μικρές απαιτήσεις ως προς την πληροφορία. Η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών πραγματοποιείται με την χρήση ραδιοκυμάτων χαμηλής ενέργειας, και επιτυγχάνεται ο ασύρματος έλεγχος των έξυπνων συσκευών. Το Z-Wave χρησιμοποιεί την μέθοδο CSMA/CA, έτσι ώστε να ανιχνεύσει και να αποφύγει συγκρούσεις, καθώς επίσης γίνεται χρήση ACK μηνυμάτων για την αξιόπιστη μετάδοση. Όπως και σε προηγούμενα πρωτόκολλα, έτσι και σε αυτό, ακολουθείται η master – slave αρχιτεκτονική, όπου η συσκευή τύπου master έχει την ευθύνη για τον έλεγχο των συσκευών τύπου slave, την αποστολή εντολών, την διαχείριση και την οργάνωση δικτύου.

3.4.8 Thread

Ακόμη ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο προορίζεται για χρήση σε οικιακό αυτοματισμό, αποτελεί το Thread. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο είναι βασισμένο σε άλλα πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπως είναι το IPv6, 6LoWPAN και IEEE 802.15.4. Πρόκειται για ένα ασφαλές και αρκετά αξιόπιστο πρωτόκολλο, αφού είναι εξοπλισμένο με μηχανισμούς χάρη στους οποίους σε περίπτωση αποτυχίας το δίκτυο αναμορφώνεται δυναμικά, καθώς επίσης οι χρόνοι απόκρισης που διαθέτει είναι γρήγοροι, η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών γίνεται με χαμηλή καθυστέρηση, παρέχει εκτεταμένη κάλυψη, και μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας. Το Thread, λειτουργεί συμπληρωματικά του Wi-Fi, αφού επιτυγχάνεται σύνδεση με αρκετές τερματικές συσκευές. Μέσω συγκεκριμένης συμφωνίας, το Thread παρέχεται χωρίς κόστος.

3.4.9 WirelessHART

Το WirelessHART, πρόκειται για μια τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης αισθητήρων, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως σε βιομηχανικές εφαρμογές και είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να είναι ικανή να ανταπεξέλθει στα υψηλά επίπεδα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών. Οι προχωρημένοι αλγόριθμοι, τους οποίους χρησιμοποιεί, ευθύνονται για την κρυπτογράφηση των μηνυμάτων, αλλά και για τον έλεγχο ακεραιότητάς τους. Για την σύνδεση, είναι απαραίτητο καλώδιο Ethernet.

3.4.10 Wi-Fi

Το Wi-Fi, είναι η πλέον ευρέως διαδεδομένη ασύρματη τεχνολογία. Αποτελεί οικογένεια πρωτοκόλλων ασύρματου δικτύου, όπου βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.11. Τα πρότυπα αυτά είναι κατάλληλα για την τοπική δικτύωση συσκευών, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο την δυνατότητα σε ψηφιακές συσκευές, να ανταλλάζουν δεδομένα μέσω ραδιοκυμάτων. Η διασύνδεση των συσκευών γίνεται με απόλυτη αξιοπιστία και ασφάλεια, ενώ η εμβέλεια που μπορεί να καλύψει φτάνει τα 100 μέτρα. Οι περισσότερες συσκευές που υπάρχουν, υποστηρίζουν την συγκεκριμένη τεχνολογία. Το Wi-Fi είναι μια από τις τεχνολογίες που παρέχουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, χρησιμοποιείται σε εφαρμογές συστημάτων IoT, όπως είναι ο οικιακός αυτοματισμός, αλλά η ενέργεια η οποία καταναλώνει η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι αρκετά υψηλή, πράγμα το οποίο έχει ως αποτέλεσμα να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συστήματα που οι συσκευές του τροφοδοτούνται από μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες.

3.4.11 Wi-Fi HaLow

Σε πολλές εφαρμογές του IoT, οι οποίες έχουν μικρές απαιτήσεις σε ρυθμούς μετάδοσης και ενέργεια, χρησιμοποιείται ακόμα μια τεχνολογία, το Wi-Fi HaLow. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο ασύρματης

επικοινωνίας, γνωστό και ως πρότυπο IEEE 802.11ah. Είναι μια παραλλαγή του γνωστού σε όλους Wi-Fi, αλλά είναι ικανό να μεταδώσει την πληροφορία και τα δεδομένα σε ακόμα μεγαλύτερες αποστάσεις από αυτό. Όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, χρησιμοποιεί την λογική του Bluetooth Low Energy, για το χρονικό διάστημα που θα παραμείνει ενεργή μια συσκευή, κάνοντας τα ποσοστά κατανάλωσης ενέργειας αρκετά χαμηλά. Χρησιμοποιείται με μεγάλη επιτυχία συνήθως όταν, η απόσταση που πρέπει να μεταδοθούν τα δεδομένα είναι μεγάλη, όπου υπάρχει έλλειψη μεγάλων ποσοστών ενέργειας και όπου τα δεδομένα αποστέλλονται σε σύντομες κινήσεις πληροφορίας. Παράδειγμα χρήσης αυτής της τεχνολογίας, αποτελεί η εύρεση θέσης στάθμευσης, σε μια έξυπνη πόλη, ενώ επίσης το Wi-Fi HaLow χρησιμοποιείται στα συστήματα ασφαλείας και τους έξυπνους μετρητές.

	Εμβέλεια Κάλυψης	Συχνότητα	Ρυθμός Μετάδοσης	Πλήθος Συσκευών ανά Σημείο Πρόσβασης
Bluetooth	10-100m	2.4 GHz	3 Mbps	8
Bluetooth Low Energy	< 30m	2.4 GHz	1 Mbps	8
Zigbee	10-100m	868MHz 915MHz 2.4GHz	250 Kbps	250
Z-Wave	< 30m	868 – 908 MHz	40 Kbps	232
Thread	< 30m	2.4 GHz	250 Kbps	250
WirelessHART	< 225m	2.4 GHz	250 Kbps	250
Wi-Fi	30 – 100m	2.4 GHz - 5GHz	150 – 200 Mbps	250
Wi-Fi HaLow	< 1km	900 MHz	150 Kbps – 347Mbps	8191

3.4.12 WiMAX

Ακόμη μια τεχνολογία, η οποία πραγματοποιεί ασύρματη διαδικτυακή σύνδεση, αποτελεί το WiMAX. Οι λειτουργίες που πραγματοποιεί, είναι ίδιες με εκείνες του Wi-Fi, διαφέροντας μόνο με την συγκεκριμένη ασύρματη τεχνολογία ως προς την εμβέλεια, αφού οι δυνατότητες του WiMAX είναι τέτοιες, που επιτρέπουν η εμβέλεια να αγγίζει αλλά και να ξεπερνά τα 35 χιλιόμετρα. Το WiMAX πλεονεκτεί συγκριτικά με τις ασύρματες και ενσύρματες συνδέσεις. Για παράδειγμα, υπάρχει η δυνατότητα για ανάπτυξη ανεξάρτητων ασύρματων δικτύων, χωρίς την απαίτηση για εγκατάσταση καλωδίων. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα για χρήση της σύνδεσής του, από οποιοδήποτε σημείο ολόκληρης της χώρας, πράγμα το οποίο δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί με τις σημερινές διαθέσιμες τεχνολογίες, ούτε και με το Wi-Fi, λόγω της μικρής εμβέλειας που παρέχει. Σε περίπτωση μετακόμισης του χρήστη σε κάποια άλλη περιοχή, δεν θα αναγκαστεί να ενεργοποιήσει εκ νέου ευρυζωνική σύνδεση, όπως συνηθίζεται μέχρι σήμερα με τις γραμμές ADSL, διότι θα χρησιμοποιεί το ασύρματο της τεχνολογίας WiMAX.

3.5 Κυψελωτά δίκτυα

Κυψελωτά, αποκαλούνται τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, τα οποία διαθέτουν κυψελοειδή μορφή, που λόγω της δομής και των χαρακτηριστικών τους, μεγιστοποιούν την συνδρομητική χωρητικότητα του συστήματος, χρησιμοποιούν τα προσφερόμενα φάσματα ραδιοσυχνοτήτων, και προσφέρουν την ευκαιρία για ραδιοκάλυψη μεγάλων γεωγραφικών περιοχών. Παρακάτω, θα αναλύσουμε μερικά από τα σημαντικότερα κυψελωτά δίκτυα.

3.5.1 GSM, 3G, 4G

Σε πολλές από τις IoT εφαρμογές, απαιτείται η λειτουργία και η επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις. Τα κυψελωτά δίκτυα, GSM, 3G, 4G, έχουν την δυνατότητα για κάλυψη αυτών των αναγκών που απαιτούνται. Η ικανότητα τους για αποστολή μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων, και ιδιαίτερα του 4G, τα κάνει αρκετά ελκυστικά για χρήση. Όμως, δεν λείπουν και τα μειονεκτήματα που εντοπίζονται στα συγκεκριμένα κυψελωτά δίκτυα, με βασικό αυτό της αρκετά υψηλής κατανάλωσης ενέργειας, για μεγάλο αριθμό εφαρμογών. Κάτι τέτοιο όμως, δεν συνεπάγεται ότι δεν θα έχουν χρήση τα παραπάνω δίκτυα, αφού υπάρχουν πιθανότητες να αποτελεί την κατάλληλη επιλογή για δίκτυα τα οποία βασίζονται σε αισθητήρες χαμηλού εύρους ζώνης, και θα αποστείλουν χαμηλά ποσά δεδομένων μέσω διαδικτύου.

3.5.2 5G

Το 5G, είναι το κυψελωτό δίκτυο το οποίο διαδέχεται το 4G. Την εμφάνιση του έκανε το 2019, όταν οι εταιρίες κινητής τηλεφωνίας, άρχισαν να το αναπτύσσουν, με στόχο έως το 2025, οι χρήστες του 5G να ξεπερνούν τα 1,7 δισεκατομμύρια, και έτσι να αποτελούν το 25% της παγκόσμιας αγοράς τεχνολογίας κινητής τηλεφωνίας. Και στα προηγούμενα δίκτυα, αλλά και στο συγκεκριμένο, μικρές γεωγραφικές περιοχές, οι οποίες εξυπηρετούνται από αυτά, ονομάζονται κυψέλες. Σε καθεμία από αυτές, οι ασύρματες 5G συσκευές που υπάρχουν συνδέονται με το διαδίκτυο και το τηλεφωνικό δίκτυο, με την βοήθεια ραδιοκυμάτων, μέσω τοπικής κεραιάς στην κυψέλη, με αποτέλεσμα τις υψηλότερες ταχύτητες λήψης. Εκτός αυτού όμως, διαθέτει υψηλότερο εύρος ζώνης, με αποτέλεσμα την ικανότητα για σύνδεση περισσότερων διαφορετικών συσκευών. Ο συνδυασμός υψηλών ταχυτήτων συνδεσιμότητας, της μικρής καθυστέρησης, αλλά και της ευρείας κάλυψης, το καθιστά ιδανικό για την χρήση σε IoT εφαρμογές.

3.5.3 Narrowband (NB) IoT

Το Narrowband IoT, αποτελεί μια τεχνολογία ευρείας περιοχής χαμηλής κατανάλωσης δικτύου (LPWAN), η οποία συναντάται σε συσκευές και υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας. Είναι ιδανική τεχνολογία για κάλυψη εσωτερικών χώρων, αφού λειτουργεί σχεδόν παντού, έχει χαμηλό κόστος, και μπορεί με εύκολο τρόπο να ενσωματωθεί στο ήδη υπάρχον κυψελωτό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Αποτελεί μια ασφαλή και αξιόπιστη τεχνολογία, λόγω του αδειοδοτημένου φάσματος στο οποίο λειτουργεί. Το NB – IoT, είναι κατάλληλο για εφαρμογές οι οποίες απαιτούν την μετάδοση μικρών ποσοτήτων δεδομένων, για μεγάλη χρονική διάρκεια.

3.5.4 LTE – M

Το LTE – M ή αλλιώς LTE – MTC (Long Term Evolution Machine Type Communication), πρόκειται για ακόμη μια τεχνολογία δικτύωσης LPWA, η οποία αποδίδει επαρκείς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, και είναι ιδανική για χρήση σε IoT εφαρμογές, καθώς επίσης καλύπτει και τις ανάγκες των M2M επικοινωνιών. Επίσης, αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης κυψελωτής τεχνολογίας αποτελούν, τα επίπεδα ενεργειακής της κατανάλωσης τα οποία είναι αρκετά χαμηλά, η πλήρης κινητικότητα, καθώς επίσης η κάλυψη που παρέχει στο εσωτερικό των κτηρίων, η οποία συγκριτικά με άλλες κυψελωτές τεχνολογίες, είναι καλύτερη.

3.6 Low Power Wide Area Network

Όσον αφορά το δίκτυο ευρείας περιοχής χαμηλής κατανάλωσης, πρόκειται για έναν τύπο ασύρματου δικτύου τηλεπικοινωνιών ευρείας περιοχής, ο οποίος έχει την δυνατότητα για κάλυψη μεγάλων γεωγραφικών περιοχών, χωρίς να την περιορίζει η απόσταση μεταξύ των σημείων, και επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας, με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Λόγω του χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων, και σε σπάνιες χρονικές περιόδους, αποτέλεσμα είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, των συσκευών LPWAN. Σε αντίθεση με παραδοσιακές ασύρματες τεχνολογίες, οι LPWAN λύσεις απαιτούν μικρότερο αριθμό σημείων πρόσβασης ανά περιοχή.

3.6.1 LoRa / LoRaWAN

Το LoRa είναι ακόμα μια ασύρματη τεχνολογία της οποίας ρόλος είναι να κωδικοποιεί πληροφορίες για ραδιοκύματα, με την χρήση συγκεκριμένων παλμών. Μπορεί να γίνει χρήση της LoRa για κάλυψη μεγάλων αποστάσεων, καθώς επίσης σημαντικό χαρακτηριστικό της αποτελεί το γεγονός ότι είναι ανθεκτική στις διαταραχές. Αν συγκρίνουμε την συγκεκριμένη τεχνολογία, με άλλες ασύρματες τεχνολογίες όπως το Wi-Fi, το Bluetooth, ή το ZigBee, παρατηρούμε ότι η πρώτη, έχει την δυνατότητα για μετάδοση δεδομένων σε μεγαλύτερη εμβέλεια, καθώς επίσης αποτελεί κατάλληλη τεχνολογία για εφαρμογές οι οποίες μεταδίδουν μικρά κομμάτια δεδομένων, με χαμηλούς ρυθμούς.

Με βάση το LoRa, διαμορφώθηκε ένα πρωτόκολλο επιπέδου ελέγχου πρόσβασης μέσω, το LoRaWAN. Το LoRaWAN είναι σε θέση να αποφασίζει τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιείται η τεχνολογία LoRa από τις συσκευές, καθώς επίσης και την αρχιτεκτονική του συστήματος.

Σε συνδυασμό, το LoRa μαζί με το LoRaWAN, αποτελούν ένα πρωτόκολλο δικτύωσης χαμηλής ισχύος και ευρείας περιοχής, το οποίο έχει δημιουργηθεί για να πραγματοποιεί την ασύρματη σύνδεση μεταξύ συσκευών. Επίσης, χρησιμοποιείται σε εφαρμογές IoT, αφού είναι ευρείας εμβέλειας και εξυπηρετεί τις ανάγκες των εφαρμογών αυτών. Ανάγκες αποτελούν η εξοικονόμηση ενέργειας, το χαμηλό κόστος, η κινητικότητα και ο εντοπισμός, η ασφάλεια και αξιοπιστία, καθώς και η αμφίδρομη επικοινωνία.

3.6.2 Χαρακτηριστικά του LoRaWAN

- Χαμηλή ισχύς: Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας των συσκευών LoRaWAN μπορεί να φτάσει τα 10 χρόνια, χάρη στην ικανότητα τους για λειτουργία με χαμηλή κατανάλωση.
- Μεγάλη εμβέλεια: Η ανταλλαγή δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μεγάλες αποστάσεις, όπως για παράδειγμα άνω των 10 χιλιομέτρων σε αραιοκατοικημένες περιοχές, και έως 3 χιλιόμετρα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.
- Χρήση σε εσωτερικούς χώρους: Οι δυνατότητες των δικτύων LoRaWAN είναι τέτοιες που μπορούν να καλύπτουν ένα ολόκληρο πολυώροφο κτήριο, καθώς και το εσωτερικό του.
- Μη αδειοδοτημένο φάσμα: Δεν απαιτείται άδεια φάσματος συχνοτήτων για την ανάπτυξη δικτύου LoRaWAN.
- Ανάπτυξη: Η ανάπτυξη του LoRaWAN είναι εύκολη, τόσο για δημόσια, όσο και για ιδιωτικά δίκτυα, χρησιμοποιώντας το ίδιο υλικό.
- Ασφάλεια: Παρέχεται απόλυτη ασφάλεια στην επικοινωνία ανάμεσα στον διακομιστή και στην τελική συσκευή με την χρήση κρυπτογράφησης.

- Χαμηλό κόστος: Διατίθεται λογισμικό ανοιχτού κώδικα, καθώς επίσης η απαιτούμενη υποδομή είναι ελάχιστη και χαμηλού κόστους.¹⁹

3.7 Πρωτόκολλα επικοινωνίας IoT

Παρακάτω θα αναλύσουμε μερικά από τα σημαντικότερα πρωτόκολλα τα οποία χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία σε εφαρμογές IoT. Συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν τα: Message Queue Telemetry Transport (MQTT), HyperText Transfer Protocol (HTTP), Constrained Application Protocol (CoAP).

3.7.1 Message Queue Telemetry Transport (MQTT)

Το MQTT, πρόκειται για ένα πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων, με σκοπό την μετάδοση δεδομένων σε απομακρυσμένες περιοχές, το οποίο προορίζεται για περιορισμένο αριθμό συσκευών με επίσης περιορισμένο εύρος ζώνης. Αυτό, κάνει το MQTT να είναι το ιδανικό πρωτόκολλο για την επικοινωνία και την ανταλλαγή μηνυμάτων και δεδομένων μεταξύ πολλών συσκευών IoT.

Η επικοινωνία μέσω του πρωτοκόλλου αυτού, έχει την μορφή συστήματος δημοσίευσης και εγγραφής. Συσκευές του συστήματος αναρτούν συγκεκριμένα μηνύματα, και όλες οι συσκευές οι οποίες είναι συνδεδεμένες, λαμβάνουν τα μηνύματα που αναρτήθηκαν.

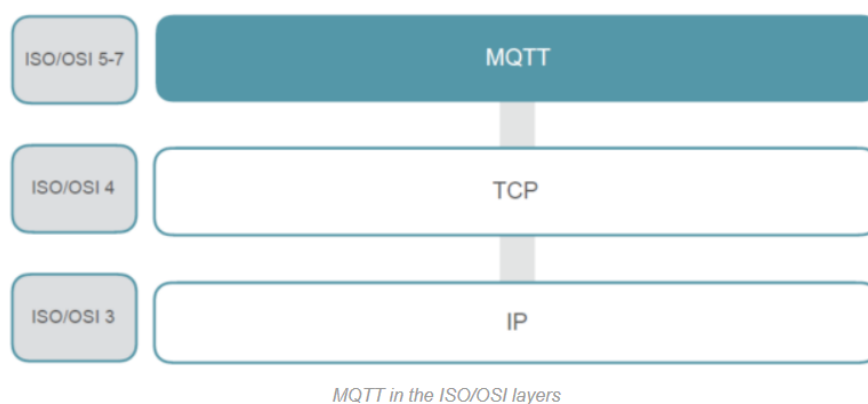
3.7.1.1 Χαρακτηριστικά πρωτοκόλλου MQTT

Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου MQTT, αποτελούν τα παρακάτω:

- Αποτελεί ασύγχρονο πρωτόκολλο.
- Τα μηνύματα που αποστέλλονται είναι συμπαγή.
- Είναι ικανό να λειτουργεί ακόμα και σε συνθήκες αστάθειας της σύνδεσης της γραμμής μετάδοσης των δεδομένων.
- Υπάρχει δυνατότητα υποστήριξης επιπέδων ποιότητας υπηρεσιών (QoS).
- Νέες συσκευές ενσωματώνονται με αρκετά εύκολο τρόπο.

¹⁹ A. Triantafyllou, P. Sarigiannidis and T. D. Lagkas, "Network Protocols, Schemes, and Mechanisms for Internet of Things (IoT): Features, Open Challenges, and Trends," 2018

Το πρωτόκολλο MQTT, βρίσκεται στο επίπεδο εφαρμογής πάνω από το πρωτόκολλο TCP / IP, και ως προεπιλογή χρησιμοποιείται η θύρα 1883.



Εικόνα 3.5: Επίπεδο εφαρμογής πρωτοκόλλου επικοινωνίας MQTT

3.7.1.2 Publish / Subscribe

Πρωταγωνιστές στο πρωτόκολλο MQTT, για την ανταλλαγή μηνυμάτων, αποτελούν ο Client και ο Broker. Ο πρώτος, κατέχει τον ρόλο είτε του Publisher των μηνυμάτων, είτε του Subscriber αυτών. Παράδειγμα για τον δεύτερο, αποτελεί το Mosquitto MQTT. Συγκεκριμένα, σε ένα τέτοιο σύστημα, το οποίο ορίζεται ως Publish/Subscribe, υπάρχει η δυνατότητα για μια συσκευή να στείλει σε Broker MQTT, ένα μήνυμα για ένα ορισμένο θέμα (publish), ενώ αντίστοιχα μια συσκευή λαμβάνει διάφορα μηνύματα από Publishers, ανάλογα όμως με την εγγραφή τους σε αντίστοιχα θέματα. Τέτοια μηνύματα μπορεί να είναι ορισμένες πληροφορίες οι οποίες επιθυμούμε να μεταδοθούν από συσκευή σε συσκευή, ή μια εντολή, καθώς επίσης τέτοια μηνύματα μπορεί να αποτελούν για παράδειγμα οι μετρήσεις που παίρνει κάποιος αισθητήρας. Οι τύποι ορισμένων μηνυμάτων, που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών MQTT με τον Broker, αναφέρονται παρακάτω.

Βασικοί τύποι μηνυμάτων:

- Connect: Δημιουργία σύνδεσης με Broker.
- Disconnect: Διακοπή σύνδεσης με Broker.
- Publish: Δημοσίευση δεδομένων ορισμένου θέματος μέσα στον Broker.
- Subscribe: Εγγραφή σε ορισμένο θέμα στον Broker.
- Unsubscribe: Διαγραφή θέματος.

3.7.1.3 Θέματα (Topics)

Σημαντική έννοια, και απαραίτητη προϋπόθεση για την αποτελεσματική χρήση του πρωτοκόλλου MQTT, αποτελούν τα θέματα ή Topics. Τα θέματα είναι ορισμένοι χαρακτήρες οι οποίοι είναι κωδικοποιημένοι, και

συγκεκριμένα με κωδικοποίηση UTF-8. Τα θέματα χρησιμοποιούν την μορφή δέντρου, κάνοντας έτσι ευκολότερη την οργάνωση και την πρόσβαση στα δεδομένα. Με την χρήση των θεμάτων, δηλώνεται από τον χρήστη, το ενδιαφέρον για τα μηνύματα που λαμβάνονται, ή επίσης επιτυγχάνεται προσδιορισμός του μηνύματος που επιθυμεί να δημοσιεύσει. Τα θέματα χωρίζονται σε ένα ή και περισσότερα επίπεδα. Το κάθε επίπεδο χωρίζεται από το άλλο με το σύμβολο «/».

Παρακάτω ακολουθεί ένα παράδειγμα ορισμένου θέματος, στο οποίο δημοσιεύονται δεδομένα για τον Broker, από αισθητήρα θερμοκρασίας, ο οποίος είναι τοποθετημένος στο υπνοδωμάτιο:

/home/living-space/living-room1/temperature

Για περισσότερες δυνατότητες προς τον χρήστη, καθώς και για την ευκολία του, έγινε η δημιουργία wildcards. Με την χρήση wildcards, ο χρήστης μπορεί να λαμβάνει δεδομένα από περισσότερα από ένα θέμα. Οι τύποι wildcards που υπάρχουν, χωρίζονται σε ενός επιπέδου και σε πολυεπίπεδο. Το wildcard ενός επιπέδου χρησιμοποιεί το σύμβολο «+», ενώ το πολυεπίπεδο wildcard, το σύμβολο «#».

Παρουσιάζεται παράδειγμα για την καλύτερη κατανόηση, wildcard ενός επιπέδου, στο οποίο λαμβάνουμε δεδομένα θερμοκρασίας από όλα τα υπνοδωμάτια:

/home/living-space+/temperature

Αποτέλεσμα αυτού αποτελούν τα παρακάτω:

/home/living-space/living-room1/temperature

/home/living-space/living-room2/temperature

/home/living-space/living-room3/temperature

Παρακάτω επεξηγείται παράδειγμα πολυεπίπεδου wildcard, στο οποίο λαμβάνουμε δεδομένα από τους αισθητήρες οι οποίοι υπάρχουν σε όλα τα υπνοδωμάτια:

/home/living-space/#

Αποτέλεσμα αυτού αποτελούν τα παρακάτω:

/home/living-space/living-room1/light1

/home/living-space/ living-room1/light2

/home/living-space/ living-room1/humidity

/home/living-space/ living-room1/temperature

/home/living-space/living-room2/light1

/home/living-space/ living-room2/light2

/home/living-space/ living-room2/humidity

/home/living-space/ living-room2/temperature

3.7.1.4 Broker

Ακόμη μια σημαντική έννοια για την ορθή λειτουργία του πρωτοκόλλου MQTT, αποτελεί αυτή του Broker. Ρόλος του Broker είναι να λαμβάνει όλα τα μηνύματα, να τα φιλτράρει, και τέλος να αποφασίζει για το ποιος ενδιαφέρεται για τα συγκεκριμένα μηνύματα, ώστε να τα δημοσιεύσει σε όλους τους clients, οι οποίοι είναι εγγεγραμμένοι.

Υπάρχει πλήθος από Brokers που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε. Πιο συγκεκριμένα, για έργα τα οποία είναι οικιακού αυτοματισμού, συνήθως χρησιμοποιείται το Mosquitto Broker, το οποίο υπάρχει εγκατεστημένο σε RaspberryPi. Ο συγκεκριμένος Broker, μπορεί να εγκατασταθεί και στον προσωπικό υπολογιστή του χρήστη, κάτι το οποίο όμως δεν είναι τόσο βολικό, διότι θα πρέπει να παραμένει ο υπολογιστής σε λειτουργία μόνιμα, για να διατηρείται η σύνδεση MQTT, ανάμεσα στις συσκευές.

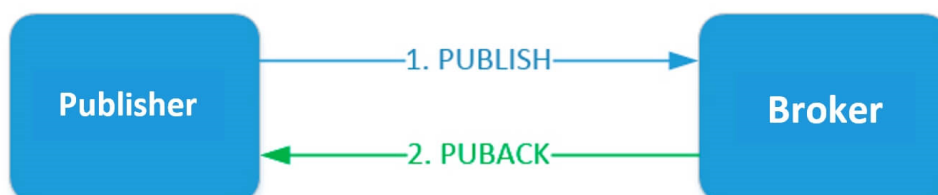
3.7.1.5 Ποιότητα εξυπηρέτησης στο πρωτόκολλο MQTT (QoS)

Υπάρχουν τρία επίπεδα ποιότητας εξυπηρέτησης (QoS) κατά την αποστολή μηνυμάτων, που υποστηρίζει το MQTT πρωτόκολλο, τα οποία και παρουσιάζονται παρακάτω:

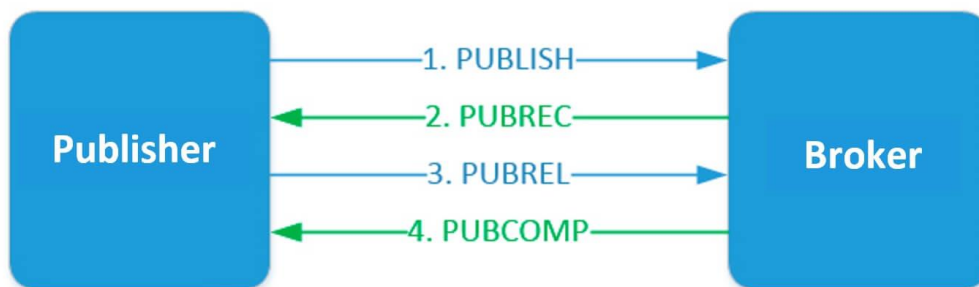
- QoS 0 At most once: Στο συγκεκριμένο επίπεδο, πραγματοποιείται αποστολή μηνύματος από τον Publisher στον Broker, μόνο μια φορά, και δεν περιμένει να λάβει πίσω κάποια απάντηση.



- QoS 1 At least once: Στο επίπεδο αυτό, είναι εγγυημένη η παράδοση του μηνύματος στον Broker, με την επανάληψη των μηνυμάτων από τον Publisher να είναι εφικτή. Ο Broker με την σειρά του, στέλνει το μήνυμα στους Subscribers, και επιβεβαιώνει στον Publisher την παραλαβή του μηνύματος. Αν δεν λάβει πίσω ο Publisher το μήνυμα επιβεβαίωσης PUBACK από τον Broker, θα κάνει ξανά την προσπάθεια του για αποστολή του μηνύματος.



- QoS 2 Exactly once: Στο συγκεκριμένο επίπεδο, είναι σίγουρη η παράδοση του μηνύματος στον Subscriber, χωρίς να πραγματοποιείται αποστολή αντιγράφων. Πραγματοποιείται αποστολή μηνύματος από τον Publisher, το οποίο περιέχει ένα μοναδικό πακέτο ID. Το συγκεκριμένο μήνυμα, που δεν έχει αναγνωρισθεί, αποθηκεύεται από τον Publisher, σε περίπτωση που δεν λάβει απάντηση PUBREC από τον Broker, το οποίο PUBREC μήνυμα, διαθέτει το ίδιο πακέτο ID. Ο Broker καλείται να αποθηκεύσει αντίγραφο του μηνύματος αυτού, έως ότου λάβει PUBREL. Μόλις το λάβει, γίνεται διαγραφή του αντιγράφου και γίνεται αποστολή μηνύματος PUBCOMP στον Publisher, για την ολοκλήρωση της συναλλαγής.²⁰

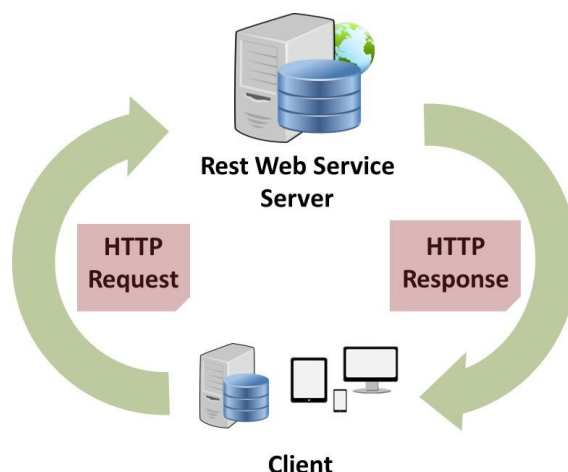


3.7.2 HyperText Transfer Protocol (HTTP)

Το Πρωτόκολλο μεταφοράς υπερκειμένου, ή HTTP αποτελεί το μέσο για την μεταφορά αρχείων, όπως εικόνες, βίντεο, ήχοι και άλλα πολυμέσα, μέσω του ιστού. Με το άνοιγμα του προγράμματος περιήγησης από τον χρήστη, αρχίζει και χρησιμοποιείται το HTTP. Είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο βασίζεται στο TCP/IP, το οποίο αποτελεί την βάση του διαδικτύου.

Με το πρωτόκολλο HTTP, ανταλλάζονται δεδομένα μεταξύ συσκευών clients και διακομιστών (server), μέσω του διαδικτύου. Πραγματοποιείται επικοινωνία μεταξύ συσκευών clients και διακομιστών, με αίτημα των clients για τους πόρους οι οποίοι είναι απαραίτητοι για τη φόρτωση μιας ιστοσελίδας, και με απάντηση των διακομιστών σε αυτούς για την εκπλήρωση των αιτημάτων. Όλες οι απαντήσεις και τα αιτήματα συλλέγονται από ένα πρόγραμμα περιήγησης, με σκοπό την εμφάνιση όλου του αρχείου της ιστοσελίδας. Ο διακομιστής περιέχει ένα πρόγραμμα με το οποίο γίνεται ο χειρισμός των αιτημάτων, όταν εκείνα φτάσουν. HTTP Client αποτελεί ένα πρόγραμμα περιήγησης Ιστού, το οποίο στέλνει αιτήματα σε διακομιστές. Με την εισαγωγή αιτημάτων αρχείων, για παράδειγμα με το άνοιγμα ενός αρχείου Ιστού πληκτρολογώντας μια διεύθυνση URL, δημιουργείται ένα αίτημα HTTP από το πρόγραμμα περιήγησης, και ύστερα αποστέλλεται στην διεύθυνση Πρωτοκόλλου Διαδικτύου (IP) η οποία υποδεικνύεται από την συγκεκριμένη διεύθυνση URL. Ο διακομιστής με τη σειρά του λαμβάνει το αίτημα, και απαντά με το ανάλογο αρχείο που ζητήθηκε ή με αρχεία τα οποία σχετίζονται με το αίτημα.

²⁰ What is MQTT and How It Works, RANDOM NERD TUTORIALS



Εικόνα 3.6: Πρωτόκολλο επικοινωνίας HTTP

3.7.2.1 HTTPS

Το HTTPS ή αλλιώς αναφερόμενο και ως HTTP μέσω TLS είτε ως HTTP μέσω SSL, πρόκειται για μια επέκταση του HTTP η οποία αφορά την ασφάλεια στην επικοινωνία μέσω δικτύου υπολογιστών στο διαδίκτυο. Πραγματοποιείται κρυπτογράφηση και αποκρυπτογράφηση των αιτημάτων σελίδων HTTP, αλλά και ότι επιστρέφεται από τον διακομιστή ιστού, ενώ παρέχει προστασία υποκλοπών και επιθέσεων Man in the Middle (MitM). Η κρυπτογράφηση πραγματοποιείται με την χρήση Transport Layer Security (TLS), ή Secure Sockets Layer (SSL), το οποίο χρησιμοποιούνταν τα παλαιότερα χρόνια κυρίως.

3.7.2.2 Αιτήματα και Απαντήσεις (Requests and Responses) HTTP

Όλες οι αλληλεπιδράσεις που πραγματοποιούνται ανάμεσα στον server και τον client, αποκαλούνται ως μηνύματα, τα οποία αφορούν αιτήματα ή απαντήσεις. Οι συσκευές clients θέτουν αιτήματα HTTP στους servers, και εκείνοι με την σειρά τους απαντούν με απαντήσεις HTTP πίσω σε αυτούς.

Αιτήματα (Requests) HTTP. Τα συγκεκριμένα αιτήματα, τα ζητά μια συσκευή client, όπως για παράδειγμα ένα πρόγραμμα περιήγησης στο διαδίκτυο, από τον server, για αποστολή πληροφοριών που απαιτούνται για την φόρτωση του ιστότοπου. Στο αίτημα περιλαμβάνονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες, και μεταδίδονται στον διακομιστή, ώστε να απαντήσει πίσω στην συσκευή client. Τέλος, τα δεδομένα που περιλαμβάνει το κάθε αίτημα είναι κωδικοποιημένα.

Απαντήσεις (Responses) HTTP. Οι απαντήσεις HTTP, αφορούν τα δεδομένα τα οποία λαμβάνονται από τις συσκευές client από τον διακομιστή. Με τον όρο απάντηση ή response HTTP εννοούμε την απάντηση του διακομιστή σε ένα αίτημα HTTP. Ανάλογα με το αίτημα που έλαβε ο διακομιστής, και τις πληροφορίες τις οποίες άντλησε μέσα από αυτό, προσαρμόζεται και η απάντηση HTTP.

3.7.2.3 Κωδικοί Κατάστασης

Αρκετές είναι οι περιπτώσεις, στις οποίες οι διακομιστές εκδίδουν ορισμένους κωδικούς, με διαφορετική σημασία μεταξύ τους. Μερικοί από τους πιο συνηθισμένους είναι:

- 200 OK: Με τον συγκεκριμένο κωδικό, ενημερωνόμαστε για κάποιο αίτημα όπως GET ή POST, ότι λειτούργησε και πραγματοποιείται.
- 300 Moved Permanently: Αυτός ο κωδικός μας προειδοποιεί, για την οριστική αλλαγή της διεύθυνσης URL που αναζητήσαμε.
- 401 Unauthorised: Με αυτόν τον κωδικό, ενημερωνόμαστε για τον χρήστη ο οποίος υποβάλει το αίτημα, ότι δεν έχει επαληθευτεί.
- 403 Forbidden: Το συγκεκριμένο μήνυμα, μας ενημερώνει ότι είναι γνωστή η ταυτότητα του client, αλλά δεν διαθέτει εξουσιοδότηση πρόσβασης.
- 404 Not Found: Ο συγκεκριμένος κωδικός, αποτελεί τον πιο συνηθισμένο κωδικό σφάλματος. Αιτία αυτού του σφάλματος, αποτελεί η αδυναμία για αναγνώριση της συγκεκριμένης διεύθυνσης URL που αναζητήθηκε.
- 500 Internal Server Error: Η προειδοποίηση αυτού του σφάλματος είναι ότι αντιμετωπίστηκε κάποια κατάσταση από τον διακομιστή, ο οποίος δεν γνωρίζει πως να την χειριστεί.

3.7.2.4 Διακομιστές Μεσολάβησης (Proxies)

Ενδιάμεσα στον διακομιστή και σε μια συσκευή client, υπάρχουν διακομιστές επιπέδου εφαρμογής, υπολογιστές ή και άλλα μηχανήματα, όπου το σύνολο αυτών αποτελούν τους διακομιστές μεσολάβησης. Ρόλος τους είναι η αναμετάδοση των αιτημάτων και των απαντήσεων HTTP, μεταξύ του διακομιστή και του client, όπου υπάρχει ένας ή και περισσότεροι διακομιστές μεσολάβησης για την αλληλεπίδραση αυτή. Ένας διακομιστής Proxy μπορεί να είναι είτε διαφανής, είτε αδιαφανής. Η πρώτη κατηγορία αυτών των διακομιστών, αποστέλλουν απευθείας το αίτημα του client στον διακομιστή, χωρίς να πραγματοποιήσουν τροποποίηση πάνω σε αυτό. Σε αντίθεση, η δεύτερη κατηγορία, δηλαδή οι αδιαφανείς διακομιστές, θα τροποποιήσουν το αίτημα, και ύστερα θα το προωθήσουν. Επίσης, οι διακομιστές αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται και για την αύξηση της ταχύτητας ανάκτησης του διακομιστή.

Ακόμα, οι διακομιστές μεσολάβησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τα παρακάτω:

- Caching: Μπορεί να πραγματοποιηθεί αποθήκευση ιστοσελίδων ή άλλου περιεχομένου Διαδικτύου, μέσω των διακομιστών προσωρινής μνήμης, για την γρηγορότερη ανάκτηση περιεχομένου, καθώς και για την ελαχιστοποίηση της ζήτησης για το εύρος ζώνης του ιστότοπου.
- Authentication: Η πρόσβαση σε εφαρμογές και σε διαδικτυακές πληροφορίες, ελέγχεται μέσω της αυθεντικοποίησης.
- Logging: Παρέχεται η δυνατότητα για απομνημόνευση διάφορων ιστορικών δεδομένων, όπως για παράδειγμα οι διευθύνσεις IP όλων των clients, οι οποίοι έχουν στείλει αιτήματα στον διακομιστή.
- Web Filtering: Η ασφάλεια, εξασφαλίζεται με το φιλτράρισμα ιστού, αφού πραγματοποιείται έλεγχος πρόσβασης σε όσες ιστοσελίδες μοιάζουν ύποπτες, ή περιλαμβάνουν ακατάλληλο περιεχόμενο, και πιθανά να την θέσουν σε κίνδυνο.

- Load Balancing: Η εξυπηρέτηση των αιτημάτων που θέτουν οι clients, πραγματοποιείται από πλήθος διακομιστών, και όχι μόνο από έναν.²¹

3.7.3 Constrained Application Protocol (CoAP)

Το Πρωτόκολλο Περιορισμένης Εφαρμογής, με αγγλική ορολογία Constrained Application Protocol ή CoAP σε συντομία, είναι ένα από τα συνηθισμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας για IoT εφαρμογές. Συγκεκριμένα, αποτελεί ένα εξειδικευμένο πρωτόκολλο εφαρμογής Διαδικτύου, για περιορισμένες συσκευές, οι οποίες αυτές συσκευές ονομάζονται κόμβοι και λειτουργία τους είναι η επικοινωνία με το ευρύτερο Διαδίκτυο, με την χρήση παρόμοιων πρωτοκόλλων. Η χρήση του πραγματοποιείται ανάμεσα σε συσκευές του ίδιου περιορισμένου δικτύου, μεταξύ συσκευών και κόμβων στο Διαδίκτυο, καθώς και ανάμεσα σε συσκευές σε διαφορετικά δίκτυα. Τα SMS αποτελούν ακόμη μια χρήση του πρωτοκόλλου αυτού. Το πρωτόκολλο CoAP, χρησιμοποιείται σε συσκευές Διαδικτύου με περιορισμένους πόρους, καθώς επίσης η σχεδίασή του είναι τέτοια η οποία επιτρέπει την μετάφραση του με εύκολο τρόπο σε HTTP. Οι απαιτήσεις σε κόστος είναι αρκετά χαμηλές, υποστηρίζει πολλαπλή εκπομπή, και το χαρακτηρίζει η απλότητα, χαρακτηριστικά τα οποία είναι απαραίτητα για την επικοινωνία στο IoT.

Το CoAP είναι πρωτόκολλο της μορφής client – server. Οι clients μπορούν να υποβάλουν αίτημα για μεταφορά ιστού (web transfer), ενώ παρέχει την δυνατότητα στους διακομιστές για ανταπόκριση στα ληφθέντα αιτήματα. Σε ένα οικοσύστημα IoT, η επικοινωνία των συσκευών κόμβων, πραγματοποιείται μόνο μέσω του πρωτοκόλλου CoAP.

Το CoAP έχει ίδιο τρόπο λειτουργίας με το HTTP, αλλά το πρώτο επιτυγχάνει την λειτουργικότητά του μέσω ασύγχρονων συναλλαγών, με την χρήση UDP. Μεταχειρίζεται κλήσεις όπως POST, GET, PUT, DELETE.

3.7.3.1 Αρχιτεκτονική CoAP

Βασικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής του πρωτοκόλλου CoAP, αποτελούν το WWW καθώς και το οικοσύστημα περιορισμών. Η επικοινωνία επιτυγχάνεται με την βοήθεια του διακομιστή, χρησιμοποιώντας το CoAP, καθώς και το HTTP, ενώ οι συσκευές μεσολάβησης καλύπτουν το χάσμα αυτών των δυο οικοσυστημάτων, κάνοντας ομαλότερη την επικοινωνία. Επίσης, το CoAP παρέχει την δυνατότητα στους HTTP Clients για συνομιλία και ανταλλαγή δεδομένων και πληροφοριών μεταξύ τους.

Για την καλύτερη κατανόηση της αρχιτεκτονικής, είναι σημαντική η εξοικείωση με ορισμένους βασικούς όρους:

- Κόμβους αποτελούν τα τελικά σημεία, για τα οποία γνωρίζει ο κεντρικός υπολογιστής.
- Η αποστολή και η απάντηση αιτημάτων, πραγματοποιούνται από τον Client.

²¹ An overview of HTTP, mdn web docs, 2023

- Γίνεται λήψη και προώθηση αιτημάτων από τον διακομιστή, ενώ ακόμα λήψη και προώθηση πραγματοποιείται στα μηνύματα τα οποία έλαβε σαν απάντηση στα αιτήματα τα οποία επεξεργάστηκε.
- Δημιουργία και αποστολή του αρχικού μηνύματος από τον αποστολέα.
- Πληροφορίες οι οποίες στέλνονται από τον πελάτη ή προωθούνται από τον διακομιστή, καταλήγουν στον παραλήπτη.

3.7.3.2 Λειτουργία CoAP

Το πρωτόκολλο CoAP, λειτουργεί σαν μια μορφή HTTP για περιορισμένο αριθμό συσκευών, παρέχοντας την δυνατότητα σε εξοπλισμό όπως για παράδειγμα αισθητήρες και ενεργοποιητές, για επικοινωνία. Βασικό χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου αυτού είναι η αξιοπιστία που παρέχει σε χαμηλό εύρος ζώνης και υψηλή συμφόρηση, μέσω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και της χαμηλής επιβάρυνσης δικτύου. Μεγάλο πλεονέκτημα για το CoAP, αποτελεί το γεγονός ότι σε περιπτώσεις δικτύων με μεγάλη συμφόρηση ή περιορισμένη συνδεσιμότητα, μπορεί να ανταπεξέλθει και να συνεχίσει την λειτουργία του. Σε αντίθεση με πρωτόκολλα όπως το MQTT, που βασίζονται σε TCP, αποτυγχάνουν να πραγματοποιήσουν επικοινωνία και να ανταλλάξουν πληροφορίες.

Ακόμα, λόγω των χαρακτηριστικών του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου, επιτρέπεται σε συσκευές οι οποίες λειτουργούν με κακή ποιότητα σήματος, να αποστέλλονται αξιόπιστα τα δεδομένα τους.

3.7.3.3 Ασφάλεια CoAP

Εφόσον ασχολούμαστε με τα πρωτόκολλα επικοινωνίας IoT, σίγουρα δεν μπορεί να λείπει και η ασφάλεια. Το κάθε πρωτόκολλο χρησιμοποιεί ορισμένα χαρακτηριστικά ασφαλείας. Το CoAP για παράδειγμα, πραγματοποιεί την μεταφορά πληροφοριών με την χρήση UDP, οπότε βασίζεται σε χαρακτηριστικά ασφαλείας UDP. Από προεπιλογή, το πρωτόκολλο αυτό είναι δεσμευμένο στο UDP και προαιρετικά στο DTLS, παρέχοντας έτσι υψηλά επίπεδα ασφαλείας επικοινωνιών.²²

²² CoAP Protocol Definition, Wallarm

Κεφάλαιο 4: Μικροελεγκτές

Απαραίτητη προϋπόθεση ώστε να επιτευχθεί η τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), είναι να υπάρχει σύνδεση μεταξύ των πραγμάτων. Πιο απλά, το Internet of Things χαρακτηρίζεται ως μια ανάπτυξη του διαδικτύου, όπου τα αντικείμενα αποκτούν συνδεσιμότητα στο δίκτυο, δίνοντάς τους την δυνατότητα να επικοινωνούν και να ανταλλάσσουν δεδομένα. Στην περίπτωση του συστήματος αυτού, αλλά και όλων των έξυπνων αντικειμένων, συσκευές οι οποίες ονομάζονται μικροελεγκτές ή MCU, καθοδηγούν την υπολογιστική ικανότητα. Πιο συγκεκριμένα, οι MCU έχουν τον έλεγχο λειτουργίας έξυπνων συσκευών παρέχοντας επεξεργαστική ισχύ, μνήμη και περιφερειακά εισόδου/εξόδου.

4.1 Μικροελεγκτές

Ως μικροελεγκτή, ορίζουμε έναν τύπο επεξεργαστή, ο οποίος αποτελείται από ένα ή περισσότερα ενσωματωμένα υποσυστήματα, διασφαλίζοντας την ορθή λειτουργία του και δίνοντας την ευκαιρία σύνδεσης και επικοινωνίας με διάφορα εξωτερικά αντικείμενα. Η χρήση των μικροελεγκτών είναι ευρέως διαδεδομένη στην αγορά, λόγω του χαμηλού κόστους αγοράς τους αλλά και όχι μόνο. Αυτό αποτελεί και ένα βασικό πλεονέκτημα των μικροελεγκτών σε αντίθεση με άλλους επεξεργαστές. Οι μειωμένες εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών και η μεγάλη ανοχή σε παρεμβολές από εξωτερικές ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές, κάνουν τους μικροελεγκτές ακόμα πιο ελκυστικούς στον χρήστη. Τα πολύπλοκα ενσωματωμένα υποσυστήματα τα οποία διαθέτουν, χαρίζουν στον μικροελεγκτή μέγιστη αυτονομία, κάνοντας τους ακόμα πιο ανταγωνιστικούς, δίνοντας τους την δυνατότητα να μπορούν να λειτουργούν με ελάχιστα εξωτερικά εξαρτήματα, χάρη σε αυτά.

4.1.1 Ποια είναι τα στοιχεία ενός μικροελεγκτή

Τα βασικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται ένας μικροελεγκτής, παρουσιάζονται παρακάτω:

- Επεξεργαστής (CPU): Σε μία συσκευή, τον πρωταρχικό ρόλο τον έχει ο επεξεργαστής, ο οποίος μπορεί να θεωρηθεί και ως ο εγκέφαλος της, αφού αυτός επεξεργάζεται όλες τις οδηγίες που κατευθύνουν την λειτουργία του μικροελεγκτή, καθώς επίσης εκτελεί αριθμητικές και λογικές λειτουργίες. Ακόμα, μέσω του επεξεργαστή μεταφέρονται δεδομένα σε άλλα στοιχεία του συστήματος.
- Μνήμη (Memory): Τα δεδομένα τα οποία λαμβάνει ο επεξεργαστής, τα οποία και χρησιμοποιεί ώστε να ακολουθεί τις απαραίτητες διεργασίες τις οποίες είναι προγραμματισμένος να εκτελεί, αποθηκεύονται στην μνήμη του μικροεπεξεργαστή. Αυτή η μνήμη του μικροεπεξεργαστή αποτελείται από δυο τύπους:
 - Μνήμη Προγράμματος: Πρόκειται για μια μνήμη η οποία αποθηκεύει πληροφορίες μακροπρόθεσμα. Όλες οι πληροφορίες που αποθηκεύονται στην συγκεκριμένη μνήμη, διατηρούνται με το πέρασμα του χρόνου, χωρίς να απαιτείται πηγή ενέργειας.

- Μνήμη Δεδομένων: Η συγκεκριμένη μνήμη, πραγματοποιεί την αποθήκευση των δεδομένων προσωρινά, δηλαδή για το χρονικό διάστημα εκτέλεσης των εντολών. Στην περίπτωση αυτή είναι απαραίτητη η σύνδεση της συσκευής σε πηγή ενέργειας για την διατήρησή τους.
- Περιφερειακές εισοδοί/έξοδοι (I/O): Ο επεξεργαστής διαθέτει συσκευές εισόδου και εξόδου, μέσω των οποίων πραγματοποιείται η επικοινωνία του με το περιβάλλον. Ρόλος των θυρών εισόδου είναι να λαμβάνουν τις πληροφορίες, και να τις μεταδίδουν στον επεξεργαστή, σε δυαδική μορφή. Εφόσον λάβει ο επεξεργαστής τα δυαδικά δεδομένα, εκείνος με τη σειρά του αποστέλλει τις απαιτούμενες οδηγίες στις συσκευές εξόδου, οι οποίες εκτελούν διεργασίες εκτός του μικροελεγκτή.

4.1.2 Συνήθη υποσυστήματα

Για την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου υπολογιστικού συστήματος, αλλά και για την ορθή λειτουργία του, χρειάζεται ένας μεγάλος αριθμός από εξωτερικά υποσυστήματα και περιφερειακά. Αναλυτικότερα κάποια από αυτά, είναι:

- Κύκλωμα συνδετικής λογικής (glue logic) με το οποίο υλοποιείται η σύνδεση των εξωτερικών μνημών, αλλά και άλλων περιφερειακών παράλληλης σύνδεσης στην αρτηρία δεδομένων του επεξεργαστή.
- Η μνήμη του προγράμματος (ROM, FLASH, EPROM), η οποία περιέχει το λογισμικό του συστήματος. Ορισμένα είναι τα μοντέλα που καθιστούν δυνατό το κλείδωμα αυτής της μνήμης, ύστερα από την εγγραφή της, για να παραμένει προστατευμένο το περιεχόμενό της.
- Το μεγάλο μέγεθος της μνήμης τυχαίας προσπέλασης ή μνήμης RAM.
- Η μόνιμη μνήμη αποθήκευσης παραμέτρων λειτουργίας (EEPROM, NVRAM), μπορεί να γράφεται στον πυρήνα του MCU. Συγκριτικά με την μνήμη FLASH, πλεονεκτεί διότι παρέχεται η δυνατότητα διαγραφής και εγγραφής οποιουδήποτε μεμονωμένου byte.
- Το κύκλωμα αρχικοποίησης (Reset).
- Ο διαχειριστής αιτήσεων διακοπής από τα περιφερειακά (interrupt request controller).
- Το κύκλωμα επιτήρησης τροφοδοσίας, το οποίο παρακολουθεί την τροφοδοσία και αρχικοποιεί το σύστημα, σε περίπτωση που πέσει κάτω από τα επιτρεπτά όρια, προλαμβάνοντας έτσι την αλλοίωση των δεδομένων.
- Το κύκλωμα επιτήρησης λειτουργίας, ρόλος του οποίου είναι η αρχικοποίηση του συστήματος σε περίπτωση δυσλειτουργίας, λόγω κολλήματος.
- Τοπικός ταλαντωτής για την παροχή παλμών χρονισμού.
- Το πλήθος των χρονιστών – απαριθμητών υψηλής ταχύτητας για την δημιουργία καθυστερήσεων, την μέτρηση διάρκειας γεγονότων, απαρίθμηση γεγονότων και άλλων λειτουργιών.
- Το ρολόι πραγματικού χρόνου (Real Time Clock, RTC), του οποίου η τροφοδοσία πραγματοποιείται από ανεξάρτητη μπαταρία, και για τον λόγο αυτό πρέπει η κατανάλωση ρεύματος να είναι αρκετά χαμηλή.
- Η σειρά ανεξάρτητων ψηφιακών εισόδων και εξόδων (Parallel Input – Output, PIO).
- Μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό (ADC), όπου ADC πρόκειται για ένα κύκλωμα το οποίο μετατρέπει τα αναλογικά σε ψηφιακά σήματα, καθώς επίσης παρέχει την δυνατότητα στον επεξεργαστή του μικροελεγκτή, για διασύνδεση με εξωτερικές αναλογικές συσκευές.

- Μετατροπέας ψηφιακού σε αναλογικό (DAC), ο οποίος εκτελεί την αντίστροφη λειτουργία ενός ADC, δίνοντας την δυνατότητα στον επεξεργαστή για αποστολή των εξερχομένων σημάτων του σε εξωτερικά αναλογικά στοιχεία.
- Δίαυλος συστήματος ορίζεται ως το καλώδιο το οποίο συνδέει όλα τα στοιχεία του μικροελεγκτή μεταξύ τους.
- Σειριακή θύρα, η οποία αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα θύρας I/O, η οποία παρέχει την δυνατότητα στον μικροελεγκτή για σύνδεση με εξωτερικά στοιχεία.

Γενικότερα, όλοι οι μικροελεγκτές διαθέτουν την πλειοψηφία των παραπάνω, με συγκεκριμένες εξαιρέσεις, και αυτές κυρίως στην ύπαρξη ή μη εσωτερικής μνήμης προγράμματος και στο είδος της. Συγκεκριμένα υπάρχουν:

- Μικροελεγκτές χωρίς μνήμη προγράμματος, ή αλλιώς ROM-less. Οι συγκεκριμένοι, διαθέτουν πάντοτε μια αρτηρία δεδομένων, στην οποία συνδέονται εξωτερικές μνήμες προγράμματος και RAM. Οι συγκεκριμένοι τύποι χρησιμοποιούνται κυρίως σε ισχυρά υπολογιστικά συστήματα ελέγχου, με μεγάλες απαιτήσεις μνήμης.
- Μικροελεγκτές με μνήμη ROM, διαθέτουν ιδιαίτερα χαμηλό κόστος, σε περίπτωση αγοράς πολύ μεγάλων ποσοτήτων.
- Μικροελεγκτές με μνήμη FLASH, οι οποίοι διαθέτουν την δυνατότητα για προγραμματισμό περισσότερες από μια φορές, καθιστώντας την, την πιο διαδεδομένη κατηγορία. Σημαντικό χαρακτηριστικό αποτελεί το γεγονός ότι ο προγραμματισμός της μνήμης πραγματοποιείται ακόμα και πάνω στο κύκλωμα της ίδιας την ενσωματωμένης εφαρμογής. Οι συγκεκριμένοι μικροελεγκτές, αντικατέστησαν τους παλαιότερους τύπους EPROM.

4.1.3 Πώς λειτουργούν

Ο έλεγχος των λειτουργιών σε μια συσκευή πραγματοποιείται από έναν μικροελεγκτή ο οποίος είναι ενσωματωμένος στο σύστημα. Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται με την αναγνώριση των δεδομένων που λαμβάνει ο μικροελεγκτής από τις ψηφιακές εισόδους/εξόδους (I/O), χρησιμοποιώντας τον κεντρικό επεξεργαστή. Στην συνέχεια, αποθηκεύονται προσωρινά οι πληροφορίες τις οποίες έχει λάβει ο μικροελεγκτής, στην μνήμη δεδομένων του. Ο επεξεργαστής με τη σειρά του, αφού έχει πρόσβαση σε αυτές, με την χρήση οδηγιών οι οποίες είναι αποθηκευμένες στην μνήμη του προγράμματος, πραγματοποιεί την αποκρυπτογράφηση και εφαρμόζει τα εισερχόμενα δεδομένα. Τα περιφερειακά I/O χρησιμοποιούνται για την επίτευξη των ενεργειών.

4.1.4 Χαρακτηριστικά μικροελεγκτών

4.1.4.1 Αρχιτεκτονική

Υπάρχουν δυο αρχιτεκτονικές που μπορεί να είναι βασισμένοι οι μικροελεγκτές. Η πρώτη πρόκειται για την αρχιτεκτονική του Χάρβαρντ (Harvard), ενώ η δεύτερη είναι η αρχιτεκτονική Φον Νόιμαν (Von Neumann), η οποία σχεδιάστηκε και πήρε το όνομά της από τον γνωστό μαθηματικό Τζον Φον Νόιμαν. Η διαφορά ανάμεσα σε αυτές τις δυο αρχιτεκτονικές, είναι ότι στην αρχιτεκτονική Φον Νόιμαν, η μνήμη έχει την δυνατότητα για αποθήκευση όλων των στοιχείων του προγράμματος, τα δεδομένα και τις οδηγίες, ενώ στην αρχιτεκτονική του Χάρβαρντ, η μνήμη διασπάται σε δυο, δηλαδή μια για τα δεδομένα και μια για τις οδηγίες.

4.1.4.2 RISC & CISC

Αρχιτεκτονική μειωμένου συνόλου εντολών (RISC): Στόχος των επεξεργασιών RISC είναι η απλοποίηση του υλικού, με την χρήση συνόλου εντολών αποτελούμενου από βασικά βήματα για την φόρτωση, την αξιολόγηση και την αποθήκευση λειτουργιών. Δεν μειώνεται απαραίτητα ο αριθμός των οδηγιών, αλλά με την χρήση αυτών. Με αυτό τον τρόπο ελαττώνονται οι κύκλοι ανά εντολή, αλλά αυξάνονται οι εντολές ανά πρόγραμμα.

Αρχιτεκτονική σύνθετου συνόλου εντολών (CISC): Στην περίπτωση των επεξεργασιών CISC, χρησιμοποιείται μια ενιαία εντολή για τις λειτουργίες φόρτωσης, αξιολόγησης και αποθήκευσης. Με την προσέγγιση CISC, μειώνεται ο αριθμός εντολών ανά πρόγραμμα, αλλά αυξάνει τον αριθμό των κύκλων ανά εντολή.

Αν και με δυο διαφορετικούς τρόπους, και οι δυο αρχιτεκτονικές RISC και CISC, προσπαθούν να επιτύχουν την μέγιστη απόδοση του επεξεργαστή. Γενικά, θεωρείται πως το RISC αποτελεί μια βελτίωση του CISC, λόγω της ύπαρξης ενός απλούστερου συνόλου εντολών.

Η κύρια διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στις δυο αυτές αρχιτεκτονικές, είναι στον αριθμό των κύκλων ρολογιού. Πιο συγκεκριμένα, στον επεξεργαστή CISC η καθεμία εντολή εκτελεί μεγάλο αριθμό ενεργειών, πράγμα το οποίο απαιτεί πολλούς κύκλους ρολογιού για την ολοκλήρωσή του, σε αντίθεση με την αρχιτεκτονική RISC που εκτελείται μια εντολή ανά κύκλο ρολογιού. Επίσης, στον επεξεργαστή RISC, το μέγεθος μνήμης σε κάθε εντολή είναι σταθερό, βοηθώντας στην αποκωδικοποίηση και την εκτέλεσή τους, ενώ στον CISC οι οδηγίες είναι μεταβλητού μήκους, πράγμα το οποίο αυξάνει τον χρόνο επεξεργασίας.

Οι κυριότερες διαφορές ανάμεσα στις δυο αρχιτεκτονικές παρουσιάζονται παρακάτω:

RISC	CISC
Έμφαση στο λογισμικό	Έμφαση στο υλικό
Μικρός αριθμός οδηγιών σταθερού μήκους	Μεγάλος αριθμός οδηγιών
Απλές και τυποποιημένες οδηγίες	Σύνθετες οδηγίες μεταβλητού μήκους
Οδηγίες ενός κύκλου ρολογιού	Οδηγίες αρκετών κύκλων ρολογιού
Έντονη χρήση της RAM	Αποτελεσματική χρήση της RAM

4.1.4.3 Γλώσσες προγραμματισμού

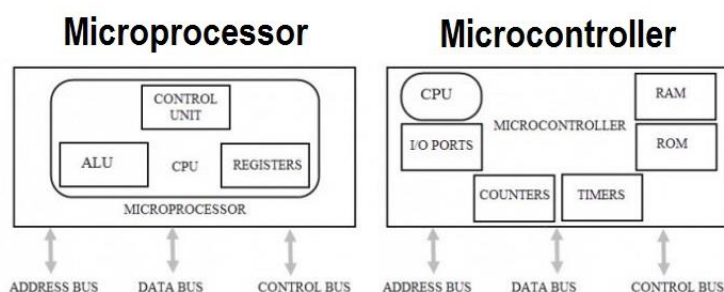
Μόλις πρωτοξεκίνησε η εμφάνιση και η διαθεσιμότητα των μικροελεγκτών, η γλώσσα η οποία χρησιμοποιούνταν για τον προγραμματισμό τους ήταν η Assembly. Με το πέρασμα των χρόνων αυτό άλλαξε και πλέον πιο διαδεδομένη γλώσσα προγραμματισμού των μικροελεγκτών αποτελούν οι C και C++ , καθώς και παραλλαγές αυτών. Σε ορισμένες περιπτώσεις συναντάται ακόμα χρήση της Assembly. Τα πλεονεκτήματα των επικρατέστερων πλέον γλωσσών προγραμματισμού, όπως ο εύκολος προγραμματισμός της C σε αντίθεση με αυτόν της Assembly, σε συνδυασμό με την επάρκεια μνήμης των σύγχρονων μικροελεγκτών, έχουν απομακρύνει την Assembly από την πλειοψηφία των εφαρμογών.

4.1.5 Σύγκριση Μικροελεγκτών με Μικροεπεξεργαστές

Πολλοί θεωρούν ακούγοντας τους δύο όρους, μικροελεγκτής και μικροεπεξεργαστής, ότι πρόκειται για το ίδιο ακριβώς αντικείμενο, παρερμηνεύοντας έτσι την λειτουργία και τα χαρακτηριστικά αυτών των δυο. Οι δύο συγκεκριμένοι όροι είναι διαφορετικοί μεταξύ τους.

Συγκεκριμένα, ξεκινώντας με τον μικροεπεξεργαστή, αποτελεί ένα ενιαίο ολοκληρωμένο τσιπ, το οποίο περιέχει την CPU μιας συσκευής, αλλά δεν εξοπλίζεται με μνήμη RAM ή ROM ή με άλλα περιφερειακά τα οποία πιθανά να διαθέτει μια συσκευή. Η σύνδεση του τσιπ με την μνήμη και τα περιφερειακά, είναι βασισμένη σε εισόδους/εξόδους.

Αντίθετα, ένας μικροελεγκτής διαθέτει CPU, μνήμη RAM, ROM, αλλά και περιφερειακά. Όλα μαζί είναι ενσωματωμένα σε ένα τσιπ, κάνοντας ουσιαστικά τον μικροελεγκτή να αποτελεί έναν μικρό υπολογιστή. Σίγουρα οι δυνατότητες του μικροελεγκτή είναι περιορισμένες, καθώς και οι δυνατότητες απόδοσης είναι χαμηλότερες σε σχέση με έναν υπολογιστή. Όμως, στην περίπτωση που πρόκειται για εφαρμογές IoT, οι μικροελεγκτές είναι η ιδανική επιλογή, αφού παρέχουν επαρκή υπολογιστική ισχύ με ιδιαίτερα χαμηλό κόστος, κατανάλωση ενέργειας σε χαμηλό επίπεδο και μειωμένη πολυπλοκότητα.



Microprocessor vs Microcontroller by EEEPROJECT.COM

Εικόνα 4.1: Σύγκριση μικροελεγκτή με μικροεπεξεργαστή

4.2 Κατηγορίες Μικροελεγκτών

Με το πέρασμα των χρόνων, και με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας, όλες οι ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές συσκευές, τείνουν να ενσωματώνουν όλο και περισσότερο τους μικροελεγκτές σε αυτές. Πλέον η παραγωγή των μικροελεγκτών είναι μαζική, καθώς παράγονται και μικροελεγκτές εξειδικευμένων εφαρμογών. Επομένως, οι κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται οι μικροελεγκτές αναφέρονται παρακάτω και είναι ιδιαίτερα σημαντική η κατανόηση των χαρακτηριστικών που διαθέτουν, για την ορθή επιλογή του κατάλληλου μικροελεγκτή για την εφαρμογή που θα υλοποιήσουμε.

4.2.1 Ταξινόμηση με βάση το μέγεθος του εσωτερικού διαύλου επικοινωνίας

4.2.1.1 4 – 8 bit

Οι συγκεκριμένοι μικροελεγκτές, είναι ιδιαίτερα χαμηλού κόστους, προορίζονται κυρίως για γενική χρήση, διαθέτοντας μικρό αριθμό ακροδεκτών. Η σχεδιάσή τους είναι τέτοια που μέλημά τους είναι η χαμηλή κατανάλωση ισχύος, χρησιμοποιώντας ελάχιστα ή και καθόλου εξωτερικά εξαρτήματα. Όσον αφορά την μνήμη, δεν παρέχεται η δυνατότητα για την επέκταση της. Συχνή χρήση τους εντοπίζεται σε τηλεχειριστήρια, ενώ χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτών αποτελούν οι μικροελεγκτές των σειρών PIC, AVR και 8051.

4.2.1.2 8 bit

Και αυτή η κατηγορία απευθύνεται σε εφαρμογές περιορισμένου κόστους, αλλά σε πιο περίπλοκες συγκριτικά με την προηγούμενη κατηγορία. Εντοπίζονται μικροελεγκτές της κατηγορίας αυτής και σε εφαρμογές IoT, με χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτό του Arduino, το οποίο είναι παράδειγμα σχεδίασης 8 bit. Ενώ χειρίζονται το διαδίκτυο, οι μικροελεγκτές των 8 bit υστερούν συνήθως στις απαιτήσεις υπολογιστικής ισχύος αλλά και μνήμης, ώστε να πραγματοποιηθεί με σωστό τρόπο, με κρυπτογράφηση και ισχυρά πρωτόκολλα ελέγχου ταυτότητας.

4.2.1.3 Συνήθως 8 bit αλλά και 16 ή 32 bit

Η συγκεκριμένη κατηγορία αποτελεί μικροελεγκτές οι οποίοι προορίζονται για γενική χρήση, με χαμηλό κόστος και με έναν αριθμό ακροδεκτών μέτριο έως μεγάλο. Εξοπλίζονται επίσης με κοινά περιφερειακά όπως είναι θύρες UART, I2C, SPI, ή CAN, καθώς και μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακό και αντίστροφα. Σε μερικές περιπτώσεις είναι εφικτή και η εξωτερική επέκταση της μνήμης τους.

4.2.1.4 16 bit

Οι μικροελεγκτές αυτοί, αποτελούν ένα αυτόνομο σύστημα το οποίο περιλαμβάνει μνήμη, επεξεργαστή καθώς και περιφερειακά που ενσωματώνονται εύκολα σε πολλά συστήματα για την ομαλή λειτουργία. Η χρήση της συγκεκριμένης κατηγορίας αισθητήρων, δεν είναι συνηθισμένη για εφαρμογές IoT.

4.2.1.5 32 bit

Στους μικροελεγκτές αυτής της κατηγορίας χαρακτηρίζεται μεσαίο, ο αριθμός των ακροδεκτών είναι μεγάλος και η χρήση του είναι γενική. Χαρακτηριστικό των συγκεκριμένων μικροελεγκτών αποτελεί η ταχύτητα στην εκτέλεση των εντολών, οι υψηλές δυνατότητες εσωτερικής ή εξωτερικής μνήμης προγράμματος και RAM, καθώς επίσης η υψηλή αυτάρκεια περιφερειακών. Οι αρχιτεκτονικές που παρουσιάζονται, είναι υψηλής μεταφερσιμότητας λογισμικού μεταξύ κατασκευαστών.

4.2.2 Ταξινόμηση με βάση τον τύπο μνήμης

Οι μικροελεγκτές σε αυτή την κατηγορία ταξινομούνται με βάση τον τύπο μνήμης, και χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Μικροελεγκτές οι οποίοι έχουν ενσωματωμένη την μονάδα μνήμης, εξοπλίζονται με όλα τα λειτουργικά στοιχεία όπως είναι θύρες εισόδου/εξόδου, σειριακή επικοινωνία, μετρητές, χρονιστές καθώς και την μνήμη δεδομένων σε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο κύκλωμα.
- Μικροελεγκτές οι οποίοι δεν έχουν ενσωματωμένη την μονάδα μνήμης, και δεν διαθέτουν όλα τα λειτουργικά στοιχεία όπως είναι θύρες εισόδου/εξόδου, σειριακή επικοινωνία, μετρητές, χρονιστές καθώς και την μνήμη δεδομένων σε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο κύκλωμα.^{23 24}

4.3 Μικροελεγκτής ESP32

4.3.1 Εισαγωγή

Την ανάπτυξη του μικροελεγκτή ESP32 υλοποίησε η εταιρία Espressif Systems, μια από τις κορυφαίες εταιρίες παραγωγής μικροελεγκτών χαμηλής κατανάλωσης και υψηλής απόδοσης. Ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής εξοπλίζεται με έναν επεξεργαστή διπλού πυρήνα (dual-core) 32-bit. Επίσης, διαθέτει ενσωματωμένο Wi-Fi καθώς επίσης και Bluetooth, κάνοντας με αυτό τον τρόπο εύκολη την σύνδεση στο

²³ A Guide for selecting the right microcontroller for your IoT project,2018

²⁴ What Is a Microcontroller? – Simply Explained, Pranav Gharge, 2022

διαδίκτυο ή με άλλες συσκευές, ενώ παρέχεται η δυνατότητα ενοποίησης με ένα μεγάλο αριθμό περιφερειακών και αισθητήρων, σε μεγάλο επίπεδο. Κύριο χαρακτηριστικό του ESP32 είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, κάτι το οποίο τον καθιστά κατάλληλο για χρήση σε εφαρμογές οι οποίες τροφοδοτούνται μέσω μπαταρίας. Γενικά, πρόκειται για έναν ισχυρό και ευέλικτο μικροελεγκτή, ο οποίος μπορεί να καλύψει τεράστιο φάσμα εφαρμογών. Αποτελεί μια δημοφιλή και διαδεδομένη επιλογή, η οποία χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές IoT, ενώ επιλέγεται και σε άλλες εφαρμογές, των οποίων προϋπόθεση είναι η χαμηλή κατανάλωση σε συνδυασμό με την υψηλή απόδοση.

4.3.2 Χαρακτηριστικά ESP32

Ο μικροελεγκτής ESP32 χαρακτηρίζεται ως μικροελεγκτής συστήματος σε ένα τσιπ (System-on-a-chip, SoC), χαμηλού κόστους και κατανάλωσης, διαθέτοντας δυνατότητες σύνδεσης Wi-Fi και Bluetooth. Παρακάτω παρουσιάζονται και αναλύονται μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά του ESP32:

1. Επεξεργαστής (Processor): Ο μικροελεγκτής ESP32 εξοπλίζεται από έναν επεξεργαστή διπλού πυρήνα, όπου ο ένας λειτουργεί στα 160 MHz, ενώ ο δεύτερος αγγίζει τα 240 MHz, καταφέροντας έτσι την εκτέλεση πολλαπλών εργασιών ταυτόχρονα, καθώς και τον χειρισμό σύνθετων λειτουργιών. Ακόμα, υπάρχει μονάδα κινητής υποδιαστολής (FPU), για υψηλής ακρίβειας αριθμητική, καθώς επίσης πραγματοποιείται επεξεργασία ήχου και λειτουργίες κρυπτογράφησης.
2. Μνήμη (Memory): Η μνήμη που διαθέτει ο ESP32 κυμαίνεται σε ευρύ φάσμα. Οι επιλογές μνήμης είναι 520 KB SRAM, και 4 MB μνήμης FLASH, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται αποθήκευση κώδικα προγράμματος, δεδομένων και άλλων πόρων. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα επέκτασης με εξωτερική μνήμη, μέσω των διεπαφών SDIO και SPI.
3. Συνδεσιμότητα (Connectivity): Μέσω του Wi-Fi και του Bluetooth, τα οποία είναι ενσωματωμένα στον μικροελεγκτή, πραγματοποιείται εύκολα ασύρματη σύνδεση στο διαδίκτυο, αλλά και μεταξύ των συσκευών. Ακόμα, υποστηρίζονται και άλλες ασύρματες τεχνολογίες όπως είναι το ZigBee και LoRa, ενώ πρωτόκολλα επικοινωνία που υποστηρίζονται είναι τα IPv4, IPv6 και SSL/TLS.
4. Περιφερειακά (Peripherals): Στον ESP32 υπάρχει ένα σύνολο επιλογών από εισόδους/εξόδους (I/O), όπως είναι τα GPIO pins, UART, I2C, καθώς και SPI, κάνοντας δυνατή την διασύνδεση με ένα μεγάλο πλήθος αισθητήρων και συσκευών.
5. Χαμηλή κατανάλωση (Low Power Consumption): Το ESP32 αποτελεί έναν μικροελεγκτή χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ενεργειακά αποδοτικό. Στην κατάσταση ύπνου (deep sleep) η κατανάλωση του είναι έως και 6uA, ενώ έχει δυνατότητα δυναμικής κλιμάκωσης ισχύος για βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας.
6. Ασφάλεια (Security): Με κάποια χαρακτηριστικά ασφαλείας όπως ασφαλή εκκίνηση και κρυπτογράφηση flash, ο μικροελεγκτής ESP32, προστατεύεται από διάφορες παραβιάσεις και άλλες μη εξουσιοδοτημένες προσβάσεις.
7. Συμβατό με την γλώσσα προγραμματισμού του Arduino: Σημαντικό χαρακτηριστικό για τον χρήστη, και ειδικά για όσους είναι εξοικειωμένοι με τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή Arduino, είναι ότι μπορεί να προγραμματιστεί το ESP32 με την ίδια γλώσσα, χωρίς να απαιτείται η εκμάθηση νέας για τον προγραμματισμό.

8. Συμβατό με MicroPython: Μια νέα υλοποίηση της Python 3, αποτελεί η MicroPython, που προορίζεται για μικροελεγκτές και ενσωματωμένα συστήματα, με της οποίας το υλικολογισμικό μπορεί να προγραμματιστεί ο ESP32.

4.3.3 ESP32 GPIOs Pinout

Ο μικροελεγκτής ESP32 εξοπλίζεται με 48 ακίδες (Pins), μέσω των οποίων εκτελούνται πολλαπλές λειτουργίες, ορισμένες από τις οποίες δεν είναι εκτεθειμένες και άλλες δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται.

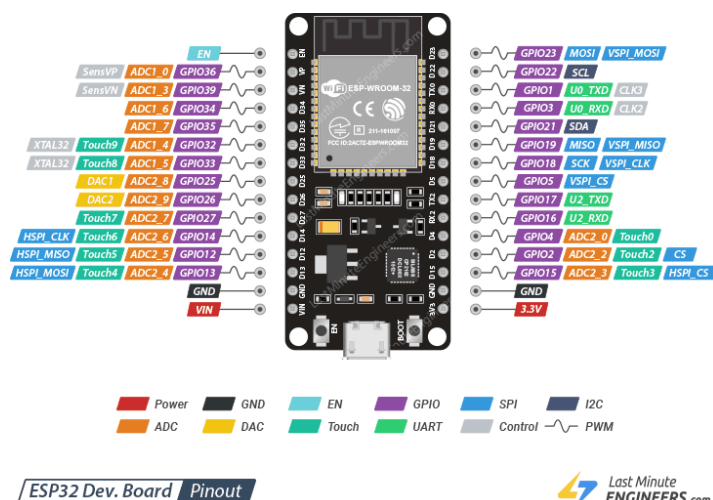
4.3.3.1 Power Pins

Σε όλες τις πλακέτες υπάρχουν συγκεκριμένες ακίδες ισχύος. Αυτές είναι: 3V3, GND, VIN. Μέσω αυτών των pin, τροφοδοτείται η πλακέτα σε περίπτωση που δεν ρευματοδοτείται μέσω της θύρας USB ή για την τροφοδοσία των άλλων περιφερειακών.

4.3.3.2 GPIOs

Όλα τα pins γενικής χρήσης (GPIOs), έχουν εκχωρημένο έναν αριθμό, με τον οποίο αναφερόμαστε στο κάθε ένα συγκεκριμένο pin.

Στον μικροελεγκτή ESP32, μπορεί να αποφασίσει ο χρήστης και να ορίσει ποια pins είναι UART, I2C ή SPI. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι να οριστεί το καθένα στον κώδικα. Η δυνατότητα αυτή παρέχεται στον συγκεκριμένο μικροελεγκτή, λόγω της πολυπλεξίας του, επιτρέποντας την εκχώρηση πολλαπλών λειτουργιών στην ίδια ακίδα. Αν δεν γίνει ορισμός των ακίδων μέσω του κώδικα, θα διαμορφωθούν από προεπιλογή.



Εικόνα 4.2: Ακίδες γενικής χρήσης μικροελεγκτή ESP32

4.3.4 Γλώσσες προγραμματισμού ESP32

Για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή ESP32, χρησιμοποιείται μια ποικιλία γλωσσών προγραμματισμού, όπως οι C, C++, καθώς και η Python.

Όσον αφορά την C και την C++, πρόκειται για γλώσσες προγραμματισμού οι οποίες κυρίως χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό μικροελεγκτών, και μπορούν να χαρακτηριστούν ως γλώσσες προγραμματισμού χαμηλού επιπέδου. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι δεν έχουν σημαντικές δυνατότητες, αφού το επίπεδο ελέγχου που προσφέρουν είναι αρκετά υψηλό, ενώ παρέχουν και αποτελεσματικότητα.

Όσο για την Python, αποτελεί μια γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου η οποία χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές όπως την ανάπτυξη ιστού, την ανάλυση δεδομένων και την μηχανική μάθηση. Η χρήση της και η εκμάθησή της είναι αρκετά εύκολη προς τον χρήστη, κάνοντας την από τις ιδανικότερες επιλογές για αρχάριους, αλλά και για έργα τα οποία απαιτούν γρήγορη ανάπτυξη.

4.3.5 ESP32 και άλλοι μικροελεγκτές

Πολλοί είναι οι μικροελεγκτές οι οποίοι είναι παρόμοιοι με τον ESP32 ως προς την λειτουργία, τις δυνατότητές τους, αλλά και την χρήση. Βασική διαφορά ανάμεσα στον ESP32, και τους υπόλοιπους μικροελεγκτές είναι η υποστήριξη Wi-Fi και Bluetooth. Κάποιοι από τους συνηθέστερους μικροελεγκτές, οι οποίοι είναι όμοιοι του ESP32 παρουσιάζονται παρακάτω:

Raspberry Pi: Συγκριτικά με τον ESP32, ο Raspberry Pi διαθέτει έναν ισχυρότερο επεξεργαστή, καθώς και μεγαλύτερη μνήμη. Είναι σχεδιασμένοι να χρησιμοποιούνται ως υπολογιστές, ενώ είναι ικανοί να χρησιμοποιούν πλήρες λειτουργικό σύστημα, όπως το Linux. Αναμφισβήτητα, το κόστος ενός τέτοιου μικροελεγκτή είναι μεγαλύτερο από αυτό του ESP32, καθώς επίσης και η κατανάλωση ενέργειας.

Arduino: Το Arduino αποτελεί έναν μικροελεγκτή, ο οποίος διαθέτει σειρά πλακετών όπως το Arduino Uno, Arduino Mega και Arduino Nano. Η χρήση στην οποία προορίζεται ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής δεν διαφέρει από αυτή του ESP32, αφού προορίζεται και αυτός για χρήση σε ευρύ φάσμα εφαρμογών, με κάποιες από αυτές να είναι εφαρμογές IoT, ρομποτική και άλλες. Η διαφορά ανάμεσα στο Arduino και τον ESP32 είναι στην επεξεργαστική ισχύ, με τον δεύτερο να κατέχει μεγαλύτερη, όπως και στην γκάμα των περιφερειακών, με το Arduino να υστερεί ως προς το πλήθος τους. Τέλος, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, σημαντική διαφορά ανάμεσα τους αποτελεί το γεγονός ότι ο ESP32 διαθέτει ενσωματωμένο Wi-Fi και Bluetooth, ενώ το Arduino απαιτεί χρήση εξωτερικών μονάδων για την προσθήκη λειτουργιών των συγκεκριμένων ασύρματων τεχνολογιών.²⁵

²⁵ Getting Started with the ESP32 Development Board, RANDOM NERD TUTORIALS

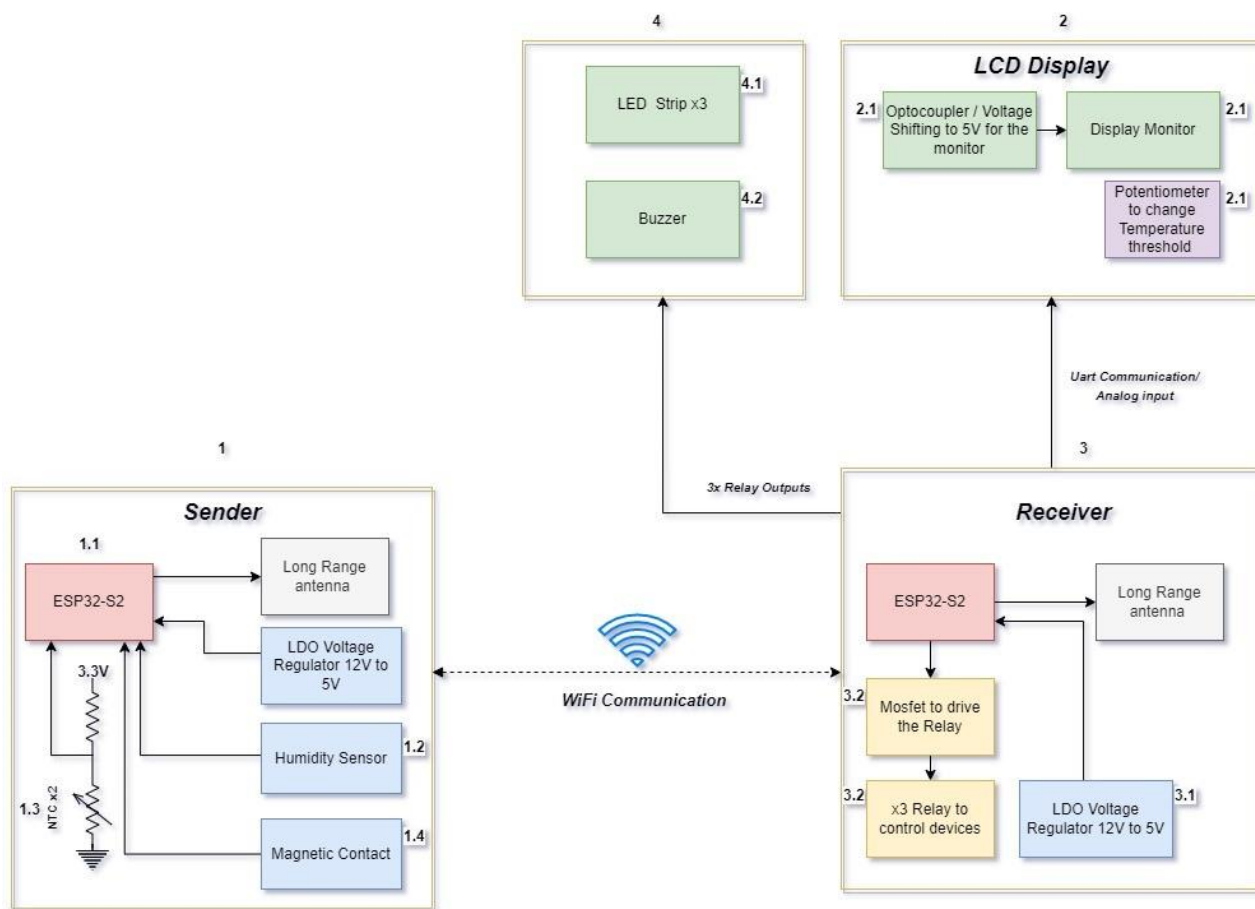
Κεφάλαιο 5: Σχεδιασμός του Συστήματος

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, περιγράφεται το προτεινόμενο σύστημα Έξυπνου Κτιρίου (Smart Building), που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε κατά την διάρκεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Αποφασίστηκε να ακολουθηθεί μια απλοποιημένη σχεδίαση, έτσι ώστε να είναι εφικτή η υλοποίησή της, στο διάστημα που είχαμε διαθέσιμο, εξακριβώνοντας με αυτόν τον τρόπο την ορθή λειτουργία του και στην συνέχεια να προχωρήσουμε στην τελική ανάπτυξη του συστήματος. Οι λειτουργίες οι οποίες επιλέχθηκαν να πραγματοποιηθούν είναι:

- Μέτρηση θερμοκρασίας.
- Μέτρηση υγρασίας.
- Ένδειξη κατάστασης παραθύρων ή θυρών του κτιρίου, με την χρήση μαγνητικής επαφής.
- Προβολή των μετρήσεων που λήφθηκαν από τους αισθητήρες, σε LCD οθόνη.
- Δυνατότητα προσαρμογής ορίου θερμοκρασίας, με την χρήση ποτενσιόμετρου, το οποίο είναι τοποθετημένο στο Control Station, που βρίσκεται και η LCD οθόνη.
- Υλοποίηση προγραμματισμένων σεναρίων με την χρήση ρελέ (relay).

Για την κατανόηση των παραπάνω σεναρίων, και για δική μας διευκόλυνση, χρησιμοποιήθηκαν ταινίες LED, οι οποίες παριστάνουν τις αντίστοιχες συσκευές που χρησιμοποιούνται σε κάθε σενάριο.

5.1 Περιγραφή του HARDWARE



Εικόνα 5.1: System Design του συστήματος.

Στο σχήμα 5.1, φαίνεται η αρχιτεκτονική του συστήματός μας, όπως αποφασίστηκε κατά την σχεδιάσή του. Οι δομικές μονάδες που το αποτελούν είναι:

1.1 Μικροελεγκτής

Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης εργασίας, ως μονάδα επεξεργασίας επιλέχθηκε ένα ESP32 S2. Παρακάτω παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου μικροελεγκτή.

Τύπος	ESP32 – S2
Επεξεργαστής	32-bit Xtensa single-core LX7
Μνήμη RAM	520 KB SRAM
Μνήμη FLASH	4 MB
Wi-Fi	802.11b/g/n
Bluetooth	v4.2 and BLE
AD inputs	12-bit SAR ADC x 18
Επικοινωνίες	2 UARTs, 2 SPIs, 2 I2Cs, 3 I2S
Τάση Λειτουργίας	2.2V – 3.6V
Θερμοκρασία Λειτουργίας	-40°C – 85°C

Αρχικά, επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής, λόγω της ικανότητας του για επικοινωνία με Wi-Fi, αφού είναι ενσωματωμένο σε αυτόν. Στην συνέχεια, κριτήριο για την επιλογή του αποτέλεσε το γεγονός ότι υπάρχει δυνατότητα για τον προγραμματισμό του σε περιβάλλον Arduino IDE, το οποίο ήταν γνωστό στην χρήση του. Επίσης, σημαντικός παράγοντας για την επιλογή του ήταν και το χαμηλό κόστος το οποίο διαθέτει.

1.2 Αισθητήρας υγρασίας / Θερμοκρασίας DHT11

Όσον αφορά τον DHT 11, πρόκειται για έναν αισθητήρα υγρασίας και θερμοκρασίας, ο οποίος είναι ευρέως γνωστός και χρησιμοποιούμενος για διάφορες εφαρμογές, καθώς έχει ιδιαίτερα χαμηλό κόστος και είναι εύκολο στην χρήση. Ο αισθητήρας έχει μια ακίδα δεδομένων που στέλνει ένα ψηφιακό σήμα στον μικροελεγκτή, το οποίο μπορεί να διαβαστεί χρησιμοποιώντας ένα απλό σήμα διαμόρφωσης πλάτους παλμού (PWM). Για την θερμοκρασία το εύρος μετρήσεων του DHT 11 είναι 0-50°C με απόκλιση +/- 2 °C, και 20-90 % με απόκλιση +/- 2 %, για την υγρασία.

1.3 Thermistor

Με τον όρο Thermistor αποκαλούμε έναν τύπο αντίστασης του οποίου η αντίσταση διαφοροποιείται σύμφωνα με την θερμοκρασία. Κατά κύριο λόγο κατασκευάζονται από ημιαγωγικά υλικά όπως κεραμικά ή πολυμερή. Η χρήση του παρατηρείται συνήθως στην μέτρηση και στον έλεγχο της θερμοκρασίας, αλλά και στην αντιστάθμισή της. Βασικά χαρακτηριστικά του thermistor αποτελούν, η υψηλή ευαισθησία, το μικρό μέγεθος, η σταθερότητα, η ισχυρή ικανότητα υπερφόρτωσης, η υψηλή ταχύτητα απόκρισης καθώς και η μικρή καθυστέρηση. Όμως, χαρακτηριστικό του είναι και η χαμηλή ακρίβεια και η έντονη μη γραμμικότητα.

Τα Thermistor ταξινομούνται σε δυο τύπους:

- Αντιστάσεις θετικού συντελεστή θερμοκρασίας (PTC, Positive Temperature Coefficient).
- Αντιστάσεις αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας (NTC, Negative Temperature Coefficient).

Τύποι υπολογισμού θερμοκρασίας:

$$I = \frac{V}{R1 + R_{thermistor}}$$

όπου:

$$V_{thermistor} = I \times R_{thermistor}$$

$$V_{thermistor} = \frac{R_{thermistor}}{R1 + R_{thermistor}} \times V$$

Με την τιμή που παίρνει η αντίσταση R1, εξαλείφεται η απώλεια ισχύος στο κύκλωμα, αλλά και για την επιστροφή του κατάλληλου εύρους τιμών στο σύστημα.

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας μειώνοντας το σφάλμα της μέτρησης χρησιμοποιείται η εξίσωση Stein Hart και Hart.

$$\frac{1}{T} = A + B \times (\ln R_{thermistor}) + C \times (\ln R_{thermistor})^3$$

όπου:

- R_{thermistor} είναι η αντίσταση του thermistor σε T.
- T είναι η θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin.
- A, B, C είναι μεταβλητές του thermistor οι οποίες διαφέρουν ανάλογα με το thermistor.
- Για την μετατροπή της θερμοκρασίας σε βαθμούς Κελσίου (°C):

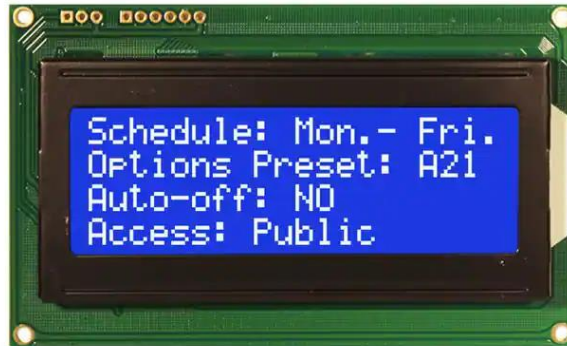
$$T_c = T_k - 273.15$$

Η επιλογή του Thermistor σε εφαρμογές είναι αρκετά συχνή και προτιμώμενη επιλογή αισθητήρα θερμοκρασίας, λόγω των βασικών χαρακτηριστικών που αναφέραμε παραπάνω.

1.4 Μαγνητική επαφή

Ο αισθητήρας μαγνητικής επαφής, πρόκειται για μια συσκευή η οποία εντοπίζει και ανιχνεύει την παρουσία ή την απουσία του μαγνητικού πεδίου. Συχνή είναι η χρήση του συγκεκριμένου αισθητήρα σε εφαρμογές συστημάτων ασφαλείας, καθώς εντοπίζεται το άνοιγμα θυρών ή παραθύρων, αλλά και σε βιομηχανικές εφαρμογές καθώς ανιχνεύεται μέσω των αισθητήρων η θέση των διαφόρων εξαρτημάτων της μηχανής, αλλά ακόμα και στην παρακολούθηση κίνησης των οχημάτων. Τον αισθητήρα απαρτίζουν ένας μαγνήτης, και ένας διακόπτης ή ένας αισθητήρας εφέ Hall. Μόλις ο μαγνήτης βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από τον αισθητήρα, ο διακόπτης ενεργοποιείται, δίνοντας το σήμα ότι η πόρτα ή το παράθυρο βρίσκονται κλειστά. Στην αντίθετη περίπτωση, που ο μαγνήτης είναι απομακρυσμένος από τον αισθητήρα, απενεργοποιείται ο διακόπτης, επιδεικνύοντας μας ότι κάποια πόρτα ή παράθυρο έχουν ανοίξει.

2.1 LCD Display



Εικόνα 5.2: LCD Display

Για την κατανόηση των μετρήσεων των παραπάνω σεναρίων, χωρίς την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, επιλέχθηκε μια Liquid Crystal Display (LCD) οθόνη, η οποία αποτελεί έναν τύπο επίπεδης οθόνης, η οποία πραγματοποιεί χρήση υγρών κρυστάλλων στην κύρια μορφή λειτουργίας της. Η συγκεκριμένη οθόνη διαθέτει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- 4 γραμμές x 20 χαρακτήρες.
- Σειριακές διεπαφές: I2C, SPI, RS - 232 (TTL).
- Τάση λειτουργίας: + 5.0V.
- 5x8 pixel με κέρσορα.
- Δίοδοι προστασίας: ESD.
- Συμβατή με RoHS.

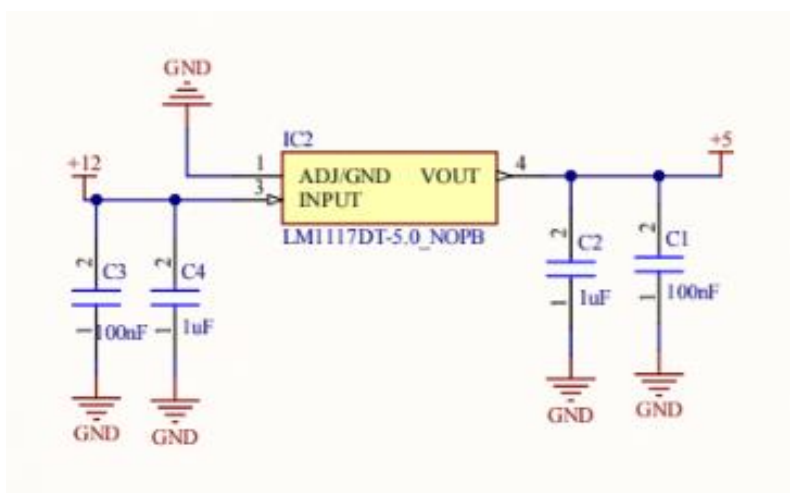
Στην οθόνη εμφανίζονται οι μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας του συστήματος, καθώς επίσης και η κατάσταση των μαγνητικών επαφών, οι οποίες είναι τοποθετημένες σε πόρτες και παράθυρα του κτιρίου. Ακόμα, υποδεικνύεται και η κατάσταση των A/C του κτιρίου.

Για την επικοινωνία μεταξύ της οθόνης και του μικροελεγκτή ESP32-S2 που επιλέχθηκε, χρησιμοποιείται σειριακή επικοινωνία (UART). Η τάση με την οποία επιτυγχάνεται η επικοινωνία είναι τα + 5V. Η μέγιστη τάση σειριακής επικοινωνίας με τον μικροελεγκτή είναι τα + 3.3V. Για τον λόγο αυτό, και για την αύξηση του επιπέδου τάσης (Level Shift), χρησιμοποιήθηκε ένας optocoupler, με την χρήση κατάλληλου κυκλώματος, έτσι ώστε να μας παρέχουν έξοδο του.

2.1 Ποτενσιόμετρο

Στο παραπάνω σύστημα, ενσωματώθηκε και ένα ποτενσιόμετρο, με στόχο την εύκολη ρύθμιση της επιθυμητής θερμοκρασίας, στην οποία θα εκτελείται το σενάριο έναρξης και τερματισμού της λειτουργίας του A/C. Η σύνδεση του ποτενσιόμετρου με τον μικροελεγκτή, επιτυγχάνεται με την χρήση καλωδίων.

3.1 LDO Voltage Regulator (12V – 5V)

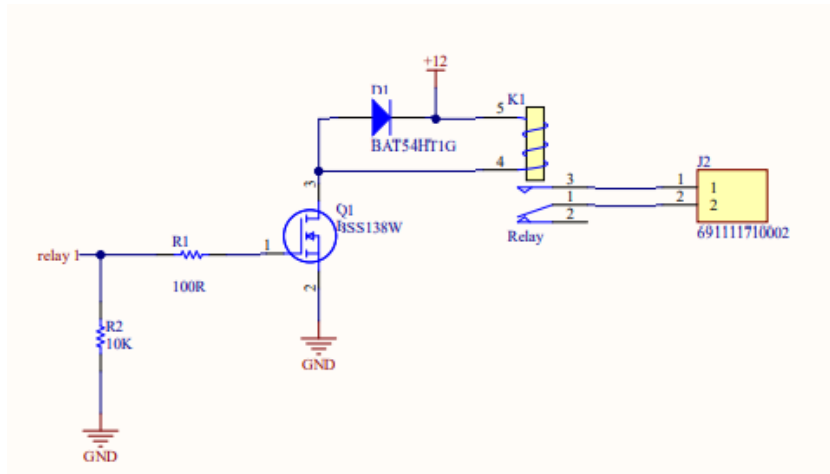


Εικόνα 5.3: LDO Voltage Regulator

Για την τροφοδοσία των επιμέρους συσκευών του κυκλώματος αποφασίσαμε να μην χρησιμοποιήσουμε τον ενσωματωμένο Regulator που διαθέτει ο μικροελεγκτής ESP32 S2. Αντί αυτού, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ένας Low Dropout Regulator (LDO), ο οποίος χρησιμοποιεί ως είσοδο τα +12V του τροφοδοτικού, με αποτέλεσμα η έξοδος του να είναι τα +5V, η οποία αποτελεί την απαραίτητη τάση λειτουργίας του μικροελεγκτή.

3.2 Ηλεκτρονόμοι (Relays)

Ως ηλεκτρονόμο (relay), αποκαλούμε έναν ηλεκτρικό διακόπτη, λειτουργία του οποίου είναι να ανοίγει και να κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, υπό τον έλεγχο ενός άλλου ηλεκτρικού κυκλώματος. Στην συγκεκριμένη περίπτωση του συστήματος που υλοποιήσαμε, οι ηλεκτρονόμοι χρησιμοποιούνται για το άνοιγμα και κλείσιμο των A/C του κτιρίου, την ενεργοποίηση του συναγερμού του κτιρίου, σύμφωνα με την κατάσταση στην οποία βρίσκονται οι μαγνητικές επαφές, οι οποίες είναι τοποθετημένες σε πόρτες και παράθυρα, καθώς επίσης και για την έναρξη και τον τερματισμό των αφυγραντήρων σύμφωνα με το ανάλογο σενάριο. Τα ρελέ τα οποία επιλέχθηκαν διαθέτουν τάση πηνίου +12V. Για αυτόν τον λόγο, η οδήγηση των ρελέ δεν είναι εφικτή με την τάση εξόδου που μας παρέχει ο μικροελεγκτής. Λύση στο πρόβλημα έδωσε η κυκλωματική τοπολογία με ηλεκτρονικούς διακόπτες (MOSFET), η οποία παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 5.4: Ηλεκτρονόμοι (Relays)

Το κύκλωμα λειτουργεί ως εξής:

Με βάση το κάθε σενάριο, ο μικροελεγκτής ενεργοποιεί την ανάλογη έξοδο. Η έξοδος του μικροελεγκτή συνδέεται στην είσοδο του MOSFET, όπου εκείνο με την σειρά του άγει, με αποτέλεσμα να δίνει τάση στο πηνίο του ρελέ.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, για να είναι σε θέση ο χρήστης να κατανοήσει την λειτουργία του συστήματος, χρησιμοποιήθηκαν ταινίες LED, ώστε να είναι ορατή η κατάσταση σε κάθε σενάριο, αλλά και ακουστική, με την χρήση σειρήνας για το σενάριο του συναγερμού.

4.1 Ταινίες LED (LED stripes)

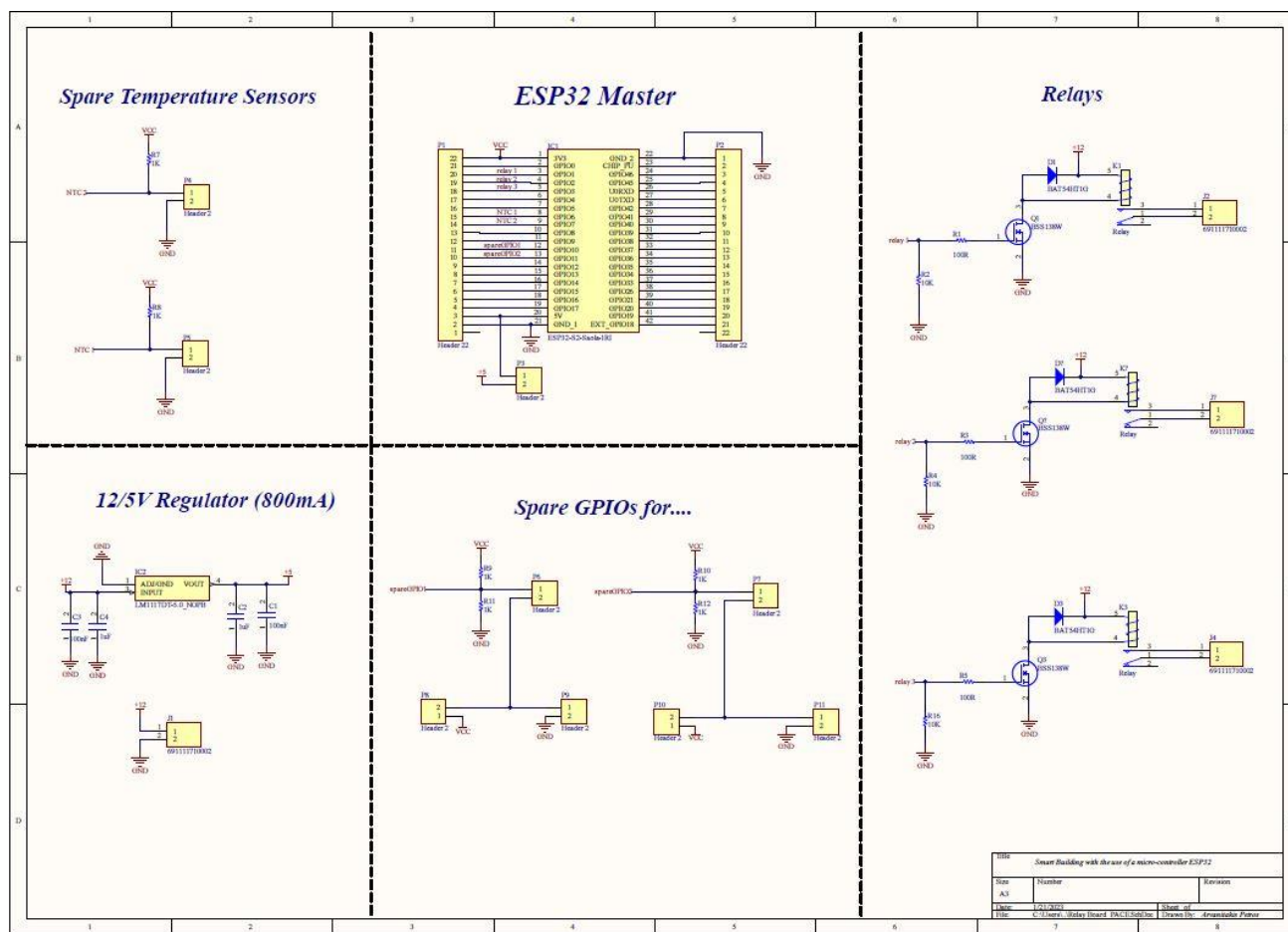
Πιο συγκεκριμένα, μια ταινία LED, χρησιμοποιείται για την ένδειξη έναρξης και τερματισμού λειτουργίας των A/C που υπάρχουν στο εσωτερικό του κτιρίου. Στην συνέχεια, άλλη ταινία LED ανάβει ή σβήνει, ανάλογα με την κατάσταση των μαγνητικών επαφών, οι οποίες είναι τοποθετημένες στις πόρτες και στα παράθυρα του κτιρίου. Τέλος, ακόμα μια ταινία LED, ενημερώνει για την λειτουργία των αφυγραντήρων, η οποία προκύπτει από το ανάλογο προγραμματισμένο σενάριο.

4.2 Ηχείο (Buzzer)

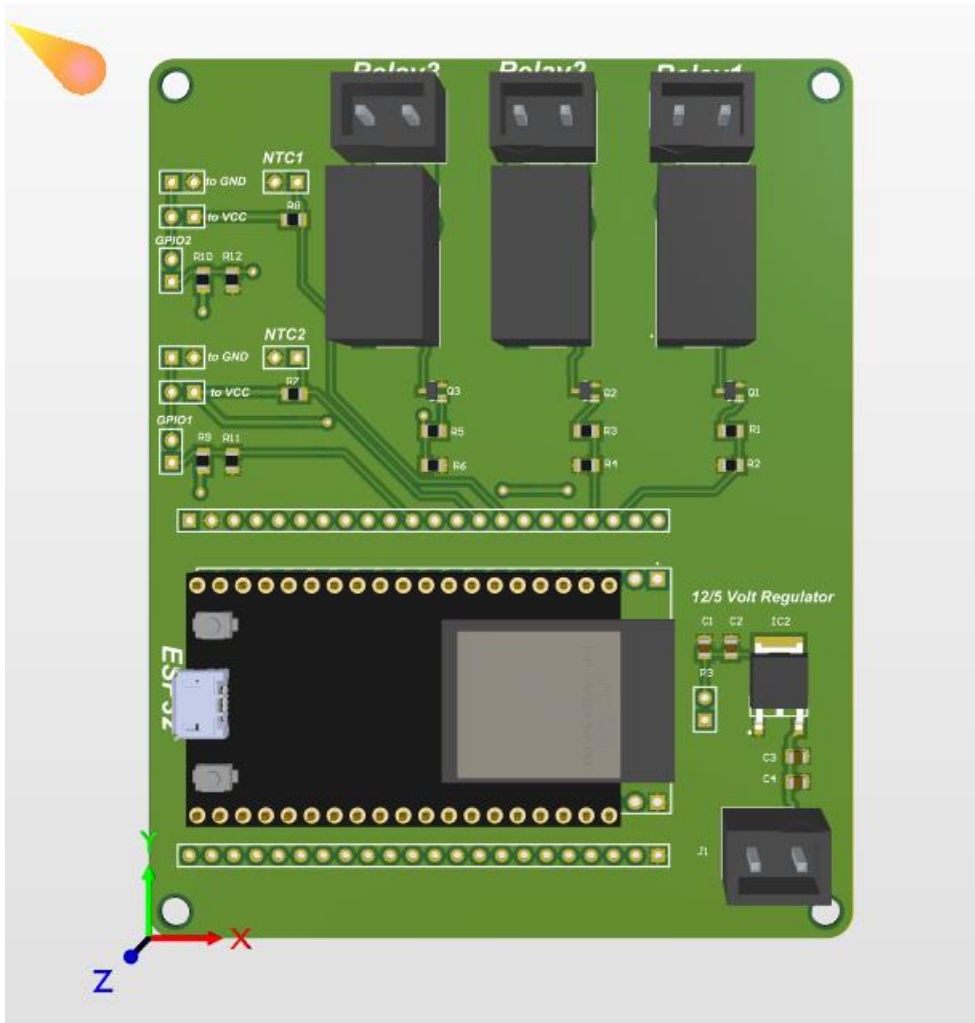
Σε συνδυασμό με την ένδειξη που λαμβάνει ο χρήστης, μέσω της ταινίας LED, για την κατάσταση των μαγνητικών επαφών στο κτίριο, χρησιμοποιείται και ένα ηχείο (buzzer), για ακουστική ειδοποίηση προς τον χρήστη.

5.2 Τυπωμένο κύκλωμα

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, επιλέξαμε να μελετήσουμε, να σχεδιάσουμε και να κατασκευάσουμε ένα τυπωμένο κύκλωμα το οποίο θα περιέχει όλα τα παραπάνω. Το σχεδιαστικό περιβάλλον στο οποίο υλοποιήθηκε ο σχεδιασμός του τυπωμένου κυκλώματος, είναι το Altium Designer. Η απόφαση να σχεδιαστεί ένα τυπωμένο κύκλωμα είναι η ήδη υπάρχουσα γνώση στον τομέα αυτό, καθώς επίσης και η ελάχιστη χρήση καλωδίων που απαιτείται για την σύνδεση όλων των παραπάνω. Παρακάτω παρουσιάζονται τα σχέδια των κυκλωμάτων, καθώς και το τυπωμένο κύκλωμα.



Εικόνα 5.5: Τυπωμένο κύκλωμα (σχέδιο)



Εικόνα 5.6: Τυπωμένο κύκλωμα

5.3 Περιγραφή του FIRMWARE

5.3.1 Firmware Sender

```
#include <WifiEspNow.h>
#include <WiFi.h>
#include "DHT.h"

uint8_t msg[60];

#define DHTPIN 9
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

#define length 12
#define RT0 1500 // Ω
#define B 3560 // Κ
#define VCC 3.3 //Supply voltage
#define R 8000 //R=1KΩ

float RT1, VR1, ln1, T0, VRT1;
float RT2, VR2, ln2, VRT2;
float humi;

static uint8_t PEER[]={0x84, 0xF7, 0x03, 0xC4, 0xAD, 0x8D}; //Receiver MAC Address
```

Αρχικά, δηλώνουμε τις βασικές βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήσαμε στον κώδικα. Όπως φαίνεται και παραπάνω, αυτές είναι:

1. WifiEspNow.h
2. Wifi.h
3. DHT.h

Οι πρώτες δυο βιβλιοθήκες είναι υπεύθυνες για την επικοινωνία μέσω Wi-Fi με τον δέκτη, ενώ η DHT.h για την επικοινωνία, αλλά και την συλλογή δεδομένων από τον αισθητήρα υγρασίας. Η βιβλιοθήκη DHT.h μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τους αισθητήρες DHT 11 και DHT 22, για αυτό τον λόγο γίνεται δήλωση του αισθητηρίου καθώς και του ακροδέκτη, με τον οποίο γίνεται η σειριακή επικοινωνία με τον αισθητήρα, όπως φαίνεται παραπάνω. Στην συνέχεια, δηλώνονται οι σταθερές οι οποίες χρησιμεύουν για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας, και αφορούν παραμέτρους λειτουργίας του NTC, όπως η αρχική αντίσταση του στους 25°C, την αντίσταση στον διαιρέτη τάσης, και η τάση λειτουργίας του. Σε αυτό το σημείο δηλώνεται και η MAC Address του δέκτη.

```
void setup() {

    Serial.begin(115200);
    dht.begin(); // initialize the sensor
    Serial.println();

    T0 = 25 + 273.15;

    WiFi.persistent(false);
```

```

WiFi.mode(WIFI_AP);
WiFi.disconnect();
WiFi.softAP("ESPNOW", nullptr, 3);
WiFi.softAPdisconnect(false);

Serial.print("MAC address of this node is ");
Serial.println(WiFi.softAPmacAddress());

uint8_t mac[6];
WiFi.softAPmacAddress(mac);
Serial.println();
Serial.println("You can paste the following into the program for the other device:");
Serial.printf("static uint8_t PEER[]{0x%02X, 0x%02X, 0x%02X, 0x%02X, 0x%02X, 0x%02X};\n",
mac[0],
                mac[1], mac[2], mac[3], mac[4], mac[5]);
Serial.println();

bool ok = WifiEspNow.begin();
if (!ok) {
    Serial.println("WifiEspNow.begin() failed");
    ESP.restart();
}

WifiEspNow.onReceive(printReceivedMessage, nullptr);

ok = WifiEspNow.addPeer(PEER);
if (!ok) {
    Serial.println("WifiEspNow.addPeer() failed");
    ESP.restart();
}
}
}

```

Ο βασικός κώδικας αποτελείται από δυο βασικές συναρτήσεις, την setup(), και την κύρια συνάρτηση main loop(). Στην συνάρτηση setup(), ξεκινά η σειριακή επικοινωνία με ρυθμό μετάδοσης 115200. Στην συνέχεια, γίνεται αρχικοποίηση του αισθητηρίου υγρασίας και ορίζεται ως T0= 25 + 273,15. Στην συνέχεια, ορίζει το ESP32 ως σημείο πρόσβασης Wi-Fi (Wi-Fi Access Point). Στο σημείο αυτό πραγματοποιείται εκτύπωση του MAC Address του ESP στην σειριακή επικοινωνία. Έπειτα, προσπαθεί να επιτύχει σύνδεση με τον δέκτη, που αν δεν επιτευχθεί η συγκεκριμένη ενέργεια, οδηγεί σε επανεκκίνηση του ESP.

```

void loop(){

    uint8_t mc_status;

    float TX1;
    VRT1 = analogRead(6); //Acquisition analog value of VRT
    VRT1 = (3.30/ 8192) * VRT1; //Conversion to voltage
    VR1 = VCC - VRT1;
    RT1 = VRT1/ (VR1 / R);

    ln1 = log(RT1 / RT0);
    TX1 = (1 / ((ln1 / B) + (1 / T0)));
    TX1 = TX1 - 273.15;
    Serial.print("Temperature:");
    Serial.print("\t");
    Serial.println(TX1);

    float TX2;
    VRT2 = analogRead(7); //Acquisition analog value of VRT
    VRT2 = (3.30/ 8192) * VRT2; //Conversion to voltage
    VR2 = VCC - VRT2;
    RT2 = VRT2 / (VR2 / R);

    ln2 = log(RT2 / RT0);
    TX2 = (1 / ((ln2 / B) + (1 / T0)));
    TX2 = TX2 - 273.15;
    Serial.print("Temperature:");
    Serial.print("\t");
    Serial.println(TX2);
}

```

```

msg[6] = uint8_t(TX1);
msg[7] = uint8_t(int(TX1*10)%10);

msg[8] = uint8_t(TX2);
msg[9] = uint8_t(int(TX2*10)%10);

uint8_t mc_read=digitalRead(11);

if(mc_read==1){
  mc_status=0;
  Serial.println("Magnetic contact is open ");
}
else {
  mc_status=1;
  Serial.println("Magnetic contact is closed ");
}

msg[10]= uint8_t (mc_status) ;

float humi = dht.readHumidity();
msg[11]=uint8_t(humi);

WifiEspNow.send(PEER,msg,lenght);

delay(500);
}

```

Αρχικά, δηλώνεται μεταβλητή στην οποία θα αποθηκεύεται η κατάσταση της μαγνητικής επαφής (mc_status), για την οποία γίνεται έλεγχος παρακάτω, διαβάζοντας την τιμή εισόδου που έχει ο ακροδέκτης 11, του ESP32. Εάν η τιμή που διαβάζουμε είναι λογικό 1, σημαίνει ότι η μαγνητική επαφή είναι ανοιχτή, ενώ αν είναι λογικό 0, είναι κλειστή. Υπολογίζεται η θερμοκρασία από το NTC, η οποία αποθηκεύεται στην μεταβλητή TX1 TX2. Ο υπολογισμός της θερμοκρασίας, αναλύεται σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στην ίδια συνάρτηση, γίνεται και η αποστολή των δεδομένων στον δέκτη. Αυτό γίνεται, με την εντολή WifiEspNow.send(PEER,msg,lenght), όπου PEER είναι ο δέκτης, msg ένας πίνακας με τα δεδομένα τα οποία θέλουμε να στείλουμε, και lenght ο αριθμός των δεδομένων. Οι τιμές της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της κατάστασης της μαγνητικής επαφής, αποθηκεύονται σε συγκεκριμένες θέσεις του πίνακα. Για την αποστολή της θερμοκρασίας χρειάζονται δυο θέσεις του πίνακα, εκ των οποίων η μια είναι το ακέραιο μέρος, ενώ η άλλη το δεκαδικό. Για να υπολογιστεί το δεκαδικό μέρος, πολλαπλασιάζουμε την τιμή της θερμοκρασίας επί 10, και κρατάμε το υπόλοιπο της διαίρεσης με το 10. Επίσης, η κατάσταση της μαγνητικής επαφής, αποθηκεύεται και αυτή σε μια θέση του πίνακα.

5.3.2 Firmware receiver

```
#include <MapFloat.h>           //Included Libraries
#include <WifiEspNow.h>
#include <WiFi.h>

//-----//

float temperature1;
float temperature2;
float temperature_threshold;
float Humidity;

int Relay1=1;
int Relay2=2;
int Relay3=3;
int pot_pin=14;

uint8_t mc_status ;

static uint8_t PEER[]{0x60, 0x55, 0xF9, 0xD9, 0xDA, 0x15}; // MAC Address of the Sender
```

Αντίστοιχα και με τον sender, γίνεται δήλωση των βιβλιοθηκών που θα χρησιμοποιηθούν. Οι βιβλιοθήκες οι οποίες είναι υπεύθυνες για την επικοινωνία, είναι κοινές με αυτές του sender. Γίνεται δήλωση μεταβλητών, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν παρακάτω, καθώς και σταθερές οι οποίες αφορούν το Hardware του συστήματος. Τέλος, δηλώνεται και η Mac Address του sender.

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  DisplaySettings();
  WiFi.persistent(false);
  WiFi.mode(WIFI_AP);
  WiFi.disconnect();
  WiFi.softAP("ESPNOW", nullptr, 3);
  WiFi.softAPdisconnect(false);

  pinMode(Relay1,OUTPUT);
  digitalWrite(Relay1,LOW);
  pinMode(Relay3,OUTPUT);
  digitalWrite(Relay3,LOW);
  pinMode(pot_pin,INPUT);
  pinMode(Relay2,OUTPUT);
  digitalWrite(Relay2,LOW);

  uint8_t mac[6];
  WiFi.softAPmacAddress(mac);
  // Serial.println();
  // Serial.println("You can paste the following into the program for the other device:");
  // Serial.printf("static uint8_t PEER[]{0x%02X, 0x%02X, 0x%02X, 0x%02X, 0x%02X, 0x%02X};\n",
  mac[0], mac[1], mac[2], mac[3], mac[4], mac[5]);
  // Serial.println();

  bool ok = WifiEspNow.begin();
  if (!ok) {
    // Serial.println("WifiEspNow.begin() failed");
    ESP.restart();
  }
  else {
    // Serial.println("WifiEspNow.begin() OK! ");
  }
}
```

```

WifiEspNow.onReceive(printReceivedMessage, nullptr);
ok = WifiEspNow.addPeer(PEER);
if (!ok) {
Serial.println("WifiEspNow.addPeer() failed");
ESP.restart();
}
}

```

Ο βασικός κώδικας αποτελείται από τέσσερις συναρτήσεις, οι οποίες είναι οι:

1. setup()
2. printReceivedMessage()
3. DisplayWrite()
4. Displaysettings()

Στην συνάρτηση setup(), ξεκινά η σειρά επικοινωνία, με ρυθμό μετάδοσης 9600. Στην συνέχεια, γίνεται αρχικοποίηση των ρυθμίσεων, αλλά και των μεταβλητών οι οποίες θα εμφανίζονται στην οθόνη, οι οποίες αναλύονται στην συνάρτηση Displaysettings(). Όπως και με τον sender, ορίζεται το ESP32 ως σημείο πρόσβασης Wi-Fi (Wi-Fi Access Point), εκτυπώνεται η MAC Address και προσπαθεί να πραγματοποιήσει σύνδεση με τον sender, η οποία αν δεν επιτευχθεί, έχει ως αποτέλεσμα την επανεκκίνηση του ESP32. Επίσης, ορίζει την λειτουργία του ακροδέκτη Relay1, Relay2, Relay3 σε OUTPUT, το οποίο σημαίνει ότι ο ακροδέκτη θα χρησιμοποιηθεί για την έξοδο ενός σήματος, στην συγκεκριμένη περίπτωση για την ενεργοποίηση των ρελέ. Η αρχική κατάσταση των ακροδεκτών, ορίζεται ως λογικό 0, ως αποτέλεσμα την ανοιχτή επαφή των ρελέ. Ακόμα, ορίζεται ακροδέκτης εισόδου στον οποίο θα συνδεθεί το ποτενσιόμετρο, με το οποίο ρυθμίζεται το κατώφλι της θερμοκρασίας.

```

void DisplayWrite(int Addr, int Command, int Cursor){
Serial.write(Addr);
Serial.write(Command);
Serial.write(Cursor);
}

```

Για δική μας διευκόλυνση, όσον αφορά την επικοινωνία με την οθόνη, υλοποιήθηκε συνάρτηση, η οποία έχει ως ορίσματα, την διεύθυνση, την εντολή, αλλά και την θέση του κέρσορα.

```

void Displaysettings() {
DisplayWrite(0xFE, 0x41, 0x00);
delayMicroseconds(100);
DisplayWrite(0xFE, 0x51, 0x00);
delay(2);
DisplayWrite(0xFE, 0x53, 0x08);
delayMicroseconds(100);
DisplayWrite(0xFE, 0x52, 0x32);
delayMicroseconds(100);
DisplayWrite(0xFE, 0x45, 0x00);
Serial.printf("Temperature:");
delayMicroseconds(100);
DisplayWrite(0xFE, 0x45, 0x40);
Serial.printf("Temp Set: ");
delayMicroseconds(100);
DisplayWrite(0xFE, 0x45, 0x14);
Serial.printf("Humidity:");
delayMicroseconds(100);
DisplayWrite(0xFE, 0x45, 0x54);
Serial.printf("AC state:");
}

```



```

delayMicroseconds(100);
}

```

Στην συνάρτηση Displaysettings(), όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, γίνονται οι απαραίτητες ρυθμίσεις για την λειτουργία της οθόνης, καθώς η προβολή επιθυμητών μηνυμάτων. Για την επικοινωνία με την οθόνη, χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση που αναφέρθηκε παραπάνω. Για τις ρυθμίσεις της οθόνης συμβουλευτήκαμε το εγχειρίδιο χρήσης της οθόνης. Οι ρυθμίσεις φαίνονται παρακάτω.

Prefix	Command	Parameter	Description	Execution time
-	-	1 Byte	Display Character Write (0x00 ~ 0xFF) ¹	100uS
0xFE	0x41	None	Display on	100uS
0xFE	0x42	None	Display off	100uS
0xFE	0x45	1 Byte	Set cursor	100uS
0xFE	0x46	None	Cursor home	1.5mS
0xFE	0x47	None	Underline cursor on	1.5mS
0xFE	0x48	None	Underline cursor off	1.5mS
0xFE	0x49	None	Move cursor left one place	100uS
0xFE	0x4A	None	Move cursor right one place	100uS
0xFE	0x4B	None	Blinking cursor on	100uS
0xFE	0x4C	None	Blinking cursor off	100uS
0xFE	0x4E	None	Backspace	100uS
0xFE	0x51	None	Clear screen	1.5mS
0xFE	0x52	1 Byte	Set contrast	500uS
0xFE	0x53	1 Byte	Set backlight brightness	100uS
0xFE	0x54	9 Byte	Load custom character	200uS
0xFE	0x55	None	Move display one place to the left	100uS
0xFE	0x56	None	Move display one place to the right	100uS
0xFE	0x61	1 Byte	Change RS-232 BAUD rate	3mS
0xFE	0x62	1 Byte	Change I ² C address	3mS
0xFE	0x70	None	Display firmware version number	4mS
0xFE	0x71	None	Display RS-232 BAUD rate	10mS
0xFE	0x72	None	Display I ² C address	4mS

Αρχικά, με την εντολή 0x41, ενεργοποιούμε την οθόνη, έπειτα καθαρίζουμε την οθόνη με την εντολή 0x41, και τέλος ορίζουμε την αντίθεση και την φωτεινότητα της οθόνης με τις εντολές 0x52 και 0x53, αντίστοιχα. Στην πρώτη γραμμή της οθόνης, τυπώνεται η λέξη Temperature: , στην δεύτερη Temp Set: , στην τρίτη Humidity: , και τέλος στην τέταρτη AC state:. Δίπλα από αυτές, θα δούμε στη συνέχεια, ότι εκτυπώνονται οι τιμές που λαμβάνουμε από τον sender. ²⁶

```

void printReceivedMessage(const uint8_t mac[WIFIESPNOW_ALEN], const uint8_t* buf, size_t
count,void* cbarg) {

    temperature1 = float(buf[6]) ;
    temperature1 += float((buf[7]) / 10.0f); //Calculating the First Temperature Value

    float pot_value;
    pot_value=analogRead(pot_pin);
    pot_value=mapFloat(pot_value,0.0,8192.0,1.0,40.0); // Calculating the potentiometer value

```

```

Humidity=uint8_t (buf[11]);

DisplayWrite(0xFE,0x45,0x4A);
Serial.print(pot_value);
delayMicroseconds(100); //Printing the value of the potentiometer

DisplayWrite(0xFE,0x45,0x0C);
Serial.print(average_temperature);
delayMicroseconds(100); //Printing the value of the first Temperature Sensor

DisplayWrite(0xFE,0x45,0x1E);
Serial.print(Humidity);
DisplayWrite(0xFE,0x45,0x22);
Serial.print("% ");
delayMicroseconds(100);

temperature2 = float(buf[8]) ;
temperature2 += float((buf[9]) / 10.0f); //Calculating the Second Temperature Value

float average_temperature = (temperature1 + temperature2)/2;

if(average_temperature > pot_value) {
    digitalWrite(Relay1,HIGH);
    DisplayWrite(0xFE,0x45,0x5D);
    Serial.printf("OPEN!");
    delayMicroseconds(100);
}
else {
    digitalWrite(Relay1,LOW);
    DisplayWrite(0xFE,0x45,0x5D);
    Serial.printf("CLOSE");
    delayMicroseconds(100);
}

mc_status = uint8_t(buf[10]);

if(mc_status <= 0){
    Siren(); //Magnetic contact is Opened, you can hear the siren's
    sound!!!
    //DisplayWrite(0xFE,0x45,0x1C);
    //Serial.printf("OPEN!");
    delayMicroseconds(100);
}
else {
    digitalWrite(Relay2,LOW); //Magnetic Contact is Closed!!!
    //DisplayWrite(0xFE,0x45,0x1C);
    //Serial.printf("CLOSE");
    delayMicroseconds(100);
}
}

```

Στην συνάρτηση printReceivedMessage(), εκτυπώνονται τα μηνύματα τα οποία λαμβάνουμε από τον sender. Αρχικά, όλα τα μηνύματα αποθηκεύονται στον πίνακα buf[]. Στην θέση 6 του πίνακα (buf[6]), λαμβάνουμε το ακέραιο μέρος της πρώτης θερμοκρασίας από τον sender, και στην θέση 7 (buf[7]), το δεκαδικό μέρος. Από αυτά τα μηνύματα, υπολογίζεται η πρώτη θερμοκρασία. Αντίστοιχα, με την ίδια διαδικασία, υπολογίζεται και η δεύτερη θερμοκρασία, με το ακέραιο μέρος να βρίσκεται στην θέση 8 (buf[8]), και με το δεκαδικό στην θέση 9 (buf[9]), του πίνακα. Αφού υπολογιστούν οι δύο θερμοκρασίες, υπολογίζεται ο μέσος όρος τους, και εκτυπώνεται στην πρώτη σειρά της οθόνης. Το πρόγραμμα, καλείται να ελέγξει εάν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία την οποία έχουμε ορίσει ως κατώφλι, και αν είναι μεγαλύτερη, η έξοδος του ακροδέκτη του πρώτου ρελέ, να γίνει λογικό 1, με αποτέλεσμα να κλείσει η επαφή του. Στο δικό μας σενάριο, αυτό σημαίνει την ενεργοποίηση του κλιματιστικού. Στην θέση 11 του πίνακα, λαμβάνεται το ποσοστό της υγρασίας, το οποίο και αυτό

εκτυπώνεται στην τρίτη σειρά της οθόνης. Αν η υγρασία ξεπερνά το όριο που έχουμε ορίσει στο πρόγραμμα, η έξοδος του ακροδέκτη Relay2, γίνεται λογικό 1, με συνέπεια το κλείσιμο της επαφής του ρελέ και την τροφοδοσία του αφυγραντήρα. Στην συνέχεια, διαβάζουμε την τιμή από το ποτενσιόμετρο, η οποία με την συνάρτηση mapFloat, αντιστοιχεί την τιμή που διαβάζουμε, σε ένα εύρος τιμών, από 0 – 40. Στο σενάριο, το ποτενσιόμετρο ορίζει το κατώφλι της θερμοκρασίας, στην οποία θα ενεργοποιείται το κλιματιστικό. Η κατάσταση της μαγνητικής επαφής, λαμβάνεται από την θέση 10 του πίνακα (buf[10]). Αν η μαγνητική επαφή είναι ανοιχτή, η κατάσταση που λαμβάνουμε (mc_status) έχει τιμή 0. Στην περίπτωση αυτή, ο ακροδέκτης Relay3 ανοιγοκλείνει με συχνότητα 10Hz, το οποίο αντιστοιχεί σε ηχητική αλλά και οπτική ειδοποίηση.

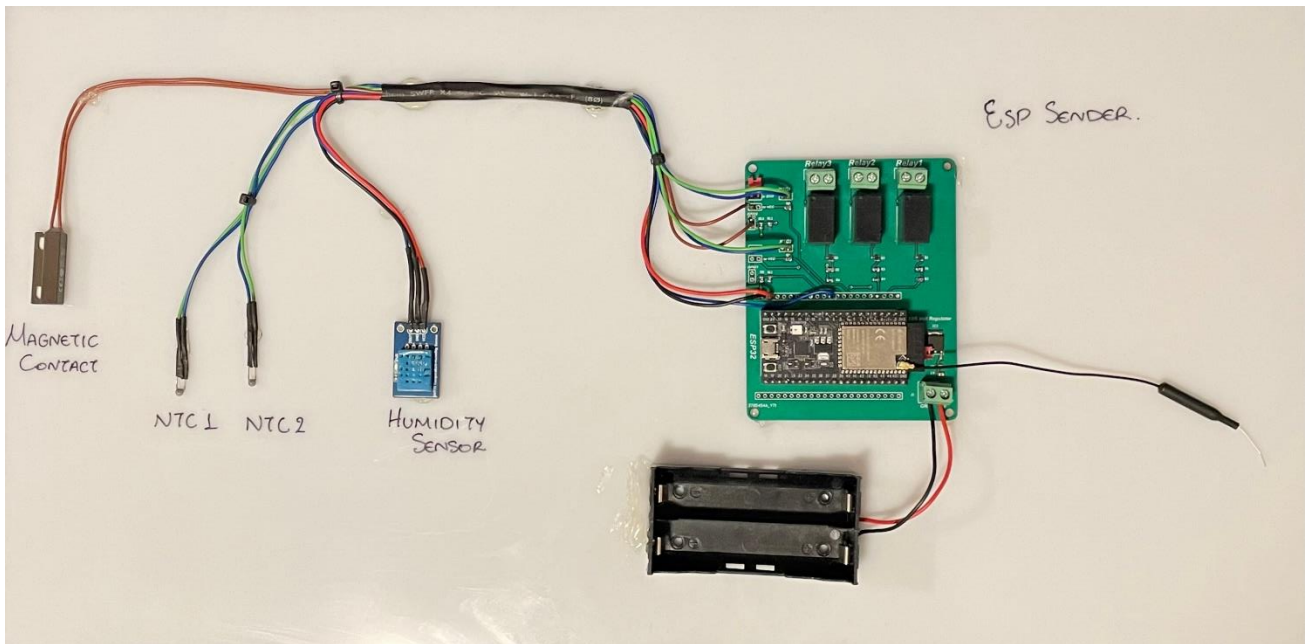
Κεφάλαιο 6: Αποτελέσματα και μετρήσεις

Με την ολοκλήρωση του σχεδιασμού της πλακέτας, συνεχίσαμε με την κατασκευή της, αλλά και με αυτή ολόκληρου του συστήματος, έτσι ώστε να ελεγχθεί η λειτουργία του. Πραγματοποιήθηκε μεμονωμένος έλεγχος σε κάθε κομμάτι του κυκλώματος ανεξάρτητα, με στόχο την εξασφάλιση της ορθής λειτουργίας του. Αφού έγινε έλεγχος λειτουργικότητας κάθε υποσυστήματος, σειρά είχαν οι δοκιμές σε επίπεδο τελικού συστήματος. Παρακάτω παρουσιάζονται, το σύστημα του Sender, του Receiver, καθώς και η διάταξη του τελικού συστήματος των δυο παραπάνω (Sender – Receiver), πάνω στο οποίο πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές για την εξακρίβωση της ορθής λειτουργίας του.

6.1 Διατάξεις συστημάτων

6.1.1 Διάταξη συστήματος Sender

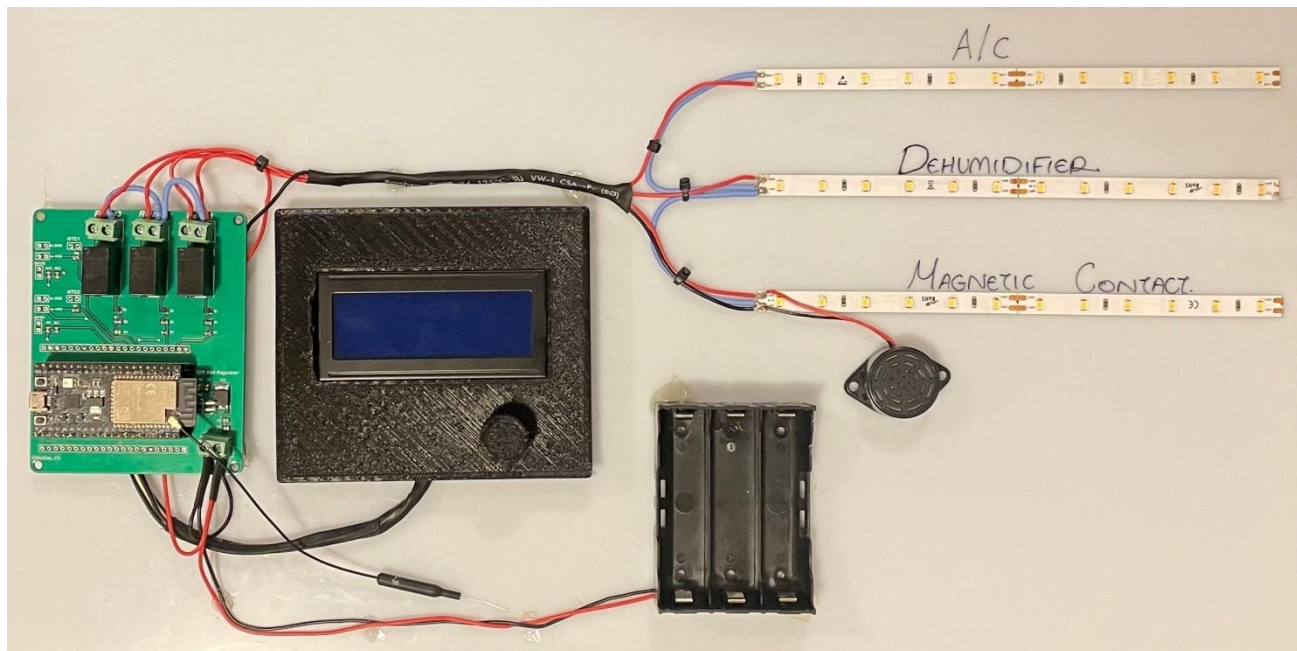
Στην εικόνα 6.1, απεικονίζεται η διάταξη του συστήματος Sender, το οποίο αποτελείται από το τυπωμένο κύκλωμα, από μια μαγνητική επαφή, από δυο θερμοστορ (NTC1, NTC2), καθώς και από έναν αισθητήρα υγρασίας.



Εικόνα 6.1: Διάταξη συστήματος Sender 1

6.1.2 Διάταξη συστήματος Receiver

Στην εικόνα 6.2, απεικονίζεται η διάταξη του συστήματος Receiver, το οποίο αποτελείται από το τυπωμένο κύκλωμα, από μια LCD οθόνη, από ένα ηχείο, το οποίο ηχεί με το άνοιγμα της μαγνητικής επαφής, και από τρεις ταινίες LED, οι οποίες υποδεικνύουν την ορθή λειτουργία των σεναρίων που έχουν δημιουργηθεί.

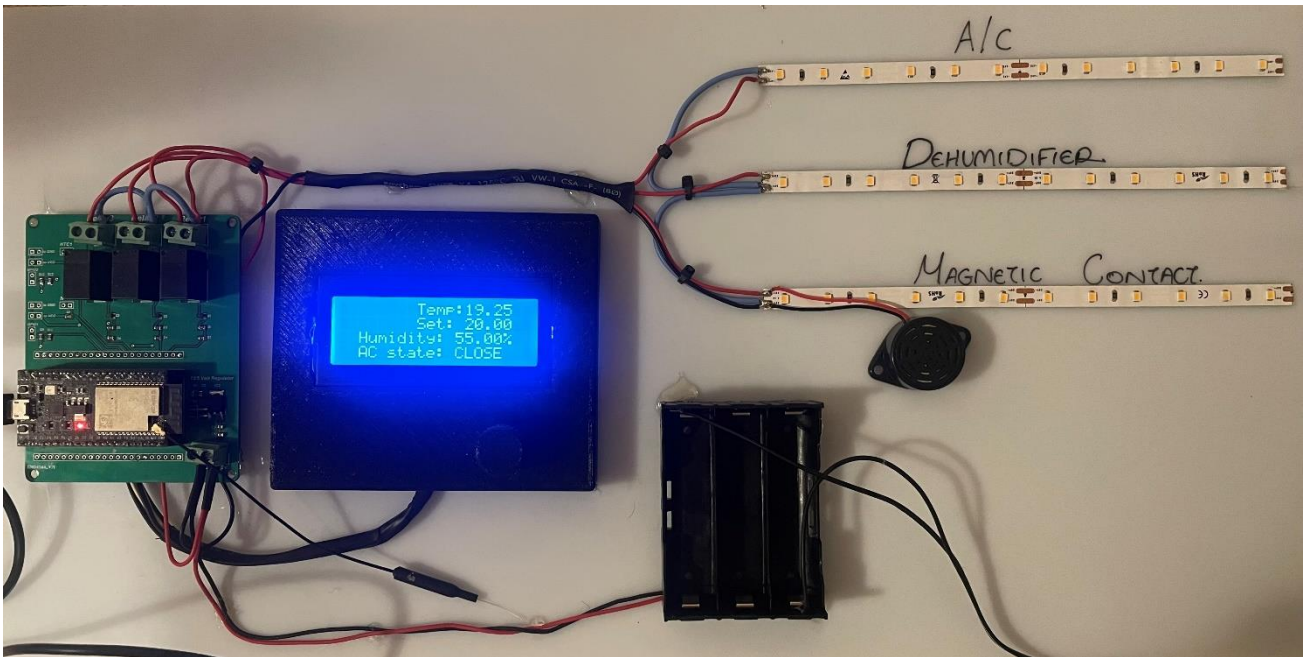


Εικόνα 6.2: Διάταξη συστήματος Receiver

6.2 Σενάρια

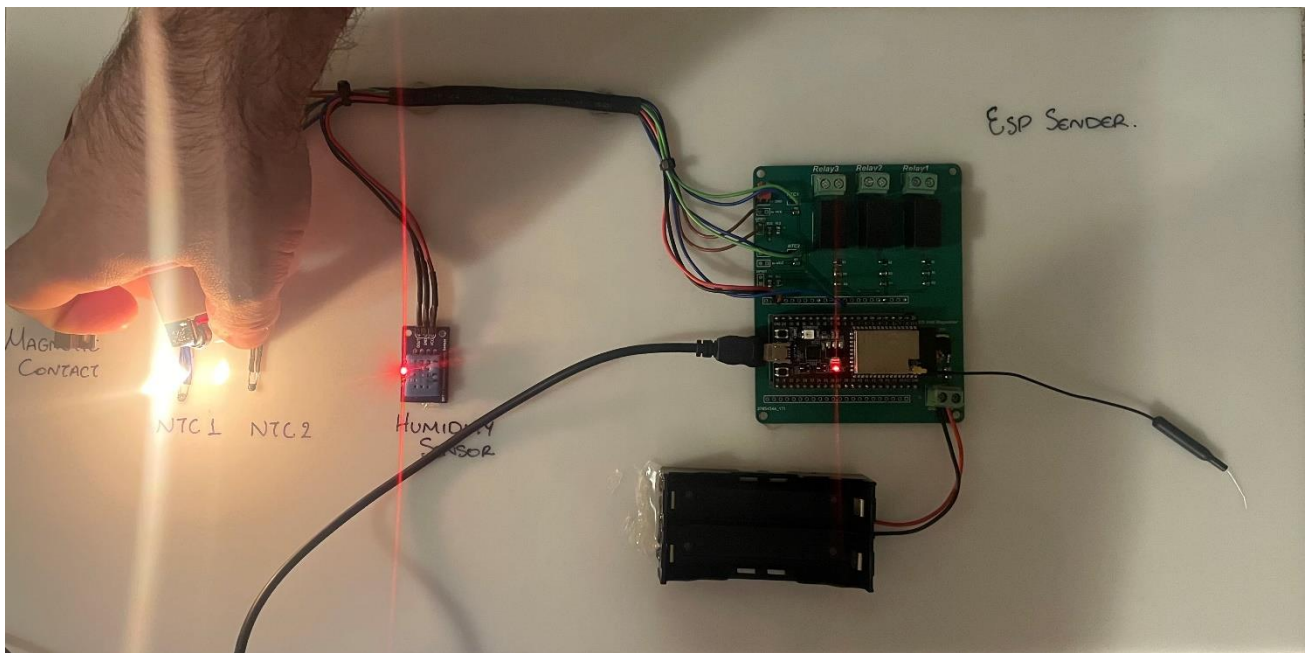
Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, έχουν προκαθοριστεί συγκεκριμένα σενάρια, των οποίων τα αποτελέσματα αλλά και η ένδειξη της ορθής λειτουργίας τους παρουσιάζεται παρακάτω.

Το πρώτο σενάριο το οποίο θα παρουσιαστεί, αποτελεί την αυτόματη λειτουργία του A/C, ανάλογα με την επιθυμητή θερμοκρασία η οποία έχει οριστεί από τον χρήστη.



Εικόνα 6.3: Επαλήθευση σεναρίου θερμοκρασίας

Στην εικόνα 6.3 απεικονίζεται το σύστημα, με ορισμένη θερμοκρασία από τον χρήστη, για την ενεργοποίηση του A/C, τους 20°C. Στο περιβάλλον, η τρέχουσα θερμοκρασία είναι χαμηλότερη (19.25 °C) από την ορισμένη (20.00 °C), με αποτέλεσμα το A/C να παραμένει κλειστό. Αρχικά, η κατάσταση αυτή είναι ορατή τόσο στην LCD οθόνη (AC state: CLOSE), όσο και στις ενδείξεις (ταινίες LED), που έχουν τοποθετηθεί για την κατανόηση των καταστάσεων.



Εικόνα 6.4: Αύξηση της θερμοκρασίας

Στην εικόνα 6.4 φαίνεται η αύξηση της θερμοκρασίας, με την βοήθεια ενός αναπτήρα, σε αρκετά κοντινή απόσταση από τα αισθητήρια, έχοντας ως στόχο με αυτή την διαδικασία να αυξήσουμε την θερμοκρασία του περιβάλλοντος από την ορισμένη, ώστε να πραγματοποιηθεί το ανάλογο σενάριο.



Εικόνα 6.5: Σενάριο ενεργοποίησης του A/C

Στην εικόνα 6.5 παρουσιάζεται το σενάριο ενεργοποίησης του A/C, αφού η θερμοκρασία περιβάλλοντος (28.70 °C), είναι μεγαλύτερη από αυτή που έχει οριστεί (20.00 °C). Το συγκεκριμένο σενάριο γίνεται εύκολα κατανοητό μέσω της κατάστασης που εμφανίζεται στην LCD οθόνη (AC state: OPEN), αλλά και μέσω της φωτεινής ένδειξης (ταινία LED).



Εικόνα 6.6: Σενάριο ενεργοποίησης του αφυγραντήρα

Στην εικόνα 6.3, παράλληλα επαληθεύεται το σενάριο το οποίο έχει οριστεί, όσον αφορά την υγρασία. Πιο αναλυτικά, εμφανίζεται το ποσοστό υγρασίας το οποίο μετράει ο αισθητήρας DHT11 (55.00%), το οποίο υπάρχει στην ατμόσφαιρα την δεδομένη χρονική στιγμή.

Όπως έχει εξηγηθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η ορισμένη τιμή υγρασίας είναι 60.00%. Στην εικόνα 6.6, και με διαφορετικές συνθήκες στην ατμόσφαιρα, απεικονίζεται η τιμή της υγρασίας την οποία μετρά ο αισθητήρας DHT11 (71.00%). Το δεδομένο ποσοστό υγρασίας είναι μεγαλύτερο από εκείνο που ορίστηκε από τον χρήστη, με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται ενεργοποίηση του αφυγραντήρα, το οποίο είναι ορατό μέσω της ένδειξης (ταινία LED), για την ευκολότερη κατανόηση του σεναρίου.



Εικόνα 6.7: Σενάριο ενεργοποίησης συναγερμού

Στην εικόνα 6.7 εφαρμόζεται το σενάριο ενεργοποίησης του συναγερμού το οποίο πραγματοποιείται με το άνοιγμα της μαγνητικής επαφής, η οποία είναι συνδεδεμένη στο σύστημα. Μπορούμε να παρατηρήσουμε την ορθή λειτουργία του σεναρίου αυτού μέσω του μηνύματος ALARM το οποίο εμφανίζεται στην LCD οθόνη, αλλά και μέσω της φωτεινής ένδειξης (ταινία LED).

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω ανάπτυξη

7.1 Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, στην παρούσα διπλωματική εργασία σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα σύστημα Έξυπνου Κτιρίου, με σκοπό την μελλοντική χρήση του σε πραγματικό κτίριο. Πρώτα από όλα, έγινε αναφορά στην ιστορική αναδρομή αλλά και στον ορισμό του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things), καθώς επίσης αναλύθηκε ο τρόπος λειτουργίας του, η αρχιτεκτονική του, τα κύρια χαρακτηριστικά του, ενώ δεν έλειπαν τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα. Επίσης, αναφέρονται εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων στην καθημερινότητα του ανθρώπου, αλλά και οι συνέπειες του, σε διάφορους τομείς. Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε εκτενής ανάλυση του Έξυπνου Κτιρίου, των λειτουργιών του, των χαρακτηριστικών αυτών, αλλά και των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων που παρουσιάζει ένα τέτοιο σύστημα. Ακόμα, παρουσιάστηκαν και αναπτύχθηκαν οι τεχνολογίες και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας τα οποία χρησιμοποιούνται στο IoT. Έπειτα, σειρά είχαν οι μικροελεγκτές, αναφέροντας τον ορισμό τους, τα βασικά στοιχεία που τον αποτελούν, τον τρόπο λειτουργίας τους, τα χαρακτηριστικά και τις κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται. Συγκεκριμένη αναφορά, έγινε στον μικροελεγκτή ESP32, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο σύστημα που υλοποιήθηκε. Τέλος, επεξηγείται ο σχεδιασμός του συστήματος, με αναλυτική περιγραφή του υλικού (Hardware), όσο και του υλικολογισμικού (Firmware), που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση και την ορθή λειτουργία του συστήματος. Κλείνοντας, παρουσιάζονται με εικόνες, οι διατάξεις των συστημάτων, αλλά και τα σενάρια τα οποία έχουν αναπτυχθεί.

7.2 Προτάσεις για περαιτέρω ανάπτυξη

Παρακάτω, παρουσιάζονται μερικές προτάσεις, για την βελτίωση και την περαιτέρω ανάπτυξη του συστήματος Έξυπνου Κτιρίου.

1. Στο ήδη υπάρχον σύστημα, η ενέργεια η οποία καταναλώνεται δεν επιτηρείται. Με την μέτρηση της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται, υπάρχει δυνατότητα πλήρη ελέγχου από τον χρήστη, έτσι ώστε να μπορεί να επιτύχει την μεγαλύτερη εξοικονόμηση, και την μείωση του λογαριασμού ηλεκτρικής ενέργειας. Προτείνεται, η χρήση ενός μετρητή ενέργειας, ο οποίος θα μεταδίδει τις μετρήσεις που πραγματοποιεί, στον μικροελεγκτή του συστήματος, μέσω πρωτοκόλλου ενσύρματης επικοινωνίας (MODBUS) ή μέσω ασύρματης επικοινωνίας (WiFi).
2. Ακόμα μία πρόταση, αποτελεί η δημιουργία πλατφόρμας cloud, καθώς επίσης και η δημιουργία εφαρμογής για smartphones, tablets και υπολογιστές, μέσω της οποίας θα πραγματοποιείται απομακρυσμένος έλεγχος, και θα αποστέλλονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για την κατάσταση του κτιρίου.
3. Προτείνεται βελτιστοποίηση του κώδικα, όσον αφορά την διαχείριση των σημάτων και μετρήσεων που λαμβάνουμε από τα αισθητήρια. Στον κώδικα που έχουμε υλοποιήσει, λαμβάνουμε κάθε περίπου 500msec, την κατάσταση της μαγνητικής επαφής, αλλά και τις μετρήσεις των αισθητήρων

θερμοκρασίας και υγρασίας. Αντί αυτού, ο έλεγχος της κατάστασης της μαγνητικής επαφής, μπορεί να υλοποιηθεί με την μέθοδο interrupt, και εφόσον οι τιμές της θερμοκρασίας και της υγρασίας δεν μπορούν να μεταβληθούν γρήγορα, ο μικροελεγκτής μπορεί να μεταβεί σε μια κατάσταση ύπνου (sleep), κατά την οποία θα ενεργοποιείται σύμφωνα με το επιθυμητό χρονικό διάστημα που θα έχουμε ορίσει, επιτυγχάνοντας έτσι την μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας του συστήματος.

4. Το σύστημα που έχει σχεδιαστεί, έχει την δυνατότητα υποστήριξης και άλλων αισθητηρίων, με αποτέλεσμα την υλοποίηση περισσότερων σεναρίων.

Βιβλιογραφία

1. Correcting The IoT History, Chetan Sharma, 2020
2. What is the internet of things (IoT)?, Alexander S. Gillis, 2022
3. What is the internet of things (IoT)?, Alexander S. Gillis, 2022
4. Miorandi, Sicari, De Pellegrini, and Chlamtac, 2012
5. Curt and Srivastava, 2001
6. Hu, Peng Tay and Yonggang Wen, 2012
7. Raza, U., Kulkarni, P., & Sooriyabandara, M. (2017). Low Power Wide Area Networks: An Overview. IEEE Communications Surveys & Tutorials
8. Patel, K. K., & Patel, S. M. (2016). Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. Int. J. Eng. Sci. Comput
9. The advantages and disadvantages of Internet Of Things, 2016
10. Toschi, et al., 2017
11. Toschi, et al., 2017
12. Domingues, et al., 2016
13. Withanage, et al., 2014
14. Shaikh, et al., 2014
15. Shaikh, et al., 2014
16. Toschi, et al., 2017
17. Mobile Device-to-Device Video Distribution: Theory and Application, Liang Zhou, 2016
18. The Four Internet of Things Connectivity Models Explained, Channel Futures, 2016
19. Triantafyllou, P. Sarigiannidis and T. D. Lagkas, "Network Protocols, Schemes, and Mechanisms for Internet of Things (IoT): Features, Open Challenges, and Trends," 2018
20. What is MQTT and How It Works, RANDOM NERD TUTORIALS
21. An overview of HTTP, mdn web docs, 2023
22. CoAP Protocol Definition, Wallarm
23. A Guide for selecting the right microcontroller for your IoT project,2018
24. What Is a Microcontroller? – Simply Explained, Pranav Gharge, 2022
25. Getting Started with the ESP32 Development Board, RANDOM NERD TUTORIALS