



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΥΦΥΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ  
SMART HOME ΓΙΑ ΗΛΙΚΙΩΜΕΝΟΥΣ ΚΑΙ  
ΑΤΟΜΑ ΜΕ ΑΝΑΠΗΡΙΑ**

Διπλωματική Εργασία

Άντελ-Βησσαρίων Ντερντέρα

Επιβλέπουσα: Δασκαλοπούλου Ασπασία

Σεπτέμβριος 2022





**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΥΦΥΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

**SMART HOME ΓΙΑ ΗΛΙΚΙΩΜΕΝΟΥΣ ΚΑΙ**

**ΑΤΟΜΑ ΜΕ ΑΝΑΠΗΡΙΑ**

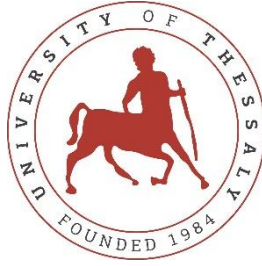
Διπλωματική Εργασία

Άντελ-Βησσαρίων Ντερντέρα

Επιβλέπουσα: Δασκαλοπούλου Ασπασία

Σεπτέμβριος 2022





**UNIVERSITY OF THESSALY**

**SCHOOL OF ENGINEERING**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING**

**APPLICATION OF INTELLIGENT AGENTS IN A SMART HOME  
ENVIRONMENT FOR ELDERLY AND DISABLED PEOPLE**

Diploma Thesis

Adel-Vissarion Derdera

Supervisor: Daskalopulu Aspassia

September 2022



Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπουσα

**Δασκαλοπούλου Ασπασία**

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και  
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

**Σταμούλης Γεώργιος**

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπο-  
λογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος

**Τσαλαπάτα Χαρίκλεια**

Ε.ΔΙ.Π, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογι-  
στών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας





## **ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩ- ΜΑΤΩΝ**

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελούν αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλουν οποιασδήποτε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχουν έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Δηλώνω επίσης ότι τα αποτελέσματα της εργασίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση άλλου πτυχίου. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο/Η Δηλών/ούσα

Άντελ-Βησσαρίων Ντερντέρα



## **DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS**

Being fully aware of the implications of copyright laws, I expressly state that this diploma thesis, as well as the electronic files and source codes developed or modified in the course of this thesis, are solely the product of my personal work and do not infringe any rights of intellectual property, personality and personal data of third parties, do not contain work / contributions of third parties for which the permission of the authors / beneficiaries is required and are not a product of partial or complete plagiarism, while the sources used are limited to the bibliographic references only and meet the rules of scientific citing. The points where I have used ideas, text, files and / or sources of other authors are clearly mentioned in the text with the appropriate citation and the relevant complete reference is included in the bibliographic references section. I also declare that the results of the work have not been used to obtain another degree. I fully, individually and personally undertake all legal and administrative consequences that may arise in the event that it is proven, in the course of time, that this thesis or part of it does not belong to me because it is a product of plagiarism.

The Declarant

Adel-Vissarion Derdera



## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά:

Τους γονείς μου, για την υλική και ψυχολογική υποστήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.

Τους καθηγητές και καθηγήτριες μου, που με βοήθησαν και καθοδήγησαν στο δύσκολο, αλλά και όμορφο, ταυτόχρονα, αυτό ταξίδι που λέγετε πανεπιστήμιο.

Τους φίλους μου, που στάθηκαν στο πλευρό μου, όταν τους είχα περισσότερο ανάγκη.

Την κοπέλα μου Παρασκευή Μακαρίτου, για τη υπομονή της, αλλά και την παρακίνησή της για την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας.

Τέλος, την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου, Ασπασία Δασκαλοπούλου, για την ευκαιρία που μου έδωσε να γράψω αυτήν την πτυχιακή εργασία.

Άντελ-Βησσαρίων Ντερντέρα



## ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΥΦΥΩΝ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ SMART HOME ΓΙΑ ΗΛΙΚΙΩΜΕΝΟΥΣ ΚΑΙ ΑΤΟΜΑ ΜΕ ΑΝΑΠΗΡΙΑ

Άντελ-Βησσαρίων Ντερντέρα

### Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει έναν τρόπο χρήσης της τεχνητής νοημοσύνης και των ευφυών πρακτόρων για τη διευκόλυνση των ηλικιωμένων και των ατόμων με αναπηρίες, ώστε να ξεπεράσουν τα καθημερινά τους εμπόδια, παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο σύστημα αυτονομίας. Αρχικά γίνεται η ανάλυση των τεχνολογιών, των εφαρμογών και των πρωτοκόλλων επικοινωνίας, όπως για παράδειγμα ο μικροελεγκτής Arduino, το λογισμικό Home Assistant και τα πρωτόκολλα Zigbee και MQTT, που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος. Στη συνέχεια αναλύεται ο τρόπος υλοποίησής του, μέσω της εγκατάστασης και της κατάλληλης παραμετροποίησης των τεχνολογιών αυτών. Παρουσιάζεται συνοπτικά ο έλεγχος του προτεινόμενου έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος μέσω του Home Assistant και έπειτα προσδιορίζεται το κόστος υλοποίησης, οι περιορισμοί του συστήματος ενώ, τέλος, αναφέρονται οι μελλοντικές προοπτικές για έρευνα ως προς τις διαφορετικές τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση του ολοκληρωμένου συστήματος καθώς και προς τις βοηθητικές λειτουργίες που θα μπορέσει να παρέχει το σύστημα αυτό.

### Λέξεις-κλειδιά:

Έξυπνο οικιακό περιβάλλον, ευφυείς πράκτορες, μικροελεγκτής Arduino, ZigBee, MQTT, Home Assistant, οικιακοί αυτοματισμοί, σύστημα οικιακού αυτοματισμού ανοικτού κώδικα





# **APPLICATION OF INTELLIGENT AGENTS IN A SMART HOME ENVIRONMENT FOR ELDERLY AND DISABLED PEOPLE**

Adel-Vissarion Derdera

## **Abstract**

This dissertation presents a way of using artificial intelligence and intelligent agents to help the elderly and people with disabilities overcome their daily obstacles by providing a fully integrated autonomy system. Initially, the technologies, applications and communication protocols, such as the Arduino microcontroller, the Home Assistant software and the Zigbee and MQTT protocols, used to implement the system, are analyzed. The way in which the proposed system is implemented, through the installation and appropriate configuration of aforementioned technologies, is then analyzed. The control of the proposed smart home environment through Home Assistant is briefly presented and then the implementation costs and limitations of the system are identified, while the future prospects for research into the different technologies that can be used for the implementation of the integrated system and the auxiliary functions that this system can provide are mentioned.

## **Keywords:**

Smart Home, intelligent agents, Arduino microcontroller, ZigBee, MQTT, Home Assistant, home automation, open source home automation hub



# Περιεχόμενα

<i>Ευχαριστίες.....</i>	<i>xiii</i>
<i>Περίληψη.....</i>	<i>xv</i>
<i>Abstract .....</i>	<i>xvii</i>
<i>Κατάλογος Εικόνων.....</i>	<i>xxii</i>
<i>Κατάλογος Πινάκων .....</i>	<i>xxvi</i>
<i>Κατάλογος Σχημάτων .....</i>	<i>xxvii</i>
<i>Συντομογραφίες.....</i>	<i>xxix</i>
<b>Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής.....</b>	<b>3</b>
1.1.1 Συνεισφορά .....	4
<b>1.2 Οργάνωση του τόμου .....</b>	<b>6</b>
<b>Κεφάλαιο 2 Ανάλυση Τεχνολογιών και Εφαρμογών .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Τεχνητή νοημοσύνη- Ευφυείς πράκτορες .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) και ευφυές σπίτι (Smart Home).....</b>	<b>8</b>
<b>2.3 Ευφυείς πράκτορες και Arduino .....</b>	<b>11</b>
<b>2.4 Συστήματα Οικιακού Αυτοματισμού -Smart Central Hubs.....</b>	<b>18</b>
2.4.1 Home Assistant .....	28
<b>2.5 Τοπικά Δίκτυα και Πρωτόκολλα επικοινωνίας.....</b>	<b>32</b>
2.5.1 Wi-Fi.....	37
2.5.2 Zigbee .....	40
2.5.3 MQTT .....	47
<b>2.6 Σύνοψη Προτεινόμενου Συστήματος .....</b>	<b>52</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Μέθοδος υλοποίησης του συστήματος.....</b>	<b>54</b>
<b>3.1 Υλικό που χρησιμοποιήθηκε .....</b>	<b>54</b>
3.1.1 Υλικό φιλοξενίας του Home Assistant .....	54
3.1.2 Sonoff ZBBridge .....	55
3.1.3 NodeMCU ESP8266.....	59

3.1.4 D1 Mini NodeMCU Lua WIFI .....	61
3.1.5 WiZ λαμπτήρες και WiZ app .....	62
3.1.6 Άλλο Υλικό .....	63
1. CJMCU-TEMT6000 Analogue Intensity Light Sensor.....	63
2. Xiaomi Mijia Smart Home Light Sensor Zigbee 3.0 .....	64
3. Xiaomi Mi Smart Home Wireless Switch Zigbee WXKG01LM .....	65
4. Xiaomi Mi Smart Socket Plug Zigbee ZNCZ04LM .....	66
5. Waveshare Gas Sensor Module MQ-135.....	67
6. Aqara Temperature and Humidity Sensor WSDCGQ11LM .....	67
7. Aqara Door&Window MCCGQ11LM.....	68
8. SONOFF SNZB-03 - ZigBee Motion Sensor .....	69
9. Aqara Zigbee Smart Lamp LED Dimmable ZNLDP12LM .....	69
10. DCS P6000LH Mini HD WiFi Camera .....	70
11. Αισθητήρες και συσκευές ως εναλλακτικές των χρησιμοποιηθέντων.....	72
11.α. Αισθητήρας μέτρησης απόστασης με υπερηχητικά κύματα (εικ. 26). .....	72
11.β. Διακόπτης ρεύματος υψηλού φορτίου (εικ. 27). .....	72
11.γ. Αισθητήρας θερμοκρασίας υγρασίας (εικ. 28).....	73
11.δ. Γυροσκόπιο (εικ. 29).....	73
11.ε. Πομπός/Δέκτης σημάτων πολύ υψηλής συχνότητας UHF (εικ. 30). .....	74
11.στ. Πομποδέκτης ραντάρ για ανίχνευση κίνησης και πίσω από αντικείμενα (εικ. 31).....	74
11.ζ. Αισθητήρας υγρασίας χώματος (εικ. 32). .....	75
<b>3.2 Εγκατάσταση Proxmox Virtual Environment.....</b>	<b>75</b>
<b>3.3 Εγκατάσταση του Home Assistant .....</b>	<b>82</b>
<b>3.4 Προγραμματισμός του Arduino .....</b>	<b>84</b>
<b>3.5 Προσαρμογή Home Assistant .....</b>	<b>89</b>
3.5.1 MQTT Broker .....	89
3.5.2 Home Assistant MQTT integration. ....	95
<b>3.6 Τροποποίηση του Zigbee Gateway .....</b>	<b>95</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Συνοπτική Παρουσίαση Έξυπνου Οικιακού Περιβάλλοντος μέσω της διεπαφής Home Assistant. ....</b>	<b>108</b>
<b>4.1 Overview tab – Κάρτα Επισκόπησης.....</b>	<b>108</b>
<b>4.2 Logbook Tab – Κάρτα Αρχείου Συμβάντων .....</b>	<b>112</b>
<b>4.3 History Tab – Κάρτα Ιστορικού .....</b>	<b>113</b>

4.4 Settings tab – Κάρτα Ρυθμίσεων.....	113
4.5 Studio Code Server Tab – Κάρτα Επέκτασης Studio Code Server.....	120
4.6 Ενδεικτικά Στιγμιότυπα Οθόνης της διεπαφής του Home Assistant στα Ελληνικά .....	121
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Κόστος και Περιορισμοί - Προοπτικές για μελλοντική έρευνα .....</b>	<b>123</b>
5.1 Κόστος .....	123
5.2 Περιορισμοί .....	125
5.3 Προοπτικές για μελλοντική έρευνα .....	126
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>133</b>

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Google Home vs Alexa. Προσαρμοσμένο από [27].....	19
Εικόνα 2. Beelink Gemini α.....	54
Εικόνα 3. Beelink Gemini β.....	55
Εικόνα 4. Beelink Gemini γ.....	55
Εικόνα 5. Sonoff ZBBridge .....	57
Εικόνα 6. Sonoff ZBBridge – Πλακέτα .....	57
Εικόνα 7. Αισθητήρες θερμοκρασίας/υγρασίας (Α), φωτός (Γ) και Έξυπνος Διακόπτης ...	58
Εικόνα 8. NodeMCU ESP8266 .....	59
Εικόνα 9. NodeMCU ESP8266 με Αισθητήρα Ποιότητας Αέρα και Μαγνητόμετρο.....	60
Εικόνα 10. D1 Mini NodeMCU Lua WIFI.....	61
Εικόνα 11. D1 Mini NodeMCU Lua WIFI με Αισθητήρα Φωτός .....	62
Εικόνα 12. Οικοσυστήματα συμβατά με προϊόντα WiZ. Προσαρμοσμένο από [60] .....	63
Εικόνα 13. Αισθητήρας Φωτός CJMCU-TEMT6000.....	63
Εικόνα 14. Αισθητήρας Φωτός Zigbee 3.0 .....	64
Εικόνα 15. Έξυπνος Διακόπτης.....	65
Εικόνα 16. Έξυπνη Πρίζα .....	66
Εικόνα 17. Αισθητήρας ποιότητας αέρα.....	67
Εικόνα 18. Αισθητήρας Θερμοκρασίας/Υγρασίας .....	67
Εικόνα 19. Αισθητήρας Θυρών/Παραθύρων Zigbee .....	68
Εικόνα 20. Αισθητήρας Κίνησης.....	69
Εικόνα 21. Έξυπνη λάμπα.....	69
Εικόνα 22. Έξυπνη Κάμερα.....	70
Εικόνα 23. Studio Code Server .....	70
Εικόνα 24. Κώδικας ένταξης έξυπνης κάμερας στο Home Assistant.....	71
Εικόνα 25. Διεπαφή Home Assistant με πλάνο από την έξυπνη κάμερα.....	71
Εικόνα 26. Αισθητήρας μέτρησης απόστασης.....	72
Εικόνα 27. Διακόπτης ρεύματος υψηλού φορτίου.....	72
Εικόνα 28. Αισθητήρας θερμοκρασίας υγρασίας.....	73

Εικόνα 29. Γυροσκόπιο.....	73
Εικόνα 30. Πομπός Α και Δέκτης Β σημάτων πολύ υψηλής συχνότητας UHF. ....	74
Εικόνα 31. Πομποδέκτης ραντάρ .....	74
Εικόνα 32. Αισθητήρας υγρασίας χώματος. ....	75
Εικόνα 33. Χαρακτηριστικά Εικονικής Μηχανής που φιλοξενεί το Home Assistant.....	77
Εικόνα 34. Εγκατάσταση Proxmox VE (α). Προσαρμοσμένο από [72] .....	78
Εικόνα 35. Εγκατάσταση Proxmox VE (β). Προσαρμοσμένο από [72] .....	78
Εικόνα 36. Εγκατάσταση Proxmox VE (γ). Προσαρμοσμένο από [72].....	79
Εικόνα 37. Εγκατάσταση Proxmox VE (δ). Προσαρμοσμένο από [72] .....	79
Εικόνα 38. Proxmox VE Cluster. Προσαρμοσμένο από [73] .....	80
Εικόνα 39. Εγκατάσταση Proxmox VE (ε). Προσαρμοσμένο από [72].....	81
Εικόνα 40. Εγκατάσταση Home Assistant (α). Προσαρμοσμένο από [72] .....	82
Εικόνα 41. Εγκατάσταση Home Assistant (β). Προσαρμοσμένο από [72] .....	83
Εικόνα 42. Εγκατάσταση Home Assistant (γ). Προσαρμοσμένο από [72].....	83
Εικόνα 43. Εγκατάσταση Home Assistant (δ). Προσαρμοσμένο από [72] .....	84
Εικόνα 44. Εγκατάσταση Πρόσθετου Mosquitto MQTT broker add-on (α). ....	90
Εικόνα 45. Εγκατάσταση Πρόσθετου Mosquitto MQTT broker add-on (β). ....	90
Εικόνα 46. Εγκατάσταση Πρόσθετου Mosquitto MQTT broker add-on (γ).....	91
Εικόνα 47. Εγκατάσταση Πρόσθετου Mosquitto MQTT broker add-on (δ).....	91
Εικόνα 48. Εγκατάσταση Πρόσθετου Mosquitto MQTT broker add-on (ε).....	92
Εικόνα 49. Διαμόρφωση Πρόσθετου Mosquitto MQTT broker add-on (α).....	92
Εικόνα 50. Διαμόρφωση Πρόσθετου Mosquitto MQTT broker add-on (β).....	93
Εικόνα 51. Διαμόρφωση Πρόσθετου Mosquitto MQTT broker add-on (γ).....	93
Εικόνα 52. Καλώδια δοκιμής (jumpers) breadboard. ....	97
Εικόνα 53. Φάκελος αρχείου OTA για αντικατάσταση firmware του Zigbee chipset του Zigbee Bridge .....	98
Εικόνα 54. Αρχείο OTA για αντικατάσταση firmware του Zigbee chipset του Zigbee Bridge .....	98
Εικόνα 55. Pins Πλακέτας Sonoff ZBBridge .....	98
Εικόνα 56. Σύνδεση Sonoff ZBBridge με προσαρμογέα USB TTL.....	99
Εικόνα 57. Αντικατάσταση Firmware του WiFi chipset του Sonoff ZBBridge (α) .....	99
Εικόνα 58. Αντικατάσταση Firmware του WiFi chipset του Sonoff ZBBridge (β) .....	100

Εικόνα 59. Αντικατάσταση Firmware του WiFi chipset του Sonoff ZBBridge (γ).....	100
Εικόνα 60. Αντικατάσταση Firmware του WiFi chipset του Sonoff ZBBridge (δ) .....	101
Εικόνα 61. Αντικατάσταση Firmware του Zigbee chipset του Sonoff ZBBridge (α).....	101
Εικόνα 62. Αντικατάσταση Firmware του Zigbee chipset του Sonoff ZBBridge (β).....	102
Εικόνα 63. Αντικατάσταση Firmware του Zigbee chipset του Sonoff ZBBridge (γ) .....	102
Εικόνα 64. Αντικατάσταση Firmware του Zigbee chipset του Sonoff ZBBridge (δ).....	102
Εικόνα 65. Αντικατάσταση Firmware του Zigbee chipset του Sonoff ZBBridge (ε) .....	103
Εικόνα 66. Ρύθμιση του Tasmota στο Sonoff ZBBridge .....	104
Εικόνα 67. Εγκατάσταση integration “Zigbee Home Automation” στο Home Assistant (α) .....	104
Εικόνα 68. Εγκατάσταση integration “Zigbee Home Automation” στο Home Assistant (β) .....	105
Εικόνα 69 Εγκατάσταση integration “Zigbee Home Automation” στο Home Assistant (γ) .....	105
Εικόνα 70 Εγκατάσταση integration “Zigbee Home Automation” στο Home Assistant (δ) .....	105
Εικόνα 71. Διαμόρφωση integration “Zigbee Home Automation” στο Home Assistant (α) .....	106
Εικόνα 72. Διαμόρφωση integration “Zigbee Home Automation” στο Home Assistant (β) .....	106
Εικόνα 73. Διαμόρφωση integration “Zigbee Home Automation” στο Home Assistant (γ) .....	106
Εικόνα 74. Τοπολογία τοπικού δικτύου προτεινόμενου έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος. .....	107
Εικόνα 75. HA Επισκόπηση Συστήματος .....	108
Εικόνα 76. Ενδείξεις αισθητήρων .....	109
Εικόνα 77. Έλεγχος έξυπνων λαμπτήρων.....	109
Εικόνα 78. Έλεγχος κλιματιστικού .....	110
Εικόνα 79. Υπνοδωμάτιο .....	110
Εικόνα 80. Αισθητήρες, ενδείξεις μπαταρίας και Chromecast.....	111
Εικόνα 81. Ιστορικό εβδομαδιαίων καταγραφών.....	111
Εικόνα 82. Έλεγχος ταχύτητας σύνδεσης στο διαδίκτυο. ....	112



Εικόνα 83. Καταγραφή συμβάντων.....	112
Εικόνα 84. Ιστορικό .....	113
Εικόνα 85. Ορισμός ζωνών.....	113
Εικόνα 86. Integrations του Home Assistant.....	114
Εικόνα 87. Συσκευές του Home Assistant.....	114
Εικόνα 88. Οντότητες του Home Assistant. ....	115
Εικόνα 89. Κάρτα σύνδεση στο Home Assistant Cloud.....	115
Εικόνα 90. Τοπολογία Συσκευών .....	116
Εικόνα 91. Λίστα αυτοματισμών Home Assistant.....	116
Εικόνα 92. Template δημιουργίας αυτοματισμών. ....	117
Εικόνα 93. Παράδειγμα αυτοματισμού 1 .....	117
Εικόνα 94. Παράδειγμα αυτοματισμού 2. ....	118
Εικόνα 95. Παράδειγμα αυτοματισμού 3 .....	118
Εικόνα 96. Παράδειγμα αυτοματισμού 4 .....	119
Εικόνα 97. Διεπαφή Studio Code Server (α) .....	120
Εικόνα 98 Διεπαφή Studio Code Server (β).....	120
Εικόνα 99. Διεπαφή Home Assistant στα Ελληνικά (α) .....	121
Εικόνα 100. Διεπαφή Home Assistant στα Ελληνικά (β).....	121
Εικόνα 101. Διεπαφή Home Assistant στα Ελληνικά (γ) .....	122
Εικόνα 102. Διεπαφή Home Assistant στα Ελληνικά (δ).....	122
Εικόνα 103. Τιμή συνδρομής στο Home Assistant Cloud. Προσαρμοσμένο από [83] .....	123
Εικόνα 104 Κόστος BeeLink Gemini .....	124

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Ιεραρχική ταξινόμηση συστημάτων οικιακού αυτοματισμού ανοικτού κώδικα – Αρχική διαδικασία. Προσαρμοσμένο από [30].....	23
Πίνακας 2 Υποστηριζόμενα χαρακτηριστικά συστημάτων οικιακού αυτοματισμού ανοικτού κώδικα. Προσαρμοσμένο από [30] .....	24
Πίνακας 3 Ελάχιστες απαιτήσεις υλικού και τιμή. Προσαρμοσμένο από [30] .....	25
Πίνακας 4. Προτεινόμενο υλικό και τιμή. Προσαρμοσμένο από [30].....	25
Πίνακας 5. Βήματα που χρειάζονται για εγκατάσταση και διαμόρφωση αισθητήρα MQTT. Προσαρμοσμένο από [30].....	25
Πίνακας 6. Απαιτούμενη προσπάθεια για τη δημιουργία κανόνων αυτοματισμού. Προσαρμοσμένο από [30].....	26
Πίνακας 7. Προστασία Ρυθμίσεων με Ταυτοποίηση (Authentication). Προσαρμοσμένο από [30].....	26
Πίνακας 8. Αριθμός επεκτάσεων (extensions / integrations). Προσαρμοσμένο από [30].	26
Πίνακας 9. Σύνοψη Βαθμολογίας ανά κριτήριο και τελική κατάταξη συστημάτων οικιακού αυτοματισμού ανοικτού κώδικα. Προσαρμοσμένο από [30].....	27
Πίνακας 10. Ομάδες εργασίας επιτροπής 802 του IEEE. Προσαρμοσμένο από [34].....	34
Πίνακας 11. Εγγενώς υποστηριζόμενες συσκευές από Sonoff ZBBridge. Προσαρμοσμένο από [56] .....	58
Πίνακας 12. Αντιστοιχία Pins Sonoff ZBBridge με Pins προσαρμογέα USB TTL .....	99
Πίνακας 13. Ενδεικτικές τιμές υλικού .....	124

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1 Ποσοστό γονιμότητας και Προσδόκιμο ζωής 1950-2020, Πρόβλεψη ως 2100, Προσαρμοσμένο από [2] .....	1
Σχήμα 2 Ποσοστό ατόμων άνω των 65 τα έτη 2020, 2030, 2040, 2050. Προσαρμοσμένο από [2].....	2
Σχήμα 3 Ποσοστό ατόμων άνω των 65 ανά χώρα (2020). Προσαρμοσμένο από [3].....	2
Σχήμα 4 Στάδια Τεχνητής Νοημοσύνης . Προσαρμοσμένο από [10] .....	7
Σχήμα 5 Ευφυείς πράκτορες και περιβάλλον – Αλληλοεπίδραση. Προσαρμοσμένο από [18] .....	11
Σχήμα 6 Cloud, Fog and Edge Computing. Προσαρμοσμένο από [26] .....	15
Σχήμα 7. Αρχιτεκτονική οικιακού αυτοματισμού. Προσαρμοσμένο από [30] .....	23
Σχήμα 8. Εκδόσεις Home Assistant. Προσαρμοσμένο από [31] .....	29
Σχήμα 9 Αρχιτεκτονική Home Assistant Core. Προσαρμοσμένο από [33] .....	30
Σχήμα 10 Ταξινόμηση δικτύων ανάλογα με το μέγεθος κάλυψης. Προσαρμοσμένο από [34] .....	33
Σχήμα 11 Μοντέλο αναφοράς διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων (OSI). Προσαρμοσμένο από [37]. .....	35
Σχήμα 12. Μοντέλα OSI και TCP/IP. Προσαρμοσμένα από [38] .....	36
Σχήμα 13. Γενιές Wi-Fi. Προσαρμοσμένο από [39] .....	37
Σχήμα 14. Εξέλιξη τεχνολογιών Wi-Fi και προτύπων. Προσαρμοσμένο από [42] .....	38
Σχήμα 15. Αρχιτεκτονική Zigbee και WiFi. Προσαρμοσμένο από [43] .....	39
Σχήμα 16. Αρχιτεκτονική έξυπνου οικιακού δικτύου με πρωτόκολλα επικοινωνίας WiFi και Zigbee. Προσαρμοσμένο από [43] .....	40
Σχήμα 17. Zigbee 3.0. Stack. Προσαρμοσμένο από [45] .....	42
Σχήμα 18. Αρχιτεκτονική του ZigBee Stack. Προσαρμοσμένο από [45] .....	43
Σχήμα 19. Δομή Superframe. Προσαρμοσμένο από [48]. .....	45
Σχήμα 20. Τοπολογίες Δικτύων ZigBee. Προσαρμοσμένο από [48] .....	45
Σχήμα 21. MQTT ως μεταφορέας μηνυμάτων IoT. Προσαρμοσμένο από [50] .....	47
Σχήμα 22. Χρήση τεχνολογιών και πρωτοκόλλων επικοινωνίας στο προτεινόμενο έξυπνο οικιακό περιβάλλον. ....	52

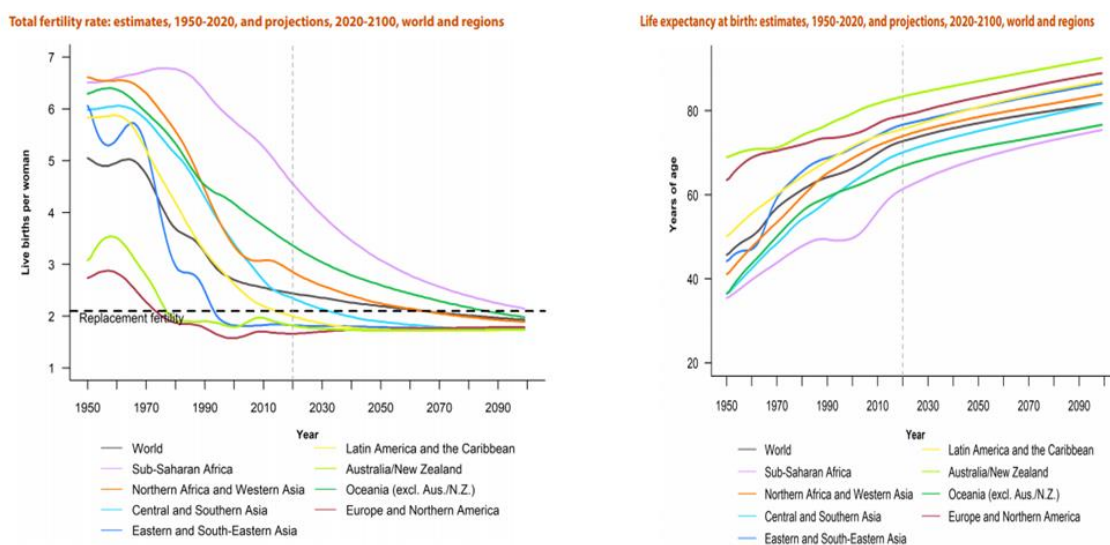


## Συντομογραφίες

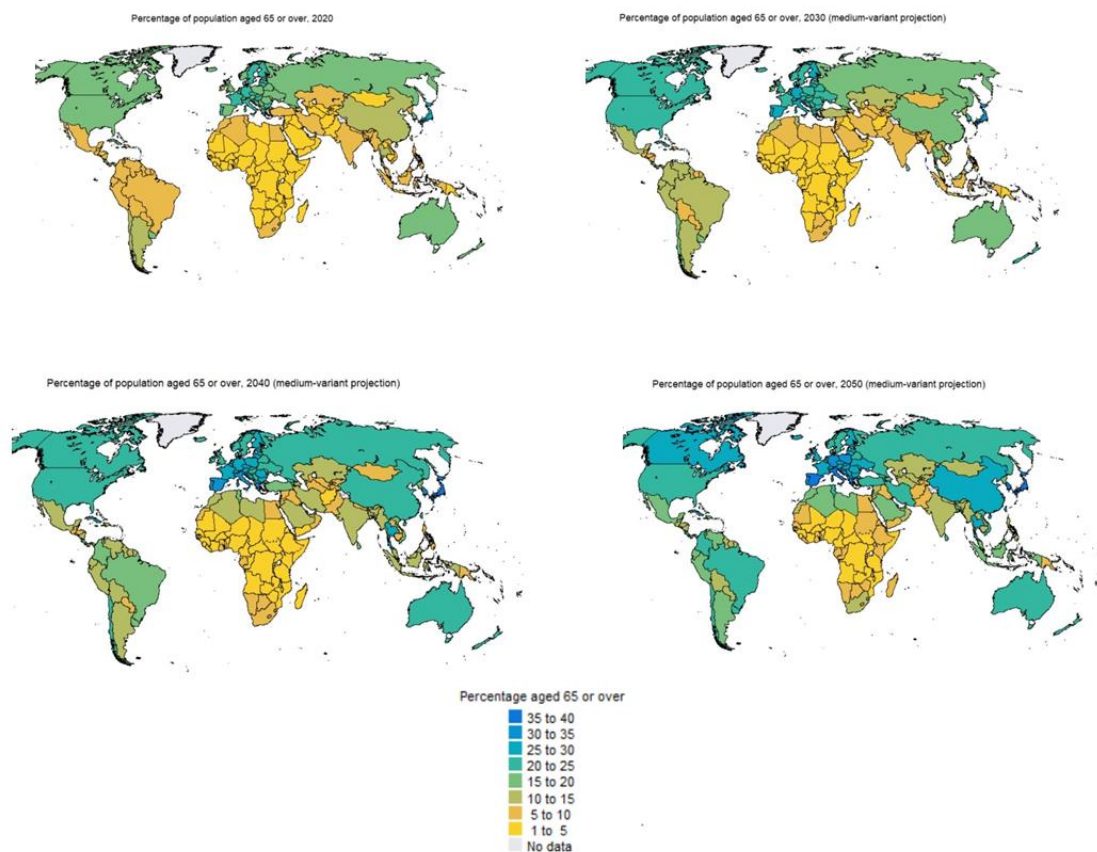
κλπ.	και λοιπά
π.χ.	παραδείγματος χάριν
M2M	Machine to Machine
εικ.	εικόνα
Σχ.	σχήμα
Πίν.	πίνακας

## Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Η ανθρωπότητα βιώνει μια άνευ προηγουμένου και συνεχή αλλαγή στην ηλικιακή διάρθρωση του παγκόσμιου πληθυσμού, λόγω της αύξησης του προσδόκιμου ζωής και της μείωσης της γονιμότητας, κυρίως στις δυτικού τύπου ανεπτυγμένες χώρες. Οι άνθρωποι ζουν περισσότερο, και τόσο ο απόλυτος αριθμός όσο και το ποσοστό των ηλικιωμένων στο συνολικό πληθυσμό αυξάνουν ραγδαία. Το 2020 η εκτίμηση ήταν ότι υπήρχαν 727 εκατομμύρια άτομα ηλικίας 65 ετών και άνω σε παγκόσμιο επίπεδο (9,3% του συνολικού πληθυσμού). Κατά τη διάρκεια των επόμενων τριών δεκαετιών, ο αριθμός των ηλικιωμένων παγκοσμίως αναμένεται να υπερδιπλασιαστεί, φτάνοντας πάνω από 1,5 δισεκατομμύριο το 2050 και αγγίζοντας το 16% του παγκόσμιου πληθυσμού [1].

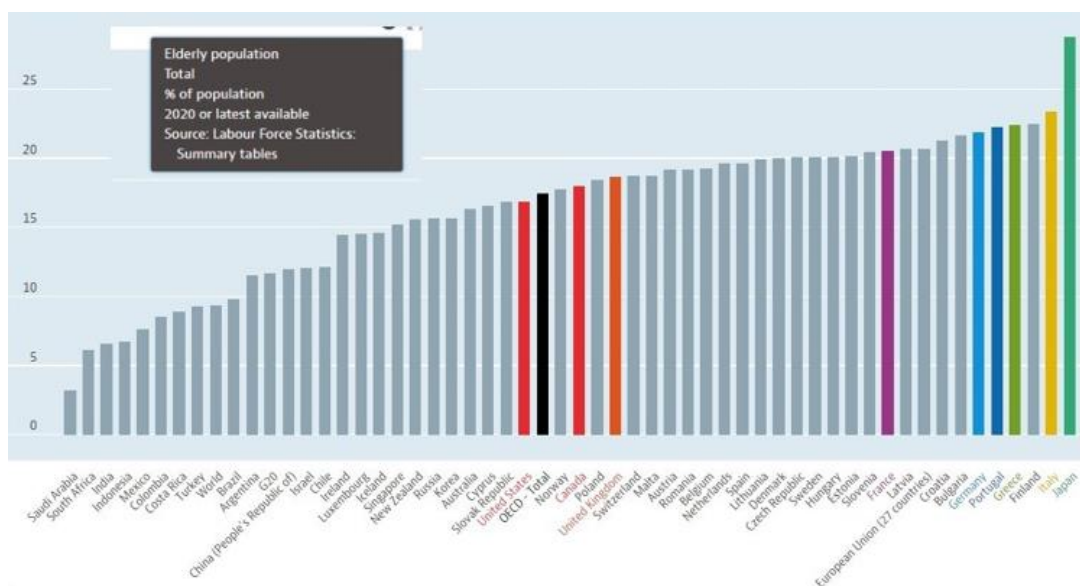


Σχήμα 1 Ποσοστό γονιμότητας και Προσδόκιμο ζωής 1950-2020, Πρόβλεψη ως 2100, Προσαρμοσμένο από [2]



Σχήμα 2 Ποσοστό ατόμων άνω των 65 τα έτη 2020, 2030, 2040, 2050. Προσαρμοσμένο από [2]

Στην Ελλάδα συγκεκριμένα, σύμφωνα με στοιχεία του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (OECD) το ποσοστό ατόμων άνω των 65 σε σχέση με το γενικό πληθυσμό άγγιξε το 22,4% το 2020 , με αυξητικές τάσεις στο μέλλον [2].



Σχήμα 3 Ποσοστό ατόμων άνω των 65 ανά χώρα (2020). Προσαρμοσμένο από [3]

Παράλληλα, η επέλαση της πανδημίας Covid 19 από το 2020 οδήγησε σε συχνές επιβολές καραντίνας, ιδίως των ηλικιωμένων, εντός των ορίων των σπιτιών τους με περιορισμένες έως μηδενικές επαφές με το νεότερο πληθυσμό και κατ' επέκταση περιορισμό της βοήθειας που αυτοί λάμβαναν από μέλη της οικογένειας, δομές της πολιτείας ή προσωπικούς και οικιακούς βοηθούς.

Τέλος η ενεργειακή κρίση που ταλανίζει τον πλανήτη μετά την έναρξή του πολέμου στην Ουκρανία και οι υπέρογκες αυξήσεις της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας ιδίως στην χώρα μας, επιβάλλουν την κατά το δυνατό μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος ενός νοικοκυριού και την χρήση της καταναλισκόμενης ενέργειας με τον πιο αποδοτικό τρόπο.

Η επιλογή ενός έξυπνου περιβάλλοντος διαβίωσης για ηλικιωμένους, και γενικότερα άτομα με κινητικά προβλήματα, αναδύεται σύμφωνα με τα παραπάνω ως η ενδεδειγμένη λύση για την τρέχουσα περίοδο όσο και για το μέλλον.

### **1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής**

Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία, η διπλωματική μου στοχεύει στην διευκόλυνση των ηλικιωμένων και των ατόμων με ειδικές ανάγκες ώστε να ξεπεράσουν τα καθημερινά τους εμπόδια παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο σύστημα αυτονομίας με τη μορφή ενός έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος.

Τα Smart Homes χρησιμοποιούν συσκευές συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο για να δημιουργήσουν μια ψηφιακά υποβοηθούμενη ζωή στους ενοίκους της. Σκοπός τους είναι να απελευθερώσουν τον ένοικο από ασήμαντες και καθημερινές εργασίες και να δημιουργήσουν ένα ελκυστικό περιβάλλον διαβίωσης [3]. Ωστόσο, αυτό που θεωρούμε ασήμαντες εργασίες, για τους ηλικιωμένους ή τα άτομα με ειδικές ανάγκες είναι, στην πραγματικότητα, ένας καθημερινός αγώνας. Η δυνατότητα ελέγχου των οικιακών συσκευών με τη χρήση έξυπνης τεχνολογίας θα μπορούσε να αποτελέσει τεράστιο πλεονέκτημα για τα άτομα με σωματικές αναπηρίες και τους ηλικιωμένους [4].



Επιπρόσθετα το κόστος διαβίωσης, με την χρήση απομακρυσμένα ελεγχόμενων ενεργειακά αποδοτικών συσκευών, είναι μικρότερο και επομένως η επιλογή ενός έξυπνου περιβάλλοντος πιο επωφελής από οικονομική άποψη, από το να βρίσκεται κανείς υπό την υποστήριξη προσωπικών ή οικιακών βοηθών [5].

Η επιλογή ενός έξυπνου περιβάλλοντος από ηλικιωμένους και άτομα με αναπηρία, εκτός από ευκολία και εξοικονόμηση ενέργειας, παρέχει λύσεις και όσον αφορά τις αυξημένες ανάγκες για ασφάλεια που έχουν άτομα ευάλωτα, με μειωμένη κινητικότητα. Οι έξυπνες λύσεις επιτρέπουν τη διαχείριση και τον έλεγχο του συναγερμού, τον έλεγχο πρόσβασης, φωτισμού και καμερών, το κλείδωμα και ξεκλείδωμα θυρών και παραθύρων από απόσταση, χρησιμοποιώντας, για παράδειγμα, ένα έξυπνο τηλέφωνο και μια εφαρμογή [6].

Στα πλαίσια ανάπτυξης ενός τέτοιου έξυπνου περιβάλλοντος χρησιμοποιούνται συστήματα οικιακού αυτοματισμού. Ο οικιακός αυτοματισμός είναι ένας από τους σημαντικότερους και ταχέως αναπτυσσόμενους τομείς, που μπορεί να αλλάξει τον τρόπο ζωής των ανθρώπων. Στα συστήματα οικιακού αυτοματισμού υπάρχουν συλλογές διασυνδεδεμένων συσκευών για τον έλεγχο διαφόρων λειτουργιών μέσα σε ένα έξυπνο σπίτι. Οι έξυπνες φορητές συσκευές όπως smartphones ή tablets είναι ιδανικές για την παροχή διεπαφής χρήστη σε ένα σύστημα οικιακού αυτοματισμού, λόγω της φορητότητάς τους και του μεγάλου εύρους των δυνατοτήτων τους. Όταν το σύστημα σχεδιάζεται για ηλικιωμένους ή άτομα με αναπηρία θα πρέπει να είναι αρκετά φθηνό, εύκολο στη διαμόρφωση και τη λειτουργία με φιλική και διαισθητική διεπαφή χρήστη. [7]

#### 1.1.1 Συνεισφορά

Ένα τυπικό σύστημα οικιακού αυτοματισμού υπάρχει για να συνδέει ετερογενείς συσκευές, να συλλέγει δεδομένα και να αποφασίζει, με βάση παρατηρούμενα από αισθητήρες δεδομένα. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ αυτών των συσκευών είναι συνήθως Wi-Fi ή Bluetooth και σε ορισμένες περιπτώσεις ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας (3G/4G/5G)

- Το πρώτο μέρος οποιασδήποτε λύσης έξυπνου σπιτιού επικεντρώνεται στην αυτο-ματοποίηση των συσκευών και στην παροχή μιας εύχρηστης διεπαφής που επιτρέπει στον τελικό χρήστη να αλληλοεπιδρά με το σύστημα χρησιμοποιώντας γραφικό περιβάλλον χρήστη (GUI-graphical user interface).
- Το άλλο μισό του συστήματος επικεντρώνεται στην ανάπτυξη και εγκατάσταση έξυπνων εφαρμογών με δυνατότητες τεχνητής νοημοσύνης σε edge συσκευές (ακραίων σημείων), δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο έξυπνες συσκευές που μαθαίνουν από το περιβάλλον και συμβάλλουν στη μείωση του κόστους των υψηλού επιπέδου διακομιστών βαθιάς μάθησης (deep learning servers).

Αυτές οι συσκευές μπορούν να ελέγχονται και να παρακολουθούνται με την χρήση μιας εφαρμογής για έξυπνα τηλέφωνα, η οποία είναι προσβάσιμη μέσω μιας ασφαλούς και βολικής διαδικτυακής πύλης. Η πύλη υποστηρίζει σύνδεση μέσω του τοπικού διαδικτύου με χρήση Wi-Fi ή μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας για συνδεσιμότητα μεγάλης εμβέλειας [8].

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να δημιουργήσει μέσω ενός συστήματος οικιακού αυτοματισμού έναν ασφαλή και ελεγχόμενο χώρο, ώστε άτομα της τρίτης ηλικίας και άτομα με αναπηρίες να μπορούν να ζουν ανεξάρτητα. Αυτή η ευκαιρία, να μπορούν τα άτομα να επιλέξουν τον δικό τους χώρο για να ζήσουν αυτόνομα και με αξιοπρέπεια, θα έχει μεγάλη και θετική επίπτωση στη γενική ευζωία τους [9].

Για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός θα χρησιμοποιηθούν:

- MQTT messaging protocol, ως τρόπος επικοινωνίας μεταξύ όλων των συσκευών που θα συμπεριληφθούν στο σύστημα οικιακού αυτοματισμού
- το Inteface , ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο θα φιλοξενήσει την πλατφόρμα Home Assistant,
- WI-FI protocol ώστε να υπάρχει ευελιξία στην τοποθέτηση των συσκευών και αισθητήρων, και

- Arduino microcontrollers ως intelligent agents για να λαμβάνουν πληροφορίες όπως η θερμοκρασία, υγρασία, κίνηση, ένταση φωτός, οσμή από του αισθητήρες και να δρουν με έξυπνο και διαισθητικό τρόπο.
- Το ολοκληρωμένο σύστημα του σπιτιού θα μπορεί να ελέγξει την θερμοκρασία και το φωτισμό και να χρησιμοποιεί συσκευές των οποίων η επικοινωνία βασίζεται στο πρωτόκολλο Zigbee.

## 1.2 Οργάνωση του τόμου

Στο κεφάλαιο 2 αναλύονται οι τεχνολογίες και εφαρμογές που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος που εξυπηρετεί τις ανάγκες ατόμων με αναπηρία και ηλικιωμένων .

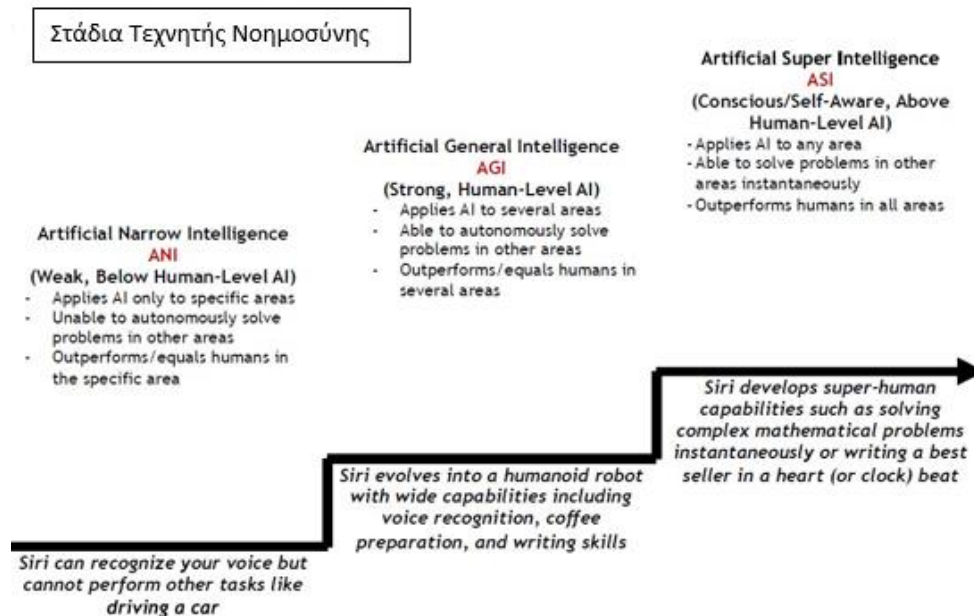
Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται το υλικό που χρησιμοποιήθηκε καθώς και οι λόγοι επιλογής του και η συνεισφορά του στο τελικό σύστημα.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται μέσω της διεπαφής του Home Assistant το υλοποιηθέν έξυπνο οικιακό περιβάλλον και μερικοί από τους αυτοματισμούς που ενσωματώθηκαν σε αυτό.

Τέλος στο κεφάλαιο 5 γίνεται αναφορά στο κόστος υλοποίησης του προτεινόμενου συστήματος και εντοπισμός των περιορισμών του. Επίσης επισημαίνονται οι προοπτικές μελλοντικής έρευνας και οι προϋποθέσεις δημιουργίας ενός έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος εστιασμένου στη διευκόλυνση της ζωής ηλικιωμένων και ατόμων με αναπηρία.

## Κεφάλαιο 2 Ανάλυση Τεχνολογιών και Εφαρμογών

### 2.1 Τεχνητή νοημοσύνη- Ευφυείς πράκτορες



Σχήμα 4 Στάδια Τεχνητής Νοημοσύνης . Προσαρμοσμένο από [10]

Η τεχνητή νοημοσύνη ANI [artificial narrow intelligence - αδύναμη (weak) ή περιορισμένη (narrow) Τεχνητή Νοημοσύνη, είναι μια μηχανή που δρα σαν να είναι ευφυής. Είναι ειδικά σχεδιασμένη για να ολοκληρώνει μία εργασία, όπως ο Deep Blue προγραμματίστηκε για να είναι σκακιστής παγκόσμιας κλάσης, ή εφαρμόζεται μόνο για έναν συγκεκριμένο τομέα, όπως η Siri που μπορεί να αναγνωρίσει τη φωνή του χρήστη και να τον βοηθήσει, αλλά δεν μπορεί να οδηγήσει το αυτοκίνητό του γι' αυτόν. Η μηχανή αναζήτησης της Google και το Newsfeed του Facebook είναι και τα δύο παραδείγματα ANI που χρησιμοποιούν εξελιγμένους αλγόριθμους για να παρακολουθούν τις προτιμήσεις του χρήστη και να του παρέχουν προσεκτικά επιλεγμένα, επιμελημένα και εξατομικευμένα αποτελέσματα. Η ANI χρησιμοποιείται επίσης στα αυτοκινούμενα αυτοκίνητα εκτελώντας πολύ συγκεκριμένες εργασίες, όπως ο έλεγχος της λειτουργίας των φρένων ή το άναμμα των

προβολέων. Όλες αυτές οι μικρές ANI που αναλύουν εισερχόμενα δεδομένα από ειδικούς/εξειδικευμένους αισθητήρες ονομάζονται ευφυείς πράκτορες και αναλύονται εκτενέστερα στο πεδίο 2.3

Η Περιορισμένη Τεχνητή Νοημοσύνη δεν μπορεί να επιλύσει προβλήματα, ούτε να λάβει αποφάσεις για τις οποίες δεν έχει προγραμματιστεί ειδικά. Παρόλο που μπορεί να ξεπεράσει τους ανθρώπους σε συγκεκριμένους τομείς, όπως ο Deep Blue που κέρδισε τον Garry Kasparov, εξακολουθεί να θεωρείται κατώτερη της ανθρώπινης νοημοσύνης.

## **2.2 Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) και ευφυές σπίτι (Smart Home)**

Τις τελευταίες δεκαετίες πολλοί ερευνητές έχουν εστιάσει στη σύνδεση αντικειμένων καθημερινής χρήσης και την «ύφανση» ενός ιστού διασυνδεδεμένων συσκευών. Αυτές μπορεί να είναι φυσικό υλικό, αυτοκίνητα, ολοκληρωμένα συστήματα ή οικιακές συσκευές καθημερινής χρήσης. Η συνδεσιμότητα αυτών των συσκευών καθίσταται δυνατή με τη χρήση της τεχνολογίας που είναι γνωστή ως Internet of Things (IoT) [8].

Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU, International Telecommunication Union), το IoT ορίζεται ως μια παγκόσμια υποδομή της κοινωνίας της πληροφορίας, η οποία καθιστά δυνατές προηγμένες υπηρεσίες, μέσω της διασύνδεσης (φυσικών και οικονομικών) πραγμάτων, με βάση τις υπάρχουσες και εξελισσόμενες διαλειτουργικές τεχνολογίες πληροφορίας και επικοινωνίας [11]. Σύμφωνα με την ίδια οδηγία, ως thing (αντικείμενο) στο πλαίσιο του IoT ορίζεται ένα αντικείμενο του φυσικού κόσμου (πραγματικό αντικείμενο) ή του κόσμου της πληροφορίας (εικονικό αντικείμενο), το οποίο διαθέτει τη δυνατότητα ταυτοποίησης και ενσωμάτωσης σε δίκτυα επικοινωνίας (communication networks) [ITU-T Y.2060]. Με τον όρο machine to machine (M2M) applications χαρακτηρίζει εφαρμογές, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στην επικοινωνία μεταξύ δύο ή περισσότερων μηχανών, που χρειάζονται περιορισμένη ή καθόλου άμεση ανθρώπινη παρέμβαση [12].

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) αποτελεί, λοιπόν, ένα νέο υπόδειγμα στην πληροφορική, στο οποίο δισεκατομμύρια έξυπνες συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο Διαδίκτυο, επικοινωνούν άμεσα μεταξύ τους και με τους χρήστες. Το IoT χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο του Διαδικτύου (IP) για να συνδέσει συσκευές όπως έξυπνα τηλέφωνα, ταμπλέτες και ψηφιακούς βοηθούς με διαφόρων ειδών αισθητήρες, συσκευές και συστήματα όπως ο φωτισμός, η θερμοκρασία ή η ασφάλεια. Τα τελευταία χρόνια, η έννοια του IoT έχει σημειώσει μεγάλη εξέλιξη και χρησιμοποιείται σήμερα σε διάφορους τομείς, όπως έξυπνα σπίτια, τηλεϊατρική, βιομηχανικά περιβάλλοντα κ.λπ. [6].

Ο λόγος για τον οποίο το IoT κερδίζει έδαφος με ταχείς ρυθμούς, τόσο στη βιομηχανία πληροφορικής όσο και σε ενθουσιώδεις ερασιτέχνες, είναι το γεγονός ότι έχουν εξελιχθεί οι τεχνολογίες μικροελεγκτών. Είναι πλέον δυνατή η ανάπτυξη πολύπλοκων υποδομών και είναι πιο προσιτές στους μέσους προγραμματιστές. Η χρήση των υπολογιστών μιας πλακέτας, που αναφέρονται και ως System on Chip (SoC), στα συστήματα που βασίζονται στο IoT επιτρέπει την ταχεία διασύνδεση περιβαλλοντικών αισθητήρων. Ο συνδυασμός ικανής υπολογιστικής δυνατότητας με αισθητήρες όρασης καθιστά εύκολη την ανάπτυξη αρκετά μεγάλων εφαρμογών. Η πρόοδος που σημειώνεται στους αλγορίθμους μηχανικής μάθησης (machine learning) για κινητές συσκευές και συσκευές χαμηλής ισχύος ανοίγει επίσης το δρόμο για έξυπνες συσκευές σε συστήματα IoT [8].

Τα ευφυή συστήματα διαχείρισης κτιρίων (BMS Building Management Systems) αποτελούν ένα σημαντικό μέρος του υποδείγματος IoT, που αποσκοπεί στον έλεγχο και την παρακολούθηση του μηχανολογικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού ενός κτιρίου. Η δυνατότητα σύνδεσης των αντικειμένων και των συσκευών ενός κτιρίου στο Διαδίκτυο επιτρέπει στους χρήστες να τα παρακολουθούν και να τα ελέγχουν εξ αποστάσεως. Από διακόπτες φωτισμού που μπορούν να ελεγχθούν για να ανάψουν και να σβήσουν με τη χρήση smartphone, tablet, φορητού υπολογιστή ή με φωνητική εντολή, μέχρι θερμοστάτες που ρυθμίζουν τις εσωτερικές θερμοκρασίες, τον έλεγχο πρόσβασης ή ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του κλιματισμού, οι έξυπνες λύσεις BMS έχουν γίνει δημοφιλείς τα τελευταία χρόνια και περισσότερο στις μέρες μας, ιδίως όσον αφορά την εφαρμογή τους σε μικρότερη κλίμακα για τη διαχείριση έξυπνων σπιτιών [6].

Ο Waleed [13] ορίζει το έξυπνο σπίτι ως "περιβάλλον διαβίωσης εφοδιασμένο με προηγμένες ευφυείς τεχνολογίες οι οποίες υπόκεινται σε χειρισμό και ανταποκρίνονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις των κατοίκων του σπιτιού". Ο αυτοματισμός αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι των έξυπνων σπιτιών. Οι συνδεδεμένες προγραμματιζόμενες συσκευές χρησιμοποιούν ένα δίκτυο για τον έλεγχο των λειτουργιών του σπιτιού αποσκοπώντας σε μία καλύτερη ποιότητα ζωής και περισσότερη άνεση [14]. Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούν ασύρματη τεχνολογία, όπως Wi-Fi (IEEE 802.11), Bluetooth (IEEE 802.15.1), αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (RFID –Radio Frequency Identification), ZigBee, IPv6 Low-Power Wireless Personal Area Network (6LoWPAN) και άλλα.

Το έξυπνο σπίτι αποσκοπεί, όπως έχει προαναφερθεί, στην ενσωμάτωση οικιακών αυτοματισμών. Ο οικιακός αυτοματισμός αντιπροσωπεύει μια έξυπνη λύση που προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, όπως άνεση, ασφάλεια, εξοικονόμηση ενέργειας, εξοικονόμηση χρημάτων μακροπρόθεσμα, ευκολία και ψυχική ηρεμία. Στα πλαίσια των οικιακών αυτοματισμών, προγραμματιζόμενες συσκευές μπορούν να επικοινωνούν και απρόσκοπτα να συλλέγουν και να μεταφέρουν δεδομένα μεταξύ τους, έτσι ώστε να προσαρμόζονται και να ανταποκρίνονται σε δυναμικές καταστάσεις [8].

Οι προγραμματιζόμενες συσκευές μπορούν να ελέγχονται με τη χρήση έξυπνων τηλεφώνων εξαιτίας της ικανότητάς τους να επικοινωνούν ασύρματα. Οι χρήστες κατεβάζουν και εγκαθιστούν εφαρμογές που έχουν σχεδιαστεί για να στέλνουν εντολές στις προγραμματιζόμενες συσκευές ασύρματα. Οι ένοικοι έξυπνων σπιτιών μπορούν επίσης να στέλνουν εντολές μέσω υπολογιστών. Οι [15] Basanta et al παρουσιάζουν ένα σύστημα που χρησιμοποιεί φωνή και χειρονομίες για τον έλεγχο των προγραμματιζόμενων συσκευών σε ένα έξυπνο σπίτι. Η επαυξημένη πραγματικότητα έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για να επιτρέψει στους χρήστες να ελέγχουν τις έξυπνες συσκευές [16].

Ένα έξυπνο σπίτι είναι σε θέση να ειδοποιεί τους ενοίκους όταν το πλυντήριο ρούχων έχει τελειώσει το πλύσιμο των ρούχων, όταν ένα ψητό είναι μαγειρεμένο και έτοιμο προς βρώση, να δείχνει από απόσταση στους κατοίκους το περιεχόμενο του ψυγείου τους και να εκτελεί πολλές άλλες εργασίες τις οποίες οι ένοικοι θα έπρεπε να ολοκληρώσουν χειροκίνητα. Το κόστος ενός έξυπνου σπιτιού είναι σε γενικές γραμμές υψηλό, αλλά ως συνήθως το κόστος μειώνεται με την πάροδο του χρόνου για διάφορους λόγους, όπως οι

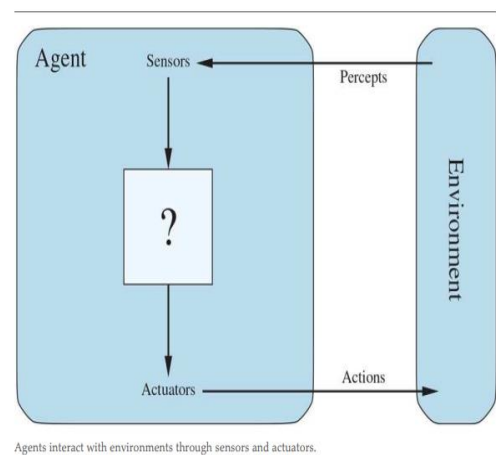
οικονομίες κλίμακας ή ο ανταγωνισμός μεταξύ των προμηθευτών. Οι ένοικοι έξυπνων σπιτιών έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν το φωτισμό, τη θέρμανση, εξαερισμό και κλιματισμό του σπιτιού (HVAC), να κλειδώνουν και να ξεκλειδώνουν τις πόρτες, να ανοίγουν την καφετιέρα ενώ οι ίδιοι βρίσκονται στο κρεβάτι ή καθισμένοι σε έναν καναπέ [17] .

Η ανάπτυξη λύσεων έξυπνου σπιτιού αποκτά μεγαλύτερη προσοχή από τους ερευνητές για τη μείωση των φυσικών προσπαθειών των ατόμων που έχουν ανάγκη. Εάν ένα ηλικιωμένο ή ανάπηρο άτομο χρειάζεται να ανάψει ένα φως ή να σβήσει έναν ανεμιστήρα, μπορεί να το κάνει μόνο του χωρίς καμία φυσική δυσκολία με τη βοήθεια του συστήματος διαχείρισης ενέργειας έξυπνου σπιτιού [5].

## 2.3 Ευφυείς πράκτορες και Arduino

Σύμφωνα με τον Muller [18] ως πράκτορας ορίζεται οποιοδήποτε αυτόνομο ή ημιαυτόνομο σύστημα υλικού (hardware) ή λογισμικού (software) το οποίο εκτελεί εργασίες σε πολύπλοκα, δυναμικά μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα. Με τον όρο αυτονομία περιγράφει την ικανότητα να λαμβάνει ο πράκτορας αποφάσεις βάσει μίας εσωτερικής αναπαράστασης του κόσμου, χωρίς την ανάγκη ελέγχου από κάποια κεντρική μονάδα. Ο ορισμός ολοκληρώνεται σημειώνοντας την δυνατότητα επικοινωνίας με το περιβάλλον και την πρόκληση αλλαγών σε αυτό με την εκτέλεση ενεργειών, ενώ παράλληλα περιγράφεται και το σύστημα πολλαπλών πρακτόρων (multiagent system- MAS) ως μία ομάδα πρακτόρων οι οποίοι μπορούν να αναλάβουν συγκεκριμένους ρόλους σε μία οργανωτική δομή.

Οι Russel και Norvig [19] ορίζουν έναν πράκτορα ως οτιδήποτε μπορεί να αντιληφθεί το περιβάλλον του μέσω αισθητήρων (sensors) και να επιδράσει σ' αυτό το περιβάλλον μέσω ενεργοποιητών (actuators) (Σχ.5) Ένας άνθρω-



Σχήμα 5 Ευφυείς πράκτορες και περιβάλλον – Αλληλεπίδραση. Προσαρμοσμένο από [18]



πος ιδωμένος ως πράκτορας, διαθέτει ως αισθητήρες μάτια, αυτιά κλπ. και ως ενεργοποιητές χέρια, πόδια, φωνή κλπ. Ένα ρομπότ διαθέτει, αντίστοιχα, αισθητήρες όπως για παράδειγμα ανιχνευτές απόστασης, υπέρυθρους ανιχνευτές ή κάμερες και ενεργοποιητές πχ κινητήρες κλπ. Τέλος ένας πράκτορας- λογισμικό δέχεται ως αισθητηριακά ερεθίσματα περιεχόμενα αρχείων , δικτυακά πακέτα και δεδομένα ανθρώπινης προέλευσης από πληκτρολόγιο, οθόνη αφής , φωνή κλπ. και επιδρά στο περιβάλλον του δημιουργώντας αρχεία, παράγοντας ήχους, εμφανίζοντας πληροφορίες, στέλνοντας δικτυακά πακέτα κλπ. Παράλληλα ορίζουν το περιβάλλον του πράκτορα ως ό,τι επηρεάζει αυτό που αντιλαμβάνεται ο πράκτορας και το οποίο επηρεάζεται – μεταβάλλεται από τις ενέργειές του.

Οι Wooldridge και Jennings [20], κάνοντας μία ανασκόπηση της μέχρι τότε βιβλιογραφίας διακρίνουν το 1995 δύο γενικές χρήσεις του όρου πράκτορας: μία ασθενή-περιορισμένη και κατά τους ίδιους αδιαμφισβήτητη και μία ισχυρότερη και δυνητικά αμφιλεγόμενη, ανάλογα με τις ιδιότητες και ικανότητες που αποδίδονται στον πράκτορα. Ως πράκτορας, με την ασθενή έννοια του όρου η οποία είναι και η γενικότερα χρησιμοποιούμενη, νοείται ένα υπολογιστικό σύστημα βασιζόμενο σε υλικό ή συνηθέστερα λογισμικό το οποίο φέρει τις εξής ιδιότητες:

- **Autonomy - Αυτονομία:** Λειτουργία χωρίς άμεση παρέμβαση. Άσκηση κάποιου είδους ελέγχου από τον πράκτορα στην εσωτερική κατάσταση του ίδιου.
- **Social ability – Κοινωνική Ικανότητα:** Δυνατότητα επικοινωνίας με άλλους πράκτορες και ενδεχομένως ανθρώπους με την χρήση γλώσσας επικοινωνίας πρακτόρων.
- **Reactivity –Ικανότητα αντίδρασης:** Αντίληψη του περιβάλλοντος (φυσικός κόσμος, χρήστης μέσω μίας διεπαφής, το διαδίκτυο ή συνδυασμός όλων) και έγκαιρη αντίδραση σε αλλαγές αυτού.
- **Pro-activeness – Προνοητικότητα:** Δυνατότητα ανάληψης πρωτοβουλίας και επίδειξης συμπεριφοράς οδηγούμενης από στόχο (goal-directed behavior) και όχι απλά αντίδραση σε περιβαλλοντικά ερεθίσματα.

Η ισχυρότερη και περισσότερο συγκεκριμένη έννοια του όρου περιγράφει ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο, εκτός από το ότι διαθέτει τις παραπάνω περιγραφείσες ιδιότητες, είτε έχει συλληφθεί ως ιδέα είτε υλοποιείται με χρήση εννοιών που συνήθως αποδίδονται

σε ανθρώπους. Οι ίδιοι παρατηρούν πως είναι σύνηθες στο πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης να χαρακτηρίζονται πράκτορες με όρους όπως γνώση, πεποίθηση, πρόθεση ή υποχρέωση ενώ έχει χρησιμοποιηθεί και η έννοια «συναισθηματικών» πρακτόρων.

Επιπλέον επισημαίνουν τις εξής ιδιότητες οι οποίες έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία:

- Mobility-Κινητικότητα: ικανότητα κίνησης σε ηλεκτρονικό δίκτυο
- Veracity – Εγκυρότητα: μη κοινοποίηση ψευδών πληροφοριών
- Benevolence – Καλή πρόθεση: ανυπαρξία αντικρουόμενων στόχων και χωρίς εξαιρέσεις προσπάθεια εκτέλεσης ενεργειών που του έχουν ανατεθεί
- Rationality – Ορθολογισμός: δράση με σκοπό την επίτευξη στόχων και ποτέ με τρόπο που να δυσχεραίνει την πραγματοποίηση των εν λόγω στόχων. [20]

Οι ευφυείς πράκτορες έχουν λοιπόν την δυνατότητα να εργάζονται αυτόνομα και προληπτικά και να επιλύουν τα προβλήματα τους αλληλοεπιδρώντας με άλλους πράκτορες ή και με ανθρώπους. Μπορούν επίσης να συμπεριφερθούν με συνεργατικό τρόπο και να συνεργαστούν με άλλους πράκτορες προκειμένου να επιλύσουν κοινά προβλήματα [21]. Η συνεργασία αυτού του τύπου επιτυγχάνεται στα πλαίσια των προαναφερθέντων συστημάτων πολλαπλών πρακτόρων (ή πολυπρακτορικών συστημάτων) MAS. Σύμφωνα με τους Challenger et al [21], ένα πολυπρακτορικό σύστημα είναι ένα χαλαρά συνδεδεμένο δίκτυο «οντοτήτων επίλυσης προβλημάτων» (πρακτόρων), οι οποίες συνεργάζονται προκειμένου να ανευρεθούν λύσεις σε προβλήματα που υπερβαίνουν τις μεμονωμένες δυνατότητες κάθε πράκτορα. Τα MAS αξιοποιούνται τόσο σε εφαρμογές έντασης λογισμικού (e-bartering-ηλεκτρονικός αντιπραγματισμός, χρηματιστηριακές συναλλαγές) όπως και σε επίπεδο συστήματος (έξυπνη συλλογή απορριμμάτων) .

Η επικοινωνία μεταξύ των πρακτόρων επιτυγχάνεται με την χρήση γλώσσας επικοινωνίας πρακτόρων (agent communication language - ACL), όρος ο οποίος αφορά 4 βασικά επίπεδα: πρόσθετα απόδοσης, υπηρεσιών, περιεχομένου και ελέγχου. Βάσει λειτουργικότητας, και δεδομένου ότι η εξέλιξη των ευφύων πρακτόρων υποκινείται διαχρονικά από την ανάγκη απλούστευσης της κατανεμημένης υπολογιστικής και την αντιμετώπιση προβλημάτων διεπαφής με τον χρήστη, οι πράκτορες κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες:

- User-centric –Πράκτορες με επίκεντρο τον χρήστη

- Problem solving – Πράκτορες επίλυσης προβλημάτων
- Control – Πράκτορες ελέγχου: Αποκλειστικά σε MAS, παρέχουν υπηρεσίες ελέγχου σε άλλους πράκτορες
- Translation –Πράκτορες μετάφρασης: Παρέχουν μία γέφυρα επικοινωνίας μεταξύ συστημάτων με διαφορετικά πρότυπα δεδομένων.

Η μοντελοποίηση με βάση τους πράκτορες (Agent-based Modeling- ABM) είναι μία μέθοδος δημιουργίας μοντέλων συστημάτων με βάση πράκτορες, που λειτουργούν σε ένα περιβάλλον το οποίο «κατοικείται» από άλλους πράκτορες και διαδικασίες, ένα σύστημα δηλαδή πολλαπλών πρακτόρων MAS. Ένα μοντέλο βασισμένο σε πράκτορες διαθέτει τρία δομικά στοιχεία:

- Agent (A) – Πράκτορας: Αυτόνομη οντότητα που αποφασίζει και δρα βάσει συνόλου κανόνων βασισμένων σε ανεξάρτητους στόχους και αντιλήψεις (perceptions/percepts)
- Environment (E) – Περιβάλλον: Φυσικό ή λογικό, κοινό για όλους τους πράκτορες ενός συστήματος, με «αντικείμενα» που γίνονται αντιληπτά από τους πράκτορες και επηρεάζονται από τις ενέργειες των τελευταίων.
- Relationships (R) – Κανόνες βάσει των οποίων οι πράκτορες αλληλοεπιδρούν, συνεργάζονται και επιλύουν συγκρούσεις.

Οι κανόνες για τον τρόπο με τον οποίο οι πράκτορες λαμβάνουν ατομικές αποφάσεις και αλληλοεπιδρούν ορίζονται επίσημα στο μοντέλο [22].

Η χρήση πλαισίων που βασίζονται σε ευφυείς πράκτορες είναι δόκιμη, τόσο για τη μοντελοποίηση, όσο και τον πραγματικό έλεγχο έξυπνων οικιακών περιβαλλόντων. Επιτρέπουν την ανάπτυξη ενός ψηφιακού επιπέδου/στρώματος το οποίο καλύπτει την υποδομή υλικού-δικτύου και εξυπηρετεί την επεξεργασία δεδομένων εισόδου (data input processing), τη λήψη αποφάσεων και την εκτέλεση ενεργειών [23].

Η λύση που προτείνεται στην παρούσα εργασία ουσιαστικά αποτελεί τη δημιουργία ενός ευφυούς οικιακού περιβάλλοντος με την ανάπτυξη συστήματος πολλαπλών πρακτόρων προκειμένου να επιτελείται αποτελεσματική παρακολούθηση του περιβάλλοντος και η

αρμόζουσα, ανάλογα με την τρέχουσα κατάσταση του έξυπνου σπιτιού, εκτέλεση κατάλληλων ενεργειών. Η αρχιτεκτονική που προτείνεται διευκολύνει την ενσωμάτωση ευφύων χαρακτηριστικών και μετατρέπει παθητικούς αισθητήρες σε έξυπνες συσκευές, καθώς η ενσωμάτωση λογισμικού προσδίδει δυνατότητες επεξεργασίας και ανάλυσης.

Συνολικά το ευφύς οικιακό περιβάλλον μπορεί να ιδωθεί ως ένας ευφυής πράκτορας: Αντιλαμβάνεται το περιβάλλον μέσω αισθητήρων και το επηρεάζει με την χρήση ενεργοποιητών. Προβλέπει και κάνει υποθέσεις, μαθαίνει και προσαρμόζεται στους κατοίκους του [24], με απώτερο στόχο την μεγιστοποίηση της άνεσης και ασφάλειας των ενοίκων, της διατήρησης και υπό προϋποθέσεις της παρακολούθησης της υγείας τους και την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενεργειακών ή υπολογιστικών πόρων [25].

Η δημιουργία και ανάπτυξη του συστήματος πολλαπλών πρακτόρων και η μετατροπή ενός σπιτιού σε «Ευφυή Πράκτορα» εξυπηρετείται στην παρούσα εργασία με την χρήση της τεχνολογίας Arduino και των δυνατοτήτων που παρέχει η κατακεντρωμένη υπολογιστική. Δεδομένου ότι τα συστήματα IoT αναπτύσσονται με μία πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική, η οποία περιλαμβάνει συσκευές, δίκτυα άκρων (edge) και πλατφόρμες IoT νέφους με δυνατότητες κεντρικής αποθήκευσης και επεξεργασίας, είναι εύλογο για λόγους ασφάλειας, αποφυγής bottlenecks και καθυστέρησης, οι εργασίες επεξεργασίας να μετακινούνται πιο κοντά στις πηγές δεδομένων. Γίνεται χρήση λοιπόν εναλλακτικών προτύπων σχεδίασης συστημάτων IoT, (σχ. 6) όπως η υπολογιστική Edge, Fog και Mist [26].



Σχήμα 6 Cloud, Fog and Edge Computing. Προσαρμοσμένο από [26]

Στα πλαίσια της υπολογιστικής Edge η επεξεργασία δεδομένων – ή μέρος αυτής - αποτελεί δυνατότητα των ίδιων των συσκευών ή των gateway nodes που βρίσκονται πιο κοντά σε αυτές. Οι πλακέτες μικροελεγκτών Arduino εξυπηρετούν την ανάγκη κατανεμημένης υπολογιστικής και χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε κατασκευαστικά και οικιακά έργα, για ανάπτυξη δοκιμαστικών πλατφορμών και από την ακαδημαϊκή κοινότητα [26]. Πρόκειται για υλικό ανοικτού κώδικα (open-source hardware) και αναπτύχθηκε στα πλαίσια της ομώνυμης τάσης που προωθεί τον σχεδιασμό και ανάπτυξη υλικού, με ελεύθερη πρόσβαση σε πληροφορίες που επιτρέπουν την απρόσκοπτη αναπαραγωγή και χρήση του. Το ίδιο το φυσικό υλικό, η τεκμηρίωση και τα εξαρτήματα που το συνοδεύουν είναι διαθέσιμα στο κοινό όπως για παράδειγμα μηχανικά σχέδια, λίστες υλικών, πηγαίος κώδικας και λογισμικό, σχηματικές αναπαραστάσεις και δεδομένα διάταξης πλακετών τυπωμένου κυκλώματος (Printed Circuit Board layout data).

Σύμφωνα με την επίσημη ιστοσελίδα του Arduino:

- Το Arduino είναι μία ηλεκτρονική πλατφόρμα ανοικτού κώδικα, βασισμένη σε εύχρηστο φυσικό υλικό και λογισμικό. Απευθύνεται σε οποιονδήποτε αναπτύσσει διαδραστικά project.
- Το Arduino Board (Πλακέτα Μικροελεγκτών Arduino) αντιλαμβάνεται το περιβάλλον, λαμβάνοντας δεδομένα εισόδου (inputs) από πολλούς αισθητήρες και επηρεάζει τον περιβάλλοντα χώρο ελέγχοντας φώτα, κινητήρες και άλλους ενεργοποιητές (outputs - actuators)
- Ο χρήστης μπορεί να «πει στο Arduino τί να κάνει», γράφοντας κώδικα στη γλώσσα προγραμματισμού Arduino και χρησιμοποιώντας το Περιβάλλον Ανάπτυξης Arduino (Arduino Development Environment)

Το Arduino παρέχει μία απλή και προσιτή εμπειρία χρήσης και αυτός είναι ένας από τους λόγους της δημοφιλίας του και της χρήσης του σε χιλιάδες έργα και εφαρμογές. Το λογισμικό Arduino είναι ταυτόχρονα εύχρηστο -και άρα εύκολα διαχειρίσιμο από αρχάριους- και ευέλικτο για προχωρημένους χρήστες. Τρέχει σε λειτουργικά συστήματα Linux, Mac

και Windows. Η χρήση του υποβοηθείται από την κυκλοφορία DIY kit και την ενεργό συμμετοχή ερασιτεχνών και επαγγελματιών στην διαδικτυακή κοινότητα του Arduino. Τα πλεονεκτήματα που αναφέρονται στην επίσημη ιστοσελίδα είναι τα εξής:

- Φθινό - Οι πλακέτες Arduino είναι σχετικά φθηνές σε σύγκριση με άλλες πλατφόρμες μικροελεγκτών. Η φθινότερη έκδοση της μονάδας Arduino μπορεί να συναρμολογηθεί με το χέρι, και ακόμη και οι προ-συναρμολογημένες μονάδες Arduino κοστίζουν λιγότερο από \$50
- Cross-platform - Το λογισμικό Arduino (IDE) τρέχει σε λειτουργικά συστήματα Windows, Macintosh OSX και Linux. Τα περισσότερα συστήματα μικροελεγκτών περιορίζονται στα Windows.
- Απλό, σαφές περιβάλλον προγραμματισμού - Το λογισμικό Arduino Software (IDE) είναι εύχρηστο για αρχάριους, αλλά και αρκετά ευέλικτο ώστε να μπορούν να το εκμεταλλευτούν και προχωρημένοι χρήστες. Για τους καθηγητές, είναι βολικά βασισμένο στο περιβάλλον προγραμματισμού Processing, οπότε οι μαθητές που μαθαίνουν να προγραμματίζουν σε αυτό το περιβάλλον θα είναι εξοικειωμένοι με τον τρόπο λειτουργίας του Arduino IDE.
- Λογισμικό ανοικτού κώδικα και επεκτάσιμο - Το λογισμικό Arduino δημοσιεύεται ως εργαλείο ανοικτού κώδικα, διαθέσιμο για επέκταση από έμπειρους προγραμματιστές. Η γλώσσα μπορεί να επεκταθεί μέσω βιβλιοθηκών C++ και όσοι θέλουν να κατανοήσουν τις τεχνικές λεπτομέρειες μπορούν να κάνουν το άλμα από το Arduino στη γλώσσα προγραμματισμού AVR C στην οποία βασίζεται.
- Ανοιχτός κώδικας και επεκτάσιμο υλικό - Τα σχέδια των πλακετών Arduino δημοσιεύονται με άδεια Creative Commons, οπότε οι έμπειροι σχεδιαστές κυκλωμάτων μπορούν να φτιάξουν τη δική τους έκδοση της μονάδας, επεκτείνοντάς την και βελτιώνοντάς την. Ακόμη και σχετικά άπειροι χρήστες μπορούν να κατασκευάσουν την έκδοση breadboard της μονάδας, προκειμένου να κατανοήσουν πώς λειτουργεί και να εξοικονομήσουν χρήματα.

Οι Dobrilovic et al πραγματοποιήσαν ένα πείραμα προκειμένου να σχηματίσουν μία γενική εικόνα της ταχύτητας επεξεργασίας των παραλλαγών του Arduino Board. Κατέληξαν πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κόμβοι edge με υποστήριξη Τεχνητής Νοημοσύνης για την προτυποποίηση αρχιτεκτονικών edge υπολογιστικής και συνιστούν εκτενέστερη

έρευνα με μία κατεύθυνση την ανάπτυξη προγραμματισμού ΤΝ για κόμβους Edge Arduino και δεύτερη την εφαρμογή ευφυών κόμβων Arduino σε διαφορετικά σενάρια IoT [26].

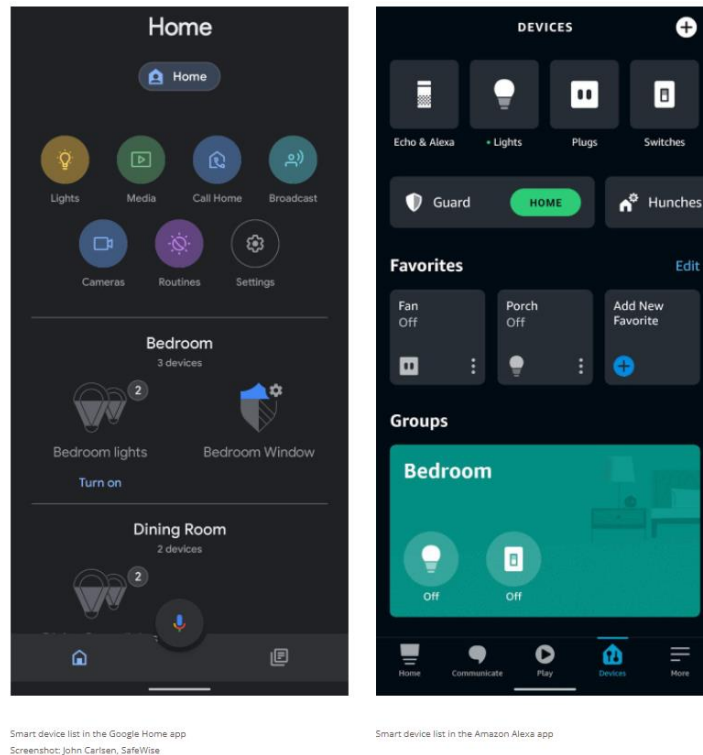
## **2.4 Συστήματα Οικιακού Αυτοματισμού -Smart Central Hubs**

Με την πάροδο του χρόνου και την πρωτοφανή τεχνολογική πρόοδο που αυτή επέφερε και δεδομένου ότι προηγμένες τεχνολογικά συσκευές έγιναν πλέον οικονομικά προσιτές στο κοινό, οι έξυπνες συσκευές (smart devices) κέρδισαν μεγάλο έδαφος και άρχισαν να γίνονται ιδιαίτερα δημοφιλείς στην αγορά. Πριν γίνει αυτό όμως, κατά την πρώιμη περίοδο χαμηλής διαθεσιμότητας στην αγορά, κάθε εταιρεία δημιουργούσε τις δικές της έξυπνες συσκευές και το δικό της λογισμικό διαχείρισης για αυτές. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα ένα σπίτι να αποτελείται από έξυπνες συσκευές διαφορετικών εταιρειών που αδυνατούσαν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους λόγω ασυμβατότητας πρωτοκόλλων επικοινωνίας ή κατάλληλης διεπαφής.

Το γεγονός αυτό δημιούργησε την ανάγκη για ένα ενιαίο λογισμικό διαχείρισης και συντονισμού (hub) των συσκευών αυτών, η κάλυψη της οποίας επιχειρήθηκε τόσο από τις εταιρείες παραγωγής τους όσο και από εταιρείες κολοσσούς όπως η Google και η Amazon. Οι τελευταίες προσέφεραν ολοκληρωμένες λύσεις στην μορφή Hub εισάγοντας στην αγορά το Google Home και Amazon Alexa αντίστοιχα. Πρόκειται για το συνδυασμό:

- Μιας συσκευής οπτικοακουστικής διεπαφής, επεξεργασίας και εξυπηρέτησης αιτημάτων μέσω cloud server από αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης.
- Μίας διεπαφής παραμετροποίησης και ελέγχου από κινητό υπολογιστή ή ταμπλέτα.

Οι δύο λύσεις συνδυάζουν παράλληλα και την αναγνώριση φωνητικών εντολών, κάτι που προσφέρει μια ακόμη ευκολία στην χρήση του συστήματος ενοποιημένου ελέγχου (Εικ.1).



Εικόνα 1 Google Home vs Alexa. Προσαρμοσμένο από [27]

Το μειονέκτημα αυτών των λύσεων, εκτός από το ότι δεν είναι open source με αποτέλεσμα να εξαρτάται η ταχύτητα διασύνδεσης και ενσωμάτωσης νέων συστημάτων και τεχνολογιών από τις εταιρίες παραγωγής, είναι ότι το κέντρο διαχείρισης των συσκευών βρίσκεται σε cloud based servers και έτσι απαιτεί συνεχή επικοινωνία με το διαδίκτυο. Το γεγονός αυτό εξαρτά σε πολύ μεγάλο βαθμό την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος από τη σταθερότητα της σύνδεσης στο διαδίκτυο και καθιστά το όλο σύστημα επιρρεπές σε κυβερνοεπιθέσεις. Η λύση δόθηκε από την open source κοινότητα. Σε συνεργατικό πνεύμα δημιούργησε διάφορα λογισμικά διαχείρισης έξυπνων συσκευών τα οποία μπορούσαν να τρέξουν πάνω σε σχετικά αδύναμα υπολογιστικά συστήματα, γεγονός το οποίο υποδηλώνει και χαμηλότερο κόστος. Αυτό προσέφερε στους χρήστες:

- Μεγαλύτερη προστασία δεδομένων: τα δεδομένα δεν χρειαζόταν να αποσταλούν σε κάποιο cloud server για επεξεργασία, η οποία γινόταν τοπικά.
- Αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος : δεν βασιζόταν σε διαδικτυακή σταθερότητα του χρήστη.



Πιο συγκεκριμένα το λογισμικό ελέγχου και οικιακού αυτοματισμού (hub), το οποίο χειρίζεται λειτουργίες όπως η συλλογή, η επεξεργασία και η μεταφορά δεδομένων, είναι επίσης υπεύθυνο για την εκτέλεση των σεναρίων αυτοματισμού και τη λειτουργικότητα του όλου οικοσυστήματος. Η επιλογή της κατάλληλης πλατφόρμας λογισμικού (που θα εγκατασταθεί στον κεντρικό διακομιστή) αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για την εύρυθμη λειτουργία, ασφάλεια, επεκτασιμότητα και αποδοτικότητα ενός έξυπνου οικιακού συστήματος. [28]

Σε οποιοδήποτε σύστημα συσκευών IoT ο κεντρικός διακομιστής ή κεντρικός έξυπνος κόμβος (central smart hub) αποτελεί τον πυρήνα του συστήματος. Αποτυχία του διακομιστή συνεπάγεται και αποτυχία του συστήματος συνολικά. Αν και υπάρχει η δυνατότητα απευθείας επικοινωνίας μεταξύ ορισμένων συσκευών (χωρίς τη μεσολάβηση κεντρικού διακομιστή) ενδείκνυται η αποφυγή χρήσης της καθώς η χρήση του κεντρικού διακομιστή ως ενδιάμεσου ελεγκτή εξασφαλίζει κεντρικό έλεγχο και δυνατότητα αντιμετώπισης προβλημάτων εάν προκύψει κάποιο σφάλμα. [29]

Οι διάφορες συσκευές λοιπόν συνδέονται στον κεντρικό διακομιστή και ανάλογα με το είδος της κάθε μίας λειτουργούν ως συσκευές εισόδου ή/και εξόδου. Οι συσκευές εισόδου μπορούν μόνο να στέλνουν μηνύματα στον διακομιστή, ο οποίος χρησιμοποιεί τα λαμβανόμενα δεδομένα ως είσοδο για την αυτοματοποίηση, και δεν μπορούν να λαμβάνουν δεδομένα από αυτόν. Οι συσκευές εξόδου μόνο λαμβάνουν μηνύματα από τον διακομιστή και δεν μπορούν να στείλουν δεδομένα πίσω σε αυτόν. Οι συσκευές που διαθέτουν και τις δύο παραπάνω δυνατότητες αποστέλλουν και λαμβάνουν δεδομένα από το διακομιστή.

Ο κεντρικός διακομιστής στα πλαίσια της εποπτείας του συστήματος λαμβάνει συνεχώς δεδομένα από τις συσκευές εισόδου, καθώς αυτές τα λαμβάνουν. Στη συνέχεια πρέπει να καθοριστεί ποια δεδομένα αναφέρονται σε ποιο συμβάν και τί είδους δράση πρέπει να αναληφθεί. Αυτό συμβαίνει, στα πλαίσια των αυτοματισμών, σύμφωνα με προκαθορισμένα σενάρια τα οποία περιγράφουν συμβάντα ή συνθήκες που οδηγούν σε συγκεκριμένες δράσεις. Η διεπαφή, η οποία εξυπηρετεί τον έλεγχο των συσκευών του συστήματος και τη δημιουργία σεναρίων αυτοματισμού ανάλογα με τα γεγονότα εντός του οικιακού

περιβάλλοντος, παρέχεται από την πλατφόρμα λογισμικού οικιακού αυτοματισμού που αναπτύσσεται στον κεντρικό διακομιστή.

Αν και υπάρχει μεγάλος αριθμός έτοιμων λύσεων στην αγορά, δύο από τις οποίες έχουν ήδη αναφερθεί, η χρήση τους δεν προκρίθηκε για τις ανάγκες του παρόντος έργου. Οι εμπορικά διαθέσιμοι κόμβοι οι οποίοι είναι μεν εύκολοι στην εγκατάσταση και τη χρήση, συχνά υποστηρίζουν περιορισμένο σύνολο συσκευών και πρωτοκόλλων και έχουν υψηλό συνολικό κόστος ιδιοκτησίας. Τα μειονεκτήματα των εμπορικών αυτών συστημάτων όπως η τιμή και η εστίαση στη δική τους υποδομή- προωθούν τη χρήση συσκευών που κατασκευάζονται από την ίδια εταιρεία- τα καθιστά μη βιώσιμη επιλογή για τη δημιουργία ενός έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος εστιασμένου στις ανάγκες ηλικιωμένων και ατόμων με αναπηρία. Προκρίθηκε ως λύση η επιλογή μίας πλατφόρμας λογισμικού ανοικτού κώδικα, προκειμένου:

- Να περιοριστεί το κόστος.
- Να είναι δυνατή η επεκτασιμότητα του συστήματος.
- Να εξασφαλιστεί η συμβατότητα του κεντρικού κόμβου με πλήθος συσκευών διαφόρων εμπορικών σημάτων.
- Να μειωθεί η έκθεση του όλου οικοσυστήματος και των προσωπικών δεδομένων των ενοίκων στο διαδίκτυο.

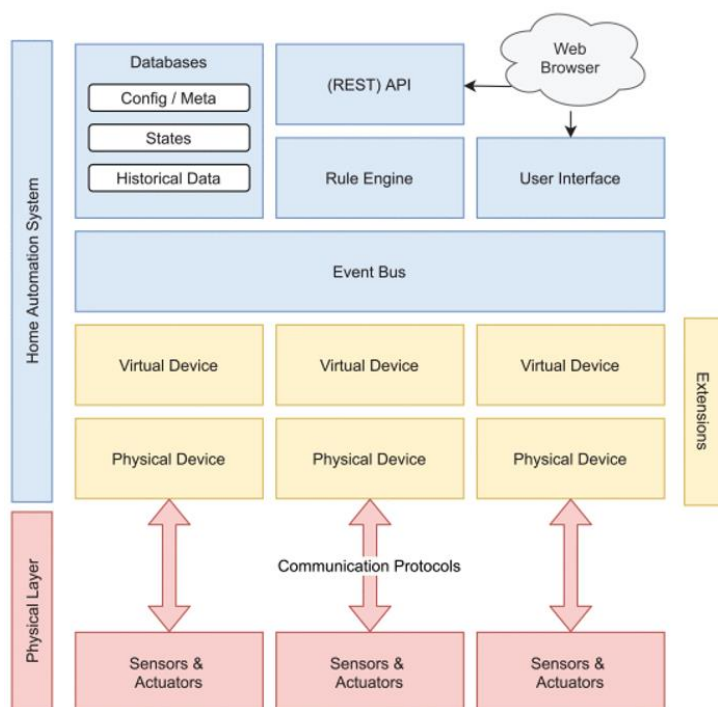
Τα συστήματα οικιακού αυτοματισμού ανοικτού κώδικα παρέχουν μια προσιτή και ανοικτή εναλλακτική λύση, προσφέροντας υποστήριξη για συσκευές και υπηρεσίες που δεν υποστηρίζονται από τις εμπορικές εναλλακτικές λύσεις. Τα τελευταία χρόνια, ο αριθμός των διαθέσιμων συστημάτων οικιακού αυτοματισμού ελεύθερου και ανοικτού κώδικα έχει αυξηθεί δραστικά. Ο χαρακτήρας τους ως ανοικτού κώδικα τους επιτρέπει να παρέχουν υποστήριξη για εκατοντάδες, αν όχι χιλιάδες, διαφορετικές συσκευές, ξεπερνώντας τα προβλήματα εγκλωβισμού στον προμηθευτή που έχουν ορισμένες από τις εμπορικές λύσεις. Ταυτόχρονα, δεν υπάρχει κόστος που να σχετίζεται με το ίδιο το λογισμικό, το οποίο μπορεί συχνά να τρέξει σε φθηνούς υπολογιστές μιας πλακέτας, όπως το Raspberry Pi. Επομένως, μειώνεται επίσης το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας [30].

Κάθε σύστημα συνοδεύεται από το δικό του σύνολο λειτουργιών και περιορισμών, καθιστώντας την επιλογή μιας συγκεκριμένης λύσης πρόκληση:

- Υπάρχει μεγάλος αριθμός διαθέσιμων συστημάτων, το καθένα με διαφορετικό αριθμό λειτουργιών, διαφορετικά επίπεδα υποστήριξης συσκευών και πρωτοκόλλων, καθώς και διαφορές στη συνολική ωριμότητα και ποιότητα του λογισμικού.
- Αν και ο εγκλωβισμός στον προμηθευτή δεν αποτελεί κρίσιμο ζήτημα με αυτές τις ανοικτές πλατφόρμες, η μετάβαση από ένα σύστημα σε ένα άλλο είναι χρονοβόρα λόγω της έλλειψης εργαλείων μετάβασης.
- Τα έργα ανοικτού κώδικα διατρέχουν τον κίνδυνο να καταλήξουν ανενεργά , πράγμα που σημαίνει ότι πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη η μακροβιότητα του συστήματος. Έργα με λιγότερους συνεισφέροντες και χαμηλή δραστηριότητα δεσμεύσεων (commit activity) στην κοινότητα διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο να γίνουν παρωχημένα ή ανενεργά.

Οι Setz, Graef et al , [30] πραγματοποίησαν μία επισκόπηση των 20 πιο σημαντικών συστημάτων οικιακού αυτοματισμού ανοικτού κώδικα, από τα οποία επέλεξαν τα τέσσερα πιο υποσχόμενα, χρησιμοποιώντας πέντε βασικά κριτήρια και τη συνολική βαθμολογία κάθε συστήματος βάσει αυτών. Αυτά τα τέσσερα συστήματα συγκρίθηκαν στη συνέχεια μεθοδολογικά με περισσότερες λεπτομέρειες. Για την αξιολόγηση και σύγκριση των συστημάτων, εντοπίστηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά από ένα σύνολο περιπτώσεων χρήσης των συστημάτων και εξήχθησαν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά για τον οικιακό αυτοματισμό. Προέκυψε έτσι μια μελέτη δύο φάσεων. Σε πρώτη φάση, πραγματοποιήθηκε μια ανάλυση με βάση τα εξαχθέντα χαρακτηριστικά από τις περιπτώσεις χρήσης. Σε δεύτερη φάση, πραγματοποιήθηκε μια ανάλυση βάσει κριτηρίων, με 34 κριτήρια που καλύπτουν πτυχές όπως ο χρόνος εγκατάστασης, η ποιότητα της τεκμηρίωσης, η τιμολόγηση και οι απαιτήσεις υλικού.

Στη συγκεκριμένη έρευνα εκτός από τα προαναφερθέντα προσδιορίζεται επίσης μια αρχιτεκτονική αναφοράς για τον οικιακό αυτοματισμό με βάση τα κοινά σημεία που προκύπτουν από την ανάλυση των τεσσάρων συστημάτων (σχ. 7)



Σχήμα 7. Αρχιτεκτονική οικιακού αυτοματισμού. Προσαρμοσμένο από [30]

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αρχικής διαδικασίας επιλογής με στοιχεία της 16/7/2021. Ο όρος commit που χρησιμοποιείται αναφέρεται στη συνεισφορά κάθε προγραμματιστή στον κώδικα ενός έργου ανοικτού κώδικα.

Πίνακας 1. Ιεραρχική ταξινόμηση συστημάτων οικιακού αυτοματισμού ανοικτού κώδικα – Αρχική διαδικασία. Προσαρμοσμένο από [30]

Names	Rank	Score	Commits	Stars	Latest Commit	Docs	Contributors
Home Assistant [15]	1	24	4.6	4.6	5	5	5
Domoticz [16]	2	21	4.1	3.5	5	5	3
openHAB [17]	3	17	3.2	2.7	5	5	1
ioBroker [18]	4	17	3.2	2.7	5	5	1
HomeGenie [19]	5	16	3	2.4	5	5	1
Calaos [20]	6	16	3.1	2.2	5	5	1
Wirehome [21]	7	16	2.6	2.3	5	5	1
OpenMotics [22]	8	16	3.5	1.4	5	5	1
Freedomotric [23]	9	16	3.2	2.6	4	5	1
FHEM [24]	10	15	4.3	1.1	5	5	0
MisterHouse [25]	11	15	3.6	2.3	3	5	1
OpenNetHome [26]	12	14	2.7	1.6	5	5	0
Ago Control [27]	13	14	3.6	0.5	4	5	1
TheThingSystem [28]	14	12	3.1	2.5	0	5	1
üAutomate [29]	15	11	2.2	1.1	3	5	0
Neon HomeControl [30]	16	11	1.9	1.4	3	5	0
Pytomation [31]	17	11	3	1.9	0	5	1
Smarthomatic [32]	18	10	2.8	1.5	0	5	1
Smart Haus [33]	19	8	2.1	0.8	5	0	0
AutoBuddy [34]	20	8	2.4	1.2	4	0	0

Η περεταίρω ανάλυση των 4 συστημάτων με την υψηλότερη βαθμολογία βάσει περιπτώσεων χρήσης οδήγησε σε έναν πίνακα με τα υποστηριζόμενα από το κάθε σύστημα χαρακτηριστικά είτε ενδογενώς είτε μέσω λύσεων που παρέχονται από τρίτους ή και τον ίδιο τον χρήστη. Στον πίνακα 2 που ακολουθεί με ✓ σημειώνονται τα ενδογενώς υποστηριζόμενα χαρακτηριστικά, με **O** τα παρεχόμενα από τρίτους ή από τον χρήστη έπειτα από μεγάλη προσπάθεια και με – τα μη υποστηριζόμενα.

**Πίνακας 2 Υποστηριζόμενα χαρακτηριστικά συστημάτων οικιακού αυτοματισμού ανοικτού κώδικα. Προσαρμοσμένο από [30]**

Features \ System	System			
	Home Assistant	Domoticz	openHAB	ioBroker
F1.1: ePaper / eInk Display	O	O	O	O
F1.2: Dashboard	✓	✓	✓	✓
F2.1: GPS-Tracking	✓	O	✓	O
F2.2: Presence Detection	✓	✓	✓	✓
F3.1: Mobile Notification	✓	✓	✓	✓
F4.1: Sensor – Read	✓	✓	✓	✓
F4.2: Device – Actuation	✓	✓	✓	✓
F4.3: Automation Rules	✓	✓	✓	✓
F4.4: Media Streaming	✓	O	✓	✓
F5.1: Mobile Remote Control	✓	O	✓	O
F5.2: External API Calls	✓	✓	✓	✓
F5.3: Scheduler	✓	✓	✓	✓
F5.4: Biometric User Auth.	✓	-	O	O
<b>Score</b>	4.5	2	4	3

Η ανάλυση με βάση τα χαρακτηριστικά που πραγματοποιήθηκε από τους ερευνητές είναι εκτενής και παρακάτω θα παρουσιαστούν ορισμένα από τα ευρήματα που κρίνονται σημαντικότερα για τις ανάγκες του παρόντος έργου. Πίνακες 3-8

Πίνακας 3 Ελάχιστες απαιτήσεις υλικού και τιμή. Προσαρμοσμένο από [30]

System	Required Hardware	Price	Score
Home Assistant	Raspberry Pi 3 Model B	34,90 - 38,17 Euro	4
Domoticz	Raspberry Pi 1 Model B+	26,99 - 31,92 Euro	5
openHAB	Raspberry Pi 2 Model B	33,90 - 39,79 Euro	4
ioBroker	Raspberry Pi 2 Model B	33,90 - 39,79 Euro	4

$\leq 30 \text{ €}$	$\leq 35 \text{ €}$	$\leq 40 \text{ €}$	$\leq 60 \text{ €}$	$\leq 100 \text{ €}$	$> 150 \text{ €}$
5	4	3	2	1	0

Πίνακας 4. Προτεινόμενο υλικό και τιμή. Προσαρμοσμένο από [30]

System	Recommended Hardware	Criterion C2.2	Score
Home Assistant	Raspberry Pi 4 Model B	38,73 - 39,56 Euro	3
Domoticz	Raspberry Pi 3 Model B	34,90 - 38,17 Euro	4
openHAB	Raspberry Pi 2 Model B	33,90 - 39,79 Euro	4
ioBroker	Raspberry Pi 4 Model B	38,73 - 39,56 Euro	3

Πίνακας 5. Βήματα που χρειάζονται για εγκατάσταση και διαμόρφωση αισθητήρα MQTT. Προσαρμοσμένο από [30]

System	# Interaction steps	Score
Home Assistant	5	4
Domoticz	3	5
openHAB	8	3
ioBroker	11	2

Πίνακας 6. Απαιτούμενη προσπάθεια για τη δημιουργία κανόνων αυτοματισμού. Προσαρμοσμένο από [30]

Effort of Creating the Automation Rules

System	# clicks	Score
Home Assistant	38	5
Domoticz	43	4
openHAB	70	3
ioBroker	-	0

Πίνακας 7. Προστασία Ρυθμίσεων με Ταυτοποίηση (Authentication). Προσαρμοσμένο από [30]

Protected Settings by Authentication

System	basic-auth	MFA/2FA	webauthn	Score
Home Assistant	✓	✓	✓	5
Domoticz	✓	(✓)		3
openHAB	✓	(✓)		3
ioBroker	✓	(✓)		3

Πίνακας 8. Αριθμός επεκτάσεων (extensions / integrations). Προσαρμοσμένο από [30]

Extension Count

System	C6.2	Score
Home Assistant	1611	5
Domoticz	79	2
openHAB	323	3
ioBroker	352	4

Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει ανά κριτήριο και συνολικά την βαθμολογία κάθε συστήματος

Πίνακας 9. Σύνοψη Βαθμολογίας ανά κριτήριο και τελική κατάταξη συστημάτων οικιακού αυτοματισμού ανοικτού κώδικα. Προσαρμοσμένο από [30]

Overview of All Categories				
Criterion	Home Assistant	Domoticz	openHAB	ioBroker
F1-5	4.5	2	4	3
C1	5	3.3	3.75	3.3
C2	2.3	3	2.6	2.3
C3	3.5	4.0	3.5	2.5
C4	5	3.75	4	2
C5	3.3	3.6	2.6	4.3
C6	4.5	3.5	4.3	4.3
C7	3.0	2.3	4.3	5
C8	3.7	2.7	4	4.2
Average	3.9	3.1	3.7	3.4
Rank	1 <sup>st</sup> (3.9)	4 <sup>th</sup> (3.1)	2 <sup>nd</sup> (3.7)	3 <sup>rd</sup> (3.4)

C1 Popularity and Community (Δημοφιλία και Κοινότητα)

C2 Pricing (Τιμολόγηση)

C3 Setup Complexity (Πολυπλοκότητα εγκατάστασης και διαμόρφωσης)

C4 User Interface and User Experience (Διεπαφή και εμπειρία χρήστη)

C5 Security and Authentication (Ασφάλεια και ταυτοποίηση)

C6 Extensibility and Support (Επεκτασιμότητα και υποστήριξη)

C7 System Performance (Απόδοση Συστήματος)

C8 Software Quality (Ποιότητα λογισμικού)

Αν και με την πρώτη ματιά και τα τέσσερα συστήματα φαίνεται να προσφέρουν πολύ παρόμοιες λειτουργίες, με μια πιο προσεκτική εξέταση προκύπτουν αρκετές διαφορές. Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν αρκετή διακύμανση για κάθε κριτήριο, η οποία κυμαίνεται από δύο έως πέντε αστέρια για ορισμένα από αυτά γεγονός που δείχνει ότι τα συστήματα δεν είναι ισοδύναμα. Επιπλέον, η σπουδαιότητα κάθε κριτηρίου μπορεί να διαφέρει ανά-



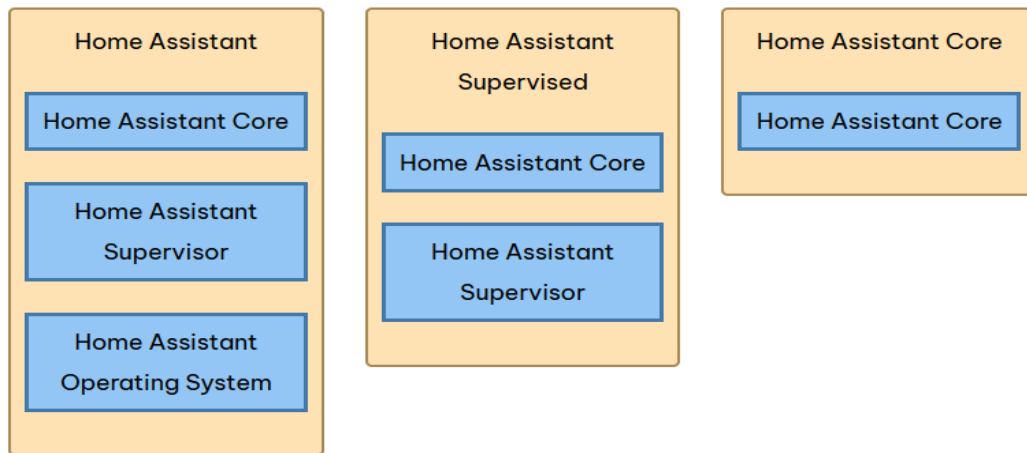
λογα με τις ανάγκες κάθε έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος για παράδειγμα υψηλές επιδόσεις ή υποστήριξη ενός ευρέος φάσματος συσκευών. Ως εκ τούτου, η βαρύτητα των κριτήριων θα πρέπει να σταθμίζεται ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας και για λόγους που θα αναλυθούν και στη συνέχεια επιλέχθηκε ως λογισμικό ανοικτού κώδικα το HA.

#### 2.4.1 Home Assistant

Το λογισμικό Home Assistant δημιουργήθηκε από τον Paulus Schoutsen, έναν ανώτερο μηχανικό λογισμικού της εταιρίας Appfolio. Το ξεκίνησε ως ένα προσωπικό Project προκειμένου να αυτοματοποιήσει τις έξυπνες λάμπες της εταιρείας Philips που μπορούσαν να δέχονται εντολές μέσω WI-FI.

Το project είναι γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού Python και ειδικά σχεδιασμένο για να μπορεί να τρέξει πάνω σε υπολογιστές μονής πλακέτας όπως για παράδειγμα το Raspberry pi. Ο Paulus Schoutsen κοινοποίησε το Home Assistant Core, όπως αργότερα ονομάστηκε, στο GitHub, μια πλατφόρμα ανάπτυξης και παραμετροποίησης λογισμικού ανοιχτή για όλους, προκειμένου να προσελκύσει το ενδιαφέρον και άλλων προγραμματιστών ώστε να συμμετάσχουν στην ανάπτυξη αυτού το Project. Στην παρούσα χρονική στιγμή το HA αναπτύσσεται και συντηρείται από την εταιρεία Nabu Casa, η οποία ιδρύθηκε από τον δημιουργό του λογισμικού ως cloud service με όνομα Home Assistant Cloud, προκειμένου να μπορούν οι χρήστες του συγκριμένου λογισμικού να εκθέσουν το τοπικό σύστημα τους στο διαδίκτυο με ασφάλεια. Παρέχεται έτσι η δυνατότητα ασφαλούς απομακρυσμένου χειρισμού και σύνδεσης του τοπικού συστήματος με τα Cloud συστήματα μεγάλων εταιρειών (Google, Amazon) δίνοντας την δυνατότητα φωνητικού ελέγχου με μια μηνιαία συνδρομή.

Το Home Assistant παρέχεται σε τρεις εκδόσεις(σχ. 8):Home Assistant Core, Home Assistant Supervised και Home Assistant [31].



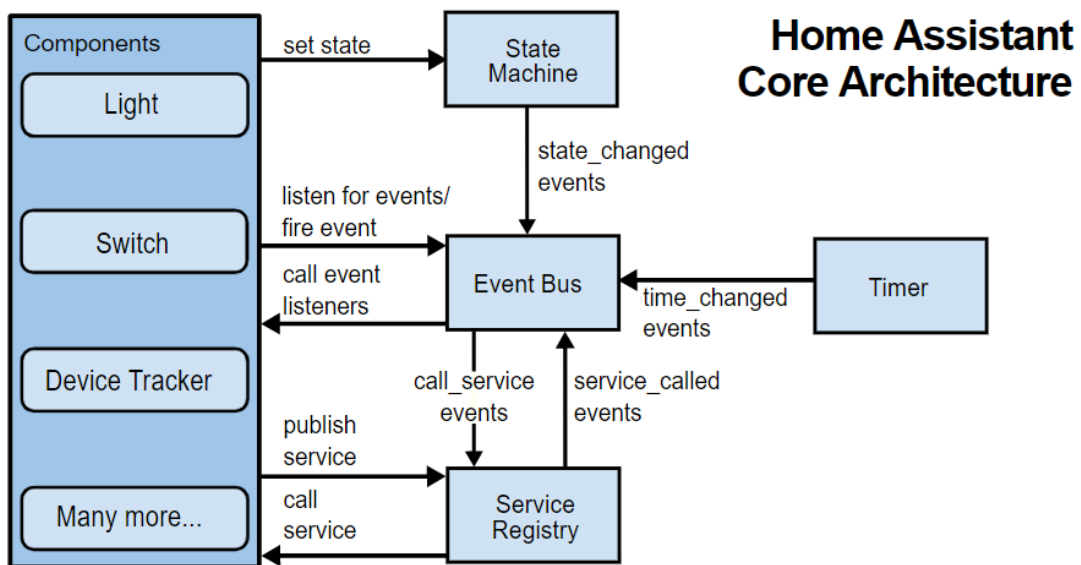
Σχήμα 8. Εκδόσεις Home Assistant. Προσαρμοσμένο από [31]

- Το Home Assistant Core είναι η βασική έκδοση του λογισμικού και μπορεί να λειτουργήσει σε οποιοδήποτε σύστημα το οποίο τρέχει Docker (Container engine). Διαφορετικά, μπορεί να εγκατασταθεί σε περιβάλλον Python. Αυτή η έκδοση δεν περιλαμβάνει τον Supervisor ο οποίος είναι υπεύθυνος για την διαχείριση, συντήρηση και επέκταση του Home Assistant Core
- Το Home Assistant Supervised αποτελείται από το HA Core και το HA Supervisor και μπορεί να τρέξει απευθείας σε περιβάλλον Linux. Περιλαμβάνει κάποιες επιπλέον δυνατότητες από το HA Core όπως:
  - Δυνατότητα ενημέρωσης της κυρίας εφαρμογής όταν αυτή είναι διαθέσιμη.
  - Δυνατότητα οπισθοδρόμησης (Roll Back) αν αποτύχει η ενημέρωση.
  - Δυνατότητα δημιουργίας και ανάκτησης από αντίγραφο ασφαλείας (BackUp).
  - Επέκταση λειτουργικότητας μέσω τρίτων (add-on) εφαρμογών.
- Τέλος η έκδοση Home Assistant, η οποία περιλαμβάνει ό,τι η έκδοση Supervised και επιπλέον το Home Assistant Operating System (HAOS). Το HAOS είναι σχεδιασμένο για να προσφέρει τη δυνατότητα στην Supervised έκδοση να τρέξει πάνω σε μονοπλακετικά υπολογιστικά συστήματα όπως το Raspberry Pi, ODROID, Intel NUC και Asus Tinker Board, καθώς και σε virtualized περιβάλλον [31], η οποία είναι και

η μέθοδος που επιλέχθηκε για το παρόν πόνημα.

Ένα πολύ ενδιαφέρον χαρακτηριστικό του HA είναι ότι μπορεί να συνδυάσει πλήθος διαφορετικών συστημάτων μέσω των διεπαφών επικοινωνίας που ολοένα και αυξάνονται προσθέτοντας νέες λειτουργίες και δυνατότητες αυτοματισμών και έξυπνης διαχείρισης των επιμέρους συστημάτων. Επιπλέον, αυτή τη στιγμή παρέχει πάνω από **1.500** διαφορετικές ενσωματώσεις (integrations). Αυτές οι ενσωματώσεις προσθέτουν υποστήριξη για νέες συσκευές, πρωτόκολλα προσαρμογής, τροποποιήσεις ή επεκτάσεις της διεπαφής χρήστη και την ενσωμάτωση εξωτερικών υπηρεσιών. Η διαμόρφωση (configuration) του Home Assistant γίνεται κυρίως μέσω της χρήσης αρχείων διαμόρφωσης YAML, αν και αντ' αυτού προστίθενται περισσότερες επιλογές διαμόρφωσης στη διεπαφή χρήστη.

Τόσο ο πυρήνας του Home Assistant όσο και οι ενσωματώσεις, όπως προαναφέρθηκε, είναι γραμμένα στη γλώσσα προγραμματισμού Python. [30] [32] Η αρχιτεκτονική του συστήματος παρουσιάζεται στο σχήμα 9.



Σχήμα 9 Αρχιτεκτονική Home Assistant Core. Προσαρμοσμένο από [33]

Το Home Assistant Core αποτελείται από τέσσερα κύρια μέρη:

- Δίαυλος Συμβάντων (Event Bus). Ο Δίαυλος Συμβάντων είναι το κεντρικό στοιχείο του HA, το οποίο χρησιμοποιείται για τη διευκόλυνση της πυροδότησης και της ακρόασης συμβάντων.

- Μηχανή Κατάστασης (State Machine). Η Μηχανή Κατάστασης μπορεί να παρακολουθεί τις καταστάσεις των αντικειμένων του συστήματος και ενεργοποιεί ένα συμβάν αλλαγής κατάστασης (`state_changed`) στον δίαυλο συμβάντων μόλις ενημερωθεί μια κατάσταση.
- Μητρώο Υπηρεσιών (Service Registry). Το Μητρώο Υπηρεσιών είναι υπεύθυνο για την ακρόαση του διαύλου συμβάντων για συμβάντα υπηρεσιών κλήσεων (`call_service events`). Οι χρήστες μπορούν να συμπεριλάβουν μια υπηρεσία μέσω του Μητρώου Υπηρεσιών χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο κώδικα. Οι αυτοματισμοί και τα "Εργαλεία Ανάπτυξης" υπηρεσιών (`service Developer Tools`) στο frontend μπορούν να καλούν υπηρεσίες.
- Χρονοδιακόπτης (Timer). Ο Χρονοδιακόπτης είναι προσαρμοσμένος ώστε να στέλνει ένα μεταβαλλόμενο με τον χρόνο συμβάν (`time_changed event`) σύμφωνα με μια δεδομένη συχνότητα στον Δίαυλο Συμβάντων (εγγενώς κάθε δευτερόλεπτο). Αυτό το στοιχείο απλοποιεί την αυτοματοποίηση με βάση τις διάρκειες. [30] [32] [33]

Το HA χρησιμοποιεί το SQLite ως βάση δεδομένων, γεγονός που σημαίνει ότι τα προσωπικά δεδομένα του χρήστη δεν αποθηκεύονται σε cloud based servers και κατ' αυτόν τον τρόπο οι πάροχοι ανάλογων υπηρεσιών δεν έχουν πρόσβαση σε δεδομένα που αφορούν τη ζωή του χρήστη. Μόνο ο χρήστης μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση στην κατάσταση του σπιτιού. Επιπλέον, η επικοινωνία με την πύλη είναι κρυπτογραφημένη. Ωστόσο, το HA παρέχει ένα στοιχείο ιστορικού που μπορεί να παρακολουθεί όλα όσα συμβαίνουν εντός της πλατφόρμας. Έτσι, οι χρήστες μπορούν να έχουν πρόσβαση σε όλες τις αποθηκευμένες πληροφορίες σχετικά με το σπίτι τους. [32]

Στο Home Assistant, κάθε αισθητήρας, ελεγκτής και ενεργοποιητής αναπαρίσταται ως συσκευή και είναι δυνατή η οργάνωσή τους σε ομάδες. Κάθε συσκευή και ενσωμάτωση (`integration`) αναπαρίσταται ως μία ή περισσότερες οντότητες, καθεμία από τις οποίες έχει χαρακτηριστικά που αντιπροσωπεύουν την κατάσταση της οντότητας. Όσον αφορά την αυτοματοποίηση, υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας κανόνων αυτοματοποίησης οι οποίοι μπορούν να ενεργοποιηθούν από διάφορα γεγονότα και συνθήκες, όπως για παράδειγμα ορισμένες καταστάσεις των χαρακτηριστικών των οντοτήτων του συστήματος, ό-

ταν ένας χρήστης εισέρχεται σε μια καθορισμένη περιοχή, όταν δύνει ο ήλιος ή όταν ο διακομιστής επανεκκινείται. Οι κανόνες αυτοματοποίησης είναι δυνατόν να περιέχουν συνθήκες για να αποτρέπουν την εκτέλεση του κανόνα εάν οι συνθήκες δεν ικανοποιούνται. Τέλος, υπάρχουν ενέργειες που καθορίζουν τι πρέπει να εκτελεστεί όταν ο κανόνας αυτοματισμού ενεργοποιηθεί. [30]

## **2.5 Τοπικά Δίκτυα και Πρωτόκολλα επικοινωνίας**

Αν και δεν υπάρχει μία καθολικά αποδεκτή ταξινόμηση των δικτύων υπολογιστών, δύο σημαντικές παράμετροι χρησιμοποιούνται συχνότερα για την κατηγοριοποίησή τους: Η τεχνολογία μετάδοσης/εκπομπής (transmission technology) και η έκταση/κλίμακα του δικτύου. Οι κόμβοι ή σταθμοί ενός δικτύου είναι δυνατόν να συνδεθούν μεταξύ άλλων, είτε σημείο προς σημείο (Point to Point), είτε με κοινό τρόπο μετάδοσης (Broadcast), τεχνολογίες μετάδοσης οι οποίες είναι και οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες [34].

Οι συνδέσεις σημείο προς σημείο συνδέουν ανεξάρτητα ζεύγη κόμβων. Σε ένα δίκτυο που αποτελείται από συνδέσεις σημείο προς σημείο, σύντομα μηνύματα τα οποία καλούνται συνήθως δικτυακά πακέτα, προκειμένου να φτάσουν από την πηγή στον προορισμό, θα πρέπει να περάσουν από έναν ή περισσότερους ενδιάμεσους κόμβους. Συχνά είναι δυνατές πολλαπλές διαδρομές διαφορετικού μήκους και η εύρεση της καταλληλότερης διαδρομής που θα ακολουθήσει ένα πακέτο είναι σημαντική παράμετρος των εν λόγω δικτύων. [34]

Σε ένα δίκτυο με κοινό τρόπο μετάδοσης, το κανάλι επικοινωνίας είναι κοινό για όλους τους κόμβους και τα πακέτα που εκπέμπονται από έναν κόμβο λαμβάνονται από όλους τους υπόλοιπους σταθμούς του δικτύου. Η επεξεργασία του πακέτου γίνεται όμως μόνο από τον κόμβο ή κόμβους στους οποίους απευθύνεται, καθώς κάθε πακέτο διαθέτει ένα πεδίο «διεύθυνσης» (address field) το οποίο και ορίζει τον παραλήπτη. Αν ο κόμβος δεν αποτελεί τον παραλήπτη που ορίζεται στο πεδίο διεύθυνσης το πακέτο απλά αγνοείται.

Τα πακέτα είναι δυνατόν να απευθύνονται σε όλους τους κόμβους του δικτύου (κατάσταση λειτουργίας broadcasting) ή σε υποσύνολα κόμβων(multicasting). Τα ασύρματα δίκτυα αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα δικτύων με κοινό τρόπο μετάδοσης. Η επικοινωνία συντελείται εντός μίας περιοχής κάλυψης του δικτύου η έκταση της οποίας εξαρτάται από το ασύρματο κανάλι και την μηχανή κόμβο που εκπέμπει. [34]

Αν επιλεγεί ως κριτήριο ταξινόμησης η έκταση/κλίμακα του δικτύου, αναδεικνύεται η απόσταση ως το κατάλληλο μέτρο ταξινόμησης, καθώς διαφορετικές τεχνολογίες χρησιμοποιούνται για κάθε κλίμακα. Στο σχήμα που ακολουθεί ταξινομούνται συστήματα πολλαπλών επεξεργαστών με βάση την απόσταση μεταξύ των κόμβων και παραδείγματα δικτύων που αφορούν.

Interprocessor distance	Processors located in same	Example
1 m	Square meter	Personal area network
10 m	Room	
100 m	Building	Local area network
1 km	Campus	
10 km	City	Metropolitan area network
100 km	Country	Wide area network
1000 km	Continent	
10,000 km	Planet	The Internet

Σχήμα 10 Ταξινόμηση δικτύων ανάλογα με το μέγεθος κάλυψης. Προσαρμοσμένο από [34]

Τα τοπικά δίκτυα (Local Area Network – LAN) είναι ιδιόκτητα δίκτυα που λειτουργούν εντός ενός κτιρίου ή κοντά σε αυτό. Τα Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα (Wireless Lan) χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε ευφυή οικιακά περιβάλλοντα όπου η ενσύρματη επικοινωνία είναι πολυδάπανη και αδόκιμη. Κάθε κόμβος του δικτύου επικοινωνεί με μία συσκευή η οποία προωθεί τα πακέτα μεταξύ των κόμβων ή μεταξύ αυτών και του Internet και συναντάται με διάφορα ονόματα όπως Σημείο Πρόσβασης(Access Point), Ασύρματος Δρομολογητής (Wireless router) ή Σταθμός Βάσης (Base Station) και η οποία συνδέεται ενσύρματα με το Internet. Αν οι κόμβοι βρίσκονται αρκετά κοντά είναι δυνατή η άμεση επικοινωνία μεταξύ στα πλαίσια της παραμετροποίησης peer-to-peer ενός ομότιμου δικτύου. [35]

Η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων ενός τοπικού δικτύου επιτυγχάνεται με ανταλλαγή δικτυακών πακέτων σύμφωνα με συγκεκριμένα Πρωτοκόλλα Επικοινωνίας. Αυτά ορίζουν την μορφή (format) και τη σειρά μηνυμάτων που ανταλλάσσονται μεταξύ δύο οντοτήτων που επικοινωνούν, όπως επίσης και τις ενέργειες που λαμβάνουν χώρα κατά την εκπομπή ή λήψη ενός μηνύματος ή άλλου γεγονότος. [35]

Το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronic Engineers - IEEE), η μεγαλύτερη επαγγελματική οργάνωση στον κόσμο, διαθέτει τμήμα τυποποίησης το οποίο αναπτύσσει Πρότυπα στον τομέα της ηλεκτρολογικής μηχανικής και πληροφορικής. Οι ομάδες εργασίας της επιτροπής 802 του IEEE έχει τυποποιήσει πολλών ειδών Τοπικά Δίκτυα (Πίνακας 10).

**Πίνακας 10. Ομάδες εργασίας επιτροπής 802 του IEEE. Προσαρμοσμένο από [34]**

Number	Topic
802.1	Overview and architecture of LANs
802.2 ↓	Logical link control
802.3 *	Ethernet
802.4 ↓	Token bus (was briefly used in manufacturing plants)
802.5	Token ring (IBM's entry into the LAN world)
802.6 ↓	Dual queue dual bus (early metropolitan area network)
802.7 ↓	Technical advisory group on broadband technologies
802.8 †	Technical advisory group on fiber optic technologies
802.9 ↓	Isochronous LANs (for real-time applications)
802.10 ↓	Virtual LANs and security
802.11 *	Wireless LANs (WiFi)
802.12 ↓	Demand priority (Hewlett-Packard's AnyLAN)
802.13	Unlucky number; nobody wanted it
802.14 ↓	Cable modems (defunct: an industry consortium got there first)
802.15 *	Personal area networks (Bluetooth, Zigbee)
802.16 *	Broadband wireless (WiMAX)
802.17	Resilient packet ring
802.18	Technical advisory group on radio regulatory issues
802.19	Technical advisory group on coexistence of all these standards
802.20	Mobile broadband wireless (similar to 802.16e)
802.21	Media independent handoff (for roaming over technologies)
802.22	Wireless regional area network

Οι οικογένειες προτύπων 802.3 (γνωστή ως Ethernet) και 802.11 (γνωστή ως Wi-fi) είναι οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες σε ενσύρματα και ασύρματα αντίστοιχα Τοπικά δίκτυα. Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας εκτός από το Wi-fi χρησιμοποιείται και το πρω-

τόκολλο επικοινωνίας Zigbee το οποίο ανήκει μαζί με το Bluetooth στην οικογένεια προτύπων 802.15 για προσωπικά δίκτυα (PAN personal area network). Στον πίνακα εμφανίζονται οι διάφορες ομάδες εργασίας του IEEE και τα θέματα πάνω στα οποία εργάζονται. [34]

Πριν περιγραφούν οι τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης που χρησιμοποιήθηκαν είναι σκόπιμο είναι να γίνει μια γενική αναφορά στο μοντέλο διαστρωματωμένης αρχιτεκτονικής δικτύων. Ένα υποσύστημα επικοινωνίας, όπως το τοπικό δίκτυο, είναι ένα πολύπλοκο σύνολο υλικού και λογισμικού. Οι πρώτες προσπάθειες υλοποίησης του λογισμικού για τέτοια υποσυστήματα βασίζονταν σε αδόμητα ενιαία προγράμματα με πολλά αλληλοεπιδρώντα συστατικά. Τα προκύπτοντα λογισμικά ήταν δύσκολο τόσο να δοκιμαστούν όσο και να τροποποιηθούν. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, ο ISO ανέπτυξε μια πολυεπίπεδη προσέγγιση στην οποία η έννοια της δικτύωσης χωρίζεται σε διάφορα επίπεδα ή στρώματα (layers) και σε κάθε στρώμα ανατίθεται μια συγκεκριμένη εργασία. Ο κύριος στόχος της διαστρωματωμένης αρχιτεκτονικής είναι η διαίρεση του σχεδιασμού ενός δικτύου σε μικρά κομμάτια. Έτσι προέκυψε το Μοντέλο Αναφοράς Διασύνδεσης Ανοικτών Συστημάτων (OSI) [36]

Αν και το OSI δεν αποτελεί αρχιτεκτονική δικτύου επηρέασε τον τρόπο σχεδίασης και κατανόησης των δικτύων. Οργανώνεται σε 7 επίπεδα ιεραρχικά δομημένα και παρουσιάζεται στο σχήμα 11. Τα 3 κατώτερα αφορούν την μετάδοση πακέτων εντός του δικτύου ενώ τα 4 ανώτερα εξασφαλίζουν την μεταβίβαση πακέτων μεταξύ τελικών χρηστών :

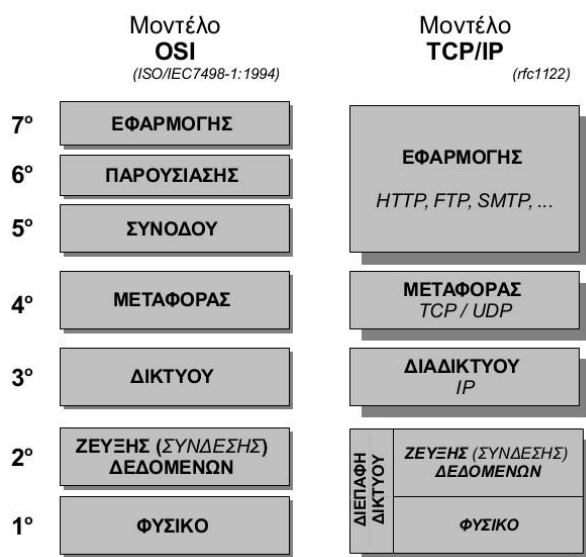


Σχήμα 11 Μοντέλο αναφοράς διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων (OSI). Προσαρμοσμένο από [37].



Στα πλαίσια της διαστρωματωμένης αρχιτεκτονική κάθε κατώτερο στρώμα προσθέτει τις υπηρεσίες του στο ανώτερο, για να παρέχει ένα πλήρες σύνολο υπηρεσιών για τη διαχείριση των επικοινωνιών και την εκτέλεση των εφαρμογών. Εξασφαλίζεται η ανεξαρτησία μεταξύ των στρωμάτων, καθώς παρέχονται υπηρεσίες από το κατώτερο στο ανώτερο επίπεδο χωρίς να καθορίζεται ο τρόπος υλοποίησης των υπηρεσιών. Κατ' αυτόν τον τρόπο τροποποιήσεις σε κάποιο από τα στρώματα δεν επηρεάζουν τα υπόλοιπα. [35]

Η δέσμη πρωτοκόλλων TCP/IP είναι μία ομάδα πρωτοκόλλων επικοινωνίας που χρησιμοποιείται από το Internet και άλλα παρόμοια δίκτυα. Η στοίβα του TCP/IP έχει 4 επίπεδα και όπως το OSI (σχ. 12) λειτουργεί εγκαθιδρύοντας πρότυπα επικοινωνίας εντός κάθε επιπέδου καθώς και μεταξύ αυτών. [34]

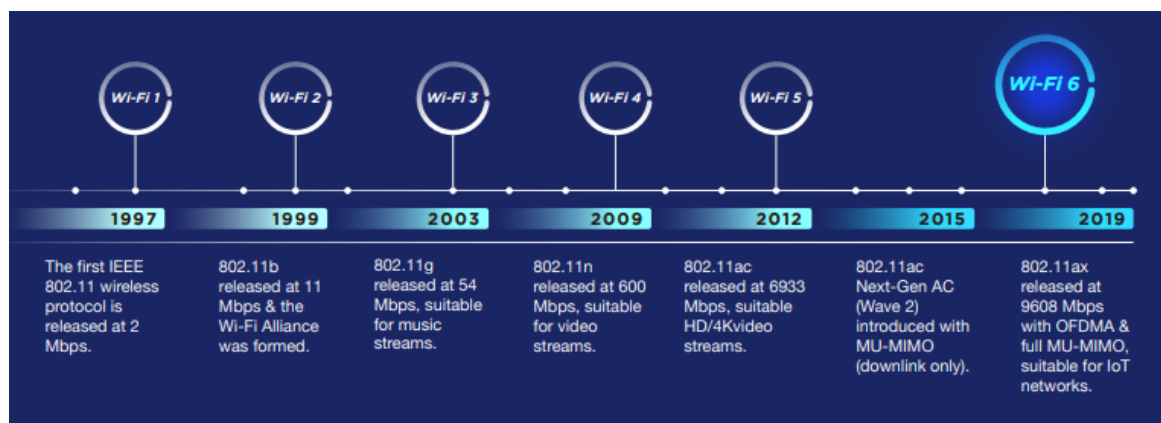


Σχήμα 12. Μοντέλα OSI και TCP/IP. Προσαρμοσμένα από [38]

Πρόκειται για τον τρόπο με τον οποίο επικοινωνούν διαφορετικά δίκτυα μεταξύ τους και κάθε έξυπνη συσκευή που συνδέεται στο διαδίκτυο κάνει χρήση της εν λόγω σουίτας πρωτοκόλλων. Επιτρέπει στις εφαρμογές να επικοινωνούν με διάφορα πρωτόκολλα επιπέδου ζεύξης δεδομένων όπως το Ethernet και το Wi-Fi. [35] [34]

### 2.5.1 Wi-Fi

Το Wi-Fi είναι η πιο συχνά και ευρύτερα χρησιμοποιούμενη τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας και το πρωτεύον μέσο της παγκόσμιας κυκλοφορίας του διαδικτύου ενώ αποτελεί την κινητήρια δύναμη για οικονομική δραστηριότητα 3,3 δισεκατομμυρίων δολαρίων παγκοσμίως. Περισσότερες από 4 δισεκατομμύρια συσκευές με δυνατότητες Wi-Fi διακινούνται εμπορικά κάθε χρόνο και υπάρχουν 16 δισεκατομμύρια συσκευές σε χρήση παγκοσμίως. Η εν λόγω τεχνολογία βελτιώνεται συνεχώς, με κάθε γενιά (σχ. 13) να φέρει μεγαλύτερες ταχύτητες, μικρότερη καθυστέρηση και καλύτερη εμπειρία χρήστη σε πληθώρα περιβαλλόντων και συσκευών [39]



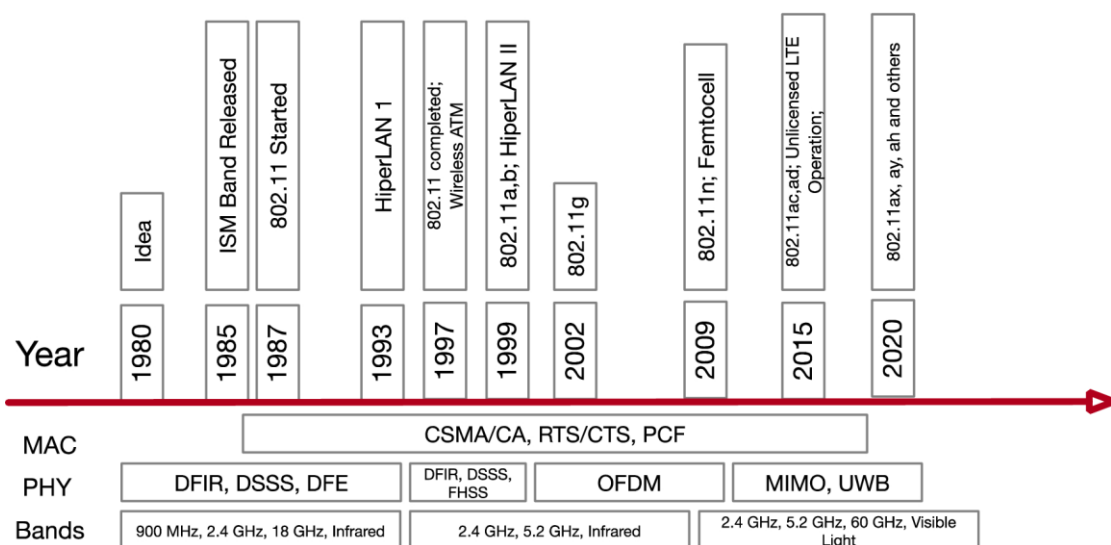
Σχήμα 13. Γενιές Wi-Fi. Προσαρμοσμένο από [39]

Σύμφωνα με την αρχική αίτηση εξουσιοδότησης έργου για την ανάπτυξη του 802.11 το 1990, αυτό επρόκειτο να καταλήξει σε μία προδιαγραφή υποστρώματος ελέγχου πρόσβασης Μέσου (MAC medium access control) και φυσικού στρώματος (PHY Physical) για την παροχή ασύρματης συνδεσιμότητας σε σταθερούς, φορητούς και κινητούς σταθμούς εντός μίας τοπικής περιοχής. Το υπόστρωμα MAC ελέγχει το φυσικό υλικό που είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία/αλληλεπίδραση με το ενσύρματο, οπτικό ή ασύρματο μέσο μετάδοσης και μαζί με το υπόστρωμα ελέγχου λογικής σύνδεσης (LLC Logical Link Control) συγκροτούν το στρώμα ζεύξης δεδομένων. [40]

Οι διαδοχικές βελτιώσεις (σχ. 14) μετέτρεψαν την εξέλιξη του 802.11 από απλώς ένα χαμηλής ταχύτητας υποκατάστατο καλωδίων σε μία ολοκληρωμένη δικτυακή υποδομή και

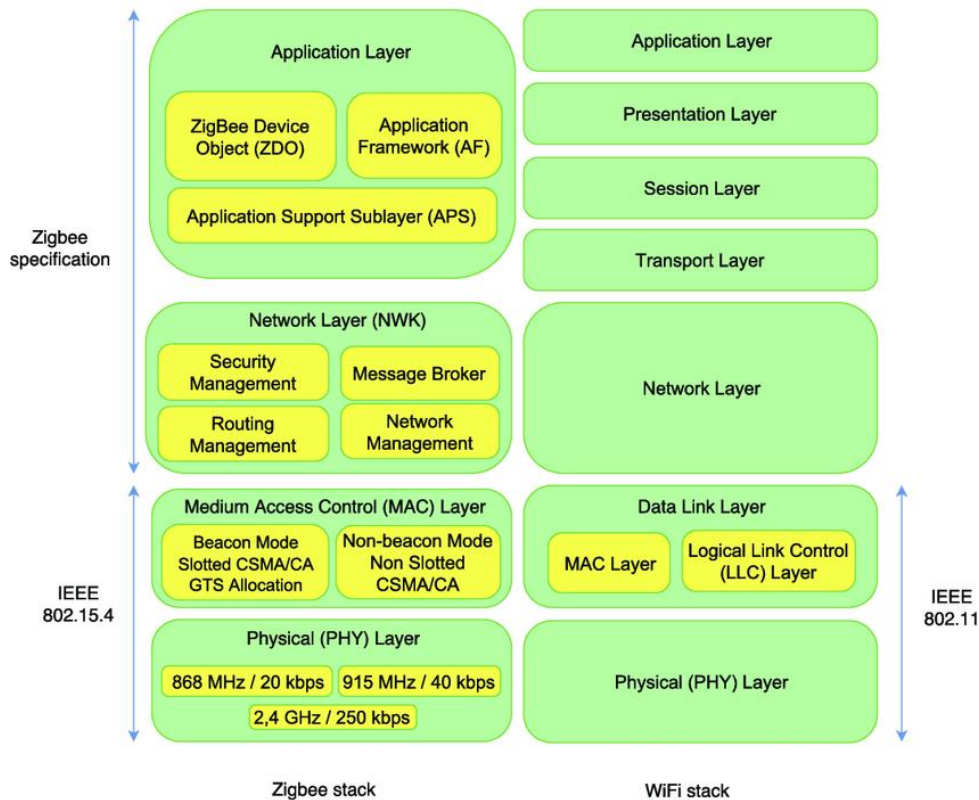
μία εναλλακτική της κυψελοειδούς (cellular) συνδεσιμότητας λύση ασύρματης πρόσβασης [41]. Η εξέλιξη των προτύπων δείχνει σημαντική αύξηση των ονομαστικών ρυθμών δεδομένων: από τα 2 Mbit/s του IEEE 802.11-1997, στα 11 Mbit/s του 802.11b, στα 54 Mbit/s του 802.11a/g, στα 600 Mbit/s του 802.11n και στους ρυθμούς Gbit/s του τελευταίου 802.11ac. Αυτοί οι ρυθμοί Wi-Fi επιτεύχθηκαν μέσω ταχύτερων σχημάτων διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, ευρύτερων καναλιών και της υιοθέτησης τεχνολογιών πολλαπλών εισόδων και πολλαπλών εξόδων (MIMO multiple input multiple output) [40]

Οι λόγοι για την επιτυχία του προτύπου 802.11 [1] είναι πολλαπλοί: η χρήση του μη αδειοδοτούμενου φάσματος (2,45 GHz / ISM band 2400-2500 MHz, 5 GHz / διαφορές ανά χώρα/ήπειρο), η μείωση του κόστους λόγω οικονομιών κλίμακας, η ευκολία διαχείρισής τους και η ικανότητα της ομάδας προτύπων IEEE 802.11 να διατηρεί την ανάπτυξη μεταγενέστερων τροποποιήσεων για την αντιμετώπιση περιορισμών καθώς αυτοί εντοπίζονται. [41]



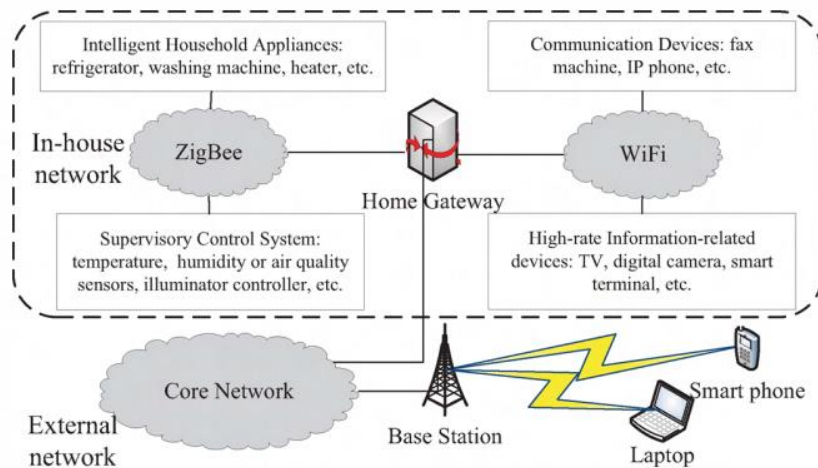
Σχήμα 14. Εξέλιξη τεχνολογιών Wi-Fi και προτύπων. Προσαρμοσμένο από [42]

Τόσο η τεχνολογία Wi-Fi όσο και η zigbee που ακολουθεί αποτελούν τεχνολογίες που «κυριαρχούν» τα ευφυή οικιακά περιβάλλοντα και υποστηρίζουν συμπληρωματικές εφαρμογές όσον αφορά το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (data rate) και την περιοχή κάλυψης. Στο σχήμα 15 παρουσιάζεται μία σύγκριση της αρχιτεκτονικής στοίβας των δύο πρωτοκόλλων.



Σχήμα 15. Αρχιτεκτονική Zigbee και WiFi. Προσαρμοσμένο από [43]

Οι συσκευές Wi-Fi και Zigbee συνυπάρχουν σε ένα έξυπνο σπίτι και η απρόσκοπτη λειτουργία και των δύο παράλληλων τεχνολογιών που χρησιμοποιούν το ίδιο εύρος φάσματος (2.4GHz Industrial,Scientific, Medical ISM- μη αδειοδοτούμενο φάσμα) είναι ζωτικής σημασίας. [43] (Han, Han, Zhang, Zhang & Yang, 2012). Στο σχήμα 16 που ακολουθεί αναπαρίσταται μία τυπική αρχιτεκτονική ενός έξυπνου οικιακού δικτύου.



Σχήμα 16. Αρχιτεκτονική έξυπνου οικιακού δικτύου με πρωτόκολλα επικοινωνίας WiFi και Zigbee. Προσαρμοσμένο από [43]

### 2.5.2 Zigbee

Η δημιουργία του Zigbee ξεκίνησε, σύμφωνα με τον πρόεδρο της Zigbee Alliance, Bob Heile, από την ανάγκη της αγοράς για:

- Μεγάλα δίκτυα με πολλές συσκευές, ευρεία περιοχή κάλυψης και δυνατότητα αυτόνομου σχηματισμού και ασφαλούς, αξιόπιστης λειτουργίας για χρόνια χωρίς ανάγκη παρέμβασης από τον φορέα εκμετάλλευσης
- Πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας πχ χρόνια χρήσης ζεύγους μπαταριών AA, πολύ χαμηλό κόστος υποδομής, μικρή πολυπλοκότητα και μέγεθος
- Σχετικά χαμηλό ρυθμό δεδομένων
- Τυποποιημένο πρωτόκολλο που εξασφαλίζει διαλειτουργικότητα μεταξύ προϊόντων διαφορετικών κατασκευαστών [44]

Τα πρότυπα που ήδη υπήρχαν αφορούσαν υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων ή δίκτυα με μπαταρία μικρού αριθμού συσκευών. Η Zigbee Alliance ήρθε να καλύψει την ανάγκη αυτή ορίζοντας ένα πλήρες, ανοικτό, παγκόσμιο πρότυπο για αξιόπιστα, οικονομικά, αποδοτικά, χαμηλής ισχύος, ασύρματα δικτυωμένα προϊόντα που απευθύνονται στην παρακολούθηση και τον έλεγχο. Το ZigBee λοιπόν στοχεύει σε χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων, μια μικροσκοπική στοίβα που χωράει σε μικροελεγκτές 8 bit, επιδιώκει να ελέγξει ένα φως ή να στείλει δεδομένα θερμοκρασίας σε έναν θερμοστάτη, είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί για χρόνια με μπαταρίες και τα προϊόντα ZigBee μπορούν συνήθως να παρέχουν δεκαετίες

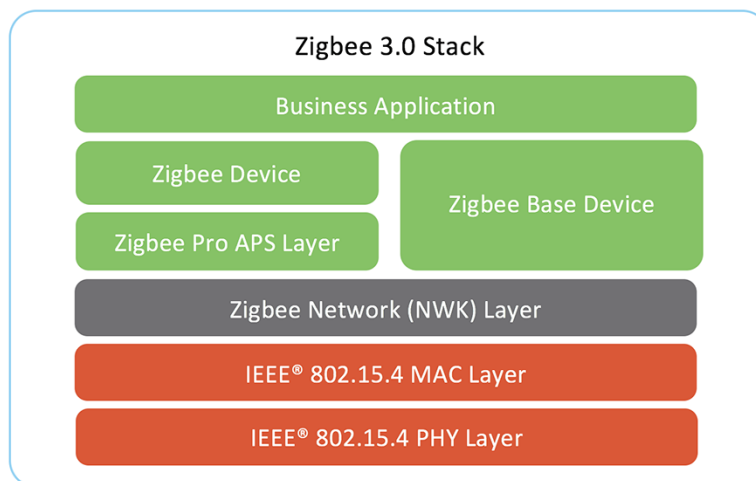
ή και περισσότερο χρόνο χρήσης. [44] Κατ' αυτόν τον τρόπο καθίσταται ιδανικό για την ανάπτυξη ασύρματων δικτύων αισθητήρων που εξυπηρετούν τις ανάγκες ενός έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με την προδιαγραφή της Zigbee Alliance (η οποία μετονομάστηκε το 2021 σε Connectivity Standards Alliance- CSA) το Πρωτόκολλο Zigbee είναι ένα χαμηλού κόστους, πολύ χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης πρότυπο αμφίδρομης ασύρματης επικοινωνίας. Το πρότυπο υιοθετείται από λύσεις που ενσωματώνονται σε ηλεκτρονικά προϊόντα ευρείας κυκλοφορίας, οικιακούς και κτιριακούς αυτοματισμούς, βιομηχανικούς ελέγχους, περιφερειακά Η/Υ, εφαρμογές ιατρικών αισθητήρων και παιχνίδια. [45].

Στην επίσημη ιστοσελίδα της CSA παρουσιάζεται ως λύση πλήρους στοίβας (full stack) για όλες τις ευφυείς συσκευές και προτείνεται ως ολοκληρωμένη λύση IoT- από το δίκτυο πλέγματος (mesh topology) μέχρι την καθολικής εφαρμογής γλώσσα- που επιτρέπει στα έξυπνα αντικείμενα να συνεργάζονται. Όπως και η Wi-Fi alliance, η CSA πιστοποιεί προϊόντα τα οποία είναι συμβατά με τα πρωτόκολλα της, εξασφαλίζοντας διαλειτουργικότητα σε εκατομμύρια προϊόντα Zigbee που έχουν αναπτυχθεί σε έξυπνα σπίτια και εμπορικά κτίρια και παρέχοντας την βεβαιότητα ότι τα προϊόντα και οι υπηρεσίες θα συνεργάζονται μεταξύ τους μέσω της τυποποίησης και της δοκιμής όλων των επιπέδων της στοίβας [46].

Σύμφωνα με την προδιαγραφή του προτύπου, η αρχιτεκτονική της στοίβας Zigbee (σχ.17) ακολουθεί επίσης το μοντέλο της διαστρωμάτωσης στο οποίο, όπως έχει προαναφερθεί, κάθε στρώμα εκτελεί ένα συγκεκριμένο σύνολο υπηρεσιών για το επίπεδο που βρίσκεται από πάνω:

- Μια οντότητα δεδομένων παρέχει μια υπηρεσία μετάδοσης δεδομένων
- Μια οντότητα διαχείρισης παρέχει όλες τις άλλες υπηρεσίες.
- Κάθε οντότητα υπηρεσίας εκθέτει μια διεπαφή στο ανώτερο στρώμα, μέσω ενός σημείου πρόσβασης υπηρεσίας (service access point - SAP)
- Κάθε SAP υποστηρίζει έναν αριθμό πρωτογενών υπηρεσιών για την επίτευξη της απαιτούμενης λειτουργικότητας. [45]



Σχήμα 17. Zigbee 3.0. Stack. Προσαρμοσμένο από [45]

Τα δύο κατώτερα στρώματα, το φυσικό στρώμα (PHY) και το υποστρώμα ελέγχου πρόσβασης Μέσου (MAC) προδιαγράφονται από το πρότυπο IEEE 802.15.4 και αποτελούν το θεμέλιο πάνω στο οποίο χτίζει το Zigbee, παρέχοντας το στρώμα Δικτύου ( Network- NWK) και το πλαίσιο για το στρώμα εφαρμογής. Το πλαίσιο του στρώματος εφαρμογής αποτελείται από:

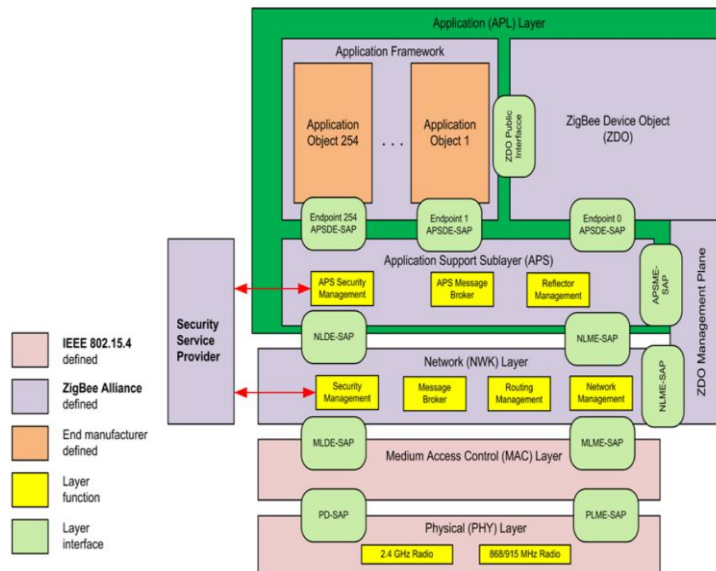
- Το υποεπίπεδο υποστήριξης εφαρμογών (Application Support -APS).
- Τα αντικείμενα συσκευών ZigBee (Zigbee Device Objects -ZDO).
- Αντικείμενα εφαρμογών που ορίζονται από τον κατασκευαστή (Manufacturer-defined application objects) χρησιμοποιούν το πλαίσιο και μοιράζονται τις υπηρεσίες APS και ασφάλειας με τα ZDO. [45]

Το στρώμα PHY λειτουργεί σε δύο ξεχωριστές περιοχές συχνοτήτων: 868/ MHz και 2,4 GHz. Το στρώμα PHY χαμηλότερης συχνότητας καλύπτει τόσο την ευρωπαϊκή ζώνη 868 MHz όσο και τη ζώνη MHz, που χρησιμοποιείται σε χώρες όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Αυστραλία. Το στρώμα PHY υψηλότερης συχνότητας χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλο τον κόσμο.

Το υποεπίπεδο MAC ελέγχει την πρόσβαση στο κανάλι ραδιοσυχνοτήτων χρησιμοποιώντας τον μηχανισμό CSMA-CA (Carrier-sense multiple access with collision avoidance- πολλαπλή πρόσβαση με ανίχνευση φέρουσας και αποφυγή σύγκρουσης). Οι αρμοδιότητές του μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν τη μετάδοση πλαισίων beacon, το συγχρονισμό και

την παροχή ενός αξιόπιστου μηχανισμού μετάδοσης. Στο σχήμα 18 παρουσιάζεται το περίγραμμα της αρχιτεκτονικής της στοίβας ZigBee. [45]

Figure 1.1 Outline of the ZigBee Stack Architecture



Σχήμα 18. Αρχιτεκτονική του ZigBee Stack. Προσαρμοσμένο από [45]

Η προδιαγραφή ZigBee προσδιορίζει τρία είδη συσκευών που ενσωματώνουν ασύρματους ZigBee, ενώ και τα τρία βρίσκονται σε ένα τυπικό δίκτυο ZigBee

- Συντονιστής ZigBee (ZC): Αποτελεί τη ρίζα του δέντρου του δικτύου, μπορεί να αποτελέσει γέφυρα προς άλλα δίκτυα και είναι υπεύθυνος για την έναρξη και τη διαμόρφωση του σχηματισμού του δικτύου. Υπάρχει ακριβώς ένας συντονιστής ZigBee σε κάθε PAN δίκτυο, δεδομένου ότι είναι η συσκευή που ξεκίνησε αρχικά το δίκτυο. Είναι σε θέση να αποθηκεύει πληροφορίες σχετικά με το δίκτυο, συμπεριλαμβανομένου του να λειτουργεί ως κέντρο εμπιστοσύνης και αποθετήριο για τα κλειδιά ασφαλείας.
- Δρομολογητής ZigBee (ZR): Εκτός από την εκτέλεση λειτουργίας εφαρμογής, ένας δρομολογητής μπορεί να λειτουργήσει ως ενδιάμεσος δρομολογητής, μεταφέροντας δεδομένα από άλλες συσκευές. Συνδέεται (ως κόμβος-παιδί) με τον ZC ή με έναν προηγούμενος συνδεδεμένο (associated) ZR, για την υποστήριξη της δρομολόγησης μηνυμάτων πολλαπλών αλμάτων /βημάτων(multi-hop message routing).
- Τελική συσκευή ZigBee (ZED): μια συσκευή με δυνατότητες αισθητήρα/ενεργοποιητή, η οποία όμως δεν επιτρέπει σε άλλες συσκευές να συνδεθούν μαζί της και δεν



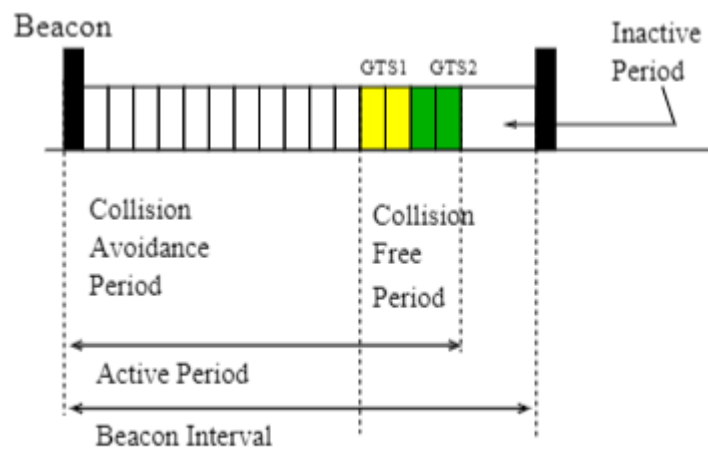
συμμετέχει στη δρομολόγηση. Περιέχει μόνο αρκετή λειτουργικότητα για να μιλάει με τον γονικό κόμβο (είτε τον συντονιστή είτε έναν δρομολογητή) και δεν μπορεί να μεταδώσει δεδομένα από άλλες συσκευές. Αυτή η σχέση επιτρέπει στον κόμβο να μπαίνει σε αναμονή (sleep mode) δίνοντας έτσι μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Ένα ZED απαιτεί το μικρότερο ποσό μνήμης και, επομένως, μπορεί να είναι λιγότερο ακριβό στην κατασκευή από ένα ZR ή ZC [47].

Το φυσικό επίπεδο IEEE 802.15.4 χρησιμοποιεί ένα αλφάβητο κωδικοποίησης 16-ary (4 bits/symbol) σε διαμόρφωση Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) σε τρεις λειτουργικές ζώνες συχνότητας: 2,4 GHz (16 κανάλια)- 915 MHz (10 κανάλια)- 868 MHz (1 κανάλι). Το στρώμα MAC του IEEE 802.15.4 υποστηρίζει δύο τρόπους λειτουργίας που μπορεί να επιλέξει το ZC:

- χωρίς λειτουργία beacon, κατά την οποία το MAC διέπεται απλώς από non-slotted CSMA/CA
- με λειτουργία beacon, ο οποία διέπεται από slotted CSMA/CA (με σχισμές?), και κατά την οποία αποστέλλονται περιοδικά beacons από το ZC για να συγχρονίσει τους κόμβους που συσχετίζονται με αυτόν και να προσδιορίσει το PAN. [48]

Στη λειτουργία με δυνατότητα beacon, το ZC ορίζει μια δομή Superframe (Σχήμα 19) η οποία κατασκευάζεται με βάση:

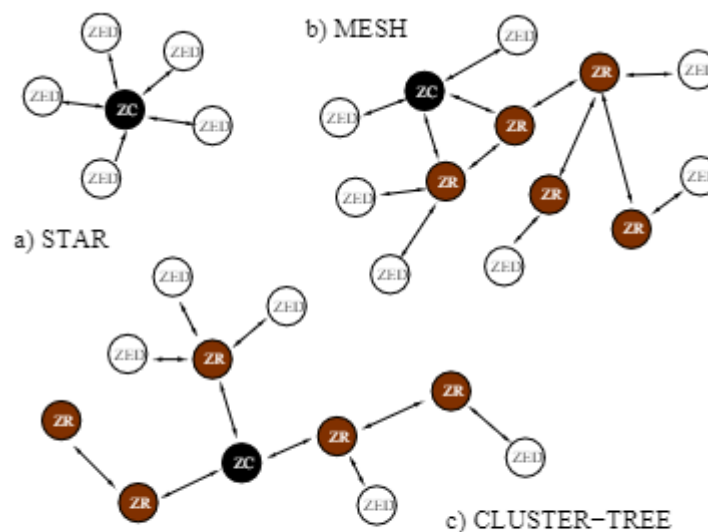
- το Διάστημα Beacon (Beacon Interval-BI), το οποίο ορίζει το χρόνο μεταξύ δύο διαδοχικών πλαισίων beacon
- τη Διάρκεια Superframe (Superframe Duration-SD), η οποία ορίζει το ενεργό τμήμα στο BI και διαιρείται σε 16 ίσου μεγέθους χρονοθυρίδες, κατά τη διάρκεια των οποίων επιτρέπονται οι μεταδόσεις πλαισίων. Προαιρετικά, μια ανενεργή περίοδος ορίζεται εάν  $BI > SD$ . Κατά τη διάρκεια της ανενεργής περιόδου (εάν υπάρχει), όλοι οι κόμβοι μπορούν να εισέλθουν σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας για εξοικονόμηση ενέργειας. Το BI και το SD καθορίζονται από δύο παραμέτρους - τη σειρά Beacon (BO) και τη σειρά Superframe (SO) [48].



**Figure 1. Superframe Structure**

Σχήμα 19. Δομή Superframe. Προσαρμοσμένο από [48].

Το επίπεδο δικτύου ZigBee (NWK) υποστηρίζει τοπολογίες αστέρα (STAR), δέντρου (CLUSTER-TREE) και πλέγματος (MESH) (σχ.20).



**Figure 2. ZigBee star, mesh, and cluster-tree network topologies**

Σχήμα 20. Τοπολογίες Δικτύων ZigBee. Προσαρμοσμένο από [48]

Στην τοπολογία αστέρα, οι επικοινωνίες πρέπει πάντα να αναμεταδίδονται μέσω του ZC ο οποίος ελέγχει και το δίκτυο. Τα δίκτυα αστέρα μπορούν να λειτουργήσουν τόσο σε κατάσταση λειτουργίας με όσο και χωρίς ραδιοφάρο (Beacon).

Στις τοπολογίες πλέγματος και δέντρου, ο ZC είναι υπεύθυνος για την εκκίνηση του δικτύου και για την επιλογή ορισμένων βασικών παραμέτρων του δικτύου, αλλά το δίκτυο μπορεί να επεκταθεί με τη χρήση ZR.

Η τοπολογία Cluster-Tree είναι μια ειδική περίπτωση δικτύου Mesh. Υπάρχει ένα μόνο μονοπάτι δρομολόγησης μεταξύ οποιουδήποτε ζεύγους κόμβων και ένας μηχανισμός συγχρονισμού με διασπορά. Λειτουργεί σε κατάσταση λειτουργίας με ραδιοφάρο και οι δρομολογητές μετακινούν τα δεδομένα και τα μηνύματα ελέγχου μέσω του δικτύου χρησιμοποιώντας μια ιεραρχική στρατηγική δρομολόγησης.

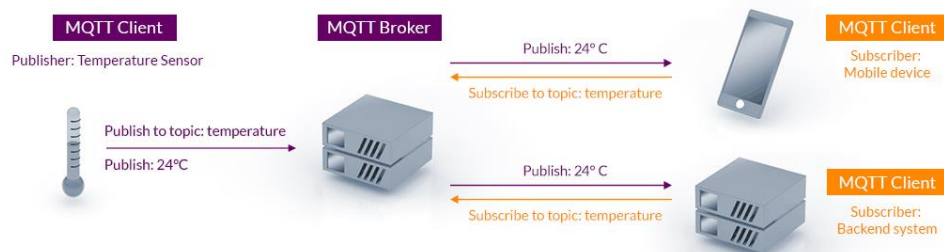
Τα δίκτυα πλέγματος επιτρέπουν την πλήρη ομότιμη επικοινωνία. Κάθε κόμβος μπορεί να επικοινωνεί απευθείας με οποιονδήποτε άλλο κόμβο εντός της ραδιοεμβέλειάς του, ή μέσω πολλαπλών αλμάτων/βημάτων. Τα δίκτυα πλέγματος πρέπει να λειτουργούν σε κατάσταση λειτουργίας με ραδιοφάρο. [48]

Το ZigBee επιτυγχάνει υψηλή αξιοπιστία με διάφορους τρόπους:

- IEEE 802.15.4: Χρησιμοποιεί αυτό που ονομάζεται Offset-Quadrature Phase-Shift Keying (O-QPSK) και Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), έναν συνδυασμό τεχνολογιών που παρέχει εξαιρετική απόδοση σε περιβάλλοντα με χαμηλό λόγο σήματος προς θόρυβο
- CSMA-CA: Πριν από τη μετάδοση, το ZigBee «ακούει» το κανάλι. Όταν το κανάλι είναι «ελεύθερο», το ZigBee αρχίζει να μεταδίδει. Αυτό αποτρέπει την αλλοίωση δεδομένων όταν πολλοί κόμβοι μιλούν στο ίδιο κανάλι.
- 16-bit CRCs : χρησιμοποιείται ένα 16-bit CRC σε κάθε πακέτο, που ονομάζεται Frame Checksum (FCS). Αυτό διασφαλίζει ότι τα bits δεδομένων είναι σωστά.
- Επιβεβαιώσεις σε κάθε άλμα: Κάθε πακέτο στέλνεται έως και τρεις φορές (για συνολικά τέσσερις μεταδόσεις). Εάν το πακέτο δεν μπορεί να περάσει μετά την τέταρτη μετάδοση, το ZigBee ενημερώνει τον κόμβο αποστολής
- Δικτύωση πλέγματος για την εύρεση αξιόπιστης διαδρομής: παρέχει ουσιαστικά τρεις βελτιωμένες δυνατότητες σε ένα ασύρματο δίκτυο. Διευρυμένη εμβέλεια μέσω πολλαπλών αλμάτων, ad-hoc σχηματισμό δικτύου και κυρίως αυτόματη ανακάλυψη διαδρομής και αυτοθεραπεία.

- Επιβεβαιώσεις από άκρο σε άκρο για την επαλήθευση ότι τα δεδομένα έφτασαν στον προορισμό: το ZigBee παρέχει αξιόπιστη λειτουργία broadcast, μια τεχνική για τη διανομή ενός μηνύματος σε πολλούς κόμβους του δικτύου. Παρέχει επίσης multicasting, το οποίο μπορεί να στείλει ένα μήνυμα σε οποιαδήποτε δεδομένη ομάδα κόμβων. Και, ως εφεδρική τεχνική δρομολόγησης, το ZigBee παρέχει δρομολόγηση δέντρου (tree routing) για την ενίσχυση της δικτύωσης πλέγματος σε συστήματα με περιορισμένη μνήμη RAM. Το ZigBee παρέχει επίσης αυτόματες επιβεβαιώσεις από άκρο σε άκρο. Μία εφαρμογή μπορεί να γνωρίζει αν ένα συγκεκριμένο πακέτο ελήφθη από έναν κόμβο. Τέλος το ZigBee φιλτράρει τυχόν διπλά λαμβανόμενα πακέτα, ώστε να μην χρειάζεται να το κάνει μία εφαρμογή. (Gislason, 2008) [49]

### 2.5.3 MQTT



Σχήμα 21. MQTT ως μεταφορέας μηνυμάτων IoT. Προσαρμοσμένο από [50]

Σύμφωνα με τον Arlen Nipper, έναν από τους συνδημιουργούς του MQTT, ο ρόλος του MQTT, ως μεταφορέα μηνυμάτων στα πλαίσια του IoT (σχήμα 21), προκύπτει από τον απλό σχεδιασμό του κατά τη διάρκεια της δημιουργίας του ως βιομηχανικού δίαυλου επικοινωνίας για ένα Σύστημα Εποπτικού Ελέγχου και Απόκτησης Δεδομένων (SCADA- Supervisory Control and Data Acquisition) αγωγών πετρελαίου. Τα τελευταία χρόνια έχει αναδειχθεί σε ένα από τα κυρίαρχα πρωτόκολλα μεταφοράς μηνυμάτων IoT σε πολυάριθ-

μες βιομηχανίες. Δεδομένου ότι οι περισσότερες υπηρεσίες νέφους διαθέτουν αυτόχθονες δυνατότητες MQTT, όλο και περισσότεροι κατασκευαστές, λογισμικά και υπηρεσίες αναπτύσσουν προϊόντα βασισμένα σε MQTT [51] .

Η υιοθέτηση του MQTT από το Facebook, από παρόχους υπηρεσιών νέφους και από πολλούς άλλους στον τομέα της πληροφορικής θα οδηγούσε στην σκέψη ότι το MQTT εφευρέθηκε με σκοπό την παροχή λύσεων πληροφορικής, αλλά η γένεση του είχε ως σημείο εκκίνησης ένα βιομηχανικό πρόβλημα επικοινωνίας. Το 1997, η Phillips 66 είχε εγκαταστήσει ένα από τα πρώτα στην αγορά, βασισμένα στο πρωτόκολλο TCP/IP, συστήματα VSAT(τερματικά με κεραία πολύ μικρού ανοίγματος), με σκοπό την χρήση του στο Σύστημα SCADA των αγωγών πετρελαίου της. Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί αυτή η δικτυακή υποδομή αποτελεσματικά έπρεπε να αντιμετωπισθούν πολυάριθμες προκλήσεις. Μέχρι την εφαρμογή του προαναφερθέντος συστήματος , για την ανάπτυξη συστημάτων SCADA χρησιμοποιούνταν εμπορικά πρωτόκολλα Poll/Response ως πρώτη επιλογή. [51]

Κατά τον αρχικό σχεδιασμό του MQTT, πρωταρχικοί στόχοι ήταν αυτό να είναι απλό, αποδοτικό, stateful και ανοικτό:

- Απλό. Κατά τη διάρκεια της αρχικής ανάπτυξης του MQTT οι διαθέσιμες στην αγορά πλατφόρμες υλικού για απομακρυσμένη υπολογιστική ακμής ήταν ελάχιστες: Το σύνηθες ήταν μικροεπεξεργαστές 8bit με μνήμη 64KB. Το MQTT έπρεπε να είναι εύκολο στην εφαρμογή του με ελάχιστους υπολογιστικούς πόρους. Οι μικροελεγκτές Arduino είναι δυνατόν να παράσχουν ολοκληρωμένα stacks επικοινωνίας MQTT.
- Αποδοτικό. Οι αρχικοί πάροχοι συστημάτων VSAT χρέωναν για κάθε byte πληροφορίας που αποστέλλοταν ή λαμβανόταν. Η μεταφορά MQTT έπρεπε να επιβαρύνει το δίκτυο με το ελάχιστο δυνατό overhead . Με τον όρο overhead ενός πακέτου που αποστέλλεται περιγράφονται τα επιπλέον δεδομένα που χρειάζονται προκειμένου να αποσταλεί ένα μήνυμα/ το μέγεθος του δικτυακού εύρους που σπαταλάται προκειμένου να γίνει η εκπομπή ενός πακέτου/μηνύματος. Μόλις εγκαθιδρυθεί η συνεδρία MQTT , υπάρχει επιβάρυνση μόνο 2 byte για τα μηνύματα που δημοσιεύονται.

- **Stateful.** Αν ένας χρήστης εργάζεται σε κρίσιμης σημασίας (mission critical), πραγματικού χρόνου υποδομή, τότε η κατάσταση της σύνδεσης MQTT TCP/IP είναι κρίσιμη. Το MQTT παρέχει έναν μηχανισμό που ονομάζεται «συνεχής επίγνωση συνδράας», ο οποίος ενημερώνει όλους τους πελάτες που ενδιαφέρονται για την κατάσταση των συνδέσεων MQTT σε πραγματικό χρόνο.
- **Ανοικτού Κώδικα.** Στο τέλος της δεκαετίας του 90 τα προϊόντα SCADA/DCS/Τηλεμετρίας ήταν βασισμένα σε ιδιότητα, με πνευματικά δικαιώματα, πρωτόκολλα Poll/Response. Για να είναι το MQTT χρήσιμο στην βιομηχανία ως σύνολο ήταν ευνόητο ότι όταν κυκλοφορούσε, έπρεπε να είναι ένα προϊόν ανοιχτού κώδικα/μία ανοικτή προδιαγραφή/πρότυπο το οποίο θα μπορούσε να εφαρμόσει οποιοσδήποτε χωρίς χρέωση. [51]

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω κριτήρια θα ήταν εύλογο το συμπέρασμα ότι παραβλέπονται μερικά ιδιαίτερης σημασίας χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα η ασφάλεια ή το format των μεταφερόμενων μηνυμάτων:

- **Ασφάλεια:** Επισημαίνεται από πολλούς ότι η οδηγία/προδιαγραφή MQTT δεν ορίζει κανενός είδους ασφάλεια. Αυτό συμβαίνει επειδή η προδιαγραφή MQTT εγκαθίσταται/λειτουργεί πάνω από το πρωτόκολλο TCP/IP. Θεωρούνταν πάντα δεδομένο ότι οι τελευταίες πρακτικές ασφάλειας TCP/IP θα ήταν εφαρμόσιμες σε μία υποδομή MQTT. Αυτό εκτείνεται από ιδιωτικά δίκτυα όπου η ασφάλεια δεν είναι καν αναγκαία, έως την χρήση πιστοποιητικών ασφάλειας στρώματος μεταφοράς (transport layer security -TLS) για τη σύνδεση με το δίκτυο. Εφόσον το MQTT είναι μία σύνδεση που εκκινάται απομακρυσμένα, οι συσκευές ακμής και οι πελάτες δεν χρειάζεται καν να έχουν ανοιχτούς διαύλους / ports TCP/IP, γεγονός το οποίο αποτελεί τεράστια μείωση του συνολικού αποτυπώματος κυβερνοασφάλειας.
- **Μορφότυπος δεδομένων ωφέλιμου φορτίου(Payload data format):** Το MQTT είναι αδιάφορο ως προς τα δεδομένα (data agnostic), όσον αφορά τις πληροφορίες που περιέχονται σε ένα ωφέλιμο φορτίο MQTT. Μπορεί να είναι ένα δυαδικό μήνυμα από έναν προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (programmable logic controller-PLC), μία εικόνα JPEG, ένα επεκτάσιμο έγγραφο σε γλώσσα markup XML, ή ένα string JSON. Το MQTT αφήνει την κωδικοποίηση και ερμηνεία/μετάφραση του ωφέλιμου φορτίου στον πάροχο λογισμικού. [51]

Στην επίσημη ιστοσελίδα του MQTT αυτό περιγράφεται ως εξής: Το MQTT είναι ένα πρωτόκολλο μεταφοράς μηνυμάτων έκδοσης/συνδρομής (publish/subscribe) Πελάτη - Εξυπηρετητή (Client/Server). Είναι ελαφρύ, ανοιχτό, απλό και σχεδιασμένο έτσι ώστε να είναι εύκολο στην εφαρμογή. Αυτά τα χαρακτηριστικά το καθιστούν ιδανικό για χρήση σε πολλές περιπτώσεις, μεταξύ άλλων και σε περιορισμένα περιβάλλοντα, όπως για παράδειγμα για την επικοινωνία σε συστήματα Machine to Machine (M2M) και Internet of Things (IoT) όπου απαιτείται μικρό αποτύπωμα κώδικα ή/και περιορισμένη χρήση δικτυακού εύρους [50].

Το πρωτόκολλο εκτελείται/τρέχει πάνω από το πρωτόκολλο TCP/IP ή πάνω από άλλα πρωτόκολλα δικτύου που παρέχουν διατεταγμένες/παραγγελθείσες(ordered), χωρίς απώλειες, αμφίδρομες συνδέσεις. Τα χαρακτηριστικά του, μερικά από τα οποία έχουν ήδη αναφερθεί, περιλαμβάνουν:

- Χρήση του προτύπου έκδοσης/συνδρομής μηνυμάτων που επιτρέπει διανομή μηνυμάτων «από έναν προς πολλούς» και αποσύζευξη (decoupling) εφαρμογών.
- Μεταφορά μηνυμάτων η οποία δεν επηρεάζεται από το περιεχόμενο του μεταφερόμενου μηνύματος (payload- ωφέλιμο φορτίο)/ data agnostic
- Τρία επίπεδα Ποιότητας Υπηρεσιών (Quality of Service) για την παράδοση μηνυμάτων:
  - "At most once", όπου τα μηνύματα παραδίδονται σύμφωνα με τις καλύτερες προσπάθειες του λειτουργικού περιβάλλοντος. Η απώλεια μηνυμάτων είναι πιθανή. Αυτό το επίπεδο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, για παράδειγμα, με δεδομένα αισθητήρων περιβάλλοντος, όπου δεν έχει σημασία αν μια μεμονωμένη μέτρηση χαθεί, καθώς η επόμενη θα δημοσιευθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα.
  - "At least once", όπου διασφαλίζεται η άφιξη μηνυμάτων, αλλά είναι πιθανή η ύπαρξη διπλοτύπων.
  - " Exactly once ", όπου τα μηνύματα είναι βέβαιο ότι θα φθάσουν ακριβώς μία φορά. Αυτό το επίπεδο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, για παράδειγμα, με συστήματα χρέωσης, όπου διπλότυπα ή χαμένα μηνύματα θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε εσφαλμένες χρεώσεις.

- Μικρή επιβάρυνση overhead και ελαχιστοποίηση της ανταλλαγής πρωτοκόλλων για τη μείωση της κίνησης του δικτύου.
- Μηχανισμός ειδοποίησης των ενδιαφερομένων μερών όταν συμβαίνει μη φυσιολογική αποσύνδεση. [52]

Το υπόδειγμα (pattern) Publish/Subscribe αποτελεί μία παραλλαγή της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής Client/Server όπου ο πελάτης επικοινωνεί απευθείας με μία τερματική συσκευή. Το μοντέλο Publish/Subscribe αποδεσμεύει τον πελάτη που στέλνει ένα μήνυμα (εκδότης-publisher) από τον πελάτη ή πελάτες που λαμβάνουν τα μηνύματα (συνδρομητές-subscribers). Οι εκδότες και οι συνδρομητές δεν επικοινωνούν ποτέ άμεσα και δεν έχουν επίγνωση της ύπαρξης άλλων πελατών. Η σύνδεση και επικοινωνία μεταξύ τους πραγματοποιείται με την μεσολάβηση ενός broker/διαμεσολαβητή. Ο διαμεσολαβητής φιλτράρει τα εισερχόμενα μηνύματα και τα διανέμει στους κατάλληλους συνδρομητές. [53]

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του μοντέλου Pub/Sub είναι η αποσύζευξη (decoupling) του εκδότη από τον συνδρομητή, η οποία συντελείται σε τρεις διαστάσεις:

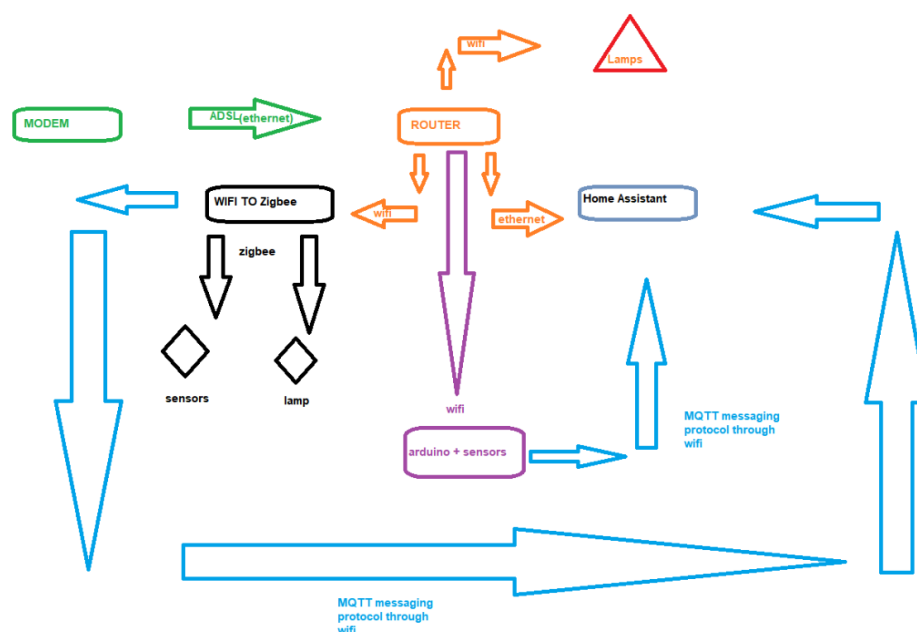
- Αποσύζευξη χώρου: Ο εκδότης και ο συνδρομητής δεν χρειάζεται να «γνωρίζουν» ο ένας τον άλλο. Για παράδειγμα δεν χρειάζεται ανταλλαγή IP ή ανοικτός δίαυλος (port)
- Αποσύζευξη χρόνου: Εκδότης και συνδρομητής δεν χρειάζεται να βρίσκονται σε λειτουργία την ίδια χρονική στιγμή
- Αποσύζευξη συγχρονισμού: Οι λειτουργίες εκδοτών και συνδρομητών δεν είναι αναγκαίο να διακοπούν κατά τη διάρκεια της εκπομπής ή λήψης μηνυμάτων. [54]

Με την χρήση του μοντέλου pub/sub η επεκτασιμότητα του δικτύου είναι ευχερέστερη σε σχέση με την παραδοσιακή αρχιτεκτονική πελάτη/εξυπηρετητή, λόγω της παρεμβολής του διαμεσολαβητή. Οι λειτουργίες του τελευταίου μπορούν να τρέχουν παράλληλα και η επεξεργασία των μηνυμάτων να καθοδηγείται από γεγονότα (event driven), ενώ η προσωρινή αποθήκευση και ευφυής δρομολόγηση των μηνυμάτων είναι συχνά αποφασιστικής σημασίας για την βελτίωση της επεκτασιμότητας. [54]



## 2.6 Σύνοψη Προτεινόμενου Συστήματος

Η αξιοποίηση των διαθέσιμων τεχνολογιών και πρωτοκόλλων επικοινωνίας που επιλέχθηκαν για την δημιουργία του προτεινόμενου έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος παρουσιάζεται συνοπτικά στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 22. Χρήση τεχνολογιών και πρωτοκόλλων επικοινωνίας στο προτεινόμενο έξυπνο οικιακό περιβάλλον.

Το ΗΑ αποτελεί τον κεντρικό κόμβο και «εγκέφαλο» του συστήματος. Έχει πρόσβασή στο διαδίκτυο μέσω σύνδεσης Ethernet με τον κεντρικό δρομολογητή router του συστήματος, ο οποίος με τη σειρά του επικοινωνεί με modem επίσης μέσω Ethernet. Ο δρομολογητής εξυπηρετεί τη δημιουργία του τοπικού δικτύου wifi για τη σύνδεση και έλεγχο συσκευών και τμημάτων του συστήματος με δυνατότητα wifi.

Προκειμένου να ενσωματωθούν στο σύστημα αισθητήρες και συσκευές ZigBee χρησιμοποιείται μία συσκευή γεφύρωσης των πρωτοκόλλων wifi και ZigBee. Τόσο η εν λόγω συσκευή όσο και οι μικροελεγκτές Arduino που χρησιμοποιούνται επικοινωνούν με το HA χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο μεταφοράς μηνυμάτων MQTT. Το πρωτόκολλο αυτό υποστηρίζεται πλήρως από το Home Assistant και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση τόσο υφιστάμενων συσκευών όσο και συσκευών σχεδίασης του χρήστη και επιτρέπει στον διακομιστή να αλληλοεπιδρά με ήδη γνωστές συσκευές χρησιμοποιώντας ένα μοναδικό αναγνωριστικό, το οποίο δημιουργείται κατά τη σύνδεση της συσκευής στο σύστημα.

[28] Όπως προαναφέρθηκε το συγκεκριμένο πρωτόκολλο λειτουργεί βάσει διαδικασιών δημοσίευσης και εγγραφής. Όλες οι συσκευές που θέλουν να αποστείλουν δεδομένα τα στέλνουν (publish) με ετικέτα (θέμα - topic) στην διεύθυνση του διακομιστή (broker) που τρέχει στο Home Assistant και στην συνέχεια ο broker βλέπει ποιες συσκευές ή οντότητες (εσωτερικά του Home Assistant) έχουν κάνει εγγραφή στο συγκεκριμένο topic και προωθεί τα μηνύματα. Ο διακομιστής, λοιπόν, λαμβάνει εντολές για τον έλεγχο διαφόρων πτυχών των συσκευών του συστήματος και τις δημοσιεύει με την κατάλληλη ετικέτα. Οι συσκευές ελέγχου που έχουν εγγραφεί στο συγκεκριμένο θέμα λαμβάνουν την εντολή και ενεργούν αναλόγως. [29]

Κατ' αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η εποπτεία του συστήματος από το HA και η επικοινωνία και έλεγχος των διαφόρων τμημάτων του έξυπνου οικιακού οικοσυστήματος πραγματοποιείται εντός του τοπικού δικτύου χωρίς μεσολάβηση εξωτερικών server που εξυπηρετούν τη λειτουργία IoT συσκευών. Περιορίζεται έτσι η έκθεση του συστήματος σε εξωτερικές απειλές και η αποστολή προσωπικών δεδομένων σε server εμπορικών εταιρειών με ότι συνεπάγεται αυτό.

Η διεπαφή με το HA όταν ο χρήστης βρίσκεται εκτός του τοπικού δικτύου εξυπηρετείται μέσω των υπηρεσιών cloud που προσφέρει η Nabu Casa, διασφαλίζοντας την ασφάλεια των προσωπικών δεδομένων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Μέθοδος υλοποίησης του συστήματος

### 3.1 Υλικό που χρησιμοποιήθηκε

#### 3.1.1 Υλικό φιλοξενίας του Home Assistant

Ως υλικό φιλοξενίας του Home Assistant επιλέχτηκε το Beelink Gemini m j4125 (εικ. 2-4), ένα mini υπολογιστικό σύστημα με επεξεργαστή Intel® Celeron® Processor J4125 , 8 GB μνήμης και 128 GB αποθηκευτικού χώρου SSD.



Εικόνα 2. Beelink Gemini α

Έχει δυνατότητα διασύνδεσης με τοπικό δίκτυο, μέσω διεπαφών ασύρματης δικτύωσης Wi-Fi, εύρους συχνοτήτων 2,4/5Ghz, και ενσύρματης δικτύωσης θύρας Ethernet.

Επίσης διαθέτει δυο εξόδους Διασύνδεσης Πολυμέσων Υψηλής Ευκρίνειας (HDMI), τέσσερις Ενιαίους Σειριακούς Δίαυλους (USB) 3.0, Bluetooth 4.0 και υποδοχή κάρτας SD.



Εικόνα 3. Beelink Gemini β

Το συγκεκριμένο υπολογιστικό σύστημα - με μεγαλύτερες δυνατότητες από ότι χρειαζόταν για την εγκατάσταση του Home Assistant - επιλέχτηκε προκειμένου να χρησιμοποιηθεί παράλληλα με άλλα λειτουργικά συστήματα, πάνω σε ένα διακομιστή λογισμικού για διαχείριση εικονικοποίησης (Proxmox Virtual Environment).



Εικόνα 4. Beelink Gemini γ

### 3.1.2 Sonoff ZBBridge

Οι ασύρματες εφαρμογές ανίχνευσης (αισθητήρες) και ελέγχου( ενεργοποιητές) , όπως αυτές που έχουν χρησιμοποιηθεί για την εκπόνηση του παρόντος project , χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε έξυπνα οικιακά περιβάλλοντα και όχι μόνο, για λόγους οι οποίοι έχουν ήδη αναφερθεί. Πολλές από αυτές τις εφαρμογές προκειμένου να λειτουργήσουν αποτελεσματικά προϋποθέτουν την αλληλεπίδραση των χρηστών με τους αισθητήρες ή τις συσκευές ελέγχου, για παράδειγμα ο έλεγχος μίας λάμπας , ή η έναρξη λειτουργίας του κλι-

ματιστικού. Οι ενέργειες ελέγχου του χρήστη, ο οποίος χρησιμοποιεί την κατάλληλη διεπαφή σε ένα κινητό για παράδειγμα, μεταφέρονται στους ασύρματους αισθητήρες ή τις συσκευές ελέγχου μέσω του διαδικτύου. Άλλες εφαρμογές οικιακών αυτοματισμών δεν είναι διαδραστικές μεν, λειτουργούν χωρίς τον άμεσο έλεγχο του χρήστη, απαιτούν ωστόσο πρόσβαση στο Διαδίκτυο είτε για μεταφόρτωση δεδομένων είτε για να λάβουν πληροφορίες διαμόρφωσης (configuration information). Επομένως σε πολλά σενάρια οικιακών αυτοματισμών απαιτείται οι ασύρματοι αισθητήρες και οι συσκευές ελέγχου να έχουν επικοινωνία προς ή από το Διαδίκτυο. [55]

Η ενεργοποίηση αυτού του είδους της επικοινωνίας πραγματοποιείται συνήθως χρησιμοποιώντας μία πύλη(gateway) ή μία συσκευή γεφύρωσης (bridging device), η οποία σε υψηλό επίπεδο είναι ένας δρομολογητής(router). Όποια συσκευή χρησιμοποιηθεί για την «γεφύρωση», διαθέτει μία διεπαφή για επικοινωνία με το δίκτυο 802.15.4 και μία δεύτερη για επικοινωνία με το διαδίκτυο ( ασύρματα μέσω wifi ή ενσύρματα). Η συσκευή καθιστά δυνατή την κυκλοφορία μεταξύ των δύο διεπαφών. Κατ' αυτόν τον τρόπο ένα μήνυμα ελέγχου πχ να κλειδώσει μία πόρτα, που προέρχεται από ένα μία εφαρμογή έξυπνου κινητού, φθάνει στην πύλη ενδεχομένως μέσω διαδικτύου, μεταφράζεται κατάλληλα για το δίκτυο 802.15.4 και μεταδίδεται από τον ασύρματο του 15.4. Όσον αφορά το λογισμικό, η γεφύρωση είναι δυνατόν να γίνει σε επίπεδο εφαρμογής με ειδικά προσαρμοσμένα για αυτή την εφαρμογή μηνύματα ή στο επίπεδο δικτύου με πρότυπα/ τυποποιημένα πρωτόκολλα επιπέδου δικτύου. Ένα παράδειγμα είναι το πρότυπο IETF 6LoWPAN. Οι αρχιτεκτονικές που χρησιμοποιούν πύλη ή συσκευή γεφύρωσης, ονομάζονται αρχιτεκτονικές προσανατολισμένες στην πύλη και, παρά την ανάπτυξη κάποιων εφαρμογών με χρήση αισθητήρων και ελεγκτών βασισμένων στο wifi, οι ασύρματοι χαμηλής ισχύος, χαμηλού ρυθμού είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα αποτελούν τη λύση επιλογής για πολλά χρόνια ακόμη. [55]

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε στο παρόν πόνημα για την γεφύρωση των πρωτοκόλλων wifi και Zigbee είναι το Sonoff ZB Bridge (εικ. 5-6). Αποτελεί μία γέφυρα Zigbee που επιτρέπει τον έλεγχο ποικίλων συσκευών Zigbee μετασχηματίζοντας το Wifi σε Zigbee. Υποστηρίζει Zigbee 3 και wifi IEEE 802.11 b/g/n στα 2,4 GHz. [56]



Περιγράφεται στο εγχειρίδιο χρήσης και τις προδιαγραφές της συσκευής ως “Ασύρματη Πύλη”, και υποστηρίζει λειτουργίες όπως απομακρυσμένος έλεγχος, φωνητικός έλεγχος, διαμοιρασμός ελέγχου κλπ. ενώ μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 32 υπό-συσκευές (sub-devices) Zigbee, αριθμός που οι κατασκευαστές εγγυώνται ότι θα συνεχίσει να αυξάνεται στο μέλλον.

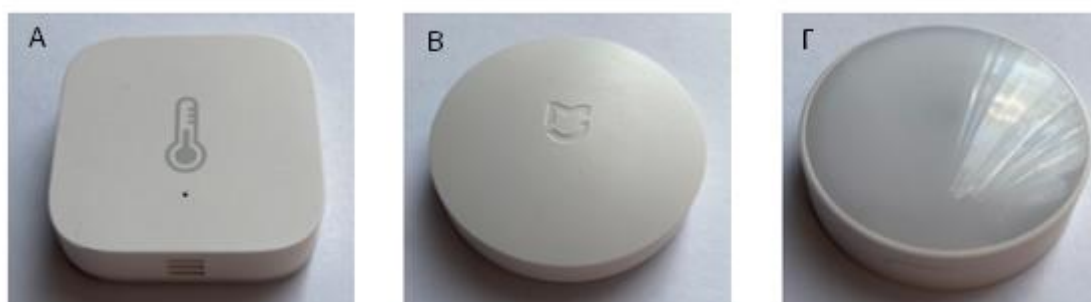
Ένα μέρος των συσκευών Zigbee που υποστηρίζονται φαίνονται στον πίνακα 11 που ακολουθεί. Παράλληλα υποστηρίζεται η χρήση συσκευών άλλων κατασκευαστών, πέρα από αυτών του πίνακα, όπως αισθητήρες θυρών/παραθύρων, κίνησης, νερού, θερμοκρασίας

και υγρασίας και τέλος έξυπνοι διακόπτες one-gang (ελέγχουν ένα κύκλωμα φωτισμού). [56]

Πίνακας 11. Εγγενώς υποστηριζόμενες συσκευές από Sonoff ZBBridge. Προσαρμοσμένο από [56]

Brands	SONOFF			eWeLink
Model	BASICZBR3 SNZB-01 SNZB-04	ZBMINI SNZB-02 S26R2ZB (TPE/TPG/TPF)	S31 Lite zb SNZB-03	SA-003-UK SA-003-US

Οι Zigbee συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία είναι διαφόρων κατασκευαστών όπως για παράδειγμα εικ. 7Α: Aqara Humidity& Temperature Sensor Zigbee (Αισθητήρας Θερμοκρασίας- Υγρασίας -Βαρομετρικής πίεσης), εικ. 7Β: Mijia Wireless Switch Zigbee (Έξυπνος διακόπτης), εικ. 7Γ: Xiaomi Mi Light Detection Sensor Zigbee (Ενδείξεις φωτεινότητας δωματίου) και άλλες και λειτουργούν απρόσκοπτα χρησιμοποιώντας την εν λόγω συσκευή (μετά την αντικατάσταση του firmware).



Εικόνα 7. Αισθητήρες θερμοκρασίας/υγρασίας (Α), φωτός (Γ) και Έξυπνος Διακόπτης

Μετά την ενεργοποίηση της, η συσκευή υποστηρίζει λειτουργία quick pairing κατά την οποία ανιχνεύονται και συνδέονται οι διαθέσιμες συσκευές εντός 3 λεπτών. Τέλος υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας «έξυπνων σκηνών» (smart scenes), αυτοματισμών δηλαδή με τη βοήθεια της εφαρμογής eWeLink APP.

Η τελευταία δυνατότητα δεν χρησιμοποιείται στο παρόν πόνημα καθώς η δημιουργία αυτοματισμών και κεντρικού ελέγχου όλων των συσκευών γίνεται με την βοήθεια του Home

Assistant. Το εν λόγω λογισμικό «τρέχει» σε εικονικό περιβάλλον Proxmox, το οποίο με τη σειρά του φιλοξενείται στο Mini PC Beelink Gemini M (J4125/8GB/128GB/W10).

Προκειμένου να ενσωματωθεί η συσκευή στο προτεινόμενο έξυπνο οικιακό περιβάλλον και να υποστηρίξει το πρωτόκολλο επικοινωνίας MQTT, πραγματοποιήθηκε αλλαγή στο firmware χρησιμοποιώντας το firmware Tasmota. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται στο πεδίο 3.6.

### 3.1.3 NodeMCU ESP8266

Το NodeMCU (εικ. 8) είναι μια πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα που βασίζεται στο ESP8266. Με την χρήση του πρωτόκολλου Wi-Fi, μπορεί να συνδέει αντικείμενα και επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων. Επιπλέον, διαθέτοντας μερικά από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των μικροελεγκτών, όπως GPIO, PWM, ADC κ.λπ., μπορεί να λύσει πολλές από τις ανάγκες ενός έργου ενώ τα γενικά της χαρακτηριστικά είναι τα παρακάτω

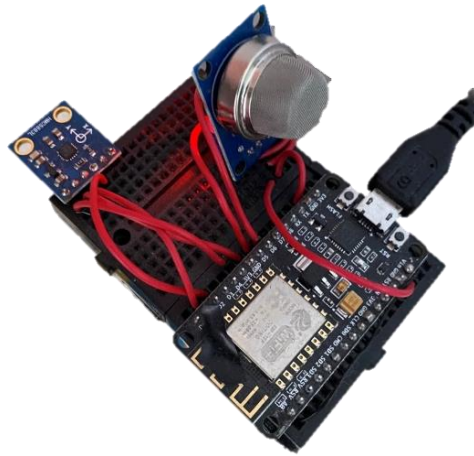


Εικόνα 8. NodeMCU ESP8266

- Εύκολη χρήση
- Δυνατότητα προγραμματισμού με τις γλώσσες Arduino IDE ή IUA
- Δυνατότητα λειτουργίας ως σημείο ή σταθμός πρόσβασης( access point or station)
- Πρακτικά εφαρμόσιμη σε κατευθυνόμενες από συμβάντα εφαρμογές API (Event-driven API applications)
- Διαθέτει εσωτερική κεραία
- Φέρει 13 ακίδες GPIO, 10 κανάλια PWM, I2C, SPI, ADC, UART και 1-Wire (<https://create.arduino.cc>) [57]



Στην εικόνα που ακολουθεί, παρουσιάζεται ένα NodeMCU ESP8266 πάνω σε breadboard συνδεδεμένο με Αισθητήρα Ποιότητας Αέρα και Μαγνητόμετρο, όπως αυτό χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες υλοποίησης του έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος αυτής της εργασίας.

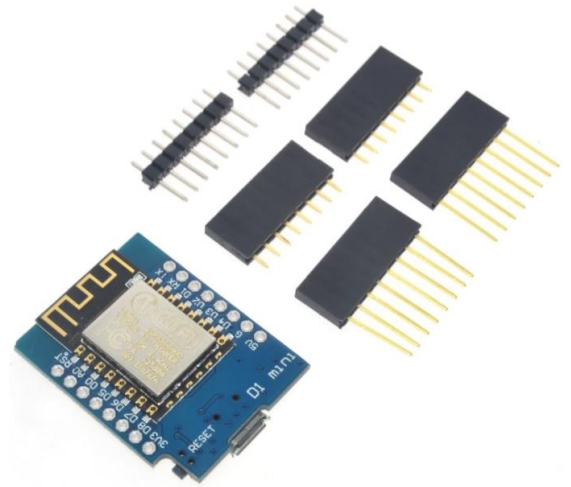


Εικόνα 9. NodeMCU ESP8266 με Αισθητήρα Ποιότητας Αέρα και Μαγνητόμετρο.

Στα πλαίσια του συνολικού project, επιλέχθηκε λόγω των θυρών GPIO, της δυνατότητας άμεσης διασύνδεσης στο τοπικό δίκτυο και την υποστήριξης MQTT μηνυμάτων, και οι συνδεδεμένοι αισθητήρες εξυπηρετούν τα εξής: Εκτός από την παρακολούθηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας εντός του οικιακού περιβάλλοντος, σημαντική είναι η δυνατότητα ανίχνευσης καπνού σε περίπτωση φωτιάς και η αποστολή των ενδεδειγμένων μηνυμάτων. Το Μαγνητόμετρο χρησιμοποιήθηκε πειραματικά για την ανίχνευση μεταβολών του μαγνητικού πεδίου της γης, αλλά η ευαισθησία του δεν ήταν η ενδεδειγμένη. Εξυπηρετεί, στα πλαίσια του συστήματος, την ανίχνευση μετατόπισης της συσκευής.

### 3.1.4 D1 Mini NodeMCU Lua WIFI

Το D1 Mini (εικ. 10) είναι ένας μικροελεγκτής συμβατός με WeMos και Arduino με βάση το ESP8266EX και διαθέτει 11 ψηφιακές ακίδες εισόδου/εξόδου και μία αναλογική ακίδα εισόδου. Υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης micro-USB τόσο για την τροφοδοσία όσο και για τα δεδομένα (λειτουργεί στα 3,3V), και παρά το μέγεθός του έχει ενσωματωμένο WiFi και 4MB μνήμης flash. Μπορεί να προγραμματιστεί με Arduino ή LUA και υποστηρίζει τόσο σειριακό όσο και OTA προγραμματισμό.



Εικόνα 10. D1 Mini NodeMCU Lua WIFI

Χαρακτηριστικά και Προδιαγραφές:

- Μικροελεγκτής: ESP-8266EX
- Τάση λειτουργίας: 3,3V Max (η τροφοδοσία 5V από την υποδοχή MicroUSB μετατρέπεται εσωτερικά σε 3,3V)
- Ψηφιακές ακίδες εισόδου/εξόδου: 11 (όλες οι ακίδες έχουν υποστήριξη διακοπής/PWM/I2C/one-wire εκτός από την D0)
- Αναλογική είσοδος: 1 (3.2V max είσοδος)
- Connector: MicroUSB
- Ταχύτητα ρολογιού: 80MHz/160MHz
- Flash: 4 Mbytes
- Διαστάσεις: 6.8mm
- Βάρος: Περίπου 5g χωρίς τους συνδέσμους

Διαθέτει 3 διαφορετικούς τύπους συνδέσμων (header connectors) για την υποστήριξη διαφόρων διαμορφώσεων: θηλυκό, αρσενικό και θηλυκό/αρσενικό (μακρύ θηλυκό). (Εικόνα) Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι θηλυκοί ακροδέκτες είναι η καλύτερη επιλογή, καθώς επιτρέπουν την εγκατάσταση διαφόρων shields που είναι διαθέσιμα. [58]

Επιλέχθηκε λόγω των μικρών διαστάσεών του, της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, της δυνατότητας σύνδεσης σε δίκτυα wifi και της συμβατότητάς του τόσο με ψηφιακούς όσο και αναλογικούς αισθητήρες.

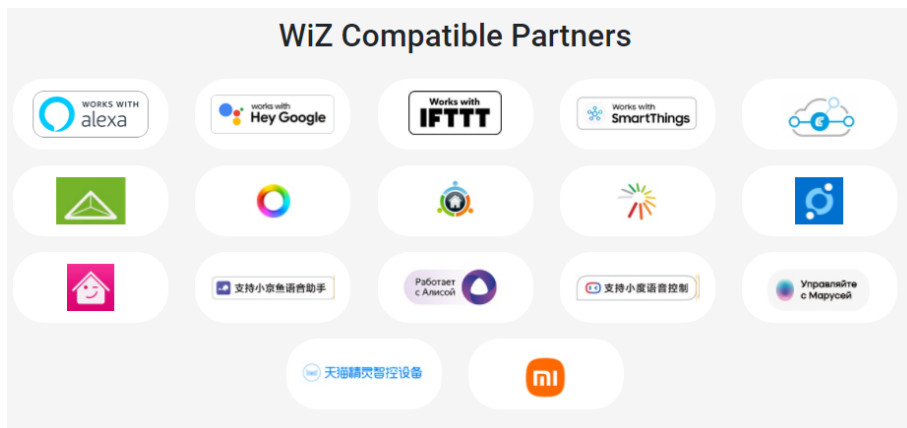
Στην εικόνα 11 παρουσιάζεται το D1 Mini πάνω σε breadboard συνδεδεμένο με αισθητήρα φωτός όπως χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες του προτεινόμενου έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος.



Εικόνα 11. D1 Mini NodeMCU Lua WIFI με Αισθητήρα Φωτός

### 3.1.5 WiZ λαμπτήρες και WiZ app

Κάποιες από τις έξυπνες λάμπες που χρησιμοποιήθηκαν για τον φωτισμό είναι της εταιρείας WiZ. Τα προϊόντα της εν λόγω εταιρείας επιλέχθηκαν λόγω της ευκολίας χρήσης τους και της ποικιλίας κωδικών από τους οποίους μπορεί να επιλέξει ο χρήστης προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ανάγκες φωτισμού για άτομα με μειωμένη όραση, όπως συνήθως είναι οι ηλικιωμένοι. Όλες οι λάμπες WiZ διαθέτουν ενσωματωμένο wifi, με αποτέλεσμα η εγκατάστασή τους και η σύνδεση στο τοπικό δίκτυο να καθίσταται ιδιαίτερα εύκολη. Συγκεκριμένα λειτουργούν στα κανάλια B ή G, 2,4 GHz, ενώ δεν υποστηρίζεται wifi 5GHz. Έπειτα από την ολοκλήρωση της σύζευξης των λαμπτήρων δεν υπάρχει ανάγκη παραμονής σε σύνδεση μέσω του wifi 2,4 GHz, αλλά ο έλεγχός τους πραγματοποιείται μέσω Cloud. Επίσης τα προϊόντα WiZ υποστηρίζουν μόνο ασφάλεια WPA2-Personal Security, και όχι WEP ή WPA- enterprise ενώ παράλληλα δεν υποστηρίζεται η σύνδεση σε ανοικτά δίκτυα χωρίς password. Τα οικοσυστήματα στα οποία μπορούν να ενσωματωθούν τα εν λόγω προϊόντα παρουσιάζονται στην εικόνα 12. [59]

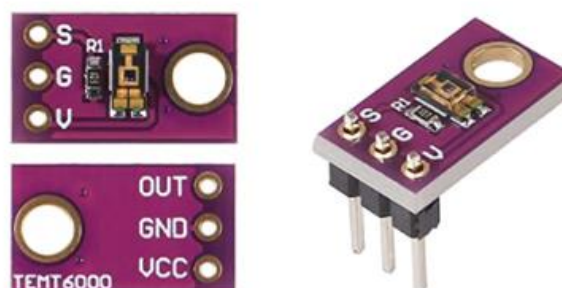


Εικόνα 12. Οικοσυστήματα συμβατά με προϊόντα WiZ. Προσαρμοσμένο από [60]

Η εφαρμογή WiZ app διαθέσιμη για Android και iOS συσκευές και εξυπηρετεί την εύκολη σύζευξη των λαμπτήρων και τη δημιουργία διαφορετικών σεναρίων φωτισμού ανάλογα με την ώρα, το δωμάτιο ή άλλες προτιμήσεις του χρήστη. [61] Εν προκειμένω χρησιμοποιήθηκε με την ενσωμάτωσή της στο Home Assistant για τη σύζευξη αλλά και την ενεργοποίηση της δυνατότητας ελέγχου τους μέσω του τοπικού δικτύου και συμμετοχής τους σε σενάρια αυτοματισμού.

### 3.1.6 Άλλο Υλικό

#### 1. CJMCU-TEMT6000 Analogue Intensity Light Sensor



Εικόνα 13. Αισθητήρας Φωτός CJMCU-TEMT6000

Οι αισθητήρες φωτός (Light Sensors) επιτρέπουν την ανίχνευση αλλαγών στην φωτεινότητα ενός χώρου του έξυπνου περιβάλλοντος. Ο συγκεκριμένος (εικ. 13) διαθέτει μέγιστη ευαισθησία στα 570nm και χρησιμοποιεί έναν ειδικό ανιχνευτή φωτός περιβάλλοντος (TMET600), με φασματική απόκριση που προσομοιάζει πολύ με το ανθρώπινο μάτι, καθώς αναστέλλει το υπέρυθρο φάσμα. Ανιχνεύει την πυκνότητα φωτός και μέσω αναλογικού σήματος τάσης (analog voltage signal) δίνει την πληροφορία στο μικροελεγκτή Arduino με τον οποίο είναι συνδεδεμένο. [62] Εν προκειμένω, έχει συνδεθεί με το D1 Mini NodeMCU Lua WIFI το οποίο του επιτρέπει να επικοινωνεί μέσω wifi με το Home Assistant, προκειμένου να ενεργοποιηθούν σενάρια αυτοματισμών, αν εκπληρώνονται συγκεκριμένες συνθήκες οι οποίες έχουν προηγουμένως οριστεί.

## 2. Xiaomi Mijia Smart Home Light Sensor Zigbee 3.0



Εικόνα 14. Αισθητήρας Φωτός Zigbee 3.0

Πρόκειται για αισθητήρα ανίχνευσης φωτός Zigbee (εικ. 14), αδιάβροχο, με εύρος ανίχνευσης 0 - 83,000 Lux, θερμοκρασία λειτουργίας -10° C ~ 50° C και διαστάσεις 40 x 40 x 12 χιλιοστά. Ανιχνεύει με ακρίβεια τις αλλαγές του φωτισμού, καταγράφει τα δεδομένα του ιστορικού και όταν η μπαταρία του είναι σε χαμηλά επίπεδα, προωθεί πληροφορίες σε εφαρμογή κινητού. Από προεπιλογή συνδέεται στο Mi Home Hub ή στην gateway του Xiaomi Smart Sensor Set και μπορεί να συνεργαστεί με άλλες έξυπνες συσκευές για τη δημιουργία έξυπνων σκηνών, ανάλογα με την αλλαγή του φωτισμού περιβάλλοντος. [63] Για το προτεινόμενο έξυπνο οικιακό περιβάλλον, μέσω του Zigbee Integration στο

Home assistant , αποφεύγεται η σύνδεση στους server της εταιρείας ενώ η λειτουργικότητα της συσκευής παραμένει ακέραια χωρίς ανάγκη ύπαρξης οικείου hub, ή χρήσης της οικείας εφαρμογής κινητού, γεγονός που ισχύει για όλες τις συσκευές με συνδεσιμότητα Zigbee και δεν θα αναφέρεται για παρόμοιες συσκευές εφεξής. Ο έλεγχός τους απομακρυσμένα πραγματοποιείται κεντρικά μέσω της εφαρμογής κινητού ή της web διεπαφής του Home Assistant.

### 3. Xiaomi Mi Smart Home Wireless Switch Zigbee WXKG01LM



Εικόνα 15. Έξυπνος Διακόπτης.

Είναι ένας ασύρματος έξυπνος διακόπτης (εικ. 15) ο οποίος μπορεί να ελέγξει μέχρι και τρεις έξυπνες συσκευές. Το πλήκτρο που διαθέτει υποστηρίζει τρεις λειτουργίες (μονό πάτημα, διπλό πάτημα και πάτημα διαρκείας) κάθε μία από τις οποίες μπορεί να αντιστοιχηθεί με διαφορετική συσκευή. [64]Είναι εξαιρετικά εύχρηστος για άτομα με κινητικά προβλήματα τόσο για τον έλεγχο διαφόρων συσκευών αλλά και ως κουδούνι ή συναγερμός εάν προκύψει οποιοδήποτε πρόβλημα. Με τα κατάλληλα integrations στο Home Assistant (πχ twilio για sms και κλήση [www.home-assistant.io/integrations/twilio](http://www.home-assistant.io/integrations/twilio), ή SMTP για αποστολή email <https://www.home-assistant.io/integrations/smtp/> ) και τα ανάλογα σενάρια αυτοματισμού είναι δυνατή η ειδοποίηση (με email , μήνυμα sms , κλήσης) ενός ή περισσότερων προκαθορισμένων ατόμων με το πάτημα του κουμπιού του διακόπτη από άτομο που βρίσκεται σε ανάγκη.

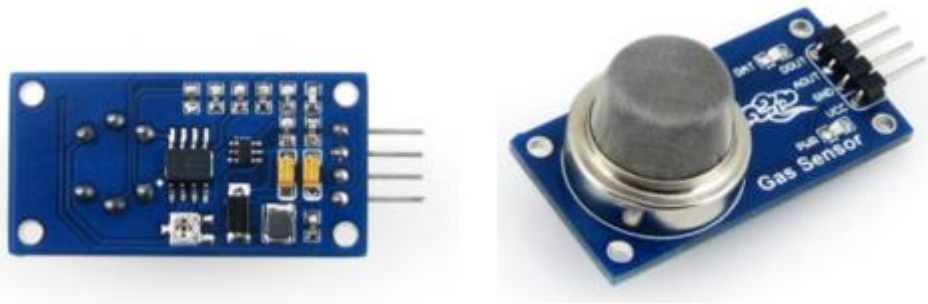
#### 4. Xiaomi Mi Smart Socket Plug Zigbee ZNCZ04LM



Εικόνα 16. Έξυπνη Πρίζα

Η έξυπνη πρίζα Xiaomi (εικ. 16) υποστηρίζει το πρωτόκολλο επικοινωνίας ZigBee και μπορεί να προγραμματιστεί να ανοίγει και να κλείνει σε συγκεκριμένη ώρα και να ενεργοποιεί ή να απενεργοποιεί τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες σε αυτήν. Υπάρχει η δυνατότητα αποστολής ειδοποιήσεων και διακοπής της παροχής ρεύματος, όταν η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή, καθώς και παρακολούθησης της κατανάλωσης και ρύθμισης αυτής. Με τη συμμετοχή της σε σενάρια αυτοματισμού του Home Assistant, καθώς και με τη δυνατότητα χειρισμού της απομακρυσμένα, μετατρέπει σε έξυπνες τις συνδεδεμένες σε αυτή συμβατικές συσκευές και συμβάλλει στην εξοικονόμηση τόσο ενέργειας (π.χ. απενεργοποίηση συσκευής όταν υπερβεί ένα συγκεκριμένο όριο κατανάλωσης) όσο και χρημάτων καθώς δεν υπάρχει η ανάγκη αγοράς έξυπνων συσκευών. Ένα συμβατικό κλιματιστικό θέρμανσης/ψύξης ή μία ηλεκτρική μονάδα θέρμανσης, για παράδειγμα, με αυτό τον τρόπο εντάσσονται στο τοπικό δίκτυο και ελέγχονται μέσω Home Assistant. Επίσης στα πλαίσια του παρόντος έργου επιτελεί και ρόλο router για τις υπόλοιπες συσκευές ZigBee στο τοπικό δίκτυο όπως και οι λοιπές έξυπνες συσκευές που συνδέονται σε παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

## 5. Waveshare Gas Sensor Module MQ-135



Εικόνα 17. Αισθητήρας ποιότητας αέρα.

Πρόκειται για αισθητήρα αερίων (Gas Sensor) (εικ. 17) του οποίου το υλικό ανίχνευσης αερίων είναι το διοξείδιο του κασσιτέρου ( $\text{SnO}_2$ ), με χαμηλή αγωγιμότητα στον καθαρό αέρα. Με την παρουσία επικίνδυνου αερίου στο περιβάλλον όπου βρίσκεται ο αισθητήρας, η αγωγιμότητά του αυξάνεται παράλληλα με την αύξηση της συγκέντρωσης του αερίου στον αέρα. Έχει υψηλή ευαισθησία (η οποία μπορεί να ρυθμιστεί) σε ατμούς αμμωνίας, σουλφιδίου και βενζολίου και είναι ιδανικός για την παρακολούθηση καπνού και άλλων επιβλαβών αερίων. Είναι αισθητήρας χαμηλού κόστους, κατάλληλος για μια ποικιλία εφαρμογών. Η αποστολή των δεδομένων του στο κεντρικό σύστημα εξυπηρετήθηκε στην προκειμένη περίπτωση με τη σύνδεσή του στο NodeMCU ESP8266. [65]

## 6. Aqara Temperature and Humidity Sensor WSDCGQ11LM



Εικόνα 18. Αισθητήρας Θερμοκρασίας/Υγρασίας



Ο αισθητήρας θερμοκρασίας- υγρασίας (εικ. 18) παρακολουθεί τη θερμοκρασία, την υγρασία και την ατμοσφαιρική πίεση σε πραγματικό χρόνο και αποστέλλει ειδοποίηση όταν εντοπιστεί μη φυσιολογικό περιβάλλον. Υπάρχει η δυνατότητα να ρυθμίζει αυτόματα το επίπεδο υγρασίας εσωτερικού χώρου όταν χρησιμοποιείται με ένα smart plug και έναν υγραντήρα, όπως επίσης και τη λειτουργία θέρμανσης/ψύξης για την προσαρμογή της θερμοκρασίας σε επιθυμητά επίπεδα, πάντα υπό την εποπτεία του Home Assistant . Διαθέτει ακρίβεια ανίχνευσης υγρασίας  $\pm 3\%$  και ακρίβεια ανίχνευσης θερμοκρασίας  $\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [66]

#### 7. Aqara Door&Window MCGQ11LM



Εικόνα 19. Αισθητήρας Θυρών/Παραθύρων Zigbee

Ο αισθητήρας Zigbee θυρών και παραθύρων Aqara (εικ. 19) ανιχνεύει την κατάσταση των θυρών ή των παραθύρων μέσω της απόστασης των μαγνητών στο εσωτερικό των αισθητήρων. Είναι ενεργειακά αποδοτικός και μια μπαταρία μπορεί να διαρκέσει πάνω από 2 χρόνια υπό κανονική χρήση. [67]Ανιχνεύει αν ένα παράθυρο ή μια πόρτα είναι ανοιχτή σε πραγματικό χρόνο και υπάρχει η δυνατότητα ενεργοποίησης συναγερμού και αποστολής ειδοποιήσεων push, ενώ επίσης εξυπηρετεί σενάρια αυτοματισμού στο Home Assistant (πχ να ανοίξει το φως του δωματίου όταν ανοίξει η πόρτα τις ώρες που δεν υπάρχει επαρκής φωτισμός)

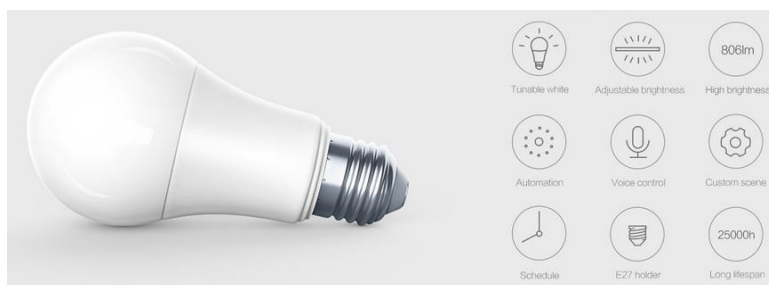
## 8. SONOFF SNZB-03 - ZigBee Motion Sensor



Εικόνα 20. Αισθητήρας Κίνησης

Πρόκειται για ZigBee αισθητήρα για την ανίχνευση κίνησης (εικ. 20) και την ενεργοποίηση συναγερμών. Ο αισθητήρας στέλνει άμεση ειδοποίηση κάθε φορά που ανιχνεύεται κίνηση, όταν το σύστημα ασφαλείας του έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος είναι οπλισμένο. Διαθέτει οπτικό πεδίο 110° και εμβέλεια ανίχνευσης 6m. Τροφοδοτείται από μπαταρία και αποστέλλει ειδοποίηση όταν η διάρκεια ζωής της μπαταρίας πέσει σε επίπεδο 10%. [68] Συμμετέχει σε σενάρια αυτοματισμού για παράδειγμα με ενεργοποίηση κάμερας εάν ανιχνευθεί κίνηση στην εξώπορτα του σπιτιού.

## 9. Aqara Zigbee Smart Lamp LED Dimmable ZNLDP12LM



Εικόνα 21. Έξυπνη λάμπα

Οι εν λόγω έξυπνες λάμπες (εικ. 21) υποστηρίζουν το πρωτόκολλο επικοινωνίας Zigbee σε αντίθεση με τις λάμπες wiz που επικοινωνούν μέσω wifi. Η λειτουργικότητά τους είναι

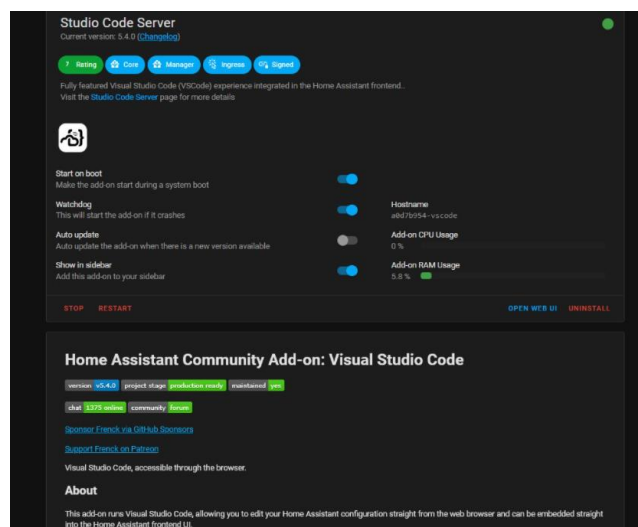
παρόμοια και είναι η δυνατή η συμμετοχή τους σε σενάρια αυτοματισμού μέσω του Home Assistant.

#### 10. DCS P6000LH Mini HD WiFi Camera



Εικόνα 22. Έξυπνη Κάμερα

Κάμερα (εικ. 22) με ανάλυση 1280x720 pixels και 30 καρέ το δευτερόλεπτο, φέρει ευρυγώνιο φακό 120 μοιρών και δυνατότητα ψηφιακού zoom 4x. Διαθέτει αισθητήρες κίνησης και ήχου καθώς και ενσωματωμένη νυχτερινή λειτουργία μέσω υπέρυθρου LED. Υπάρχει εγγενώς η δυνατότητα αποστολής φωτογραφιών & email με εγκατάσταση σε iOS ή Android κινητά της οικείας εφαρμογής. Ο έλεγχος της λειτουργίας της και η ενσωμάτωσή της στο Home Assistant, και κατ' επέκταση ο έλεγχος και εποπτεία της λειτουργίας της, επιτυγχάνεται με χρήση του πρόσθετου Studio Code Server (εικ. 23)



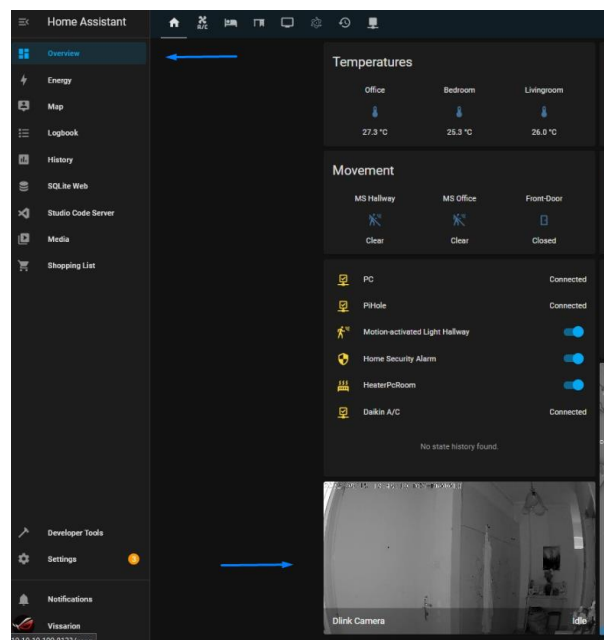
Εικόνα 23. Studio Code Server

Με το τελευταίο είναι δυνατή η πρόσβαση στα αρχεία .yaml του Home Assistant και η παραμετροποίησή του. Με τον κώδικα της εικόνας 24, η κάμερα προστέθηκε ως νέα οντότητα στο Home Assistant και ορίστηκαν οι κατάλληλες παράμετροι, ώστε να είναι δυνατή η πρόσβαση σ'αυτήν και ο έλεγχός της κεντρικά. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή και η συμμετοχή της σε σενάρια αυτοματισμών.

```
camera:
  - platform: ffmpeg
    name: "Dlink Camera"
    input: "-rtsp_transport tcp -i rtsp://admin:password@10.10.10.200:554/live/profile.0"
```

Εικόνα 24. Κώδικας ένταξης έξυπνης κάμερας στο Home Assistant

Στην εικόνα 25 διακρίνεται πλάνο από την εν λόγω κάμερα, όπως αυτό εμφανίζεται στη διεπαφή web του Home Assistant με την επιλογή της καρτέλας Overview.



Εικόνα 25. Διεπαφή Home Assistant με πλάνο από την έξυπνη κάμερα.

## 11. Αισθητήρες και συσκευές ως εναλλακτικές των χρησιμοποιηθέντων

### 11.α. Αισθητήρας μέτρησης απόστασης με υπερηχητικά κύματα (εικ. 26).



Εικόνα 26. Αισθητήρας μέτρησης απόστασης

Πιθανή χρήση έλεγχος κίνησης σε χώρο, έλεγχος μετακίνησης αντικειμένου (πόρτες, παράθυρα), έλεγχος απόστασης αντικειμένου ή εμποδίου (μετακίνηση εμποδίου από ή προς τον αισθητήρα).

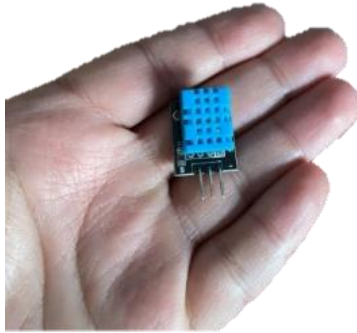
### 11.β. Διακόπτης ρεύματος υψηλού φορτίου (εικ. 27).



Εικόνα 27. Διακόπτης ρεύματος υψηλού φορτίου.

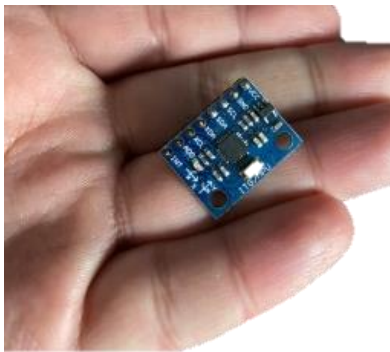
Πιθανή χρήση: διακόπτης οποιασδήποτε ηλεκτρικής παροχής στο οικιακό περιβάλλον όπως για παράδειγμα διακόπτης θερμοσίφωνα, διακόπτης πολύμπριζου κλπ.

11.γ. Αισθητήρας θερμοκρασίας υγρασίας (εικ. 28).



Εικόνα 28. Αισθητήρας θερμοκρασίας υγρασίας.

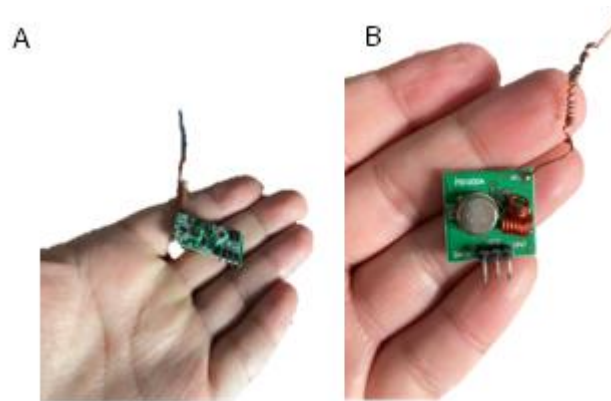
11.δ. Γυροσκόπιο (εικ. 29).



Εικόνα 29. Γυροσκόπιο.

Πιθανή χρήση: αναγνώριση μετακίνησης αντικειμένου επάνω στο οποίο βρίσκεται(πόρτες παράθυρα), αναγνώριση περιστροφικών κοιμήσεων(πόμολο πόρτας).

11.ε. Πομπός/Δέκτης σημάτων πολύ υψηλής συχνότητας UHF (εικ. 30).



Εικόνα 30. Πομπός Α και Δέκτης Β σημάτων πολύ υψηλής συχνότητας UHF.

Πιθανή χρήση : μετάδοση δεδομένων από Arduino σε Arduino χωρίς την χρήση του τοπικού δικτύου( Μετεωρολογικός σταθμός εξωτερικά τους σπιτιού, εντός εμβέλειας του σήματος)

11.στ. Πομποδέκτης ραντάρ για ανίχνευση κίνησης και πίσω από αντικείμενα (εικ. 31).



Εικόνα 31. Πομποδέκτης ραντάρ

Πιθανή χρήση: ανίχνευση κίνησης πίσω από την εξώπορτα/μπαλκονόπορτα.

11.ζ. Αισθητήρας υγρασίας χώματος (εικ. 32).



Εικόνα 32. Αισθητήρας υγρασίας χώματος.

Σε συνδυασμό με αυτόματο πότισμα, συμμετέχει σε αυτοματισμούς ώστε να αποφεύγεται φυσική καταπόνηση των ενοίκων.

### 3.2 Εγκατάσταση Proxmox Virtual Environment

Σύμφωνα με πληροφορίες στον επίσημο ιστότοπο της Proxmox, το εικονικό περιβάλλον Proxmox βασίζεται στο Debian GNU/Linux και χρησιμοποιεί έναν προσαρμοσμένο πυρήνα Linux. Ο πηγαίος κώδικας του Proxmox VE είναι ελεύθερος και κυκλοφορεί υπό την GNU Affero General Public License, v3 (GNU AGPL, v3). Αυτό σημαίνει ότι οποιοσδήποτε είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσει το λογισμικό, να επιθεωρήσει τον πηγαίο κώδικα ανά πάσα στιγμή και να συνεισφέρει στο έργο εξέλιξής του. Η χρήση λογισμικού ανοικτού κώδικα εγγυάται πλήρη πρόσβαση σε όλες τις λειτουργίες, καθώς και υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας και ασφάλειας. Η Proxmox, η εταιρεία που βρίσκεται πίσω από αυτό, διασφαλίζει ότι το προϊόν πληροί συνεπή, επιχειρησιακής κλάσης κριτήρια ποιότητας. [69]

Το Qemu (συντομογραφία του Quick Emulator- Γρήγορος Προσομοιωτής) είναι ένας hypervisor (υπερεπόπτης) ανοικτού κώδικα που προσομοιώνει έναν φυσικό υπολογιστή. Από την οπτική γωνία του κεντρικού συστήματος όπου εκτελείται το Qemu, αυτό είναι ένα πρόγραμμα χρήστη το οποίο έχει πρόσβαση σε διάφορους τοπικούς πόρους, όπως partitions, αρχεία, κάρτες δικτύου, οι οποίοι στη συνέχεια διαβιβάζονται σε έναν προσομοιωμένο υπολογιστή που τους βλέπει σαν να ήταν πραγματικές συσκευές. [70]



Ένα φιλοξενούμενο (guest) λειτουργικό σύστημα που εκτελείται στον προσομοιωμένο υπολογιστή έχει πρόσβαση σε αυτές τις συσκευές και εκτελείται σαν να εκτελείται σε πραγματικό υλικό. Για παράδειγμα, είναι δυνατό να καταχωρηθεί μια εικόνα ISO ως παράμετρος στο Qemu και το λειτουργικό σύστημα που εκτελείται στον προσομοιωμένο υπολογιστή θα δει ένα πραγματικό CD-ROM που έχει εισαχθεί σε μια μονάδα CD. [70]

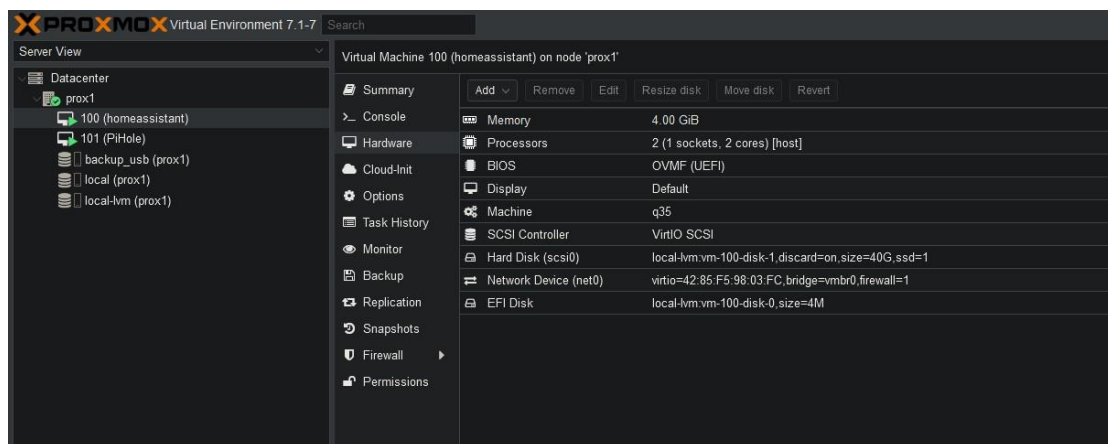
Το Qemu μπορεί να εξομοιώσει μια μεγάλη ποικιλία υλικού, από ARM έως Sparc, αλλά το Proxmox VE ασχολείται μόνο με την εξομοίωση κλώνων PC 32 και 64 bit, δεδομένου ότι αντιπροσωπεύει τη συντριπτική πλειοψηφία του υλικού διακομιστών. Η εξομοίωση κλώνων PC είναι επίσης μία από τις ταχύτερες, λόγω της διαθεσιμότητας επεκτάσεων επεξεργαστών που επιταχύνουν σημαντικά το Qemu όταν η προσομοιωμένη αρχιτεκτονική είναι ίδια με την αρχιτεκτονική του κεντρικού υπολογιστή. [70]

Ο όρος KVM (Kernel-based Virtual Machine) σημαίνει ότι το Qemu εκτελείται με την υποστήριξη των επεκτάσεων επεξεργαστή εικονικοποίησης, μέσω της μονάδας KVM του Linux. Στο πλαίσιο του Proxmox VE οι όροι Qemu και KVM μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά, καθώς το Qemu στο Proxmox VE θα προσπαθεί πάντα να φορτώσει τη μονάδα KVM. Το Qemu μέσα στο Proxmox VE εκτελείται ως διεργασία root, καθώς αυτό απαιτείται για την πρόσβαση σε συσκευές μπλοκ και PCI. [70]

Το KVM (Kernel-based Virtual Machine) είναι η κορυφαία τεχνολογία εικονικοποίησης Linux για πλήρη εικονικοποίηση. Πρόκειται λειτουργική μονάδα/δομοστοιχείο πυρήνα(kernel module), η οποία συγχωνεύεται στον κύριο πυρήνα Linux και τρέχει σε όλο το υλικό x86 που υποστηρίζει εικονικοποίηση - είτε Intel VT-x είτε AMD-V. Με το KVM μπορούν να εγκατασταθούν και να τρέξουν τόσο Windows όσο και Linux σε εικονικές μηχανές (VM), όπου κάθε VM έχει ιδιωτικό, εικονικοποιημένο υλικό: μια κάρτα δικτύου, έναν δίσκο, έναν προσαρμογέα γραφικών κ.λπ. Η εκτέλεση πολλών εφαρμογών σε εικονικές μηχανές σε ένα μόνο σύστημα, επιτρέπει την εξοικονόμηση ενέργειας και την μείωση του κόστους, ενώ ταυτόχρονα δίνει την ευελιξία να δημιουργηθεί ένα ευέλικτο και επεκτάσιμο κέντρο δεδομένων που καθορίζεται από λογισμικό, το οποίο να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του χρήστη. Το Proxmox VE περιλαμβάνει υποστήριξη KVM από την αρχή του έργου, το 2008. [71]

Η τεχνολογία εικονικοποίησης που βασίζεται σε container είναι μια ελαφριά εναλλακτική λύση στην εικονικοποίηση πλήρους μηχανής, επειδή μοιράζεται τον πυρήνα του συστήματος υποδοχής. Το LXC (Linux Container) είναι ένα περιβάλλον εικονικοποίησης σε επίπεδο λειτουργικού συστήματος για την εκτέλεση πολλαπλών, απομονωμένων συστημάτων Linux σε έναν και μόνο κεντρικό υπολογιστή ελέγχου Linux (Linux control host). Το LXC λειτουργεί ως διεπαφή χώρου χρήστη (userspace interface) για τα χαρακτηριστικά containment του πυρήνα Linux. Οι χρήστες μπορούν εύκολα να δημιουργούν και να διαχειρίζονται κοντέινερ συστημάτων ή εφαρμογών με ένα ισχυρό API και απλά εργαλεία [71].

Για τις ανάγκες της παρούσης εργασίας το Εικονικό Περιβάλλον Proxmox επιλέχθηκε να φιλοξενήσει το Home Assistant. Τα χαρακτηριστικά του που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία της εικονικής μηχανής, η οποία φιλοξενεί το HA, παρουσιάζονται στην εικόνα 33.



Εικόνα 33. Χαρακτηριστικά Εικονικής Μηχανής που φιλοξενεί το Home Assistant.

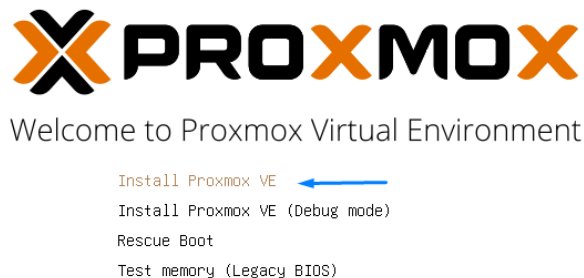
Ακολουθεί η διαδικασία εγκατάστασης του Proxmox Virtual Environment 7 στο Beelink Gemini m j4125.

Αρχικά στο bios του Beelink απενεργοποιήθηκε η Ασφαλής Εκκίνηση (Secure Boot) και ενεργοποιήθηκε η επιλογή Εκκίνηση UEFI & Εικονικοποίηση (UEFI Boot & Virtualization) και πραγματοποιήθηκε λήψη του αρχείου [Proxmox VE 7.x ISO Installer 3.0k](#) από το διαδίκτυο σε υπολογιστή.

Για το επόμενο στάδιο χρειάστηκε το [balenaEtcher 661](#) και μία μονάδα flash USB (USB drive) χωρητικότητας τουλάχιστον 8 GB. Η μονάδα USB τοποθετήθηκε στον υπολογιστή και πραγματοποιήθηκε εκκίνηση του Etcher. Επιλέχθηκαν, μέσω της διεπαφής του Etcher,

η εικόνα (image) του αρχείου εγκατάστασης του Proxmox και η μονάδα USB και στη συνέχεια με κλικ η εντολή Flash. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε μία μονάδα flash USB με δυνατότητες εκκίνησης (bootable USB drive), η οποία χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για την εγκατάσταση του Proxmox στο Beelink.

Το bootable USB drive τοποθετήθηκε στο Beelink το οποίο συνδέθηκε με οθόνη, πληκτρολόγιο, ποντίκι και με καλώδιο Ethernet σε modem/router για πρόσβαση στο διαδίκτυο και τέθηκε σε λειτουργία. Η εκκίνηση του μηχανήματος (boot) πραγματοποιήθηκε μέσω της μονάδας USB και στην οθόνη εμφανίστηκε η επιλογή εγκατάστασης του Proxmox, οπότε και ενεργοποιήθηκε το πρόγραμμα εγκατάστασής (installer) του (εικ. 34).



Εικόνα 34. Εγκατάσταση Proxmox VE (α). Προσαρμοσμένο από [72]

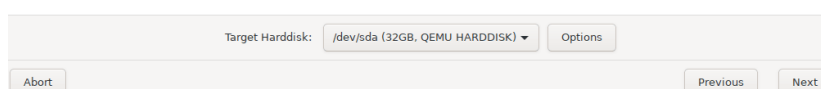
Έπειτα από τη συμφωνία στην άδεια χρήσης τελικού χρήστη (End-user license agreement), εμφανίστηκε η οθόνη Περιβάλλοντος Εικονικοποίησης του Proxmox (Proxmox Virtualization Environment - PVE) και η δυνατότητα επιλογής δίσκου στον οποίο επρόκειτο να εγκατασταθεί το Proxmox και συνεχίστηκε η διαδικασία (next) (εικ. 35).

#### Proxmox Virtualization Environment (PVE)

**The Proxmox Installer** automatically partitions your hard disk. It installs all required packages and finally makes the system bootable from hard disk. All existing partitions and data will be lost.

Press the Next button to continue installation.

- **Please verify the installation target**  
The displayed hard disk is used for installation.  
Warning: All existing partitions and data will be lost.
- **Automatic hardware detection**  
The installer automatically configures your hardware.
- **Graphical user interface**  
Final configuration will be done on the graphical user interface via a web browser.



Εικόνα 35. Εγκατάσταση Proxmox VE (β). Προσαρμοσμένο από [72]

Διαδοχικά εισήχθησαν πληροφορίες που αφορούν την χώρα, ζώνη ώρας και διάταξης πληκτρολογίου στην κάρτα Location and Time Zone selection και τη διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και password στην κάρτα Administration password and E-mail address. (εικ. 36)

### Location and Time Zone selection

**The Proxmox Installer** automatically makes location based optimizations, like choosing the nearest mirror to download files. Also make sure to select the right time zone and keyboard layout.

Press the Next button to continue installation.

- Country:** The selected country is used to choose nearby mirror servers. This will speedup downloads and make updates more reliable.
- Time Zone:** Automatically adjust daylight saving time.
- Keyboard Layout:** Choose your keyboard layout.

### Administration Password and E-Mail Address

**Proxmox Virtual Environment** is a full featured highly secure GNU/Linux system based on Debian.

Please provide the root password in this step.

- Password:** Please use a strong password. It should have 8 or more characters. Also combine letters, numbers, and symbols.
- E-Mail:** Enter a valid email address. Your Proxmox VE server will send important alert notifications to this email account (such as backup failures, high availability events, etc.).

Press the Next button to continue installation.

Εικόνα 36. Εγκατάσταση Proxmox VE (γ). Προσαρμοσμένο από [72]

Στην κάρτα Management network configuration (εικ. 37) συμπληρώθηκαν αυτόματα ή χειροκίνητα και έγιναν επιλεκτικά αλλαγές στα εξής πεδία:

### Management Network Configuration

**Please verify** the displayed network configuration. You will need a valid network configuration to access the management interface after installation.

Afterwards press the Next button. You will be shown a list of the options that you chose during the previous steps.

- IP address:** Set the IP address for your server.
- Netmask:** Set the netmask of your network.
- Gateway:** IP address of your gateway or firewall.
- DNS Server:** IP address of your DNS server.

Management Interface: ens18 - 66:12:14:1d: (virtio\_net) ▼

Hostname (FQDN): pve.mylas

IP Address: 192.168.1.63

Netmask: 255.255.255.0

Gateway: 192.168.1.1

DNS Server: 192.168.1.1

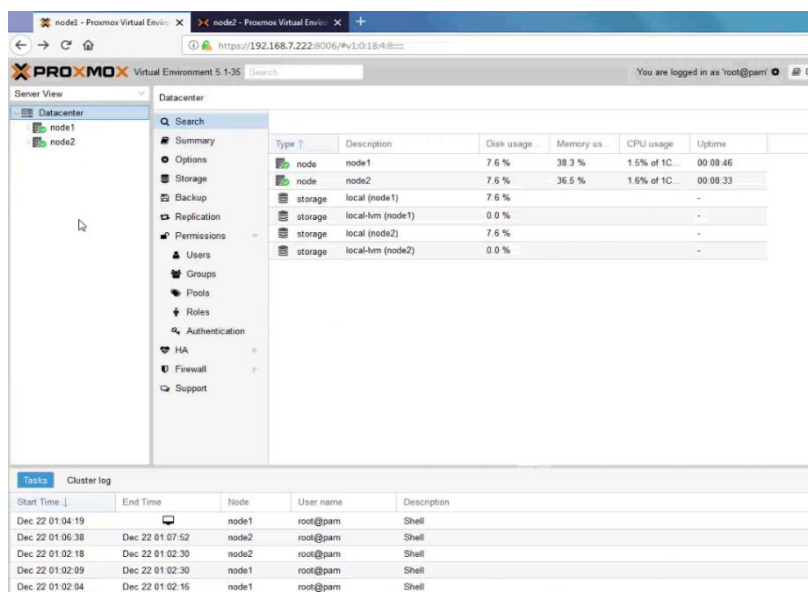
Abort
Previous
Next

Εικόνα 37. Εγκατάσταση Proxmox VE (δ). Προσαρμοσμένο από [72]

**Management interface:** Συμπληρώθηκε αυτόματα με τη διεπαφή δικτύου (Ethernet) του Beelink.

**Hostname (FQDN):** Το πρώτο τμήμα του Hostname αντιστοιχεί στο όνομα με το οποίο αναγνωρίζεται ο κόμβος (node) από το Datacenter του Proxmox VE και είναι από προεπιλογή pve, με δυνατότητα επιλογής οποιουδήποτε άλλου ονόματος. Στο Datacenter (εικόνα) συγκεντρώνονται όλες οι φυσικές μηχανές (nodes) στις οποίες έχει εγκατασταθεί το

Proxmox και δημιουργούν το Proxmox VE Cluster. (εικ. 38)Είναι δυνατή η πρόσβαση μέσω web interface σε όλες ώστε να είναι δυνατή η διαχείρισή τους με ένα μοναδικό login.



Εικόνα 38. Proxmox VE Cluster. Προσαρμοσμένο από [73]

**IP Address:** Συμπληρώθηκε αυτόματα με τη διεύθυνση IP του Beelink στο τοπικό δίκτυο

**Netmask:** Συμπληρώθηκε αυτόματα.

**Gateway:** Συμπληρώθηκε αυτόματα με την διεύθυνση IP του διακομιστή (router) του δικτύου

**DNS server:** Συμπληρώθηκε αυτόματα με τη διεύθυνση IP του προηγούμενου πεδίου και υπάρχει η επιλογή χειροκίνητης εισόδου διαφορετικής διεύθυνσης.

Η επόμενη οθόνη Summary (εικ. 39) περιείχε τις προαναφερθείσες λεπτομέρειες για έλεγχο της ορθότητάς τους και την επιλογή έναρξης της εγκατάστασης (install) του Proxmox.

## Summary

Please verify the displayed informations. Once you press the **Install** button, the installer will begin to partition your drive(s) and extract the required files.

Option	Value
Filesystem:	ext4
Disk(s):	/dev/sda
Country:	Australia
Timezone:	Antarctica/Macquarie
Keymap:	en-us
E-Mail:	you@yourdomain.com
Management Interface:	ens18
Hostname:	pve
IP:	192.168.1.63
Netmask:	255.255.255.0
Gateway:	192.168.1.1
DNS:	192.168.1.1

Abort Previous Install

Εικόνα 39. Εγκατάσταση Proxmox VE (ε). Προσαρμοσμένο από [72]

Με την ολοκλήρωση της εγκατάστασης εμφανίστηκε στην οθόνη η διεύθυνση IP του Proxmox VE που εγκαταστάθηκε και χρησιμοποιείται για την πρόσβαση στο πρόγραμμα από διεπαφή περιηγητή διαδικτύου(web browser). Αφαιρέθηκε η μονάδα flash USB και επανεκκινήθηκε το Beelink, από το οποίο αποσυνδέθηκαν η οθόνη, το πληκτρολόγιο και το ποντίκι καθώς η πρόσβαση στο Proxmox θα πραγματοποιείται εφεξής μέσω web browser από οποιοδήποτε υπολογιστή με πρόσβαση στο διαδίκτυο.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η διαμόρφωση και ενημέρωση του Proxmox VE με εγκατάσταση των πιο πρόσφατων ενημερώσεων και εκδόσεων ασφαλείας (security patches) ως εξής:

Μέσω περιηγητή αποκτήθηκε πρόσβαση στο Proxmox με εισαγωγή της διεύθυνσης IP του και όνομα χρήστη root και κωδικό πρόσβασης το password που ορίστηκε κατά την εγκατάσταση. Με χρήση του [script 187](#) (PVE 7 Post Install script), η οποία επετεύχθη με την ακόλουθη εντολή στο Proxmox Shell:

```
bash -c "$(wget -qLO - https://github.com/tteck/Proxmox/raw/main/misc/post-install.sh)"
```

αυτοματοποιήθηκε η διαδικασία διαμόρφωσης και ενημέρωσης και επιλέχθηκε ναι (y) στις εξής επιλογές που εμφανίστηκαν: Απενεργοποίηση του Enterprise Repo, Προσθήκη/Διόρθωση των πηγών PVE7, Ενεργοποίηση του No-Subscription Repo, Προσθήκη

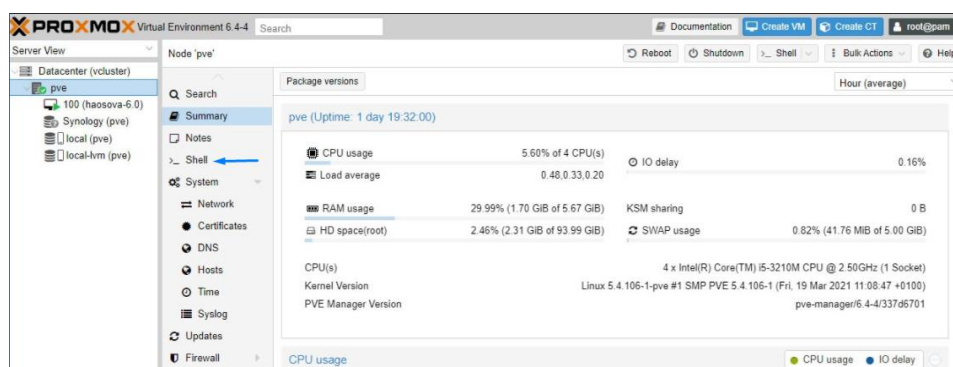
Test Repo, Απενεργοποίηση του Subscription Nag, Ενημέρωση του Proxmox VE και Επανεκκίνηση του PVE.

Μετά το πέρας της ενημέρωσης του PVE 7 ακολούθησε η εγκατάσταση σε αυτό του Home Assistant, η οποία περιγράφεται στο επόμενο πεδίο.

### 3.3 Εγκατάσταση του Home Assistant

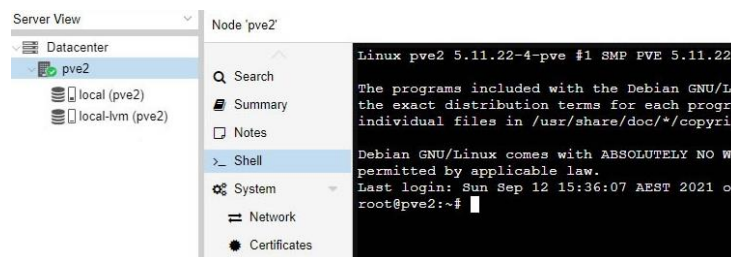
Για την εγκατάσταση του Home Assistant χρησιμοποιήθηκε μια επίσημη εικόνα KVM (KVM image) που παρέχεται από την ομάδα Home Assistant και θεωρείται υποστηριζόμενη μέθοδος εγκατάστασης. Επίσης χρησιμοποιήθηκε το [script 344](#), το οποίο αυτοματοποιεί τη χειροκίνητη διαδικασία εύρεσης, λήψης και εξαγωγής της επίσημης εικόνας δίσκου KVM (qcow2) που παρέχεται από την ομάδα Home Assistant, τη δημιουργία ενός VM (virtual machine- εικονική μηχανή) με ρυθμίσεις που ορίζει ο χρήστης, την εισαγωγή και την προσάρτηση του δίσκου, τον καθορισμό της σειράς εκκίνησης (boot order) και την εκκίνηση του VM. Δεν υπάρχουν κρυφές (kpartx, unzip κλπ.) εγκαταστάσεις οποιουδήποτε είδους. Υποστηρίζει τους τύπους αποθήκευσης lvmthin, zfs, pool, nfs, dir και btrfs. Η διαδικασία εγκατάστασης έγινε με τον ακόλουθο τρόπο:

Μέσω της διεπαφής web του Proxmox και του datacenter έγινε επιλογή του κόμβου του Beelink και στη συνέχεια επιλογή του Shell (εικ. 40)



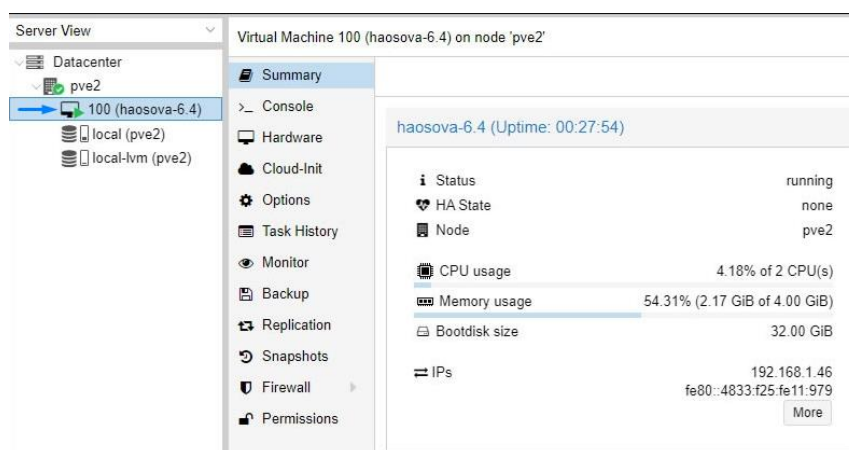
Εικόνα 40. Εγκατάσταση Home Assistant (α). Προσαρμοσμένο από [72]

Με την εντολή `bash -c "$(wget -qLO - https://github.com/tteck/Proxmox/raw/main/vm/haos-vm-v4.sh)"` στο Proxmox Shell, (εικ. 41) εκτελέστηκε το script εγκατάστασης του Λειτουργικού Συστήματος του Home Assistant (HAOS) σε VM. Χρησιμοποιήθηκαν η προεπιλεγμένες ρυθμίσεις πατώντας [ENTER], ενώ υπάρχει η δυνατότητα προηγμένων ρυθμίσεων για την αλλαγή ρυθμίσεων που αφορούν τα mac, vlan, bridge κλπ.



Εικόνα 41. Εγκατάσταση Home Assistant (β). Προσαρμοσμένο από [72]

Στη συνέχεια έγινε αυτόματα λήψη του Official KVM Image από το github του Home Assistant και ακολούθησε, επίσης από το script, η διαμόρφωση του Home Assistant για το Proxmox VE. Η διαδικασία ολοκληρώθηκε με την εμφάνιση του εξής μηνύματος στην οθόνη: ✓ Completed Successfully!. Στη διεπαφή του Proxmox το λειτουργικό σύστημα του Home Assistant εμφανίζεται κάτω από τον κόμβο του Beelink(εικ. 42).

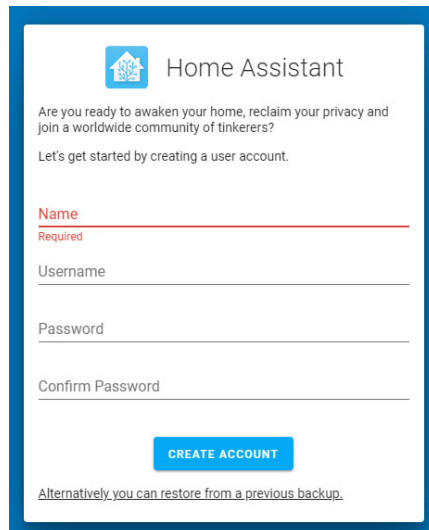


Εικόνα 42. Εγκατάσταση Home Assistant (γ). Προσαρμοσμένο από [72]

Στην εικονική μηχανή του Home Assistant OS εκχωρήθηκε διαφορετική διεύθυνση IP από αυτή που χρησιμοποιεί το Proxmox VE. Για την εύρεση της διεύθυνσης IP του νεοδημιουργηθέντος Home Assistant OS VM, επιλέχθηκε το VM του Home Assistant και, στη συνέχεια, το Summary (Περίληψη) από τη λίστα μενού, οπότε και ξεκίνησε το Guest Agent (όπως



ονομάζονται τα λειτουργικά συστήματα που φιλοξενοούνται στις εικονικές μηχανές του Proxmox, εν προκειμένω το Home Assistant). (εικόνα ↑) Η διεύθυνση IP που εντοπίστηκε με αυτό τον τρόπο είναι απαραίτητη για την πρόσβαση στο Home Assistant μέσω ενός προγράμματος περιήγησης διαδικτύου με χρήση της θύρας (port) 8123. Με την ολοκλήρωση της ρύθμισης εμφανίστηκε οθόνη σύνδεσης (εικ. 43), και ορίστηκε το όνομα λογαριασμού και ο κωδικός πρόσβασης, οπότε και το Home Assistant ήταν έτοιμο για χρήση.



Εικόνα 43. Εγκατάσταση Home Assistant (δ). Προσαρμοσμένο από [72]

### 3.4 Προγραμματισμός του Arduino

Το Arduino, εγγενώς, υποστηρίζει τη Γλώσσα Προγραμματισμού Arduino ή Γλώσσα Arduino. Βασίζεται στην πλατφόρμα ανάπτυξης Wiring, η οποία με τη σειρά της βασίζεται στην Processing. Πρόκειται για μια μακρά ιστορία έργων που χτίζουν πάνω σε άλλα έργα, με έναν πολύ ανοιχτό τρόπο. [74]. Ουσιαστικά ο κώδικας του Arduino είναι γραμμένος σε C++ με την προσθήκη ειδικών μεθόδων και functions. Η C++ είναι μια γλώσσα προγραμματισμού που διαβάζεται από τον άνθρωπο. Όταν δημιουργείτε ένα "σκίτσο" (sketch-το

όνομα που δίνεται στα αρχεία κώδικα του Arduino), αυτό υφίσταται επεξεργασία και μεταγλωττίζεται σε γλώσσα μηχανής [75].

Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης Arduino - ή λογισμικό Arduino (IDE) - περιέχει έναν επεξεργαστή κειμένου για τη συγγραφή κώδικα, μια περιοχή μηνυμάτων, μια κονσόλα κειμένου, μια γραμμή εργαλείων με κουμπιά για κοινές λειτουργίες και μια σειρά μενού. Συνδέεται με το υλικό Arduino για να φορτώσει προγράμματα και να επικοινωνήσει μαζί του.

Τα προγράμματα που γράφονται με τη χρήση του λογισμικού Arduino (IDE) ονομάζονται όπως προαναφέρθηκε sketches. Αυτά τα σκίτσα γράφονται στον επεξεργαστή κειμένου και αποθηκεύονται με την επέκταση αρχείου .ino. Ο επεξεργαστής διαθέτει λειτουργίες για κοπή/επικόλληση και για αναζήτηση/αντικατάσταση κειμένου. Η περιοχή μηνυμάτων δίνει ανατροφοδότηση κατά την αποθήκευση και την εξαγωγή και εμφανίζει επίσης τα σφάλματα. Η κονσόλα εμφανίζει κείμενο που εξάγεται από το λογισμικό Arduino (IDE), συμπεριλαμβανομένων πλήρων μηνυμάτων σφάλματος και άλλων πληροφοριών. Στην κάτω δεξιά γωνία του παραθύρου εμφανίζεται η διαμορφωμένη πλακέτα και η σειριακή θύρα. Τα κουμπιά της γραμμής εργαλείων επιτρέπουν την επαλήθευση και μεταφόρτωση προγραμμάτων, τη δημιουργία άνοιγμα και αποθήκευση σκίτσων και το άνοιγμα της οθόνης σειριακής σύνδεσης [76].

Ένα στοιχειώδες σκίτσο Arduino αποτελείται από δύο μόνο συναρτήσεις

- `setup()`: Αυτή η συνάρτηση καλείται μία φορά όταν ένα σκίτσο ξεκινά μετά την ενεργοποίηση ή την επαναφορά. Χρησιμοποιείται για την αρχικοποίηση των μεταβλητών, των τρόπων λειτουργίας των ακροδεκτών εισόδου και εξόδου και άλλων βιβλιοθηκών που απαιτούνται στο σκίτσο. Είναι ανάλογη με την εντολή `main()`.
- `loop()`: Μετά την έξοδο (λήξη) της συνάρτησης `setup()`, η συνάρτηση `loop()` εκτελείται επανειλημμένα στο κύριο πρόγραμμα. Ελέγχει την πλακέτα έως ότου η πλακέτα απενεργοποιηθεί ή μηδενιστεί. Είναι ανάλογη με τη συνάρτηση `while(1)` [77].

Ακολουθεί ο κώδικας για τον προγραμματισμό του Node MCU που χρησιμοποιήθηκε με αισθητήρα αέρα και μαγνητόμετρο. Ο προγραμματισμός του D1 Mini ήταν ανάλογος με μικρές παραλλαγές του κώδικα λόγω ελέγχου διαφορετικών ειδών αισθητήρων.

```

// Libraries.
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <MQTT.h>
#include <Adafruit_HMC5883_U.h>
#include "MQ135.h"

//Creating a Digital Compass entity.
Adafruit_HMC5883_Unified mag = Adafruit_HMC5883_Unified(12345);

int sensorPin = A0, Temp ;
float avAir,ppmOffset,tempAir = 0;
String air, magY, magX, magZ, airZero ;
MQ135 gasSensor = MQ135(A0);
unsigned long lastMillis = 0,timer = millis() ;

//Setup the local Wifi credentials.
const char ssid[] = "NET@WORK";
const char pass[] = "password";

//Creating Wifi and MQTT entities.
WiFiClient net;
MQTTClient client;

// Initiates and waits until Wifi and MQTT connection has established.
void connect() {
  Serial.print("checking wifi...");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
    delay(1000);
  }

  Serial.print("\nconnecting...");
  while (!client.connect("WIFI-Sensors", "vissarion", "password")) {
    Serial.print(".");
    delay(1000);
  }

  Serial.println("\nconnected!");
}

void displaySensorDetails(void)
{

```

```

    sensor_t sensor;
    mag.getSensor(&sensor);
    Serial.println("-----");
    Serial.print ("Sensor:      "); Serial.println(sensor.name);
    Serial.print ("Driver Ver:  "); Serial.println(sensor.version);
    Serial.print ("Unique ID:   "); Serial.println(sensor.sensor_id);
    Serial.print ("Max Value:    "); Serial.print(sensor.max_value); Serial.println(" uT");
    Serial.print ("Min Value:    "); Serial.print(sensor.min_value); Serial.println(" uT");
    Serial.print ("Resolution:  "); Serial.print(sensor.resolution); Serial.println(" uT");
    Serial.println("-----");
    Serial.println("");
    delay(500);
}

// Setup phase of the all essential values.
void setup() {

    Serial.begin(9600); // <- Serial monitor band setup.

    WiFi.begin(ssid, pass); // <- Setup the ssid and password of local wifi network.
    client.begin("10.10.10.199", net); // <- Setup the ip of the MQTT broker.
    connect(); // <- Initiates and waits until Wifi and MQTT connection has established.

    // checks the connection with the Digital Compass and if can't find it stuck in a infinite loop.
    if(!mag.begin())
    {
        /* There was a problem detecting the HMC5883 ... check your connections */
        Serial.println("Ooops, no HMC5883(Digital Compass) detected ... Check your wiring!");
        while(1);
    }
    displaySensorDetails();
}

// Main execution loop.
void loop() {
    // At the beginning of the execution loop check if there is a connection to the MQTT broker and if not initiate one.
    if (!client.connected()) {
        connect();
    }
}

```

```

    client.loop(); // <- process incoming MQTT messages to send publish data
    and makes a refresh of the MQTT connection.
    delay(10); // <- fixes some issues with WiFi stability.

    sensors_event_t event; // <- This type is used to encapsulate a specific
    sensor reading, called an 'event', and contains a data from the sensor from
    a specific moment in time.
    mag.getEvent(&event); // <- This function will read a new set of values
    from you sensor (a sensor 'event'), convert them to the appropriate SI units
    and scale, and then assign the results to a specific sensors_event_t object.

    float ppm = gasSensor.getPPM(); // <- CO2 ppm value.
    float zero = gasSensor.getRZero(); // <- calibration value.

    avAir = (ppm + avAir) / 2; // <- Value averaging.

    // Converting values to strings in order to publish them to the MQTT Broker.
    air = (String)avAir;
    airZero = (String)zero;
    magX = (String)event.magnetic.x;
    magY = (String)event.magnetic.y;
    magZ = (String)event.magnetic.z;

    ppmOffset = 50.00;
    // early publication of CO2 values if there is a ppmOffset change in the new
    value.
    if ((avAir > (tempAir + ppmOffset)) || (avAir < (tempAir - ppmOffset))) {
        tempAir = avAir;
        client.publish("/sensor/airStatus", air);
        client.publish("/sensor/airStatusZero", airZero);
        Serial.println("MQTT Message Sent");
    }

    // scheduled publication every 30 seconds.
    if ((millis() - Temp) > 30000) {

        client.publish("/sensor/magX", magX);
        client.publish("/sensor/magY", magY);
        client.publish("/sensor/magZ", magZ);
        client.publish("/sensor/airStatus", air);
        client.publish("/sensor/airStatusZero", airZero);
        Temp = millis();
        Serial.println("MQTT Message Sent");
    }

```

```

Serial.print("MagX: ");
Serial.println(magX);
Serial.print("MagY: ");
Serial.println(magY);
Serial.print("MagZ: ");
Serial.println(magZ);
Serial.print("AirQuality: ");
Serial.println(ppm);
Serial.print("AirQuality ZeroValue: ");
Serial.println(zero);
Serial.println();
delay(500); // <- Wait for half second.
}

```

### 3.5 Προσαρμογή Home Assistant

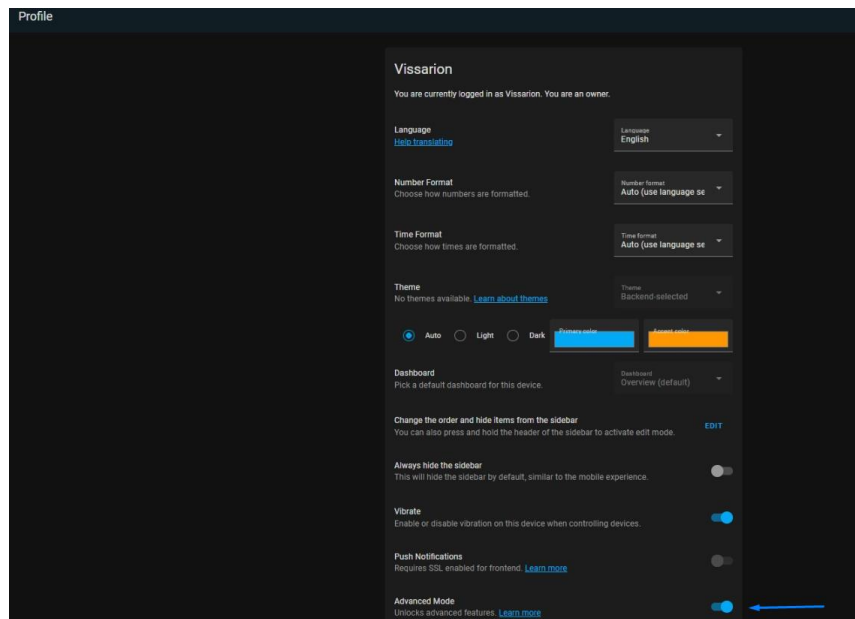
Ακολουθεί η διαδικασία προσαρμογής του Home Assistant για την υποστήριξη του πρωτοκόλλου MQTT μέσω του προσθέτου (add-on) Mosquitto MQTT broker add-on, της ενσωμάτωσης MQTT (MQTT Integration) και της ενσωμάτωσης του Tasmota (Tasmota Integration).

#### 3.5.1 MQTT Broker

Η ενσωμάτωση MQTT (MQTT Integration) στο Home Assistant προϋποθέτει να τρέχει ένας διακομιστής (broker) MQTT στον οποίο θα συνδέεται το Home Assistant. Η πιο ασφαλής επιλογή όσον αφορά την ιδιωτικότητα των προσωπικών δεδομένων των ενοίκων του έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος είναι κατά τους δημιουργούς του Home Assistant η εγκατάσταση ενός ιδιωτικού broker στο τοπικό δίκτυο. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε η προτεινόμενη από τους δημιουργούς του Home Assistant μέθοδος εγκατάστασης του διακομιστή Mosquitto με χρήση του Mosquitto MQTT broker add-on.

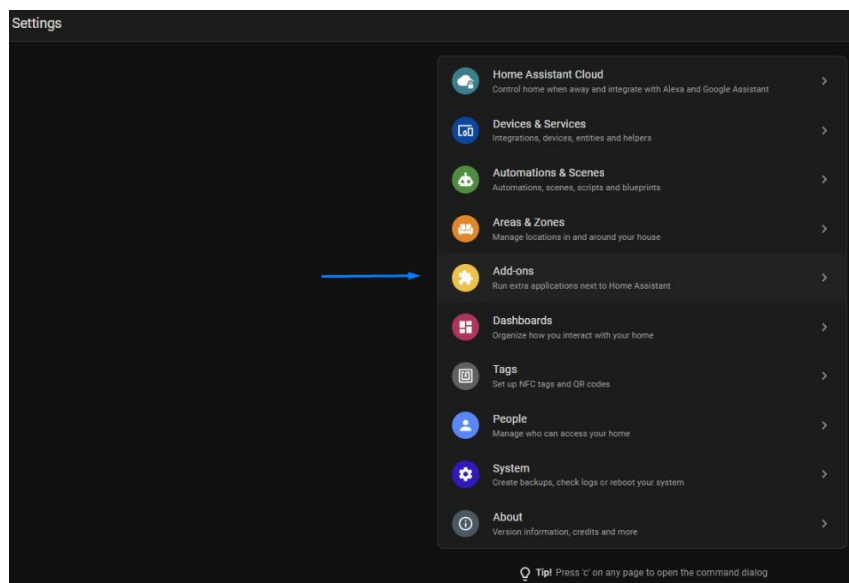
Η διαδικασία εγκατάστασης του προσθέτου στον Home Assistant έχει ως εξής:

Αρχικά στο προφίλ του Home Assistant ενεργοποιήθηκε η Προηγμένη Λειτουργία (Advanced Mode) (εικ. 44)



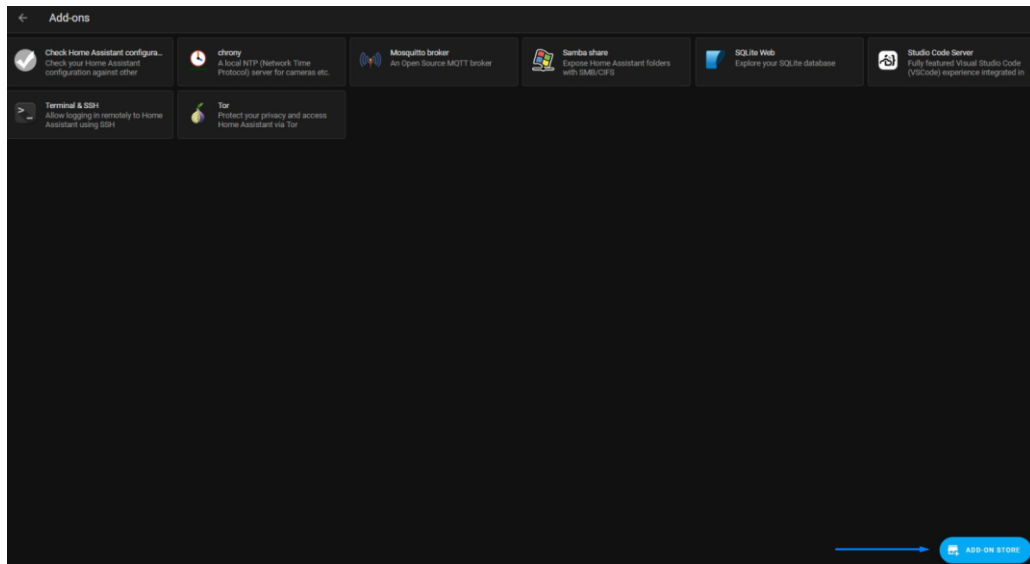
Εικόνα 44. Εγκατάσταση Πρόσθετου Mosquitto MQTT broker add-on (α).

Μέσω της διεπαφής (frontend) του Home Assistant επιλέχθηκε Settings -> Add-ons (εικ. 45)



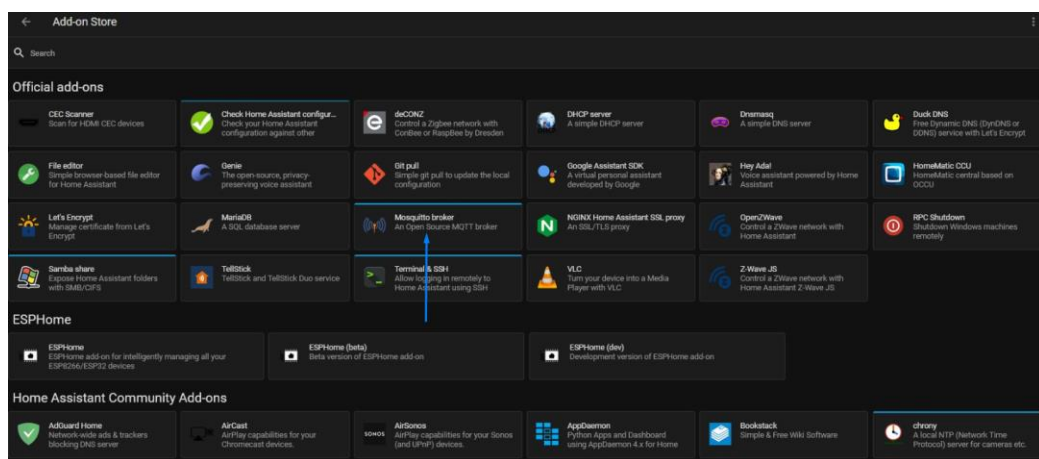
Εικόνα 45. Εγκατάσταση Πρόσθετου Mosquitto MQTT broker add-on (β).

και στη συνέχεια ADD-ON STORE για πλοήγηση στο «κατάστημα προσθέτων» του Home Assistant(εικ. 46)



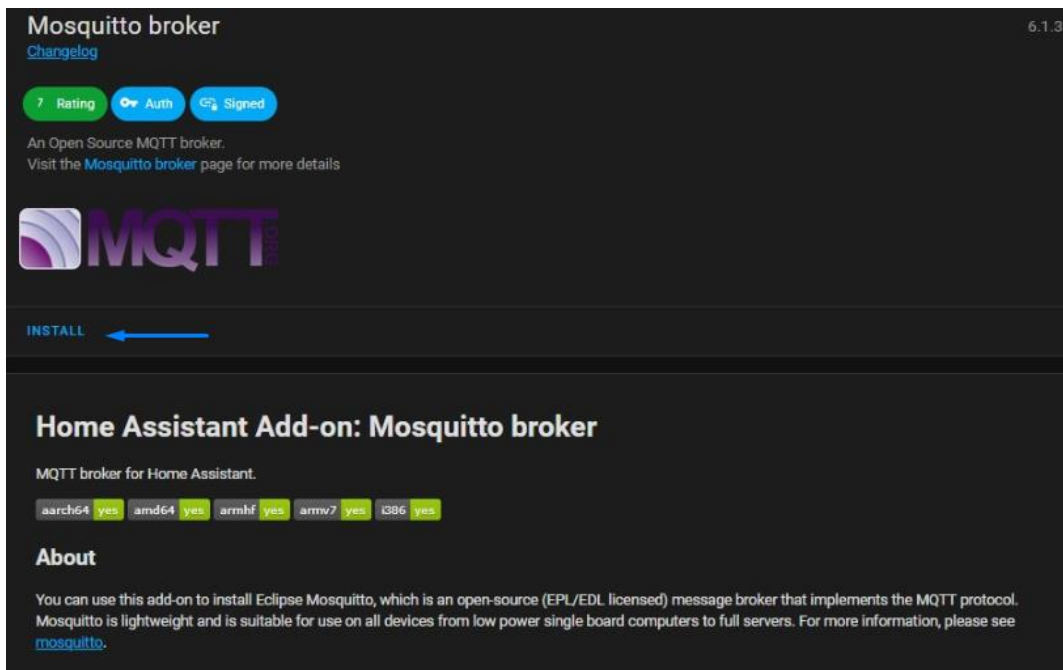
Εικόνα 46. Εγκατάσταση Πρόσθετου Mosquitto MQTT broker add-on (γ).

Εντοπίστηκε το εν λόγω πρόσθετο (εικ. 47) και με επιλογή του και στη συνέχεια επιλογή της εντολής Install (εικ. 48) εγκαταστάθηκε στο Home Assistant.



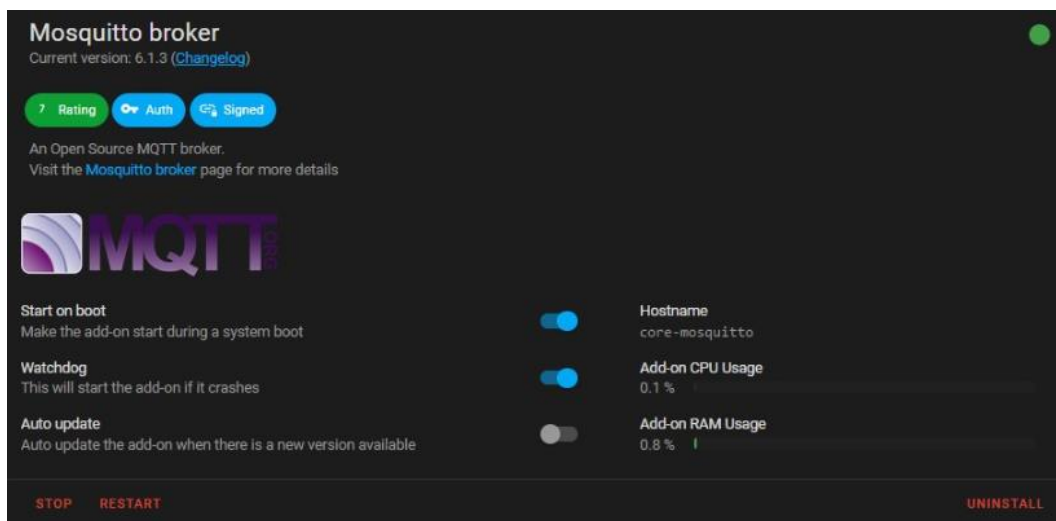
Εικόνα 47. Εγκατάσταση Πρόσθετου Mosquitto MQTT broker add-on (δ).





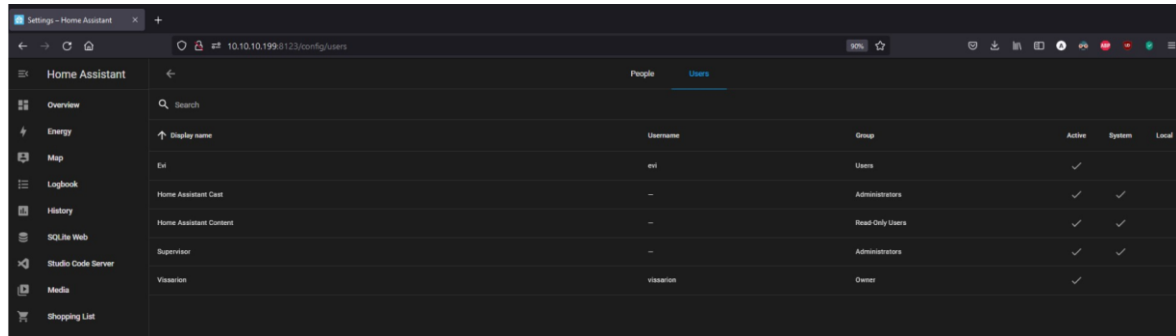
Εικόνα 48. Εγκατάσταση Πρόσθετου Mosquitto MQTT broker add-on (ε).

Στη συνέχεια τέθηκε σε λειτουργία οπότε και δόθηκαν οι επιλογές για αυτόματη εκκίνηση κατά την εκκίνηση του συστήματος, επανεκκίνηση του προσθέτου αν αυτό για κάποιο λόγο σταματήσει να λειτουργεί και αυτόματη ενημέρωση(εικ. 49)



Εικόνα 49. Διαμόρφωση Πρόσθετου Mosquitto MQTT broker add-on (α).

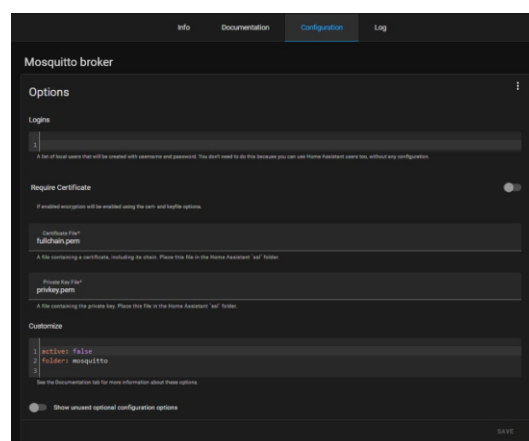
Για την αρχική διαμόρφωσή του, μέσω της διεπαφής του Home Assistant, επιλέχθηκε η διαδρομή Settings-> people -> user tab για τη δημιουργία ενός νέου χρήστη του πρωτοκόλλου MQTT(εικ. 50) ( η εν λόγω διαμόρφωση δε γίνεται μέσω της καρτέλας διαμόρφωσης του προσθέτου αλλά κεντρικά από το Home Assistant).



Εικόνα 50. Διαμόρφωση Πρόσθετου Mosquitto MQTT broker add-on (β).

Μετά την εγκατάσταση του Mosquitto MQTT broker η διαμόρφωσή του είναι δυνατή από την σχετική καρτέλα (configuration tab) (εικ. 51).

```
logins: []
customize:
  active: false
  folder: mosquitto
certfile: fullchain.pem
keyfile: privkey.pem
require_certificate: false
```



Εικόνα 51. Διαμόρφωση Πρόσθετου Mosquitto MQTT broker add-on (γ).

Η επιλογή logins χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μίας λίστας τοπικών χρηστών με username και password.

logins:

- username: user
- password: passwd

Η δυνατότητα αυτή είναι προαιρετική και δεν ενεργοποιήθηκε για τις ανάγκες του παρόντος έργου, καθώς είναι δυνατή η πρόσβαση των χρηστών που είναι καταχωρημένοι κεντρικά στο Home Assistant, χωρίς ανάγκη περαιτέρω διαμόρφωσης. (Αν δεν υπάρχουν κεντρικά καταχωρημένοι χρήστες, τα πεδία παράγονται αυτόματα κατά την ενεργοποίηση του προσθέτου.) Το πρόσθετο συνδέεται με το σύστημα χρηστών του Home Assistant, ώστε οι πελάτες (clients) MQTT να μπορούν να χρησιμοποιούν αυτά τα διαπιστευτήρια. Αν τεθούν τοπικοί χρήστες τα ονόματα homeassistant και addons δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθώς είναι εγγενώς καταχωρημένα στο εσωτερικό οικοσύστημα του Home Assistant.

Η επιλογή customize.active έχει εγγενώς την τιμή false και αφέθηκε ως έχει. Αν τεθεί ως true παρέχεται πρόσβαση σε περαιτέρω αρχεία διαμόρφωσης- τα οποία δεν κρίθηκαν απαραίτητα- τα οποία βρίσκονται στον φάκελο της επιλογής customize.folder.

Οι επιλογές certfile και keyfile αφορούν την κρυπτογράφηση των μηνυμάτων που αποστέλλονται και η οποία ενεργοποιείται αν τεθεί η τιμή της επιλογής require\_certificate ως true. Πρόκειται για αρχεία που περιέχουν τα σχετικά με την κρυπτογράφηση πιστοποιητικό (και το chain του) και ιδιωτικό κλειδί αντίστοιχα και τοποθετούνται στον φάκελο ssl του Home Assistant. Στο παρόν πόνημα δεν χρησιμοποιήθηκε κρυπτογράφηση, καθώς τα MQTT μηνύματα μεταφέρονται σε ένα κλειστό οικιακό δίκτυο με έναν χρήστη και έτσι δεν υπάρχει κίνδυνος υποκλοπής και εκμετάλλευσης αυτών και η τιμή του require\_certificate αφέθηκε στην εγγενώς ορισμένη false.

### 3.5.2 Home Assistant MQTT integration.

Προκειμένου να λειτουργήσει το πρόσθετο Mosquitto MQTT broker ως διακομιστής MQTT, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση της MQTT ενσωμάτωσης (integration) στον Home Assistant:

Μέσω της διεπαφής του Home Assistant επιλέχθηκε Configuration -> Integrations. Η ενσωμάτωση MQTT εμφανίστηκε ως “discovered integration” στην αρχή της σελίδας. Επιλέχθηκε και μετά την ενεργοποίηση της επιλογής “MQTT discovery” με την επιλογή της εντολής submit ολοκληρώθηκε η ενσωμάτωση της δυνατότητας επικοινωνίας με το πρωτόκολλο MQTT στο οικοσύστημα. Εάν δεν εμφανιστεί η ενσωμάτωση ως discovered είναι δυνατή η εγκατάστασή της με την εξής διαδρομή: Settings- Devices & Services- Add Integration-MQTT οπότε και εμφανίζονται οδηγίες για την ολοκλήρωση της εγκατάστασης.

## 3.6 Τροποποίηση του Zigbee Gateway

Καθώς το Sonoff ZBBridge δεν υποστηρίζει εγγενώς το πρωτόκολλο επικοινωνίας MQTT, χρειάστηκε, όπως έχει ήδη αναφερθεί, να αντικατασταθεί το firmware του κατασκευαστή.

Το firmware είναι μια ειδική κατηγορία λογισμικού που παρέχει έλεγχο χαμηλού επιπέδου για το συγκεκριμένο υλικό μιας συσκευής και μπορεί να έχει άμεση πρόσβαση στο χώρο φυσικής μνήμης των συσκευών υλικού που αλληλοεπιδρούν με αυτό. Τα firmwares συνήθως λειτουργούν ως λειτουργικό περιβάλλον σε εξαιρετικά πολύπλοκες συσκευές, όπως για παράδειγμα το BIOS ενός προσωπικού υπολογιστή, και μπορεί να περιέχουν βασικές λειτουργίες μιας συσκευής και να παρέχουν υπηρεσίες αφαίρεσης hardware σε λογισμικό υψηλότερου επιπέδου, όπως τα λειτουργικά συστήματα. Από την άλλη πλευρά, σε λιγότερο πολύπλοκες συσκευές, λειτουργούν ως λειτουργικό σύστημα και είναι υπεύθυνα για τον πλήρη έλεγχο του υλικού, εκτελώντας όλες τις λειτουργίες ελέγχου, παρακολούθησης και χειρισμού δεδομένων. Τυπικά παραδείγματα συσκευών που περιέχουν firmware είναι ενσωματωμένα συστήματα (που εκτελούν ενσωματωμένο λογισμικό), οικιακές και προσωπικές συσκευές, υπολογιστές και περιφερειακά υπολογιστών. [78] [79]

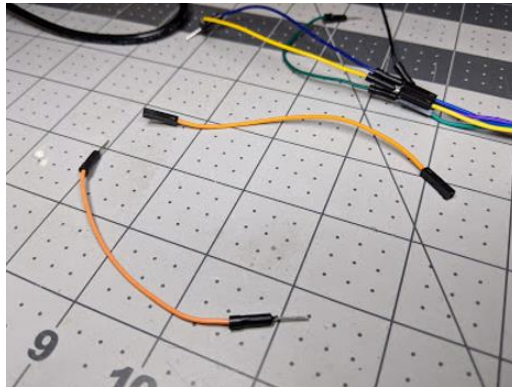
Το firmware είναι προεγκατεστημένο σε συσκευές όπως δρομολογητές, smartphones, υπολογιστές και άλλες συσκευές IoT. Όπως προαναφέρθηκε τα firmware είναι συγκεκριμένα για το υλικό. Όχι μόνο διαφέρουν από τις συσκευές άλλων κατασκευαστών, αλλά και από συσκευές του ίδιου κατασκευαστή. [79] Αυτή η ειδική για το υλικό φύση του το διακρίνει από το λογισμικό υψηλότερου επιπέδου, όπως το λειτουργικό σύστημα ή ο κώδικας εφαρμογής που είναι ανεξάρτητος από τη συσκευή. Αυτό το λογισμικό υψηλότερου επιπέδου επικοινωνεί με το υλικό μέσω του firmware. [80] Στους περισσότερους δρομολογητές, το σύστημα αρχείων στα firmwares βασίζεται στο λειτουργικό σύστημα Linux.

Τα firmwares μπορούν να αντικατασταθούν αλλά δεν μπορούν να διαγραφούν από τον χρήστη. Διατηρούνται σε συσκευές μη μεταβλητής μνήμης, όπως η ROM, η EPROM, η EEPROM και η μνήμη Flash. Η ενημέρωση του firmware απαιτεί τη φυσική αντικατάσταση των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων ROM ή τον επαναπρογραμματισμό της μνήμης EPROM ή της μνήμης flash μέσω ειδικής διαδικασίας. Οι συνήθεις λόγοι για την ενημέρωση του firmware περιλαμβάνουν την επιδιόρθωση σφαλμάτων ή την προσθήκη χαρακτηριστικών στη συσκευή. Η προσθήκη νέου χαρακτηριστικού, εν προκειμένω, η υποστήριξη του πρωτοκόλλου MQTT είναι και ο λόγος αντικατάστασης του firmware του Sonoff ZBBridge με το Tasmota, με επαναπρογραμματισμό ουσιαστικά της μνήμης flash της συσκευής.

Το Tasmota, είναι ένα firmware ανοιχτού κώδικα για συσκευές με βάση τα chipset Espressif ESP8266 (στο οποίο είναι βασισμένη η συσκευή Sonoff ZBBridge), ESP8285, ESP32, ESP32-S ή ESP32-C3. Το πρόγραμμα είναι αδειοδοτημένο υπό την GPL-3.0 και δημιουργήθηκε και συντηρείται από τον Theo Arends. Ξεκίνησε ως έργο ανοικτού κώδικα από τον ίδιο το 2016 με το όνομα Sonoff-MQTT-OTA. Όπως μαρτυρά και το όνομα του project, στόχος του ήταν να δημιουργήσει ένα νέο firmware για βασισμένες στο ESP8266 συσκευές της ITEAD Sonoff, το οποίο υποστηρίζει MQTT και αναβαθμίζεται “over the air-OTA”. Ο λόγος δημιουργίας του Tasmota ήταν ουσιαστικά και ο λόγος επιλογής του Home Assistant για την δημιουργία του οικοσυστήματος του παρόντος έργου: ο τοπικός έλεγχος χωρίς τη μεσολάβηση cloud-based servers. Αφορούσε συγκεκριμένα την συσκευή Sonoff Basic, μία από τις πρώτες φθηνές και προσιτές συσκευές έξυπνου σπιτιού στην αγορά, και την μετατροπή της σε τοπικά ελεγχόμενη συσκευή. [81]

Σήμερα πλέον το Tasmota αποτελεί σύμφωνα με τους δημιουργούς του ένα πλήρως ολοκληρωμένο οικοσύστημα για σχεδόν κάθε συσκευή που βασίζεται στο ESP8266 και παρέχει απόλυτα τοπικό έλεγχο με γρήγορη ρύθμιση και ενημερώσεις. Εκτός από έλεγχο μέσω MQTT υποστηρίζει και έλεγχο με χρήση Web UI, HTTP ή σειριακής σύνδεσης, ενσωματώνεται εύκολα με λύσεις οικιακού αυτοματισμού και διαθέτει χαρακτηριστικά επεκτασιμότητας και ευελιξίας. [82]

Η διαδικασία αντικατάστασης του firmware του Sonoff ZBBridge έγινε σε 2 στάδια καθώς η συσκευή διαθέτει ESP8266 για τον έλεγχο του wifi και MG21 (EFR32) για τη διαχείριση της κυκλοφορίας Zigbee. Χρειάστηκαν ένας προσαρμογέας USB TTL , το λογισμικό Tasmotizer , καλώδια δοκιμών (jumpers) (εικ. 52) και καλώδια δοκιμών dupont θηλυκό-θηλυκό, και η διαδικασία έγινε τη βοήθεια ενός υπολογιστή με λειτουργικό σύστημα Windows.



Εικόνα 52. Καλώδια δοκιμής (jumpers) breadboard.

Το Tasmotizer, ένα εργαλείο (αρχείο .exe) που αυτοματοποιεί τον επαναπρογραμματισμό της flash μνήμης της συσκευής, κατεβάζει το νέο firmware και το αντικαθιστά στη γέφυρα. (Εάν το Tasmotizer δεν λειτουργεί, ως εναλλακτική λύση μπορεί να χρησιμοποιηθεί το NodeMCU Py-Flasher και να μεταφορτωθεί χειροκίνητα το tasmota-zbbridge.bin, ενώ χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί και η μέθοδος αντικατάστασης firmware DOUT με αυτή την εφαρμογή).

Πραγματοποιήθηκε λήψη του πιο πρόσφατου αρχείου OTA για τον προγραμματισμό του Zigbee chipset του Zigbee Bridge ncp-uart-sw-6.7.9\_115200.ota από τη διεύθυνση

<https://github.com/arendst/Tasmota/tree/development/tools>

όπου επιλέχθηκε ο φάκελος στην εικόνα και στη συνέχεια το εν λόγω αρχείο (εικ. 52-53)

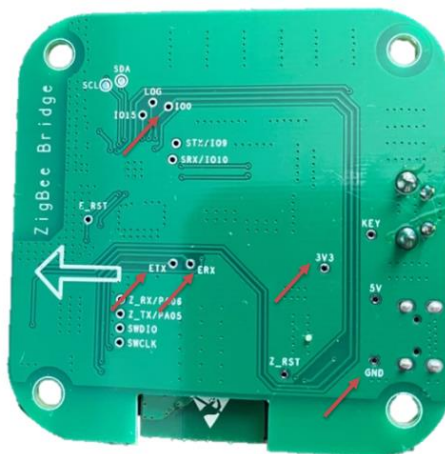
fw_SonoffRfBridge_efm8bb1	Remove mismerged files	2 years ago
fw_SonoffZigbeeBridgePro_cc2652	fix OTA URL	last month
fw_SonoffZigbeeBridge_ezsp	Add Zigbee firmware 6.7.9 for Sonoff ZBBridge	17 months ago
fw_TasmotaClient_arduino	Rename firmware folders	2 years ago
fw_TubeZigbee_efr32	Add firmware for Tube's Zigbee EFR32 EZSP 6.7.9	17 months ago
fw_Zigbee_cc2530	Move some firmware files around	2 years ago
logo	reduce icon to 1 bit	8 months ago

Εικόνα 53. Φάκελος αρχείου OTA για αντικατάσταση firmware του Zigbee chipset του Zigbee Bridge

s-hadinger Add Zigbee firmware 6.7.9 for Sonoff ZBBridge		
..		
archive	Move 6.7.6 to archive	
ncp-uart-nsw_6.7.9_115200.ota	Add Zigbee firmware 6.7.9 for Sonoff ZBBridge	
ncp-uart-sw_6.7.8_115200.ota	Zigbee add EZSP 6.7.8 as Release Candidate firmware	
readme.md	Add Zigbee firmware 6.7.9 for Sonoff ZBBridge	

Εικόνα 54. Αρχείο OTA για αντικατάσταση firmware του Zigbee chipset του Zigbee Bridge

Στη συνέχεια αφαιρέθηκε η πλακέτα του Sonoff ZBBridge από τη συσκευή και στην πίσω πλευρά της εντοπίστηκαν τα pin 3V3, GND, ERX, ETX, και IO0 (GPIO00) (εικ. 55).

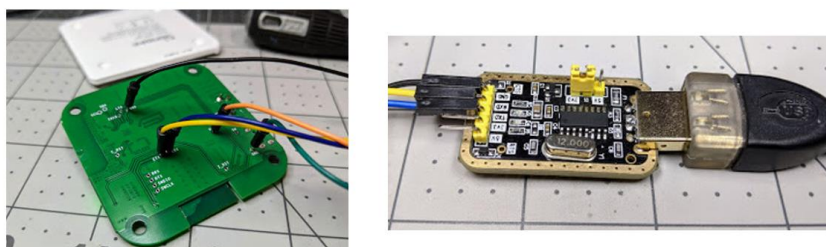


Εικόνα 55. Pins Πλακέτας Sonoff ZBBridge

Χρησιμοποιήθηκαν καλώδια δοκιμής (jumpers) breadboard τα οποία εισήχθησαν στις προαναφερθείσες υποδοχές της πλακέτας του Sonoff ZBBridge συνδεδεμένα με καλώδια δοκιμής dupont θηλυκό - θηλυκό. Τα τελευταία συνδέθηκαν με προσαρμογέα USB TTL (εικ. 56) με ρύθμιση 3v3, με τον εξής τρόπο (πίν. 12):

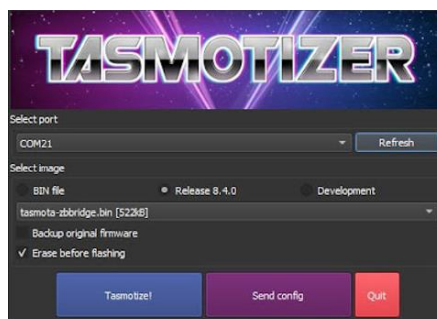
Πίνακας 12. Αντιστοιχία Pins Sonoff ZBBridge με Pins προσαρμογέα USB TTL

Sonoff ZBBridge	Προσαρμογέας USB TTL	
ETX	με	RX
ERX	με	TX
3V3	με	3V3
GND	με	GND
I00(GPIO Zero)	με	GND



Εικόνα 56. Σύνδεση Sonoff ZBBridge με προσαρμογέα USB TTL.

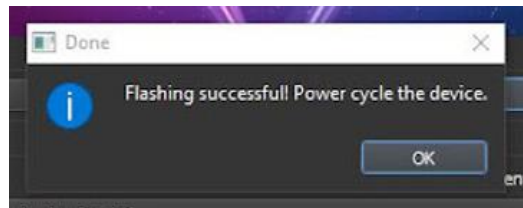
Ακολούθησε η σύνδεση του προσαρμογέα USB TTL σε υπολογιστή και πραγματοποιήθηκε σε αυτόν εκκίνηση του Tasmotizer, με χρηστική διεπαφή χρήστη (εικ. 57) και 3 κύριες επιλογές: Δημιουργία αντιγράφου ασφαλείας του υπάρχοντος firmware της συσκευής (Backup original firmware), διαγραφή υπάρχοντος firmware (Erase before flashing), εγκατάσταση νέου firmware (Tasmotize). Επιλέχθηκαν η θύρα COM21 για τον προσαρμογέα USB TTL, το tasmota-zbbridge.bin που περιέχει το νέο firmware μέσω της επιλογής Select image και ξεκίνησε η αντικατάσταση του firmware με το πλήκτρο Tasmotize!.



Εικόνα 57. Αντικατάσταση Firmware του WiFi chipset του Sonoff ZBBridge (α)

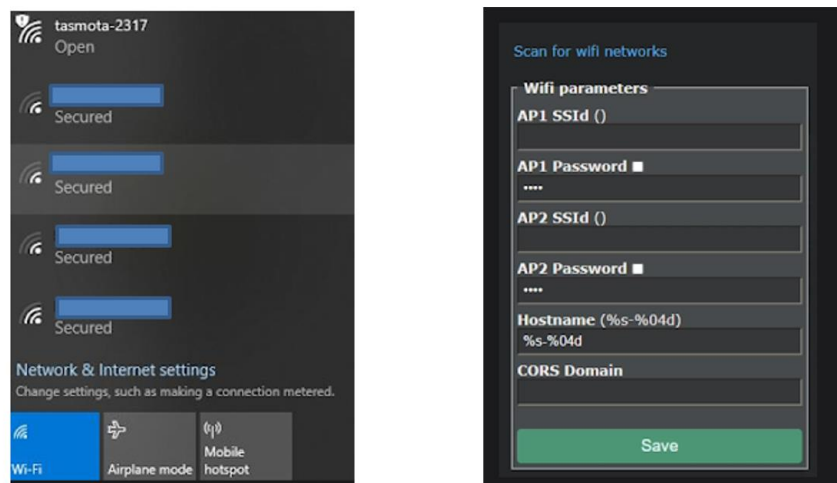


Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας εμφανίστηκε το μήνυμα (εικ. 58):



Εικόνα 58. Αντικατάσταση Firmware του WiFi chipset του Sonoff ZBBridge (β)

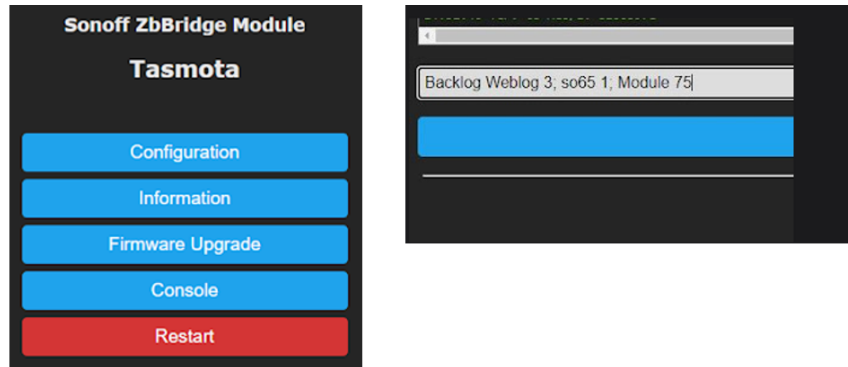
Στη συνέχεια αποσυνδέθηκε το USB TTL flasher, αφαιρέθηκαν τα καλώδια από την πλακέτα της γέφυρας Zigbee, η οποία επανασυναρμολογήθηκε και ενεργοποιήθηκε εκ νέου. Μέσω του υπολογιστή αναζητήθηκαν διαθέσιμα σημεία πρόσβασης WiFi, εντοπίστηκε το σημείο πρόσβασης Tasmota-xxxx εικόνα, πραγματοποιήθηκε σύνδεση σε αυτό και εισήχθη η διεύθυνση IP 192.168.4.1 σε πρόγραμμα περιηγητή διαδικτύου οπότε και εμφανίστηκε στην οθόνη το πλαίσιο της εικόνας (εικ. 59).



Εικόνα 59. Αντικατάσταση Firmware του WiFi chipset του Sonoff ZBBridge (γ)

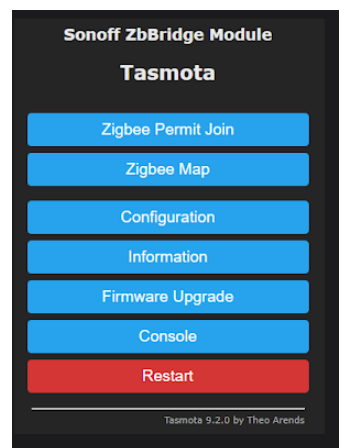
Επιλέχθηκε Scan for wifi networks (Σάρωση για δίκτυα wifi, ακολούθως το οικείο δίκτυο wifi, πληκτρολογήθηκε ο κωδικός πρόσβασης AP1, και έγινε αποθήκευση (Save). Έπειτα το Sonoff ZBBridge πραγματοποίησε επανεκκίνηση και συνδέθηκε στο οικείο δίκτυο WiFi. Μέσω του router και του dhcp server (ο οποίος είναι υπεύθυνος για την ανάθεση IP σε συσκευές που θέλουν να συνδεθούν στο δίκτυο), βρέθηκε η διεύθυνση IP του Sonoff

ZBBridge στο τοπικό δίκτυο wifi και πραγματοποιήθηκε περιήγηση σε αυτήν οπότε και εμφανίστηκε η διεπαφή του Tasmota (εικόνα). Επιλέχθηκε Console και εισήχθη η εντολή Backlog Weblog 3; so65 1; Module 75 (εικ. 60)



Εικόνα 60. Αντικατάσταση Firmware του WiFi chipset του Sonoff ZBBridge (δ)

Το Tasmota πραγματοποίησε επανεκκίνηση και στη νέα διεπαφή επιλέχθηκε Main Menu (εικ. 61)

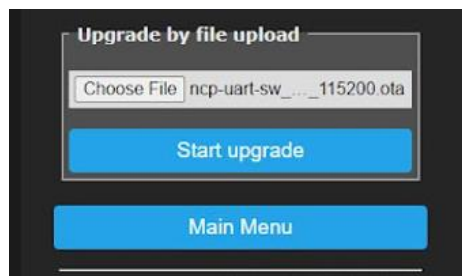


Εικόνα 61. Αντικατάσταση Firmware του Zigbee chipset του Sonoff ZBBridge (α)

Σε αυτό το σημείο ολοκληρώθηκε η διαδικασία αντικατάστασης του firmware του ESP8266 στο Sonoff ZBBridge και σε δεύτερη φάση έγινε η αντικατάσταση του firmware του MG21 (EFR32) με τον ακόλουθο τρόπο.

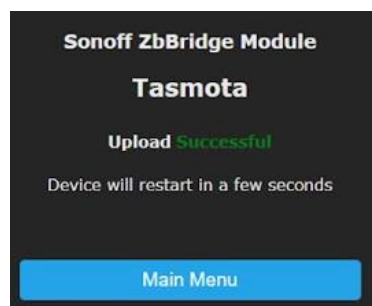
Στη διεπαφή της εικόνας 61 επιλέχθηκε Firmware Upgrade και στη νέα οθόνη (εικόνα), στο πεδίο Upgrade by file upload με την επιλογή Choose File, επιλέχθηκε το αρχείο ncp-uart-

sw, του οποίου είχε γίνει λήψη νωρίτερα και στη συνέχεια Start Upgrade (Έναρξη αναβάθμισης) (εικ. 62).



Εικόνα 62. Αντικατάσταση Firmware του Zigbee chipset του Sonoff ZBBridge (β)

Με την τελευταία εντολή ξεκίνησε από το Tasmota η διαδικασία αντικατάστασης του firmware του Zigbee chipset MG21 (EFR32) της γέφυρας, ώστε να είναι συμβατή η λειτουργία της με το Zigbee Integration του Home Assistant (Zigbee Home Assistant integration), οπότε και εμφανίστηκε το εξής μήνυμα (εικ. 63):



Εικόνα 63. Αντικατάσταση Firmware του Zigbee chipset του Sonoff ZBBridge (γ)

Όσο η διαδικασία βρίσκεται σε εξέλιξη στο παρασκήνιο, με διαδοχικά κλικ στην επιλογή Main menu και Console είναι δυνατή η παρακολούθηση της αυτόματης προώθησης από το Tasmota του αρχείου OTA μέσω Xmodem στο chipset Zigbee(εικ. 64)

```
14:23:24.765 HTP: Firmware Upgrade
14:23:38.782 CFG: Saved to flash at 1FB, Count 82, Bytes 4096
14:23:38.783 UPL: File ncp-uart-sw_6.7.6_115200.ota
14:23:38.790 UPL: File type 4
14:23:40.457 UPL: Progress 100 kB
14:23:41.920 UPP: Multicast (re)joined
14:23:41.922 UPL: Transfer 190272 bytes
14:23:41.923 UPL: Successful 190272 bytes
14:23:41.925 HTP: Upload transfer
14:23:41.949 XMD: Init bootloader
14:23:43.133 XMD: Init sync
14:23:43.721 XMD: Init packet send
14:23:55.051 HTP: Console
14:24:08.907 XMD: Successful ←
```

Εικόνα 64. Αντικατάσταση Firmware του Zigbee chipset του Sonoff ZBBridge (δ)

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας (XMD:Successful) (εικ. 65) το Tasmota πραγματοποιήσε επανεκκίνηση προκειμένου να τεθεί σε λειτουργία το Tasmota Zigbee (Zigbee Started)

```
14:24:57.122 ZIG: {"ZbEZSPReceived": "27000000"}
14:24:57.123 ZIG: Subscribe to group 0 'ZbListen0 0'
14:24:57.125 ZIG: ZbEZSPSend 64000000000100
14:24:57.301 ZIG: {"ZbEZSPReceived": "640000"}
14:24:57.303 RSL: tele/taz_zigbee_bridge2/RESULT = {"ZbState":{"Status":0,"Message":"Started"}}
14:24:57.306 ZIG: Zigbee started
14:24:57.332 ZIG: BLK 00 5461736D000000007A696732010002006461743200002100000000000000000000000000
14:24:57.360 ZIG: BLK 02 000F5BF03C82AA1E004B120000000FF0000000038376430643562612D6138656562D3464
14:24:57.387 ZIG: BLK 21 FFFFFFFF000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
14:24:57.415 ZIG: EEPROM signature 0x60736154 is correct
14:24:57.419 ZIG: No Zigbee device information in EEPROM
14:24:57.420 ZIG: Zigbee device information in Flash (47 bytes)
14:24:57.424 ZIG: No Zigbee device data in EEPROM
```

Enter command

Εικόνα 65. Αντικατάσταση Firmware του Zigbee chipset του Sonoff ZBBridge (ε)

Προκειμένου να αντιστοιχηθεί το τσιπ Zigbee στη θύρα διακομιστή TCP 8888, στο πεδίο Enter Command της παραπάνω οθόνης, εισήχθη η εντολή:

```
backlog rule1 on system#boot do TCPStart 8888 endon ; rule1 1 ; template {"NAME": "Son-  
off ZHABridge", "GPIO":[56,208,0,209,59,58,0,0,0,0,0,0,0,0,0,17], "FLAG":0, "BASE":18}  
; module 0
```

Η κονσόλα του Tasmota πραγματοποίησε επανεκκίνηση και επιβεβαιώθηκε η εν λόγω αντιστοίχιση:

```
17:35:58 TCP: Starting TCP server on port 8888
```

```
17:35:58 RSL: stat/tasmota 7FC5B0/RESULT = {"TCPStart":"Done"}
```

Τέλος ορίστηκε η διεύθυνση URL για την μελλοντική ενημέρωση του Zigbee chipset MG21 (EFR32) εισάγοντας στην κονσόλα του Tasmota :

otaurl <http://ota.tasmota.com/tasmota/tasmota-zbbridge.bin.gz>

Η ρύθμιση του Tasmota στο ZigBee bridge για να συνδεθεί ως MQTT client στον MQTT broker του Home Assistant, πραγματοποιήθηκε με τον ακόλουθο τρόπο: Στην διεπαφή Tasmota στο Zigbee bridge, μέσω της διαδρομής configuration > configure > MQTT (εικόνα) συμπληρώθηκαν τα πεδία host με τη διεύθυνση IP του Home Assistant και Password με το user password που είχε προηγουμένως οριστεί για τον MQTT broker(εικ. 66).

**Sonoff ZHABridge**

**Tasmota**

**MQTT parameters**

Host ()  
10.10.10.199

Port (1883)  
1883

☐ MQTT TLS

Client (DVES\_D9B501)  
DVES\_%06X

User (DVES\_USER)  
vissarion

Password ☐  
••••

Topic = %topic% (tasmota\_D9B501)  
tasmota\_%06X

Full Topic (%prefix%/topic%/)  
%prefix%/topic%/

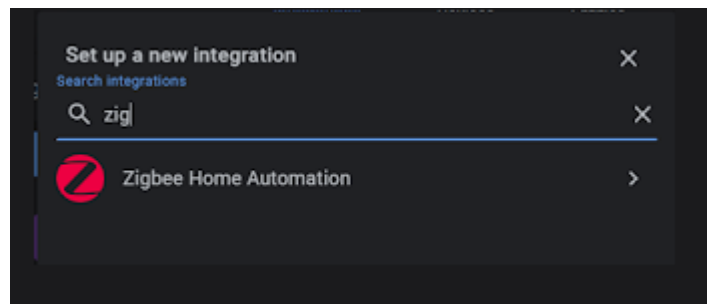
Save

Configuration

Tasmota 9.5.0 by Theo Arends

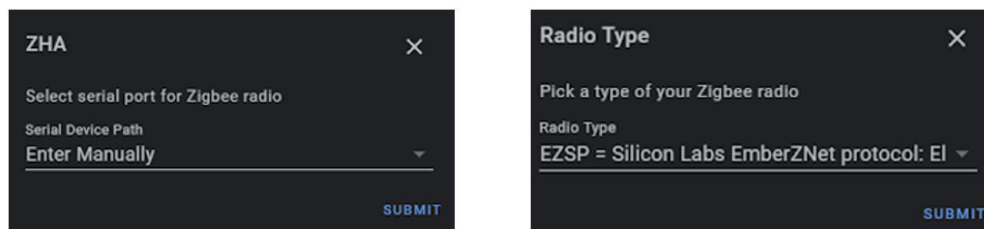
Εικόνα 66. Ρύθμιση του Tasmota στο Sonoff ZBBridge

Ακολούθως πραγματοποιήθηκε η εγκατάσταση του integration “Zigbee Home Automation” στο Home Assistant προκειμένου να οριστεί η διεύθυνση του Sonoff ZBBridge και να πραγματοποιηθεί παραμετροποίηση του τρόπου επικοινωνίας με αυτό. Μέσω της διεπαφής του Home Assistant και της διαδρομής Configuration>Integrations> + , επιλέχθηκε η ενσωμάτωση Zigbee Home Automation (εικ. 67)



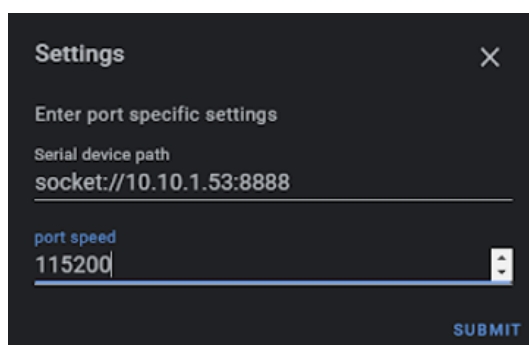
Εικόνα 67. Εγκατάσταση integration “Zigbee Home Automation” στο Home Assistant (α)

Στο ακόλουθο μήνυμα επιλέχθηκε Enter Manually και Submit (Εικόνα) και στη συνέχεια επιλέχθηκε ο τύπος ασυρμάτου (Radio Type) EZSP (εικ. 68)



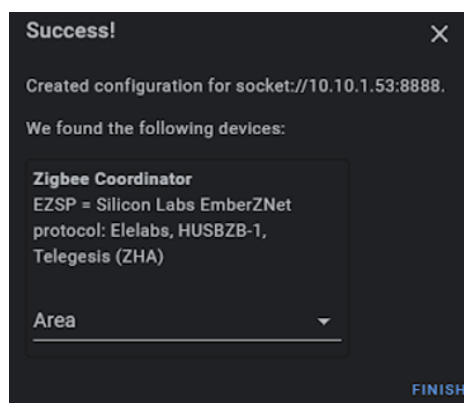
Εικόνα 68. Εγκατάσταση integration “Zigbee Home Automation” στο Home Assistant (β)

Στα επόμενα δύο πεδία (εικ. 69)εισήχθησαν η διεύθυνση IP της γέφυρας  
 socket://<bridge IP>:8888  
 και η Ταχύτητα Θύρας (Port Speed) 115200.



Εικόνα 69 Εγκατάσταση integration “Zigbee Home Automation” στο Home Assistant (γ)

Στη συνέχεια μετά την επιτυχή αναζήτηση και εύρεση της συσκευής εμφανίστηκε το μή-  
 νυμα της εικόνας 70 οπότε και με επιλογή Finish ολοκληρώθηκε η διαδικασία.



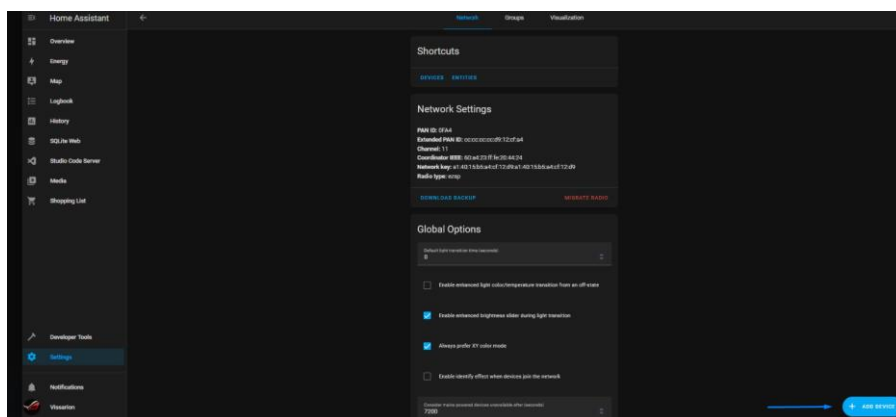
Εικόνα 70 Εγκατάσταση integration “Zigbee Home Automation” στο Home Assistant (δ)

Το Zigbee Integration στο Home Assistant εμφανίζεται όπως στην ακόλουθη εικόνα 71.

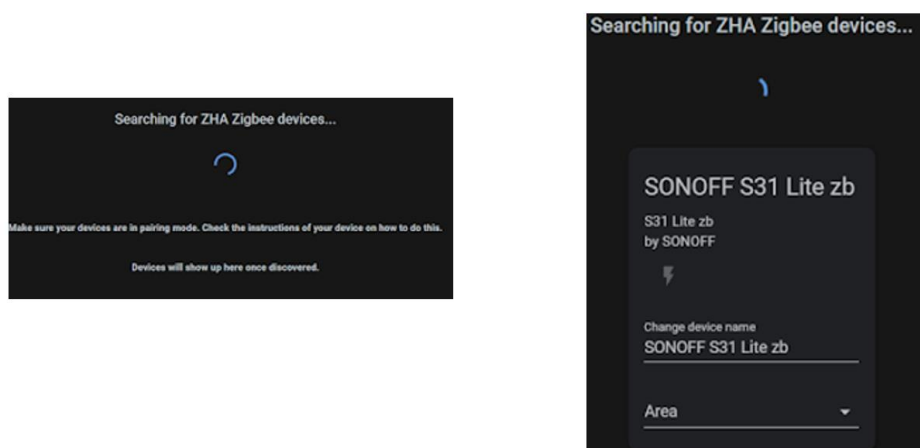


Εικόνα 71. Διαμόρφωση integration “Zigbee Home Automation” στο Home Assistant (α)

Με κλικ στην επιλογή configure και στη συνέχεια στο + ADD DEVICE ξεκίνησε η σύζευξη των διαφόρων συσκευών Zigbee (εικ. 72 - 73)



Εικόνα 72. Διαμόρφωση integration “Zigbee Home Automation” στο Home Assistant (β)



Εικόνα 73. Διαμόρφωση integration “Zigbee Home Automation” στο Home Assistant (γ)

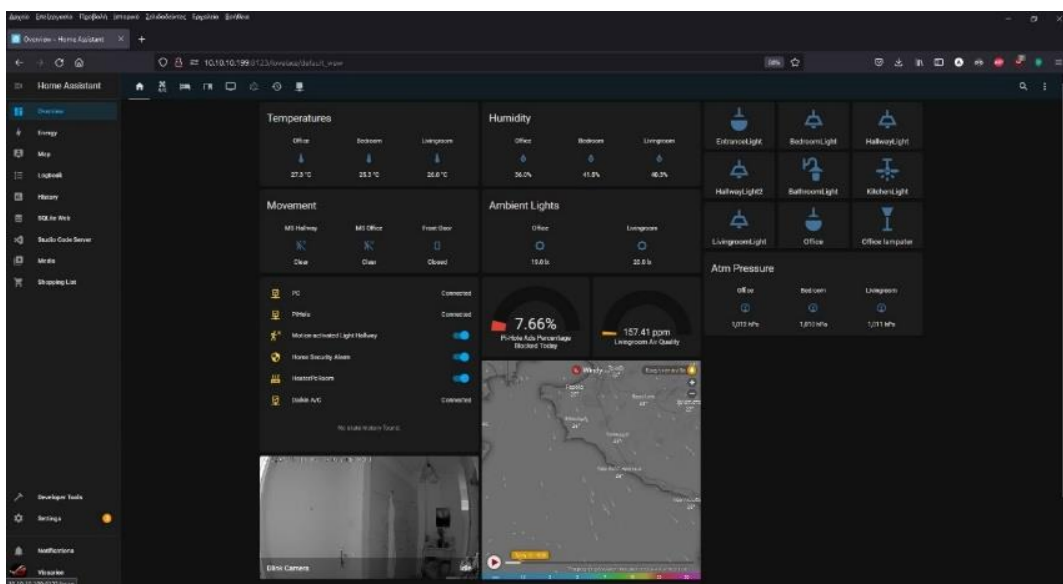




## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Συνοπτική Παρουσίαση Έξυπνου Οικιακού Περιβάλλοντος μέσω της διεπαφής Home Assistant.

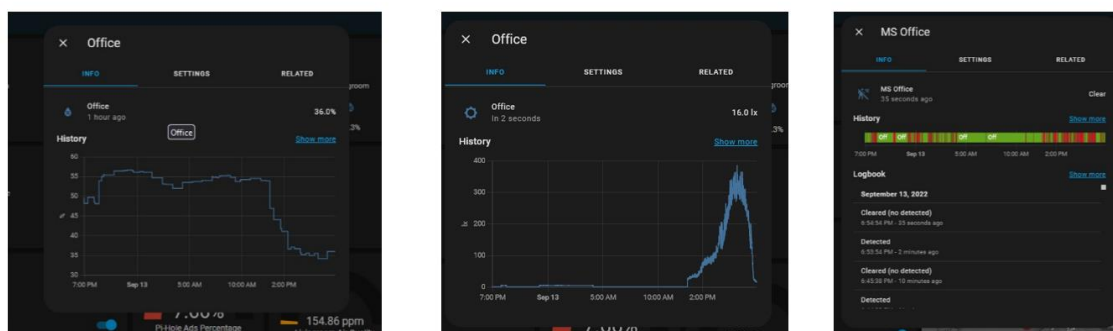
Παρακάτω επιχειρείται μία συνοπτική παρουσίαση του προτεινόμενου έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος μέσω στιγμιότυπων οθόνης της διεπαφής του λογισμικού Home Assistant. Οι δυνατότητες, βέβαια, του συστήματος δεν περιορίζονται σε αυτές που περιγράφονται, καθώς ένας από τους λόγους επιλογής του Home Assistant είναι η δυναμική εξέλιξη και τακτική αναβάθμισή του, τόσο μέσω ενημερώσεων όσο και με τον συνεχώς αυξανόμενο αριθμό διαθέσιμων επίσημα υποστηριζόμενων πρόσθετων και integration. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αν και η χρησιμοποιούμενη γλώσσα στα παρακάτω στιγμιότυπα είναι τα Αγγλικά, το Home Assistant υποστηρίζει πλήρως την Ελληνική. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας και διαμόρφωσης καρτών από τον χρήστη, καθώς και η επιλογή των εικονιδίων και των πληροφοριών που θα παρουσιάζονται σε κάθε μία. Στο τέλος του κεφαλαίου συμπεριλαμβάνονται μερικά στιγμιότυπα οθόνης της διεπαφής του συστήματος στα Ελληνικά.

### 4.1 Overview tab – Κάρτα Επισκόπησης



Εικόνα 75. ΗΑ Επισκόπηση Συστήματος

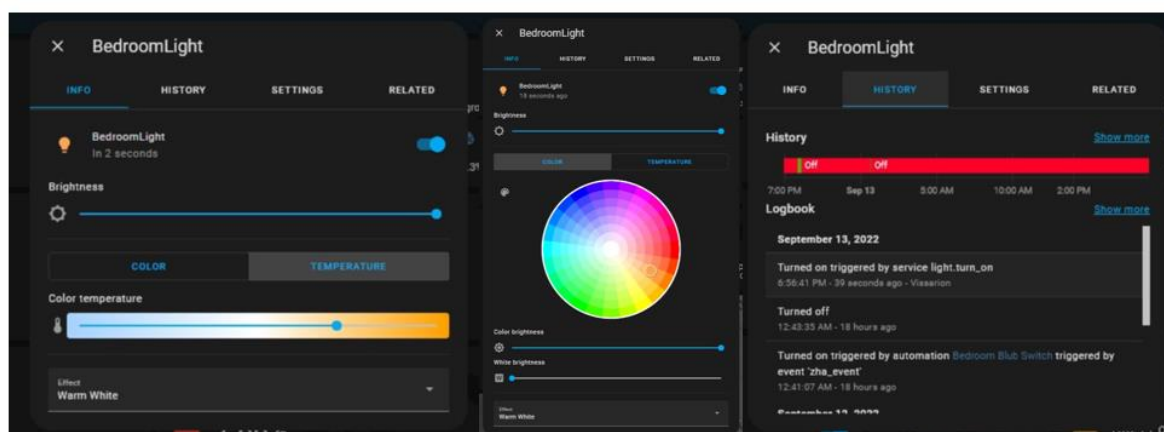
Στην εικόνα 75, στην κάρτα Overview, και μέσω της επιλογής του εικονιδίου του σπιτιού επάνω αριστερά, παρουσιάζεται μία συνολική εικόνα του οικιακού περιβάλλοντος. Στο κέντρο της οθόνης εμφανίζονται καταγραφές θερμοκρασίας, υγρασίας, κίνησης και έντασης φωτεινότητας του περιβάλλοντος για τα δωμάτια στα οποία υπάρχουν οι αντίστοιχοι αισθητήρες. Δεξιά εμφανίζονται τα φώτα και καταγραφή της ατμοσφαιρικής πίεσης. Στο κάτω μέρος της οθόνης φαίνεται το πλάνο από την έξυπνη κάμερα και χάρτης με τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν.



Εικόνα 76. Ενδείξεις αισθητήρων

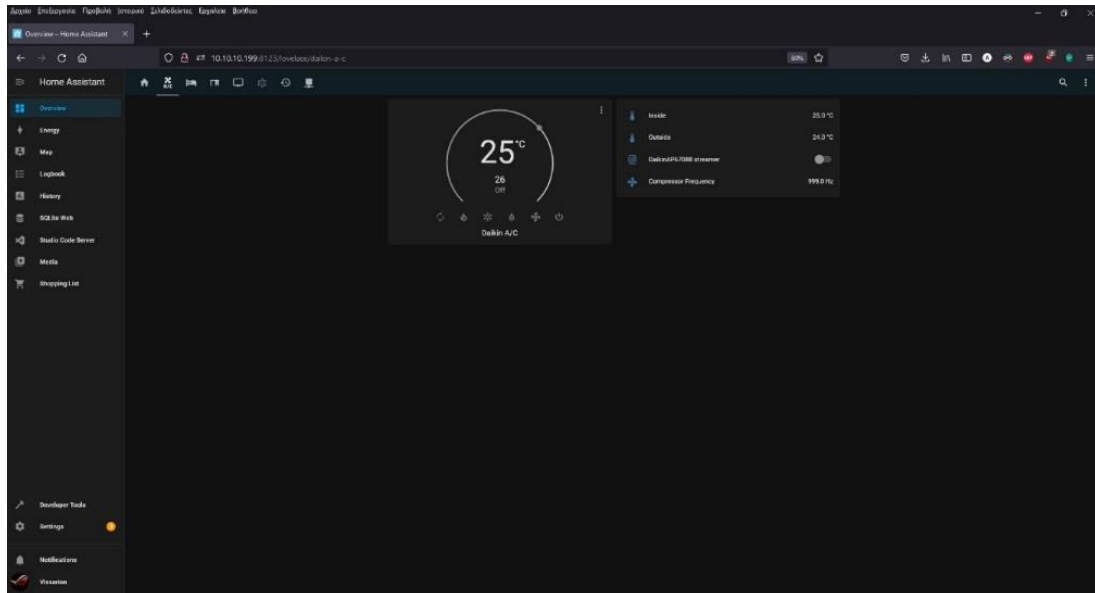
Στην εικόνα 76, με επιλογή του δωματίου γραφείο στις κάρτες της θερμοκρασίας, έντασης φωτός περιβάλλοντος και ανίχνευσης κίνησης, εμφανίζονται πληροφορίες για το ιστορικό καταγραφών των αντίστοιχων αισθητήρων.

Με επιλογή της έξυπνης λάμπας κάποιου δωματίου εμφανίζονται επιλογές και πληροφορίες ιστορικού που αφορούν τη λειτουργία της (εικ. 77).



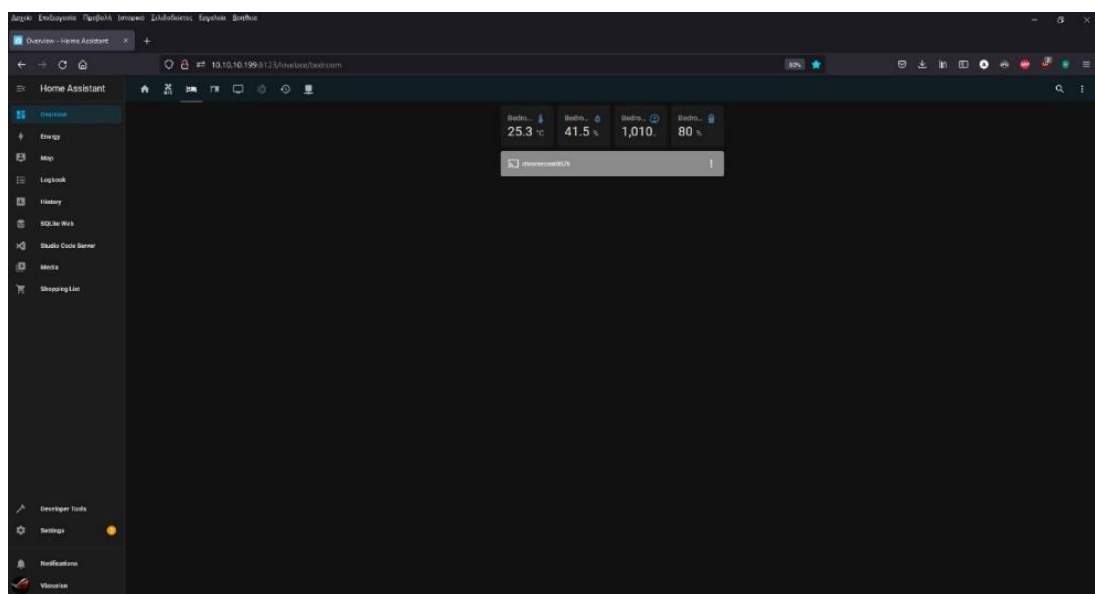
Εικόνα 77. Έλεγχος έξυπνων λαμπτήρων

Με επιλογή του εικονιδίου για το κλιματιστικό A/C εμφανίζεται η αντίστοιχη κάρτα για επίβλεψη και έλεγχο της λειτουργίας του(εικ. 78)



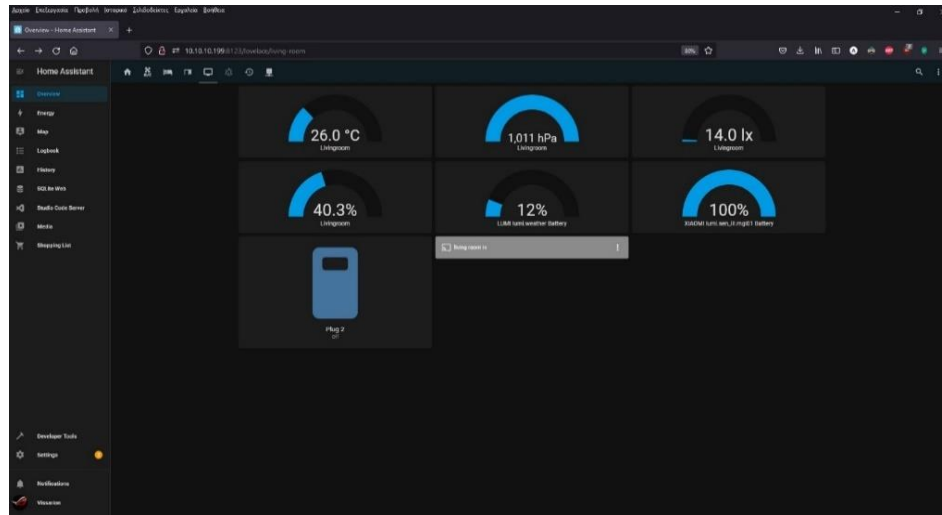
Εικόνα 78. Έλεγχος κλιματιστικού

Το επόμενο εικονίδιο αφορά το υπνοδωμάτιο με τις αντίστοιχες πληροφορίες και δυνατότητα ελέγχου των έξυπνων συσκευών του και ανάλογη είναι και η λειτουργία του επόμενου εικονιδίου του γραφείου (εικ. 79).



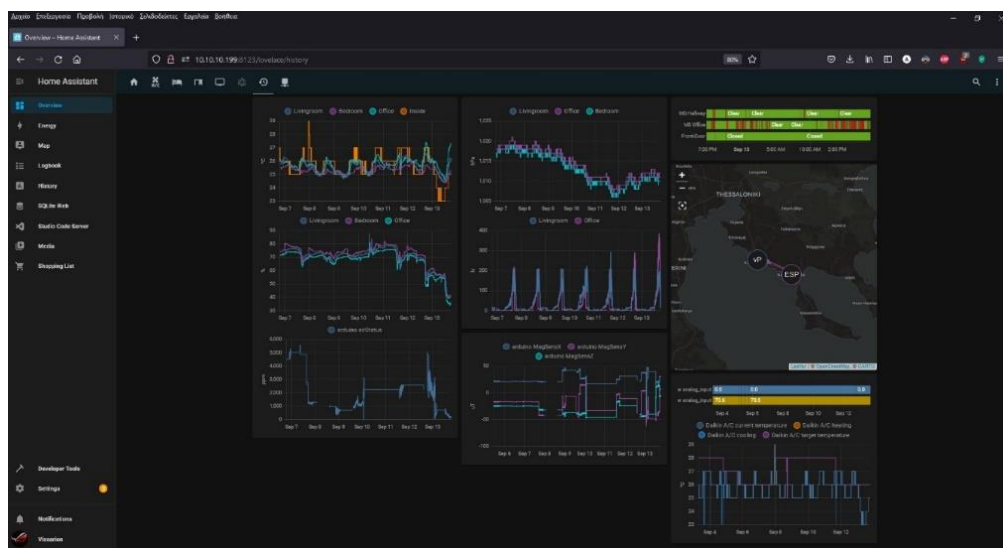
Εικόνα 79. Υπνοδωμάτιο

Με επιλογή του επόμενου εικονιδίου με τη μορφή οθόνης εμφανίζονται πληροφορίες ενδείξεων και μπαταρίας των αισθητήρων, το κουμπί διακόπτη για την έξυπνη πρίζα ZigBee και το Google Chromecast (εικ. 80)



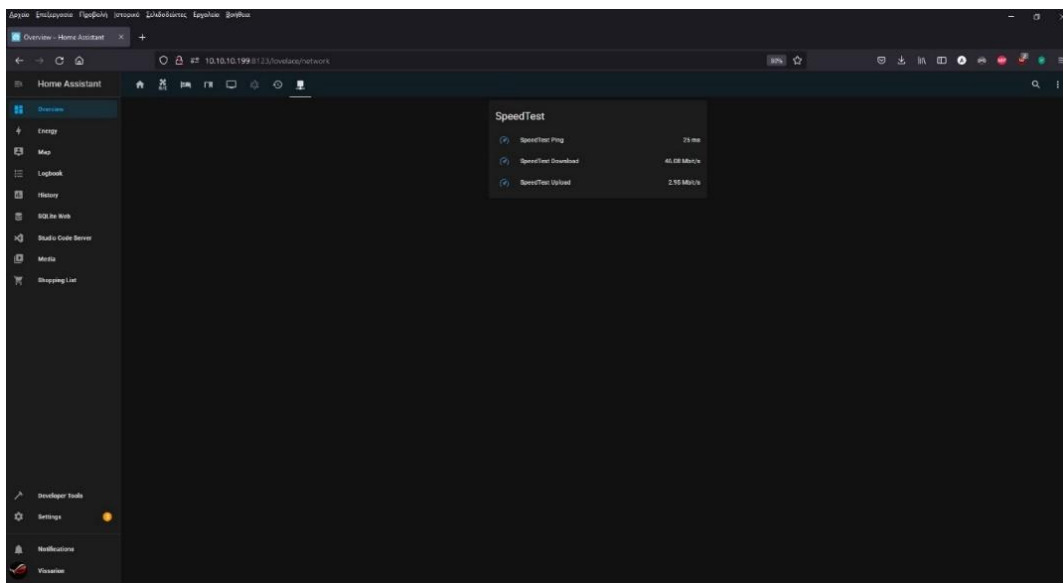
Εικόνα 80. Αισθητήρες, ενδείξεις μπαταρίας και Chromecast

Το προτελευταίο προς τα δεξιά εικονίδιο του ιστορικού εμφανίζει πληροφορίες που αφορούν τις ενδείξεις των αισθητήρων διάρκειας μίας εβδομάδας (εικ. 81). Στον χάρτη στα δεξιά είναι δυνατή η καταγραφή του ιστορικού κινήσεων συσκευών με δυνατότητα εντοπισμού τοποθεσίας οι οποίες είναι συνδεδεμένες στο Home Assistant μέσω διαδικτύου, για παράδειγμα κινητά, έξυπνα ρολόγια κλπ.



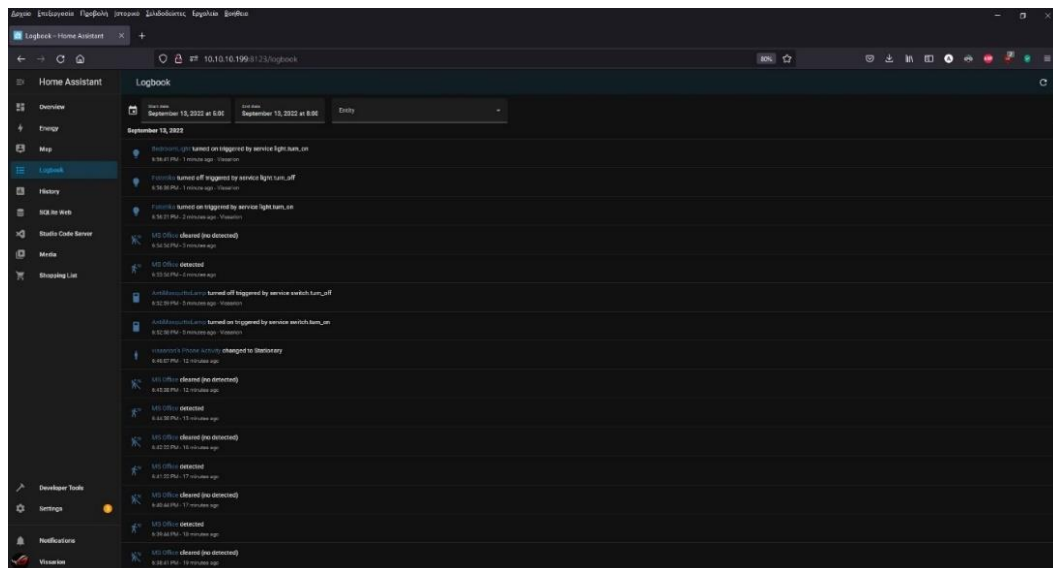
Εικόνα 81. Ιστορικό εβδομαδιαίων καταγραφών.

Τέλος με την επιλογή του τελευταίου εικονιδίου πραγματοποιείται έλεγχος ταχύτητας της σύνδεσης στο διαδίκτυο (εικ. 82).



**Εικόνα 82. Έλεγχος ταχύτητας σύνδεσης στο διαδίκτυο.**

#### 4.2 Logbook Tab – Κάρτα Αρχείου Συμβάντων



### Εικόνα 83. Καταγραφή συμβάντων

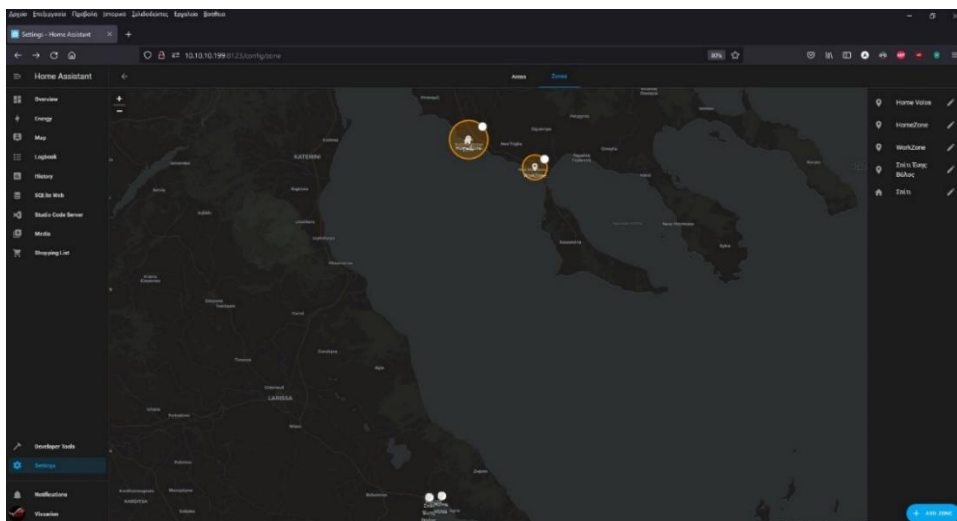
## 4.3 History Tab – Κάρτα Ιστορικού



Εικόνα 84. Ιστορικό

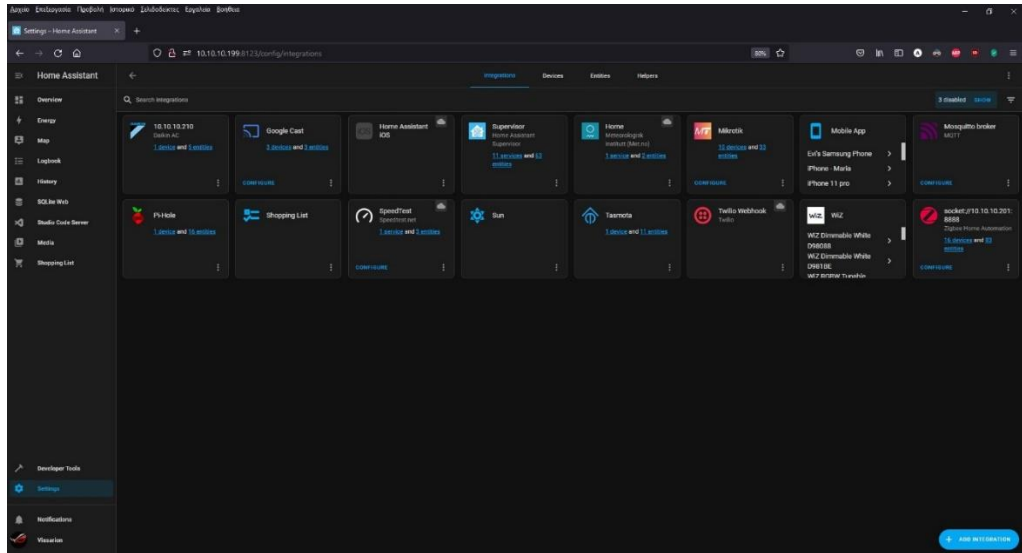
## 4.4 Settings tab – Κάρτα Ρυθμίσεων

Στην εικόνα 85 εμφανίζεται χάρτης με δυνατότητα δημιουργίας ζωνών (δεξιά οι ήδη καθορισμένες) για την χρήση τους σε σενάρια αυτοματισμών. Όταν, για παράδειγμα, μία καθορισμένη συσκευή, με δυνατότητα εντοπισμού τοποθεσίας και σύνδεση μέσω διαδικτύου στο Home Assistant, βρεθεί εντός των ορίων μίας ζώνης πυροδοτούνται συγκεκριμένα σενάρια.



Εικόνα 85. Ορισμός ζωνών.

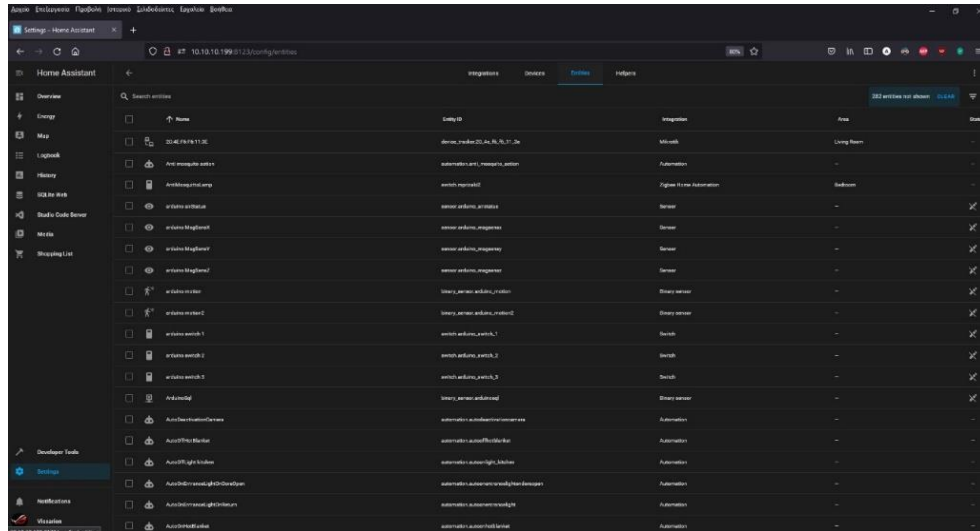
Στην εικόνα 86 εμφανίζονται όλα τα integration που έχουν εγκατασταθεί στο Home Assistant ενώ στην 87 παρουσιάζεται μία λίστα με όλες τις συσκευές (devices) που έχουν συνδεθεί με το Home Assistant. Παρέχονται πληροφορίες κατασκευαστή, μοντέλου, integration το οποίο είναι υπεύθυνο για την ενσωμάτωσή τους κλπ.



**Εικόνα 86. Integrations του Home Assistant.**

**Εικόνα 87. Συσκευές του Home Assistant.**

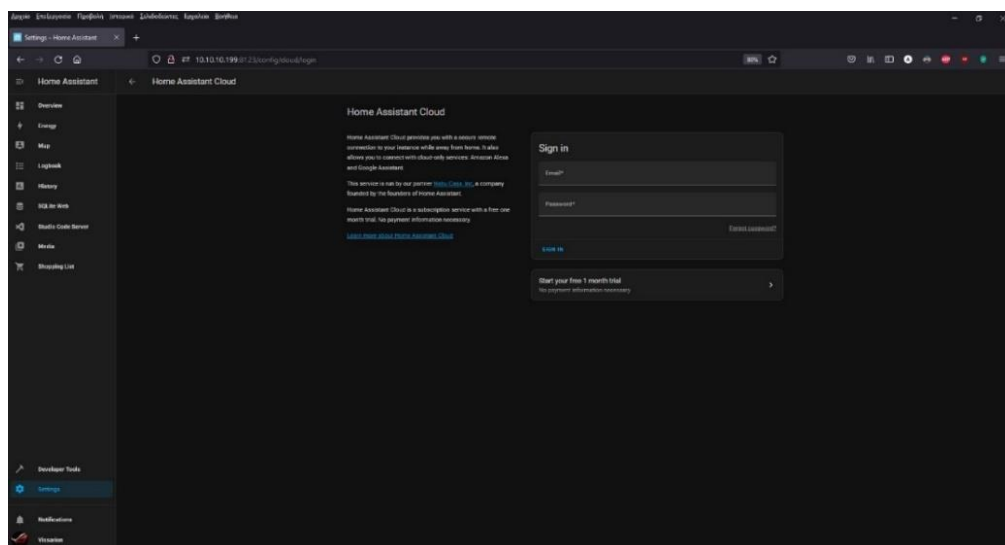
Σε κάθε συσκευή της εικόνας 87 αντιστοιχούν οντότητες (entities)- μία τουλάχιστον για κάθε συσκευή. Οι οντότητες δημιουργήθηκαν από την ένταξη συσκευών στο Home Assistant μέσω κάποιου integration, από τη δημιουργία αυτοματισμών ή γράφοντας κώδικα και εμφανίζονται με τη μορφή λίστας στην εικόνα 88.



Entity ID	Integration	Area	Status
living_room_light	Light	Living Room	On
bedroom_light	Light	Bedroom	Off
kitchen_light	Light	Kitchen	On
living_room_light_2	Light	Living Room	On
bedroom_light_2	Light	Bedroom	Off
kitchen_light_2	Light	Kitchen	On
living_room_light_3	Light	Living Room	On
bedroom_light_3	Light	Bedroom	Off
kitchen_light_3	Light	Kitchen	On
living_room_light_4	Light	Living Room	On
bedroom_light_4	Light	Bedroom	Off
kitchen_light_4	Light	Kitchen	On
living_room_light_5	Light	Living Room	On
bedroom_light_5	Light	Bedroom	Off
kitchen_light_5	Light	Kitchen	On
living_room_light_6	Light	Living Room	On
bedroom_light_6	Light	Bedroom	Off
kitchen_light_6	Light	Kitchen	On
living_room_light_7	Light	Living Room	On
bedroom_light_7	Light	Bedroom	Off
kitchen_light_7	Light	Kitchen	On
living_room_light_8	Light	Living Room	On
bedroom_light_8	Light	Bedroom	Off
kitchen_light_8	Light	Kitchen	On
living_room_light_9	Light	Living Room	On
bedroom_light_9	Light	Bedroom	Off
kitchen_light_9	Light	Kitchen	On
living_room_light_10	Light	Living Room	On
bedroom_light_10	Light	Bedroom	Off
kitchen_light_10	Light	Kitchen	On

Εικόνα 88. Οντότητες του Home Assistant.

Ακολουθεί η κάρτα σύνδεσης του χρήστη στην υπηρεσία Cloud του Home Assistant (εικ. 89)



Home Assistant Cloud

Home Assistant Cloud provides you with a secure, reliable connection to your Home Assistant instance. It also allows you to connect with other Home Assistant instances and Google Assistant.

This service is run by our partner [Google LLC](#), a company powered by the features of Google Assistant.

Home Assistant Cloud is a subscription service with a free one month trial. No payment information necessary.

[Learn more about Home Assistant Cloud](#)

Sign in

Email\*

Password\*

Forgot password?

Link in

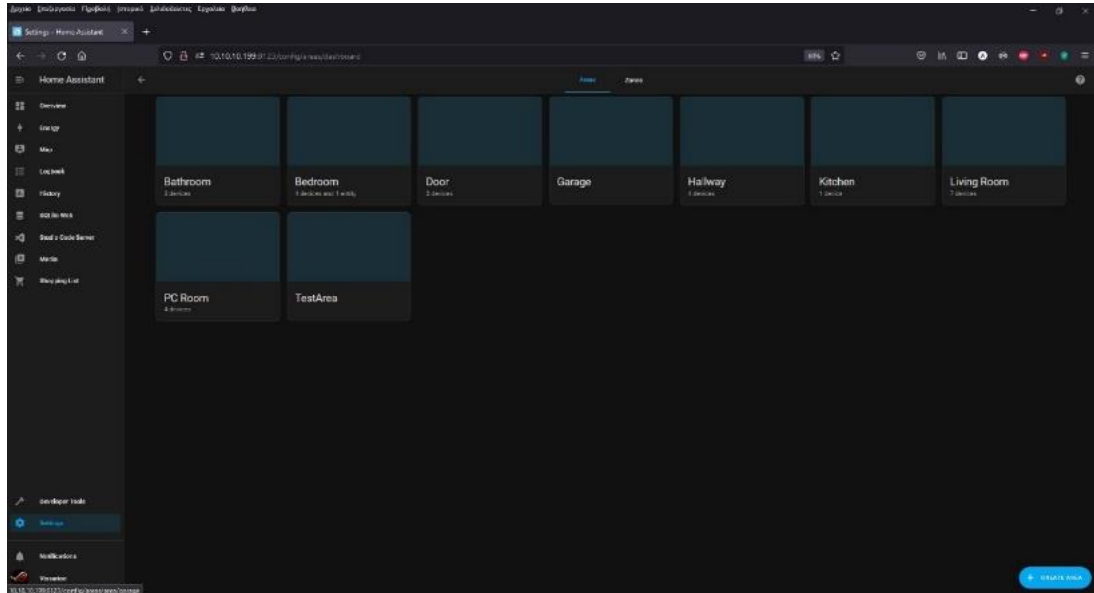
Start your free 1 month trial

No payment information necessary

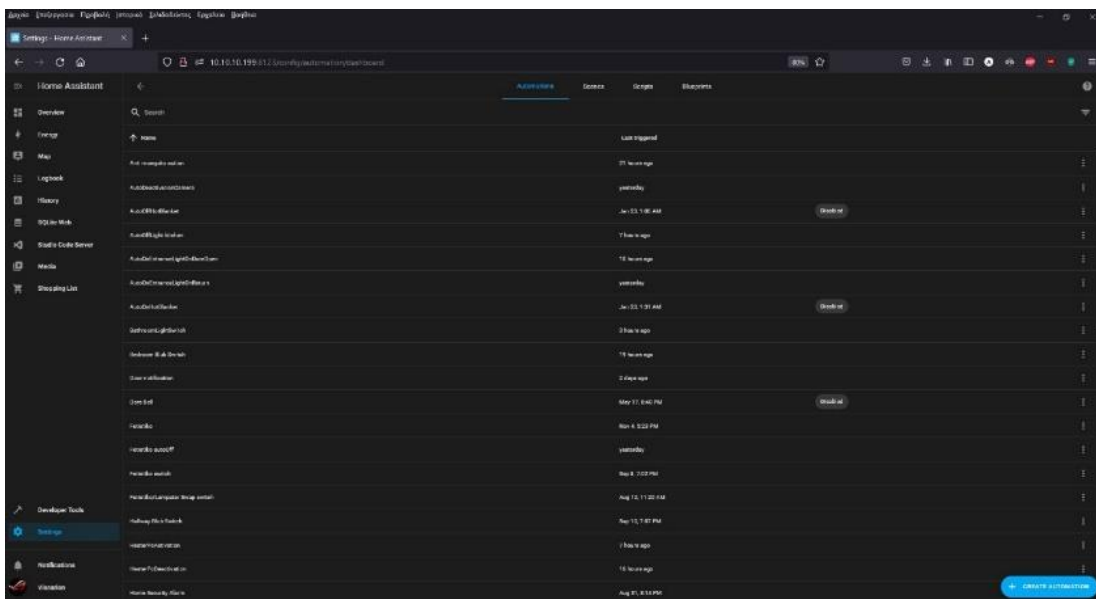
Εικόνα 89. Κάρτα σύνδεση στο Home Assistant Cloud



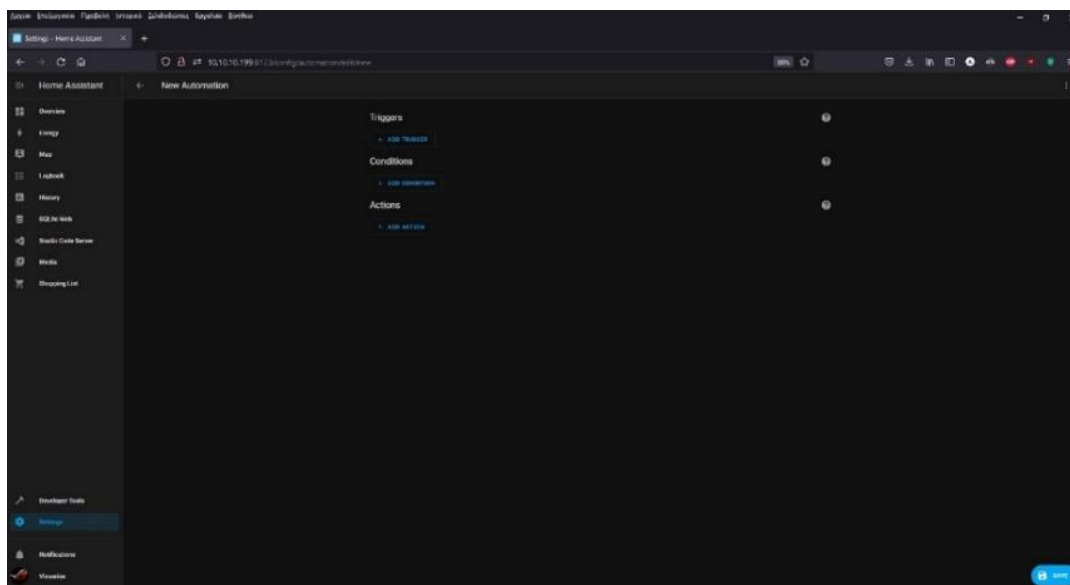
Στην επόμενη εικόνα (90) παρουσιάζεται η τοπολογία των έξυπνων συσκευών η οποία έχει προκαθοριστεί από τον χρήστη κατά την ένταξή τους στο σύστημα και στην 91 λίστα με αυτοματισμούς που έχουν δημιουργηθεί επίσης από τον χρήστη.



### Εικόνα 90. Τοπολογία Συσκευών

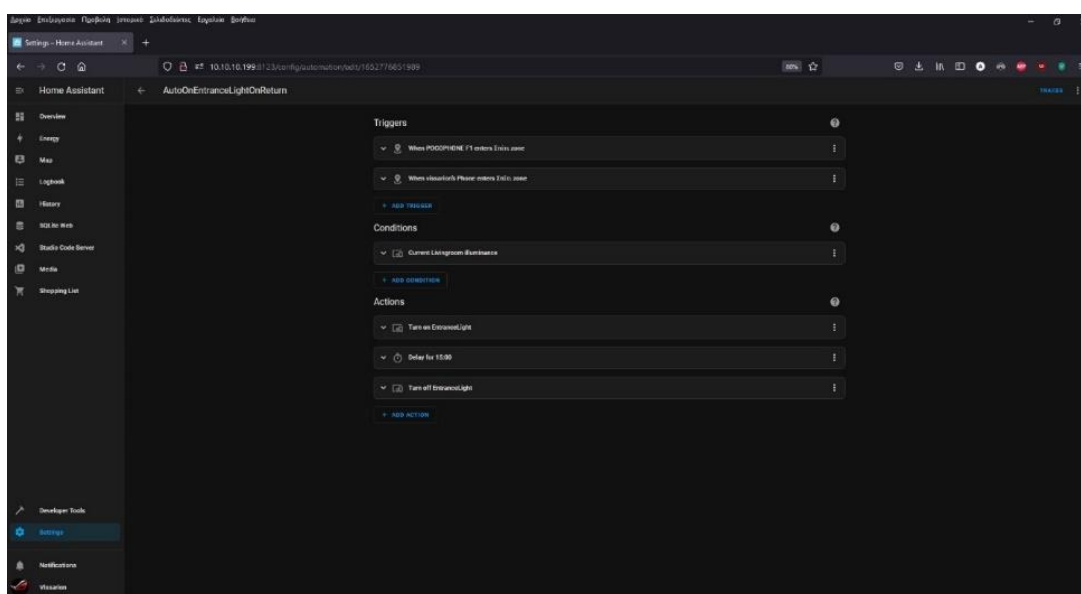


**Εικόνα 91. Λίστα αυτοματισμών Home Assistant.**



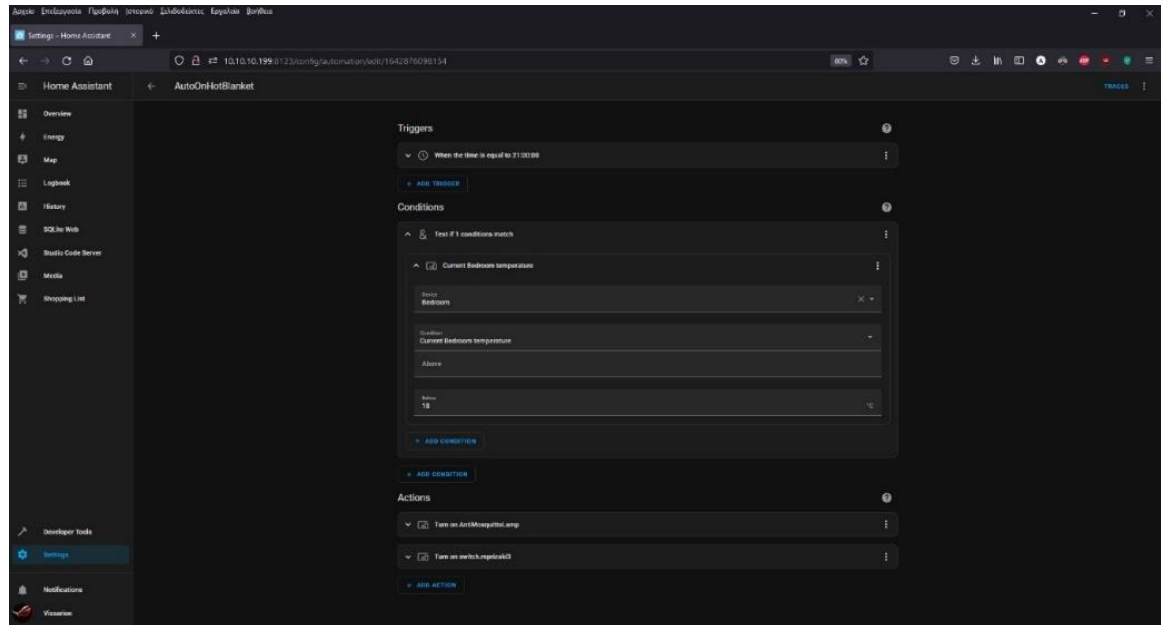
Εικόνα 92. Template δημιουργίας αυτοματισμών.

Το Home Assistant παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας αυτοματισμών χωρίς την ανάγκη εισαγωγής κώδικα μέσω του template της εικόνας 92. Στο πεδίο Triggers ορίζονται τα γεγονότα τα οποία θα ενεργοποιήσουν ένα σενάριο αυτοματισμού. Στο προαιρετικό πεδίο Conditions ορίζονται οι συνθήκες που πρέπει πληρούνται όταν ενεργοποιηθεί ο αυτοματισμός. Τέλος στο πεδίο Actions ορίζονται οι ενέργειες που θα εκτελεστούν αν ικανοποιούνται οι συνθήκες των δύο παραπάνω πεδίων. Στις εικόνες 93 – 96 παρουσιάζονται παραδείγματα αυτοματισμών.



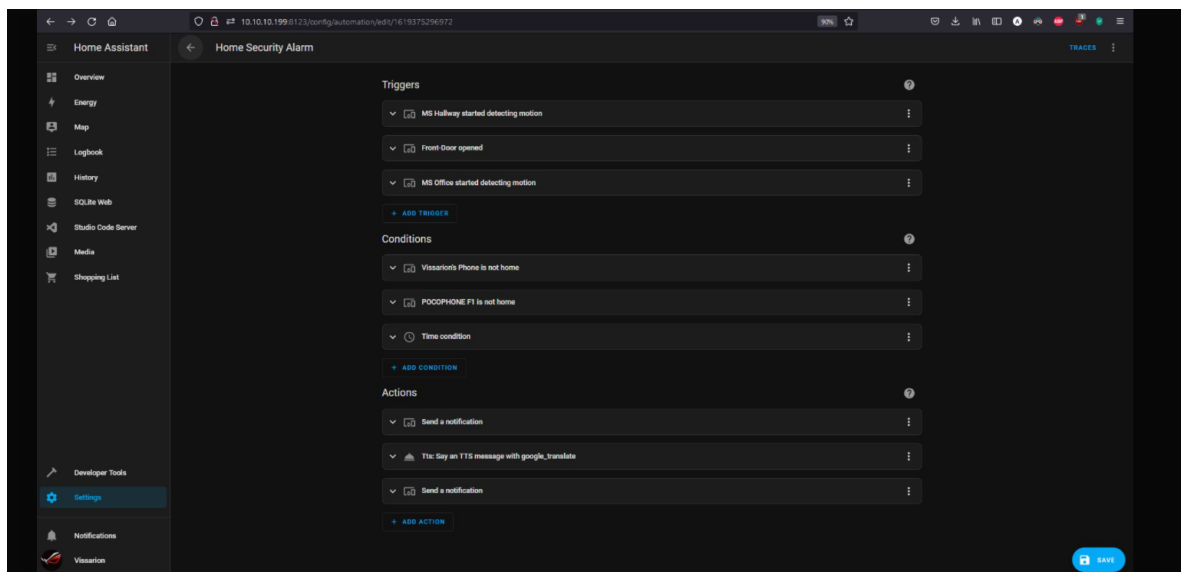
Εικόνα 93. Παράδειγμα αυτοματισμού 1

Όταν μία από τις δύο ορισμένες συσκευές της εικόνας 93 εισέλθουν στη ζώνη «Σπίτι» και εφόσον ικανοποιείται η συνθήκη στο πεδίο conditions, ανάβει η λάμπα της εξώπορτας για 15 λεπτά και στη συνέχεια σβήνει.



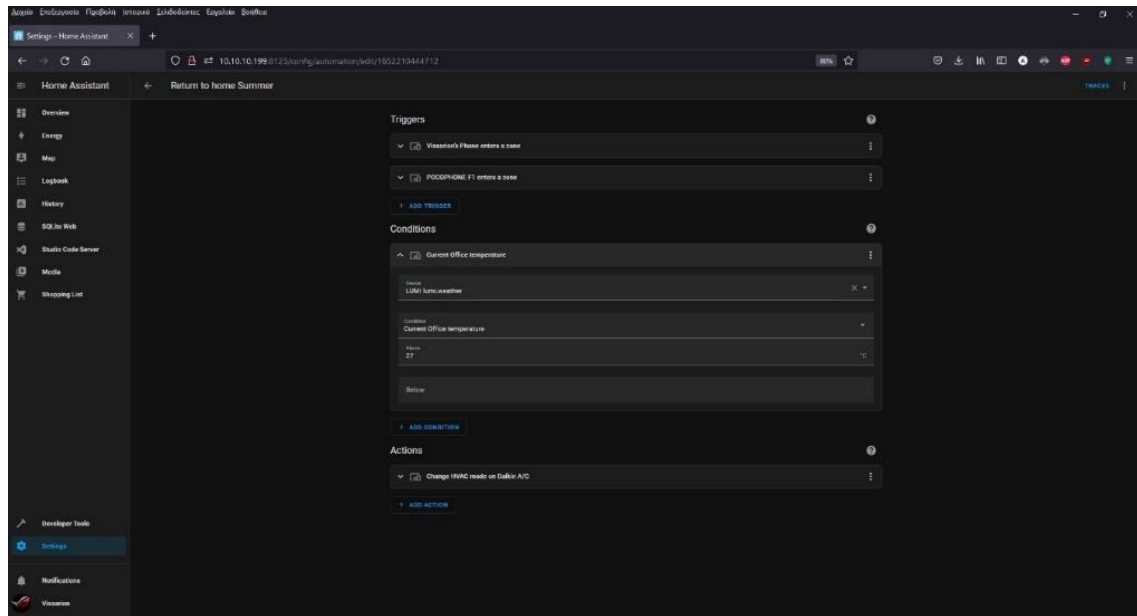
Εικόνα 94. Παράδειγμα αυτοματισμού 2.

Στο σενάριο αυτοματισμού της εικόνας 94, αν η θερμοκρασία στο υπνοδωμάτιο είναι κάτω από τους 18 βαθμούς στις 9 μμ, ενεργοποιείται η έξυπνη πρίζα που είναι συνδεδεμένη με θερμαινόμενο υπόστρωμα και μία δεύτερη με αντικουνουπική συσκευή.



Εικόνα 95. Παράδειγμα αυτοματισμού 3

Σύμφωνα με τον αυτοματισμό της εικόνας 95, αν εντοπιστεί κίνηση από τους αισθητήρες ή ανοίξει η εξώπορτα όταν καμία από τις καθορισμένες συσκευές κινητού τηλεφώνου δεν βρίσκεται στον χώρο, αποστέλλονται ενημερώσεις και στις δύο συσκευές και αναπαράγεται ένα καθορισμένο ηχητικό μήνυμα στο Google Home, ενώ ταυτόχρονα έχει οριστεί χρονικός περιορισμός εκτέλεσης του αυτοματισμού.

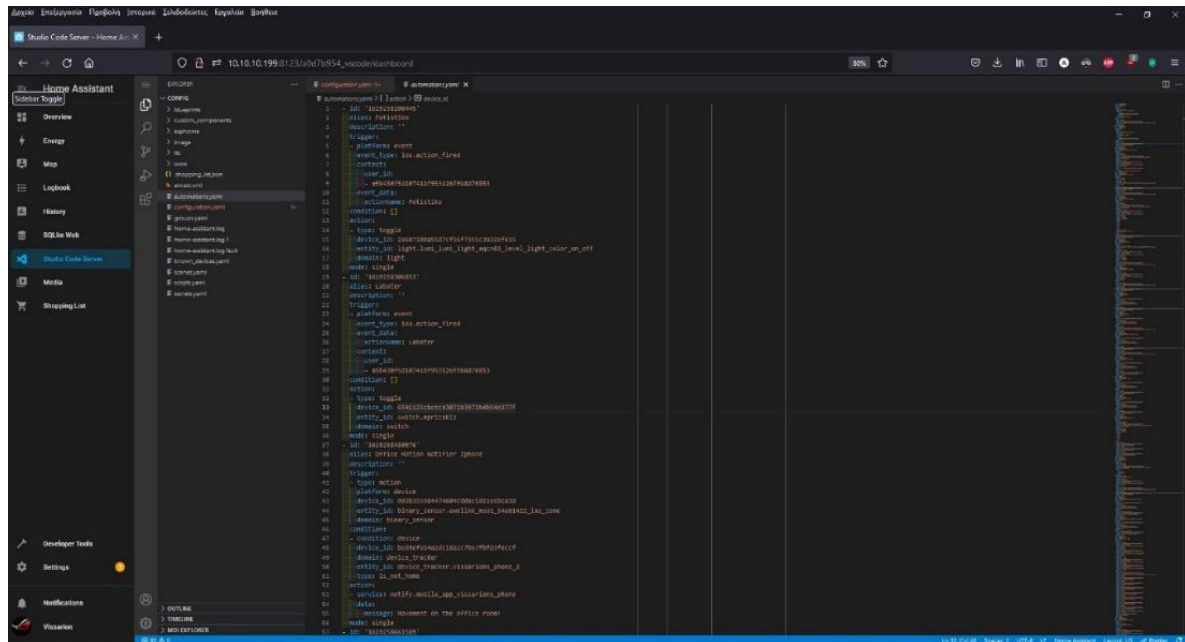


Εικόνα 96. Παράδειγμα αυτοματισμού 4

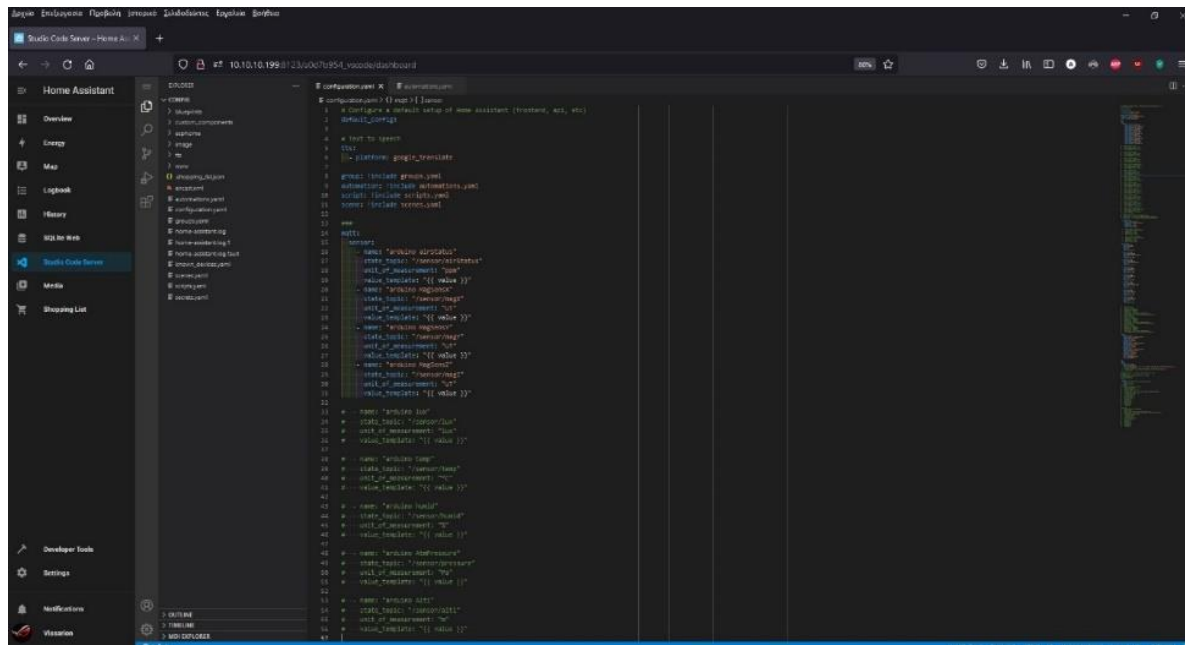
Σύμφωνα με το σενάριο της εικόνας 96 όταν μία από τις δύο συσκευές επιστρέψουν σπίτι και η θερμοκρασία στο γραφείο είναι πάνω από 27 βαθμούς ενεργοποιείται η λειτουργία ψύξης στο κλιματιστικό.

## 4.5 Studio Code Server Tab – Κάρτα Επέκτασης Studio Code Server

Στις εικόνες που ακολουθούν 97-98 παρουσιάζεται το περιβάλλον του πρόσθετου με το οποίο είναι δυνατή η πρόσβαση και μεταβολή των αρχείων .yaml του Home Assistant.

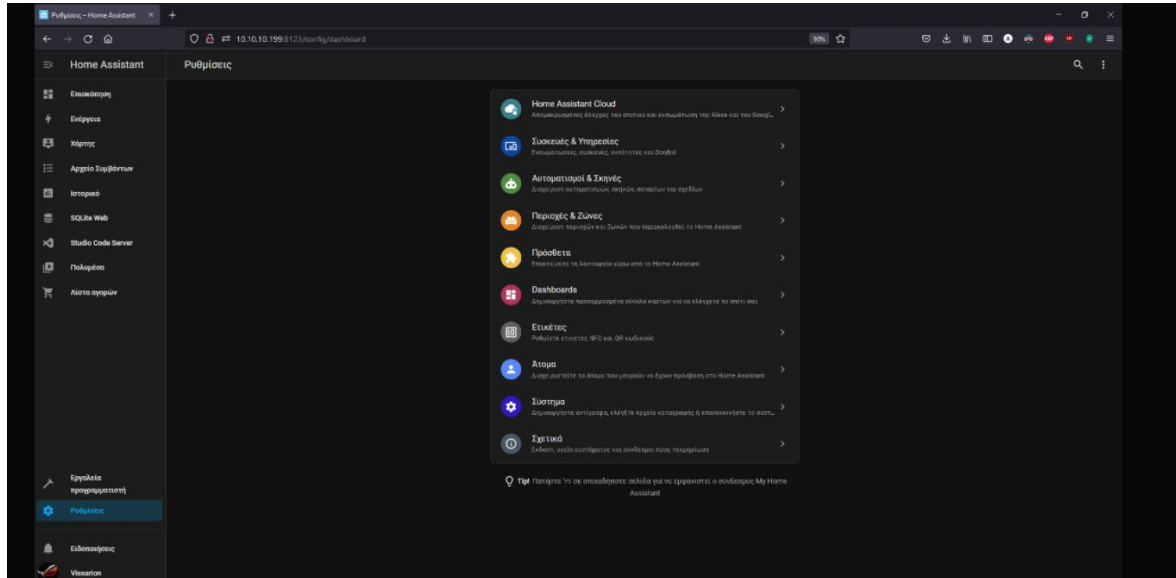


Εικόνα 97. Διεπαφή Studio Code Server (α)

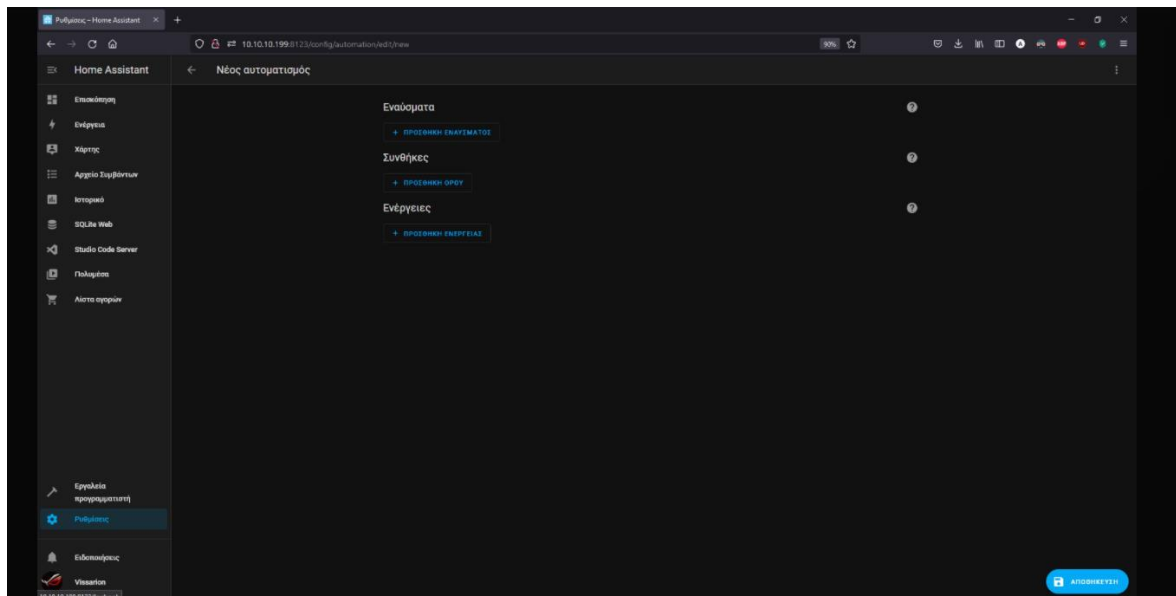


Εικόνα 98 Διεπαφή Studio Code Server (β)

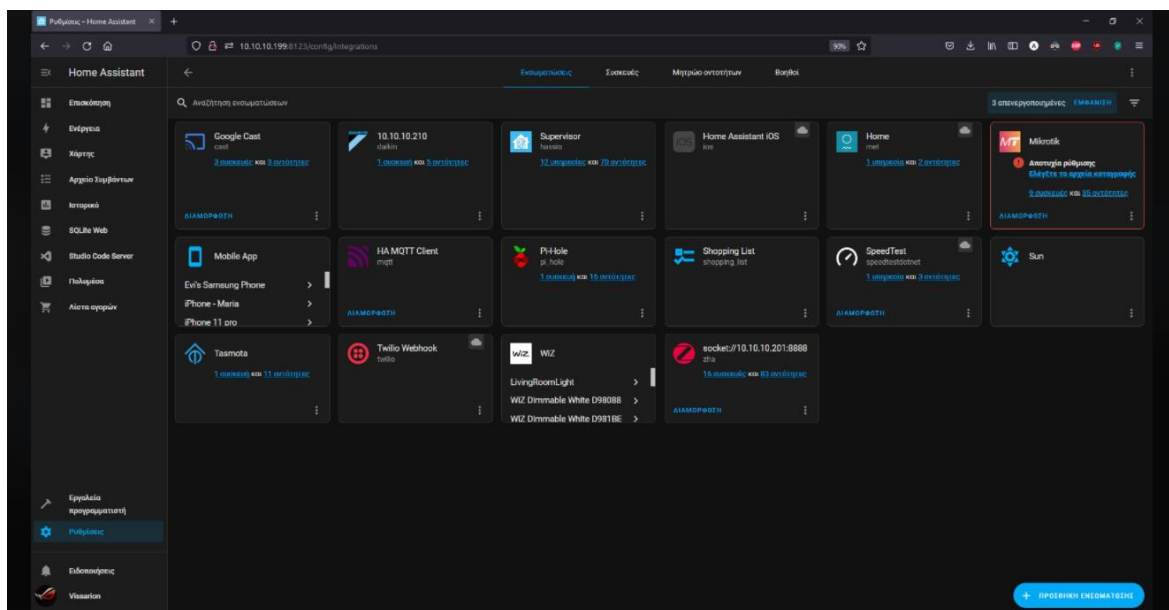
## 4.6 Ενδεικτικά Στιγμιότυπα Οθόνης της διεπαφής του Home Assistant στα Ελληνικά



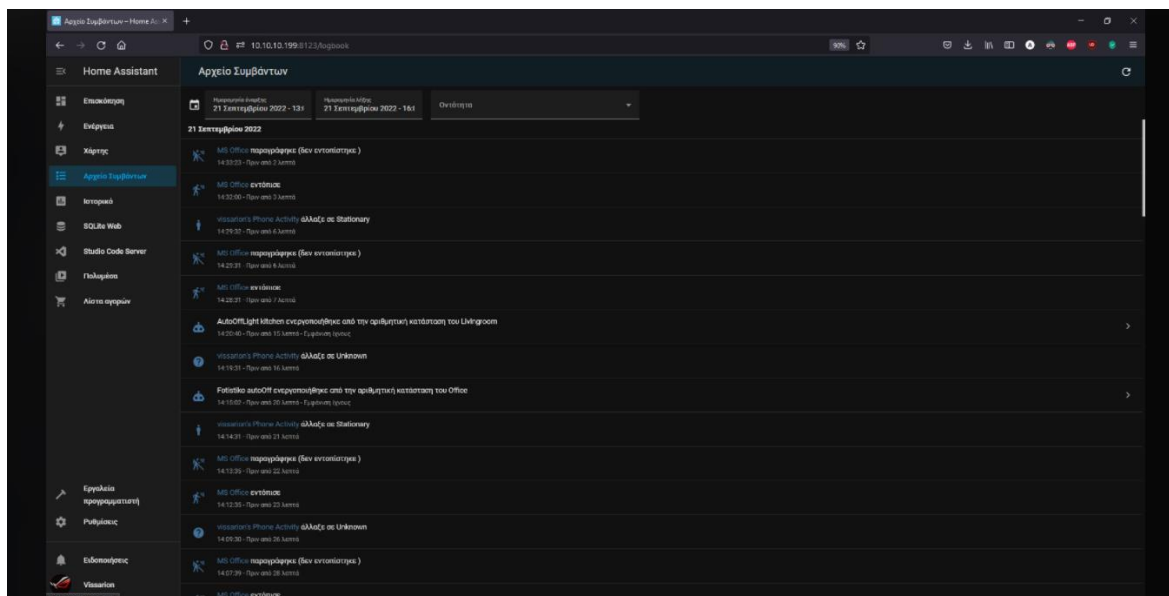
Εικόνα 99. Διεπαφή Home Assistant στα Ελληνικά (α)



Εικόνα 100. Διεπαφή Home Assistant στα Ελληνικά (β)



Εικόνα 101. Διεπαφή Home Assistant στα Ελληνικά (γ)



Εικόνα 102. Διεπαφή Home Assistant στα Ελληνικά (δ)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Κόστος και Περιορισμοί - Προοπτικές για μελλοντική έρευνα

### 5.1 Κόστος

Το κόστος του υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του προτεινόμενου έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τις ανάγκες των ενοίκων. Η τιμή αγοράς της κάθε μονάδας, αν και αυξήθηκε από την αρχή του έτους λόγω της γενικής αύξησης τιμών - επακόλουθης της ενεργειακής κρίσης – παραμένει εξαιρετικά χαμηλή. Ωστόσο μπορεί αθροιστικά το κόστος να είναι υπολογίσιμο αν χρησιμοποιηθεί μεγάλος αριθμός αισθητήρων και ενεργοποιητών καθώς και έξυπνων συσκευών, η τιμή των οποίων παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση ανάλογα με τις δυνατότητες της κάθε μίας. Ενδεικτικά αναφέρονται οι έξυπνες λάμπες με τιμές που κυμαίνονται από μερικά ευρώ ως και πάνω από 20, ανάλογα με το πρωτόκολλο επικοινωνίας της κάθε μίας και των δυνατοτήτων της.

Καθώς για τις ανάγκες του έργου χρησιμοποιήθηκε λογισμικό ανοικτού κώδικα, το κόστος της χρήσης λογισμικού είναι μηδενικό. Ένα πρόσθετο κόστος, το οποίο θα πρέπει να συνηυπολογιστεί, είναι η συνδρομή για την υπηρεσία cloud της Nabu Casa η οποία επιτρέπει τη σύνδεση έξυπνων βοηθών πχ Alexa, Google Home κλπ. και τον έλεγχό τους με φωνητικές εντολές χωρίς αποστολή δεδομένων σε εξωτερικούς server καθώς και την απομακρυσμένη πρόσβαση στο Home Assistant. Η ετήσια συνδρομή κοστίζει 75 ευρώ και η μηνιαία 7,5 ευρώ ενώ παρέχεται ένας μήνας δωρεάν δοκιμής χωρίς ανάγκη καταχώρησης στοιχείων πληρωμής(εικ. 99).

### European Union

---

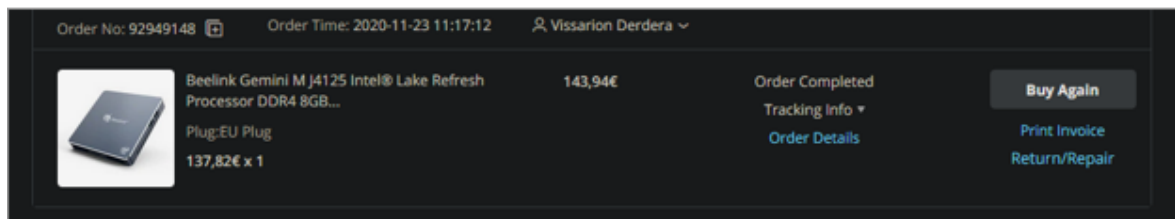
The monthly subscription costs 7.50 EUR per month and the annual subscription 75 EUR, including value-added tax (VAT).

Εικόνα 103. Τιμή συνδρομής στο Home Assistant Cloud. Προσαρμοσμένο από [83]

Στον πίνακα 13 που ακολουθεί υπάρχουν μερικές από τις συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν και οι κατώτερες τιμές που εντοπίστηκαν, καθώς και το κόστος της προτεινόμενης από την ομάδα του Home Assistant συσκευής για την εγκατάστασή του(Raspberry Pi 4 Model B) . Για έλεγχο της διαθεσιμότητας και της εξέλιξης της τιμής, το όνομα του κάθε προϊόντος



έχει συνδεθεί με την ανάλογη σελίδα πώλησης. Για το BeeLink Gemini, το κόστος είναι η τιμή αγοράς όπως εμφανίζεται στο ηλεκτρονικό ιστορικό αγοράς του. (εικ. 100 )



Εικόνα 104 Κόστος Beelink Gemini

Πίνακας 13. Ενδεικτικές τιμές υλικού

Προϊόν	Τιμή σε Ευρώ
<a href="#">NodeMcu ESP8266 WIFI</a>	6,49
<a href="#">Waveshare Gas Sensor</a>	6,60
<a href="#">HMC5883L Μαγνητόμετρο</a>	6,00
<a href="#">Xiaomi Αισθητήρας Φωτός</a>	19,65
<a href="#">Aqara Αισθητήρας Θερμοκρασίας/Υγρασίας</a>	15,94
<a href="#">Sonoff ZBBridge</a>	13,79
<a href="#">WiZ Smart Λάμπα</a>	15,56
<a href="#">Aqara Αισθητήρας Πόρτας/Παραθύρου</a>	16,70
<a href="#">SONOFF SNZB-03 - ZigBee Motion Sensor</a>	6,45
<a href="#">Xiaomi Έξυπνος Διακόπτης</a>	6,89
<a href="#">Xiaomi Έξυπνη Πρίζα</a>	16,82
<a href="#">Aqara Έξυπνη Λάμπα ZigBee</a>	19,37
<b>Beelink Gemini M J4125</b>	<b>137,82</b>
<a href="#">Raspberry Pi 4 Model B/4GB</a>	70,20
<a href="#">Camera D-Link</a>	45,43

## 5.2 Περιορισμοί

Παρόλο που η χρήση ενός συστήματος οικιακού αυτοματισμού ανοικτού κώδικα έχει πλεονεκτήματα που έχουν ήδη αναλυθεί προηγουμένως, είναι γεγονός πως, όπως όλα τα project με εξάρτηση από τη συνεισφορά της κοινότητας των προγραμματιστών, κινδυνεύουν να εγκαταλειφθούν αν μειωθεί το ενδιαφέρον γι' αυτά. Αν και προς το παρόν δεν φαίνεται να υπάρχει τέτοιος κίνδυνος για το Home Assistant, ως γεγονός δεν μπορεί να παραβλεφθεί.

Επιπλέον, όπως έγινε αντιληπτό από την περιγραφή της διαδικασίας εγκατάστασης και παραμετροποίησης των εφαρμογών και συσκευών που συμμετέχουν στο προτεινόμενο έξυπνο οικιακό περιβάλλον, είναι απαραίτητες τεχνικές γνώσεις τόσο για την εγκατάσταση του συστήματος όσο και για την εκ νέου παραμετροποίησή του σε περίπτωση που προκύψει κάποιο πρόβλημα. Μία επιπλέον λεπτομέρεια η οποία περιορίζει την ευχρηστία του συστήματος είναι η έλλειψη επίσημης υποστήριξης (με τη μορφή τηλεφωνικής ή γραπτής επικοινωνίας με τεχνικό υποστήριξης). Τα προκύπτοντα προβλήματα μπορούν να επιλυθούν ωστόσο με τη βοήθεια της κοινότητας μέσω forum.

Κατά την προσθήκη νέων έξυπνων συσκευών στο έξυπνο οικιακό περιβάλλον, είναι απαραίτητο να υπάρχουν οι κατάλληλες προϋποθέσεις για την ορθή λειτουργία τους. Η προσθήκη, για παράδειγμα, στο σύστημα συσκευών για τις οποίες δεν υπάρχει το ανάλογο επίσημο πρόσθετο ή integration στο Home Assistant και η χρήση κάποιας μη επίσημα υποστηριζόμενης λύσης, είναι δυνατό να οδηγήσει σε δυσλειτουργία αυτών. Κατά τη διάρκεια της εξέλιξης του προτεινόμενου έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος και πριν την επίσημη υποστήριξη των προϊόντων της εταιρείας WiZ (έξυπνος φωτισμός) από το Home Assistant, έγινε χρήση του integration HACS. Η συγκεκριμένη επέκταση καθιστά δυνατή την χρήση μη δοκιμασμένων και υποστηριζόμενων από την ομάδα του Home Assistant integrations, μία από τις οποίες υποστήριζε τις έξυπνες λάμπες WiZ. Ωστόσο υπήρχαν προβλήματα όπως η ξαφνική αποσύνδεση κάποιων από τους έξυπνους λαμπτήρες, η περιστασιακή μη αναγνώρισή τους από το σύστημα κλπ. Έπειτα από την έκδοση εγκεκριμένου integration για τα εν λόγω προϊόντα και εγκατάστασή του στο σύστημα, τα προαναφερθέντα προβλήματα δεν προέκυψαν εκ νέου και η λειτουργία του συστήματος ήταν βέλτιστη.

Τέλος, δεν μπορεί να παραβλεφθεί ως περιορισμός το κόστος των έξυπνων συσκευών. Όσο χαμηλότερο είναι το κόστος ενός αισθητήρα για παράδειγμα τόσο περισσότερες τεχνικές γνώσεις πρέπει να διαθέτει ο χρήστης για την ενσωμάτωσή του στο έξυπνο οικιακό περιβάλλον. Αντί της χρήσης μίας έξυπνης κάμερας όπως αυτή που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες του παρόντος έργου με κόστος ....είναι δυνατή η χρήση ενός ESP32-CAM με δυνατότητα αναγνώρισης προσώπου. Σε συνδυασμό με έναν αισθητήρα κίνησης και το μισό κόστος αλλά με ανάγκη προγραμματισμού μικροελεγκτή κλπ είναι δυνατή η πλήρης λειτουργική υποκατάσταση της ακριβότερης κάμερας, με όλα όμως τα προβλήματα που συνεπάγεται οποιαδήποτε DIY λύση. Παράλληλα τα τελευταία δύο χρόνια λόγω της πανδημίας του Κορονοϊού και της διαταραχής του παγκόσμιου εμπορίου που αυτή επέφερε δεν είναι σπάνιες οι ελλείψεις αισθητήρων και συσκευών καθώς στην πλειοψηφία τους κατασκευάζονται σε χώρες της Ασίας.

### 5.3 Προοπτικές για μελλοντική έρευνα

Σήμερα οι έννοιες της τεχνητής νοημοσύνης(Artificial Intelligence- AI), της μηχανικής μάθησης (Machine Learning- ML) και της βαθιάς μάθησης (Deep Learning- DL) χρησιμοποιούνται χωρίς διάκριση ως ταυτόσημες, χωρίς όμως να είναι.

- Όταν ένας «εκπαιδευμένος» πράκτορας ενεργεί με ευφυή τρόπο, αναφερόμαστε σε αυτόν ως AI στο σύνολό του.
- Η ML αναφέρεται στην ικανότητα του ευφυούς πράκτορα να προσαρμόζεται σε νέες συνθήκες, να εντοπίζει και να εξάγει μοτίβα. Η διαδικασία ML εμπεριέχει τη χρήση ενός προκαθορισμένου συνόλου κανόνων που ονομάζονται αλγόριθμοι μάθησης στο οποίο έχει δοθεί ένας σημαντικός όγκος δεδομένων. Μέσω αυτής της διαδικασίας εκμάθησης καθίσταται δυνατή η ικανότητα λήψης αποφάσεων. Η ML έχει τρεις κατηγορίες με βάση την ανατροφοδότηση που παράγει η κάθε μία :την επιβλεπόμενη, τη μη επιβλεπόμενη και την ενισχυτική μάθηση.
  - Η υπό επίβλεψη μάθηση είναι η διαδικασία κατά την οποία σύνολα δεδομένων που περιέχουν χαρακτηριστικά με επισημασμένα και στενευμένα

παραδείγματα αναλύονται από αλγόριθμους προκειμένου να δημιουργηθεί μια συσχέτιση μεταξύ ενός διανύσματος  $x$  και μιας τιμής  $y$  και στη συνέχεια να μάθουν να προβλέπουν το  $y$  από το  $x$ .

- Στη μάθηση χωρίς επίβλεψη, οι αλγόριθμοι αναλύουν ένα μεγάλο σύνολο δεδομένων και συνάγουν χρήσιμες ιδιότητες της δομής του συνόλου δεδομένων, χωρίς καμία παρέμβαση ή καθοδήγηση. Η ομαδοποίηση συνόλων δεδομένων με βάση κοινές τιμές είναι μια εργασία που εκτελείται με αυτή τη μέθοδο [10].
- Τα όρια μεταξύ των δύο διαδικασιών μάθησης συχνά δεν είναι στεγανά, οδηγώντας στην ημίν-επιβλεπόμενη μάθηση, όπου ορισμένα παραδείγματα επισημαίνονται ενώ άλλα όχι [84].
- Η ενισχυτική μάθηση επιτυγχάνεται μέσω μιας μεθόδου ανταμοιβής ή τιμωρίας. Ο αλγόριθμος εκπαιδεύεται με σενάρια δοκιμής και σφάλματος, προκειμένου να ανακαλύψει ποια ενέργεια θα μεγιστοποιήσει τελικά όχι μόνο την άμεση ανταμοιβή αλλά και όλες τις επακόλουθες ανταμοιβές, μετά την ανάληψη της αρχικής δράσης. Αυτή η μέθοδος σταδιακά εξελίσσεται σε έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους ερευνητικούς τομείς της τεχνητής νοημοσύνης τα τελευταία χρόνια [85].
- Τα DL ή Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα εμπίπτουν στην κατηγορία μάθησης με επίβλεψη.

Είναι εύλογο ότι η ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης ανοίγει συνεχώς νέους ορίζοντες στην έρευνα για την ανάπτυξη και εξέλιξη των έξυπνων οικιακών περιβαλλόντων και των δυνατοτήτων που αυτά διαθέτουν και οι προοπτικές αυτές ήταν εμφανείς στο παρελθόν. Οι [86] ήδη από το 2007 επιχείρησαν να αναπτύξουν μία αρχιτεκτονική δικτύου αισθητήρων /ενεργοποιητών για έξυπνα οικιακά περιβάλλοντα που απευθύνονται σε ηλικιωμένους και άτομα με αναπηρίες. Η εργασία τους συμπεριελάμβανε την χρήση ισχυρών ενεργοποιητών, όπως για παράδειγμα κινητά ρομπότ: αυτόνομες, αυτόματες μηχανές, ικανές να κινούνται σε ένα περιβάλλον, στην πλειοψηφία τους τροχοφόρες. Ένα άλλο σημείο στο οποίο επικεντρώθηκαν οι εν λόγω ερευνητές ήταν η δημιουργία ενός συστήματος παρακολούθησης της υγείας των ενοίκων και παροχής βοήθειας σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. [86]

Κατά τους ίδιους για να αλληλοεπιδρά με τον ιατρό και να ελέγχονται τα ζωτικά σημεία και οι τιμές διατηρώντας τον ενήμερο, η αρχιτεκτονική πρέπει να αναπτυχθεί για να συλλέγει δεδομένα, να αναλύει τα δεδομένα τοπικά, να καθιστά τα δεδομένα προσβάσιμα, να ξεκινά μια κλήση έκτακτης ανάγκης και να παρέχει επικοινωνία μέσω βίντεο/ήχου. Επιπλέον, τα κινητά ρομπότ θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για εργασίες συντήρησης και διαχείρισης που αφορούν το δίκτυο, την κατανομή εργασιών και ως κινητοί αισθητήρες και για τον εντοπισμό συχνά χαμένων αντικειμένων (FLO).

Οι ίδιοι προέβλεπαν ότι το επόμενο βήμα της έρευνας για την ανάπτυξη των έξυπνων οικιακών περιβαλλόντων θα κατευθυνόταν προς την τεχνητή νοημοσύνη, την αυτομάθηση και τα αυτοοργανωμένα συστήματα. Το περιβάλλον, που δεν θα υπόκειται σε συνεχή κεντρικό έλεγχο, θα συγκεντρώνει και αναλύει δεδομένα ενώ θα λειτουργεί σχεδόν αυτόνομα. Έτσι είναι θα είναι δυνατόν να εντοπίζονται (συμπεριφορικά) πρότυπα σε όλα τα τμήματα της ζωής των ενοίκων, όπως η κατανάλωση, ο ύπνος κ.λπ. Επίσης επισημαίνουν ότι ο χρήστης δεν θα πρέπει να αισθάνεται εξαρτημένος από την τεχνολογία, ούτε ότι παρακολουθείται και ελέγχεται, γεγονός το οποίο απαιτεί διαφανή τεχνολογία και κρυφή πολυπλοκότητα, ιδίως όσον αφορά το ευρύ φάσμα διαφορετικών χρηστών.

15 χρόνια αργότερα οι κατευθύνσεις της έρευνας και ανάπτυξης ευφυών σπιτιών έχουν επαληθεύσει τις προβλέψεις των ερευνητών. Η Αναγνώριση Ανθρώπινης Δραστηριότητας (Human Activity Recognition - HAR) έχει προσελκύσει μεγάλη προσοχή με εφαρμογές όπως η απομακρυσμένη παρακολούθηση της υγείας, η ασφάλεια και η επιτήρηση και τα έξυπνα περιβάλλοντα. Συγκεκριμένα, για την αξιολόγηση της ευημερίας, τα συστήματα HAR δίνουν τη δυνατότητα αναγνώρισης σημαντικών σωματικών δραστηριοτήτων στην καθημερινή ζωή του ενοίκου. Για παράδειγμα, η χρήση αισθητήρων κίνησης για την παρακολούθηση και καταγραφή των φυσικών καταστάσεων και στάσεων των ασθενών με χρόνιες παθήσεις όπως η αρθρίτιδα και οι καρδιαγγειακές παθήσεις που προκαλούν περιορισμούς στην κινητικότητα μπορεί να είναι χρήσιμη στην αξιολόγηση της συμπεριφοράς. Αυτές οι φυσικές καταγραφές, ειδικά για άτομα με αναπηρία ή ηλικιωμένους, παρέχουν στους φροντιστές χρήσιμες πληροφορίες για τη θεραπεία. Σήμερα, πολλοί τύποι αισθητήρων χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση της ανθρώπινης δραστηριότητας, συμπεριλαμβανομένων των βασισμένων στην όραση (vision-based), αυτών που μπορούν να

φορεθούν (wearable), των με ετικέτες αντικειμένων (object-tagged) και των χωρίς συσκευές (device-free). Οι αισθητήρες χωρίς συσκευές χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανίχνευση πτώσεων, αν και έχουν εμφανιστεί και άλλες εφαρμογές ευημερίας, όπως η αξιολόγηση της γνωστικής ικανότητας, η παρακολούθηση της αναπνοής και η ανίχνευση άνοιας. [87]

Έχουν, για παράδειγμα, προταθεί λύσεις για έγκαιρη ανίχνευση συμπτωμάτων γνωστικής έκπτωσης με μία μέθοδο που βασίζεται σε κλινικά μοντέλα που εξετάζουν τις ανωμαλίες συμπεριφοράς, τον χωρικό αποπροσανατολισμό και τις περιπλανώμενες συμπεριφορές και οι οποίες παρέχουν προβλέψεις για ανάπτυξη γνωστικών δυσλειτουργιών. Ένας πίνακας οργάνων με τεχνητή νοημοσύνη επιτρέπει στους κλινικούς γιατρούς να επιθεωρούν τις ανωμαλίες και το σύστημα τεχνητής νοημοσύνης έχει τη δυνατότητα να τους παρέχει σε φυσική γλώσσα εξηγήσεις για τις προβλέψεις που κάνει. [88]

Επιπλέον επισημαίνεται ότι για τους ηλικιωμένους και τα άτομα με μειωμένη κινητικότητα, η πτώση θεωρείται ως ένας από τους κύριους λόγους θανάτου ή μετατραυματικής επιπλοκής. Συνίσταται ο έγκαιρος εντοπισμός των πτώσεων ενοίκων έξυπνων σπιτιών για να αυξηθεί το ποσοστό επιβίωσης του ατόμου ή να προσφερθεί η απαιτούμενη υποστήριξη. Η έλευση της τεχνητής νοημοσύνης (AI), του IoT, των wearables, των smartphones κ.λπ. καθιστά εφικτό τον σχεδιασμό συστημάτων ανίχνευσης πτώσεων για την έξυπνη οικιακή φροντίδα. Υπό αυτό το πρίσμα έχουν παρουσιαστεί μοντέλα ανίχνευσης πτώσης, όπως αυτό με δυνατότητα IoT που χρησιμοποιεί το βέλτιστο βαθύ νευρωνικό δίκτυο συνελίξεων (optimal deep convolutional neural network -ODCNN) για έξυπνη κατ' οίκον φροντίδα. Ο στόχος του μοντέλου IMEFD-ODCNN είναι να δώσει τη δυνατότητα σε smartphones και σε ευφυείς αλγορίθμους βαθιάς μάθησης (DL) να ανιχνεύουν την εμφάνιση πτώσεων σε ευφυή οικιακά περιβάλλοντα. [89]

Επιπλέον, μια σειρά από ρομποτικές υπηρεσίες σε ευφυή οικιακά περιβάλλοντα έχουν δοκιμαστεί από διάφορους ερευνητές. Ρομπότ χρησιμοποιούνται όταν ένα άτομο είναι άρρωστο ή αναρρώνει από μια ασθένεια (όπου δεν επιτρέπονται τα κατοικίδια ζώα) και βοηθούν στη διαδικασία ανάρρωσης. Τα έξυπνα ρομποτικά περιβάλλοντα είναι επίσης πολύ χρήσιμα για τα άτομα που πάσχουν από άνοια, όπου μπορούν να χρησιμεύσουν ως σύντροφοι προκαλώντας έτσι θετική διάθεση και μειώνοντας τη μοναξιά [90] .

Πέρα από την εστίαση στις ανάγκες πρόληψης ατυχημάτων, παρακολούθησης της υγείας και παροχής βοήθειας σε ηλικιωμένους και άτομα με αναπηρίες, η ανάπτυξη έξυπνων δικτύων διανομής ενέργειας και η εφαρμογή έξυπνων μετρητών από παρόχους ενέργειας οδηγούν την έρευνα και προς αυτή την κατεύθυνση. Η παραγωγή ενέργειας από τους καταναλωτές με τη χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ, ιδίως σε χώρες όπως η Ελλάδα με μεγάλο ποσοστό ετήσιας ηλιοφάνειας, συνδυαζόμενη με την ενεργειακή κρίση που μαστίζει το δυτικό κόσμο τους τελευταίους μήνες είναι πιθανό να οδηγήσει τις εξελίξεις.

Σύμφωνα με τους [91], τα περιβάλλοντα των έξυπνων δικτύων (Smart Grid- SG) τείνουν να προσφέρουν μεγαλύτερη ελευθερία και κίνητρα στους οικιακούς χρήστες να γίνουν παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας. Τα προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση (Demand Response- DR) υποστηρίζουν τις εταιρείες για την παροχή καλύτερων δράσεων σχεδιασμού για το δίκτυο και ενθαρρύνουν τους οικιακούς χρήστες να αλλάξουν τις συμπεριφορές τους ως προς την χρήση οικιακών φορτίων. Τα συστήματα Smart Home μπορούν να εκτελούν αυτόματα έξυπνες δράσεις DR προκειμένου να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας των χρηστών μέσω συστημάτων που εφαρμόζουν μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης και έννοιες του Διαδικτύου των Πραγμάτων για τη διαχείριση των οικιακών φορτίων φωτισμού και των συστημάτων HV/AC. Τα παρακολουθούμενα περιβαλλοντικά δεδομένα των κατοικιών, η παραγωγή ενέργειας και η κατάσταση του συστήματος διαχείρισης μπαταριών χρησιμοποιούνται στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Ένα παρόμοιο σύστημα επιτρέπει την ενσωμάτωση με ένα σύστημα διαχείρισης αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες, η οποία θα παρέχει πληροφορίες για το πότε πρέπει να χρησιμοποιείται η ενέργεια που παράγεται από τους ηλιακούς συλλέκτες και πότε να γίνεται αποθήκευση ενέργειας σε μπαταρίες. [91]

Είναι προφανές ότι η πλειοψηφία των ερευνητών τείνει να εστιάζει στις τεχνικές λεπτομέρειες των ευφύων οικιακών περιβαλλόντων και την αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων των διαφόρων τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών ώστε να μπορέσουν οι ηλικιωμένοι να ζήσουν ανεξάρτητα και να προωθήσουν την αίσθηση της συνολικής ευημερίας τους. Παραβλέπουν όμως την διαδικασία υιοθέτησής αυτών των συστημάτων από τον ηλικιωμένο πληθυσμό και την αποδοχή τους ως μέρος της καθημερινότητάς του. Οι [90] χρησιμοποιώντας τα θεωρητικά πλαίσια Μοντέλο Αποδοχής της Τεχνολογίας (Technology Ac-

ceptance Model –TAM), της Θεωρίας της Αιτιολογημένης Δράσης (Theory of Reasoned Action -TRA) και της Θεωρίας της Προγραμματισμένης Συμπεριφοράς (Theory of Planned Behavior –TPB) παρέχουν τις αρχικές βάσεις για τη διερεύνηση της διαδικασίας υιοθέτησης υπηρεσιών έξυπνου σπιτιού από τους ηλικιωμένους με πιθανά μελλοντικά ερευνητικά πεδία. Τα συμπεράσματά τους συμπεριλαμβάνουν τα εξής:

- Για τους ηλικιωμένους η ευκολία με την οποία μπορούν να χειρίζονται μια συγκεκριμένη συσκευή ή να χρησιμοποιούν μια συγκεκριμένη τεχνολογία υπερτερεί κατά πολύ της χρησιμότητας που αποκομίζουν από τη χρήση αυτών των υπηρεσιών.
- Θα ήταν χρήσιμο εάν οι κατασκευαστές συσκευών και οι πάροχοι υπηρεσιών δεν είναι μόνο σε θέση να σχεδιάσουν εύχρηστα συστήματα, αλλά και να παρέχουν κάποια μορφή επίδειξης ή εκπαίδευσης σχετικά με τα προϊόντα τους για να εξοικειωθούν οι ηλικιωμένοι με την πραγματική χρήση του συστήματος. Αυτό μπορεί επίσης να βοηθήσει στη δημιουργία μιας αίσθησης ευαισθητοποίησης σχετικά με τα οφέλη της χρήσης ενός έξυπνου σπιτιού και οι πιθανότητες υιοθέτησης μιας τέτοιας τεχνολογίας θα αυξηθούν.
- Οι ηλικιωμένοι τείνουν να βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στη γνώμη των φίλων, των συγγενών και άλλων αξιόπιστων πηγών τους σχετικά με τη χρήση των υπηρεσιών έξυπνου σπιτιού και βρίσκουν την ιδέα της χρήσης ενός έξυπνου σπιτιού ωφέλιμη και σημαντική. Αυτό σημαίνει ότι οι τεχνικές μάρκετινγκ από στόμα σε στόμα και οι τεχνικές χιονοστιβάδας μπορούν να αποτελέσουν έναν αποτελεσματικό τρόπο διάδοσης των πλεονεκτημάτων της χρήσης μιας τέτοιας τεχνολογίας.
- Εκ μέρους της κυβέρνησης και άλλων αρμόδιων φορέων μπορούν να ξεκινήσουν προγράμματα ευαισθητοποίησης μεγάλης κλίμακας και εκστρατείες από πόρτα σε πόρτα, που προωθούν τη χρήση των υπηρεσιών έξυπνου σπιτιού μεταξύ των ηλικιωμένων και τους κάνουν να κατανοήσουν σαφώς τα οφέλη που μπορεί να προσφέρει ένα τέτοιο σύστημα, με τη μορφή ανεξάρτητης υποβοηθούμενης διαβίωσης.
- Το υψηλό κόστος για τη δημιουργία ενός έξυπνου σπιτιού μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στη νοοτροπία των ηλικιωμένων με περιορισμένο εισόδημα.



- Οι ανησυχίες για την προστασία της ιδιωτικής ζωής και την ασφάλεια πρέπει να αντιμετωπιστούν και αποτελούν πιθανά υποψήφια πεδία για περαιτέρω μελέτη.
- Δεδομένου ότι τα έξυπνα σπίτια βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην αδιάλειπτη παροχή ρεύματος για τη λειτουργία των διαφόρων συσκευών, υπήρξε σοβαρή ανησυχία σχετικά με την αξιοπιστία των συστημάτων αυτών μεταξύ των ηλικιωμένων σε περίπτωση διακοπής ρεύματος.
- Το αυξημένο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας που θα πρέπει να πληρώσουν οι ηλικιωμένοι λόγω της χρήσης ενός τέτοιου συστήματος φαίνεται να προκαλεί ανησυχία.

[90]

Αν ληφθούν υπόψη όλα τα παραπάνω είναι προφανής η ανάγκη ανάληψης δράσης της πολιτείας, όχι μόνο όσον αφορά την ενημέρωση των ηλικιωμένων και ατόμων με αναπηρίες για τα πλεονεκτήματα της υιοθέτησης έξυπνων οικιστικών λύσεων, αλλά και την παροχή οικονομικών κινήτρων και χρηματοδότησης της εφαρμογής τους. Μελέτες που θα εστιάζουν στην εξοικονόμηση πόρων από την μείωση της ανάγκης περίθαλψης σε δομές ενοίκων ευφύων σπιτιών, κατάρτιση οικονομοτεχνικών μελετών και προϋπολογισμών για την ένταξη ευφύων οικιών σε έξυπνα δίκτυα διανομής ενέργειας και τον εξοπλισμό τους με ηλιακούς συλλέκτες, μπαταρίες κλπ. είναι μερικές μόνο από τις κατευθύνσεις που μπορούν να λάβουν κυβερνητικές ή ενωσιακές καθώς και ερευνητικές πρωτοβουλίες.

Ένας από τους λόγους της επιλογής του HA ως κέντρου ελέγχου του έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος ήταν η συνεχής υποστήριξη της πλατφόρμας με συνεχείς αναβαθμίσεις και προσθήκες νέων χαρακτηριστικών. Η υποστήριξη πολλαπλών τιμολογίων και ενσωμάτωσης έξυπνων μετρητών ενέργειας στο οικοσύστημα του έξυπνου οικιακού περιβάλλοντος μπορεί να γίνει απρόσκοπτα με την προϋπόθεση ότι στο μέλλον θα υποστηρίζεται από παρόχους ενέργειας στην Ελλάδα. [92] Εξάλλου η συμβατότητά του με συσκευές IoT πολλαπλών κατασκευαστών μπορεί να υποστηρίξει την παρακολούθηση της υγείας των ενοίκων μέσω wearables ή άλλων ιατρικού τύπου συσκευών που εξυπηρετούν την επιτήρηση των ζωτικών σημείων των ενοίκων από ιατρικό ή κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό.

## Βιβλιογραφία

- [1] United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division, «World Population Ageing 2020 Highlights: Living arrangements of older persons,» United Nations, New York, 2020.
- [2] OECD, «Elderly population (indicator),» 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://data.oecd.org/pop/elderly-population.htm#indicator-chart>. [Πρόσβαση 2 August 2022].
- [3] X. He, «"Smart Home" - from a concept to a living product,» 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/151017/He\\_Xiang.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/151017/He_Xiang.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Πρόσβαση 15 6 2022].
- [4] K. Vineeth, B. Vamshi και V. Mittal, «Wireless voice-controlled multi-functional secure ehome.,» σε *International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 2017.
- [5] S. Rizvi, I. Sohail, M. M. Saleem, A. Irtaza, M. Zafar και M. Syed, «A Smart Home Appliances Power Management System for Handicapped, Elder and Blind People,» σε *4th International Conference on Computer and Information Sciences (ICCOINS)*, 2018.
- [6] C. Stolojescu-Crisan, C. Crisan και B.-P. Butunoi, «Access control and surveillance in a smart home,» *High-Confidence Computing*, τόμ. 2, αρ. 1, 2022.
- [7] B. Vaidya, A. Patel, A. Panchal, R. Mehta, K. Mehta και P. Vaghasiya, «Smart home automation with a unique door monitoring system for old age people using Python, OpenCV, Android and Raspberry pi,» σε *International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, 2017.

- [8] M. Nasir, K. Muhammad, A. Ullah, J. Ahmad, S. W. Baik και M. Sajjad, «Enabling automation and edge intelligence over resource constraint IoT devices for smart home,» *Neurocomputing*, τόμ. 491, pp. 494-506, 2022.
- [9] J. Hoof, G. Demiris και E. Wouters, *Handbook of Smart Homes, Health Care and Well-Being*, Springer Cham, 2017.
- [10] A. Kaplan και M. Haenlein, «Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence,» *Business Horizons*, τόμ. 62, αρ. 1, pp. 15-25 doi:10.1016/j.bushor.2018.08.004, 2019.
- [11] International Telecommunication Union, «Recommendation ITU-T Y.2060,» 2012.
- [12] International Telecommunication Union, «ITU-T Y.2240,» 2011.
- [13] J. Waleed, A. M. Abduldaïm, T. M. Hasan και Q. S. Mohaisin, «Smart home as a new trend, a simplicity led to revolution,» σε *1st International Scientific Conference of Engineering Sciences - 3rd Scientific Conference of Engineering Science (ISCES)*, 2018.
- [14] C. Z. Yue και S. Ping, «Voice activated smart home design and implementation,» σε *2nd International Conference on Frontiers of Sensors Technologies (ICFST)*, 2017.
- [15] H. Basanta, Y. P. Huang και T. T. Lee, «Assistive design for elderly living ambient using voice and gesture recognition system,» σε *2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 2017.
- [16] M. A. Iqbal, S. K. Asrafuzzaman, M. M. Arifin και S. K. A. Hossain, «Smart home appliance control system for physically disabled people using kinect and X10,» σε *2016 5th International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)*, 2016.
- [17] P. Mtshali και F. Khubisa, « A Smart Home Appliance Control System for Physically Disabled People,» σε *2019 Conference on Information Communications Technology and Society (ICTAS)*, 2019.

- [18] J. P. Müller, «Motivation,» σε *The Design of Intelligent Agents A Layered Approach*, Heidelberg, Springer Berlin, Heidelberg, 1996, pp. 1-2.
- [19] S. J. Russell και P. Norvig, «Intelligent Agents,» σε *Artificial Intelligence A Modern Approach*, Hoboken, Pearson, 2021, pp. 96-97.
- [20] M. Wooldridge και N. R. Jennings, «Intelligent agents: theory and practice,» *The Knowledge Engineering Review*, τόμ. 10, αρ. 2, pp. 115 - 152, 1995.
- [21] m. Challenger, B. T. Tezel, V. Amaral, M. Goulão και G. Kardas, «Chapter 8 - Agent-based cyber-physical system development with SEA\_ML++,» σε *Multi-Paradigm Modelling Approaches for Cyber-Physical Systems*, Elsevier Inc., 2021, pp. 195-219.
- [22] L. Rafferty, F. Iqbal, S. Aleem, Z. Lu, S. C. Huang και P. C. K. Hung, «Intelligent Multi-Agent Collaboration Model for Smart Home IoT Security,» σε *2018 IEEE International Congress on Internet of Things (ICIOT)*, 2018.
- [23] P. Blecha, P. Mikulecky, P. Tucnik και J. Matyska, «"Smart home environment — Agent-based models with scenarios implementation support,» σε *2016 Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS)*, 2016.
- [24] C. H. Lim, P. Anthony και L. Fan, «APPLYING MULTI-AGENT SYSTEM IN A CONTEXT AWARE SMART HOME,» *Borneo Science (The Journal of Science and Technology)*, τόμ. 24, αρ. 1, pp. 53-64, 2009.
- [25] J. D. Cook, «How Smart Is Your Home? Technical advances are bringing intelligent homes that respond to residents' needs and wishes within reach.,» *Science*, τόμ. 335, αρ. 6076, pp. 1579-1581 doi:10.1126/science.1217640, 2012.
- [26] D. Dobrilovic, A. Gaglione, D. Tokody και F. Flammini, «Open-Source Hardware Performance in Edge Computing,» *Smart Cities*, τόμ. IEEE Smart Cities eNewsletter, αρ. July 2021, 2021.

- [27] J. Carlsen, «Google Home vs. Alexa: Which Assistant is Best?,» safewise, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.safewise.com/google-home-vs-alexa/>. [Πρόσβαση 1 August 2022].
- [28] A. M. Zharikov, D. A. Kozin και P. V. Nekrasov, «Design and Implementation of Home Assistant and TouchGFX Interaction Based on STM32 Microcontroller,,» σε *2022 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT)*, 2022.
- [29] S. Saxena, S. Jain, D. Arora και P. Sharma, «Implications of MQTT Connectivity Protocol for IoT based Device Automation using Home Assistant and OpenHAB,» σε *2019 6th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, New Delhi, 2019.
- [30] B. Setz, S. Graef, D. Ivanova, A. Tiessen και M. Aiello, «A Comparison of Open-Source Home Automation Systems,» *IEEE Access*, τόμ. 9, pp. 167332-167352 doi: 10.1109/ACCESS.2021.3136025, 2021.
- [31] L. M. Colman, «Why does Home Assistant have so many names?,» Liam Alexander Colman, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://home-assistant-guide.com/guide/the-home-assistant-beginners-guide-part-1-setting-up-hass-io/#>. [Πρόσβαση 15 July 2022].
- [32] Y. Li, W. Sheng, G. Yang, B. Liang, Z. Su και Z. Chen, «Home Assistant-Based Collaborative Framework of Multi-Sensor Fusion for Social Robot,» σε *2018 13th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, Changsha, 2018.
- [33] Home Assistant Developer Docs, «Core Architecture,» Home Assistant, Inc., 23 May 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://developers.home-assistant.io/docs/architecture/core/>. [Πρόσβαση 15 June 2022].
- [34] A. S. Tanenbaum και D. J. Wetherall, *COMPUTER NETWORKS FIFTH EDITION*, Boston: Prentice Hall, 2011, pp. 17-23.

- [35] J. F. Kurose και K. W. Ross, *Computer Networking A Top-Down Approach Seventh Edition*, Hoboken, New Jersey: Pearson, 2017, pp. 28-82.
- [36] java T point, «Computer Network Models,» java T point, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.javatpoint.com/computer-network-models>. [Πρόσβαση 15 July 2022].
- [37] pliroforiki-edu, «2.2.1. Το μοντέλο αναφοράς για τη Διασύνδεση Ανοικτών Συστημάτων (OSI),» pliroforiki-edu, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.pliroforiki-edu.gr/unit/ch020201-montelo-diasindesis-anoikton-systimaton-osi/>. [Πρόσβαση 17 July 2022].
- [38] pliroforiki-edu, «2.2.2. Το μοντέλο δικτύωσης TCP/IP,» pliroforiki-edu, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.pliroforiki-edu.gr/unit/ch020202-to-montelo-diktyosis-tcp-ip/>. [Πρόσβαση 17 July 2022].
- [39] D\_Link, «D-Link Wi-Fi 6 Whitepaper online,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eu.dlink.com/rs/sr/-/media/resource-centre/brochures-and-product-guides/dlink-wifi-6-whitepaper.pdf>. [Πρόσβαση 28 June 2022].
- [40] E. Khorov, A. Kiryanov, L. A και G. Bianchi, «A Tutorial on IEEE 802.11ax High Efficiency WLANs,» *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, τόμ. 21, αρ. 1, pp. 197-216 doi: 10.1109/COMST.2018.2871099, 2019.
- [41] P. Serrano, P. Salvador, V. Mancuso και Y. Grunenberger, «Experimenting with commodity 802.11 hardware: Overview and future directions,» *IEEE Communication Surveys & Tutorials* doi: 10.1109/COMST.2015.2417493, τόμ. 17, αρ. 2, pp. 671-699, 2015.
- [42] K. Pahlavan και P. Krishnamurthy, «Evolution and Impact of Wi-Fi Technology and Applications: A Historical Perspective.,» *Int J Wireless Inf Networks*, τόμ. 28, pp. 3-19, doi:10.1007/s10776-020-00501-8, 2021.

- [43] T. Han, B. Han, L. Zhang, X. Zhang και D. Yang, «Coexistence study for WiFi and ZigBee under smart home scenarios,» σε *2012 3rd IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content*, Beijing, 2012.
- [44] D. Gislason, «Foreword,» σε *Zigbee Wireless Networking*, Newnes, 2008, pp. ix-x DOI: 10.1016/B978-0-7506-8597-9.00010-0.
- [45] The ZigBee Alliance, «ZigBee Pro Specification,» 5 August 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://zigbeealliance.org/wp-content/uploads/2019/11/docs-05-3474-21-0csg-zigbee-specification.pdf>. [Πρόσβαση 13 June 2022].
- [46] Connectivity Standards Alliance, «zigbee The Full-Stack Solution for All Smart Devices,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://csa-iot.org/all-solutions/zigbee/>. [Πρόσβαση 13 June 2022].
- [47] Y. Dong, Z. Dong, S. Zhang και Y. Cui, «ZigBee based energy efficient reliable routing in wireless sensor network: Study and application,,» σε *2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks*, Xi'an, 2011.
- [48] P. Pagano, M. Chitnis, R. Severino, M. Alves, A. Romano, G. Lipari, P. G. Sousa και E. Tovar, «ERIKA and Open-ZB: a tool suite for real-time wireless networked applications,» January 2008. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/255649421\\_ERIKA\\_and\\_Open-ZB\\_a\\_tool\\_suite\\_for\\_real-time\\_wireless\\_networked\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/255649421_ERIKA_and_Open-ZB_a_tool_suite_for_real-time_wireless_networked_applications). [Πρόσβαση 15 June 2022].
- [49] D. Gislason, «Chapter 1 - Hello ZigBee,» σε *Zigbee Wireless Networking*, Newnes, 2008 doi: 10.1016/B978-0-7506-8597-9.00001-X, pp. 1-44.
- [50] MQTT, «MQTT: The Standard for IoT Messaging,» MQTT.org, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://mqtt.org/>. [Πρόσβαση 8 July 2022].

- [51] A. Nipper, «MQTT's role as an IoT message transport,» *Control Engineering*, 7 January 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.controleng.com/articles/mqtts-role-as-an-iot-message-transport/>. [Πρόσβαση 8 July 2022].
- [52] OASIS, *MQTT Version 5.0 OASIS Standard*, A. Banks, E. Briggs, K. Borgendale και R. Gupta, Επιμ., 2019.
- [53] The HiveMQ Team, «MQTT Publish, Subscribe & Unsubscribe - MQTT Essentials: Part 4,» HiveMQ GmbH, 2 February 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part-4-mqtt-publish-subscribe-unsubscribe/>. [Πρόσβαση 12 July 2022].
- [54] The HiveMQ Team, «Publish & Subscribe - MQTT Essentials: Part 2,» HiveMQ GmbH, 19 January 2015. [Ηλεκτρονικό]. [Πρόσβαση 12 July 2022].
- [55] S. Yin, Q. Li και Q. Gnawali, «Interconnecting WiFi Devices with IEEE 802.15.4 Devices without Using a Gateway,» σε *2015 International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems*, Fortaleza, 2015.
- [56] SONOFF, «ZBBridge V1.1.cdr,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://sonoff.tech/wp-content/uploads/2021/03/%E8%AF%B4%E6%98%8E%E4%B9%A6-ZBBridge-V1.1-20210305.pdf>. [Πρόσβαση 28 June 2022].
- [57] ElectroPeak, «Getting Started w/ NodeMCU ESP8266 on Arduino IDE © GPL3+,» ARDUINO, 14 August 2019. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://create.arduino.cc/projecthub/electropeak/getting-started-w-nodemcu-esp8266-on-arduino-ide-28184f>. [Πρόσβαση 3 July 2022].
- [58] Envistia Mall, «D1 Mini NodeMCU and Arduino WiFi LUA ESP8266 ESP-12 WeMos Microcontroller,» Envistia Mall, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://support.envistiamall.com/kb/d1-mini-nodemcu-and-arduino-wifi-lua-esp8266-esp-12-wemos-microcontroller/>. [Πρόσβαση 16 July 2022].



- [59] WiZ, «LIGHTS THAT MAKE YOUR HOME LIFE BRIGHTER,» WiZ, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.wizconnected.com/en-us>. [Πρόσβαση 24 June 2022].
- [60] WiZ, «THE PERFECT PARTNER,» WiZ. [Ηλεκτρονικό]. [Πρόσβαση 24 June 2022].
- [61] WiZ, «AS SIMPLE AS A LIGHT SWITCH, ONLY MORE POWERFUL,» WiZ, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.wizconnected.com/en-us/explore-wiz/app>. [Πρόσβαση 24 June 2022].
- [62] S. Electronics, «CJMCU-TEMT6000 An Ambient Light Sensor,» Sharvi Electronics , [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://sharvielectronics.com/product/cjmcu-temt6000-an-ambient-light-sensor/>. [Πρόσβαση 10 August 2022].
- [63] M. S. Greece, «Mi Light Detection Sensor,» Mi Store Greece, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.mistore-greece.gr/Products/SmartDevices/Smart-Home/mi-light-detection-sensor.aspx>. [Πρόσβαση 22 August 2022].
- [64] M. S. Greece, «Mi Wireless Switch,» Mi Store Greece, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.mistore-greece.gr/Products/SmartDevices/Smart-Home/mi-wireless-switch.aspx>. [Πρόσβαση 22 August 2022].
- [65] Waveshare, «MQ-135 Gas Sensor,» Waveshare, [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.waveshare.com/wiki/MQ-135\\_Gas\\_Sensor](https://www.waveshare.com/wiki/MQ-135_Gas_Sensor). [Πρόσβαση 22 August 2022].
- [66] Aqara, «Temperature and Humidity Sensor,» Aqara, [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.aqara.com/us/temperature\\_humidity\\_sensor.html](https://www.aqara.com/us/temperature_humidity_sensor.html). [Πρόσβαση 23 August 2022].
- [67] Aqara, «Door and Window Sensor,» Aqara, [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.aqara.com/us/door\\_and\\_window\\_sensor.html](https://www.aqara.com/us/door_and_window_sensor.html). [Πρόσβαση 23 August 2022].

- [68] Sonoff, «SONOFF SNZB-03 ZigBee Motion Sensor,» Sonoff, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://sonoff.tech/product/smart-home-security/snzb-03/>. [Πρόσβαση 23 August 2022].
- [69] P. S. S. GmbH, «PROXMOX,» Proxmox Server Solutions GmbH, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.proxmox.com/en/>. [Πρόσβαση 25 August 2022].
- [70] Proxmox VE contributors, «Qemu/KVM Virtual Machines,» Proxmox VE, 4 May 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://pve.proxmox.com/wiki/Qemu/KVM\\_Virtual\\_Machines](https://pve.proxmox.com/wiki/Qemu/KVM_Virtual_Machines). [Πρόσβαση 22 August 2022].
- [71] P. VE, «Features,» Proxmox VE, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.proxmox.com/en/proxmox-ve/features>. [Πρόσβαση 22 August 2022].
- [72] Gary, «Set up a Home Assistant VM on Proxmox,» Inspect My Gadgets, 12 September 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.inspectmygadgets.com/set-up-a-home-assistant-vm-on-proxmox/>. [Πρόσβαση 3 August 2022].
- [73] @ethan, «How to add Multiple Nodes into Proxmox VE Cluster,» LinuxHelp, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.linuxhelp.com/how-to-add-multiple-nodes-into-proxmox-ve-cluster>. [Πρόσβαση 5 August 2022].
- [74] F. Copes, «Introduction to the Arduino Programming Language,» Flavio Copes, 24 January 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://flaviocopes.com/arduino-programming-language/>. [Πρόσβαση 23 July 2022].
- [75] C. TEAM, «EVERYTHING YOU NEED TO KNOW ABOUT ARDUINO CODE,» circuito.io, 11 March 2018. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.circuito.io/blog/arduino-code/>. [Πρόσβαση 23 July 2022].
- [76] ARDUINO.CC, «Arduino Integrated Development Environment (IDE) v1,» Arduino, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics>. [Πρόσβαση 27 July 2022].

- [77] Wikipedia, «Arduino,» Wikipedia The Free Encyclopedia, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino#IDE>. [Πρόσβαση 23 July 2022].
- [78] Wikipedia, «Firmware,» Wikipedia, the free encyclopedia, 20 July 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Firmware>. [Πρόσβαση 10 August 2022].
- [79] A. Adithyan, K. Nagendran, R. Chethana, G. Pandey και K. Prashanth, «"Reverse Engineering and Backdooring Router Firmwares," ), 2020, pp. , doi: 10.1109/IC,» σε *2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, Coimbatore, India, 2020.
- [80] S. Malik και S. Ahn, «Automated firmware testing using firmware-hardware interaction patterns,» σε *2014 International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis (CODES+ISSS)*, Uttar Pradesh, India, 2014.
- [81] Tasmota Open source firmware for ESP devices, «Tasmota About,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://tasmota.github.io/docs/About/>. [Πρόσβαση 25 June 2022].
- [82] Tasmota Open source firmware for ESP devices, «Tasmota News,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://tasmota.github.io/docs/>. [Πρόσβαση 25 June 2022].
- [83] N. CASA, «Pricing,» NABU CASA, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.nabucasa.com/pricing/>. [Πρόσβαση 1 September 2022].
- [84] I. Goodfellow, Y. Bengio και A. Courville, «Chapter 5 Machine Learning Basics,» σε *Deep Learning*, MIT Press, 2016, p. 104.
- [85] R. S. Sutton και A. G. Barto, «1.3 Elements of Reinforcement Learning,» σε *Reinforcement Learning: An Introduction*, Cambridge, The MIT Press, 2015, pp. 7-9.
- [86] S. Dengler, A. Awad και F. Dressler, «Sensor/Actuator Networks in Smart Homes for Supporting Elderly and Handicapped People,» σε *21st International Conference on*

*Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW'07)*, Niagara Falls, 2007.

- [87] H. Raeis, M. Kazemi και S. Shirmohammadi, «Human Activity Recognition with Device-Free Sensors for Well-Being Assessment in Smart Homes,» *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, τόμ. 24, αρ. 6, pp. 46-57 doi: 10.1109/MIM.2021.9513637, 2021.
- [88] D. Riboni, «Keynote Talk: The challenges of eXplainable AI for early detection of cognitive decline,» σε *2020 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)*, 2020.
- [89] T. Vaiyapuri, L. Laxmi, M. Y. Sikkandar και V. G. Diaz, «Internet of Things and Deep Learning Enabled Elderly Fall Detection Model for Smart Homecare,» *IEEE Access*, pp. 1-1, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3094243, 2021.
- [90] T. T. S. F. a. W. C. D. Pal, «Smart Homes and Quality of Life for the Elderly: Perspective of Competing Models,» *IEEE Access*, τόμ. 6, pp. 8109-8122, doi:10.1109/ACCESS.2018.2798614, 2018.
- [91] A. T. Souza, L. N. Canha, R. G. Milbradt, C. L. Lemos, C. Michels και S. T. A. S, «A Smart Home system using Artificial Intelligence and integration with Energy Storage and Microgeneration,» σε *2020 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, Washington, DC, 2020.
- [92] H. Assistant, «Integrating your electricity grid,» Home Assistant, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.home-assistant.io/docs/energy/electricity-grid/>. [Πρόσβαση 23 August 2022].
- [93] U. Nations, «Global Population Growth and Sustainable Development,» United Nations Publication, New York, 2021.

- [94] M. Ganzha, L. Maciaszek, M. Paprzycki και D. Ślęzak, «An Agent-based Cyber-Physical Production System using Lego Technology,» σε *Proceedings of the 16th Conference on Computer Science and Intelligence Systems (ACSIS)*, 2021.